# České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav přístrojové a řídicí techniky


**Bakalářská práce**

# Automatizované pracoviště pro svařování


Autor: Marek Vlček

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Novák, Ph.D.


Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vlček** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **484110**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav přístrojové a řídicí techniky**

Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**

Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Automatizované pracoviště pro svařování**

Název bakalářské práce anglicky:

**Automated workplace for welding**

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte rešerši na téma používaných robotů pro automatizovaná pracoviště.
1) Na základě rešerše navrhněte automatizované pracoviště pro svařovací operace. Pracoviště nemusí být z dlouhodobého hlediska univerzální. Může být navrženo např. pro konkrétní skupinu výrobků nebo typů svařování. Zpracujte informace o tom, jaké jazyky a jaký software se pro tvorbu programu pro automatizované pracoviště používají.
2) Pro praktickou část práce si vyberte automatizované pracoviště, pro které vypracujte vlastní ukázkovou výrobu, a pro které napište vlastní kód programu. Automatizované pracoviště nemusí být stejné, jako v předchozím bodě zadání.

Seznam doporučené literatury:

[1] PIRES, J. Norberto, Altino LOUREIRO a Bölmsjo GUNNAR. Welding Robots: Technology, System Issues and Application. London: Springer-Verlag, 2006. ISBN 9781846281914.
[2] PIRES, J. Norberto. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. New York: Springer Science & Business Media, 2007. ISBN 9780387233253.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Zdeněk Novák, Ph.D., U12110.1**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: **10.06.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

| Ing. Zdeněk Novák, Ph.D.<br>podpis vedoucí(ho) práce | podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry | prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.<br>podpis děkana(ky) |
|---|---|---|

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

| Datum převzetí zadání | Podpis studenta |
|---|---|

# Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v přiloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 zákona č.121/2000Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

v Praze dne: podpis autora:

# Abstrakt

Automatizace svařování výroby je jedním z klíčových kroků ke zvýšení produktivity a optimalizaci výroby. Cílem práce je navrhnout ideální robotizované svařovací pracoviště pro výrobu malých a středně velkých sérií, u kterých preferujeme univerzálnost pracoviště nad jeho efektivitou. Bakalářská práce obsahuje kompletní návrh robotizovaného svařovacího pracoviště. Důležité je nejprve zjistit, zda se pro zadané svařence robotizace svařování vůbec hodí. Následně vytvoříme návrhy pracoviště, které musí vyhovovat bezpečnostním normám, a zároveň musí být schopné svařit dané výrobky. V další části porovnáme jednotlivá pracoviště z pohledu univerzálnosti, ceny, efektivity, velikosti a také bezpečnosti. Na závěr práce se lehce seznámíme s programováním robotizovaných svařovacích pracovišť.

# Klíčová slova

robotizace, automatizace svařování, robotické svařování, automatizované svařovací pracoviště

# Abstract

Automation of welding is one of the keys to improve productivity and to optimize production. The aim of the thesis is to design the ideal robotic welding workplace for small and medium sized series manufacturing, where the versatility of the workplace is preferred over its efficiency. The thesis contains a full design specification of the robotic welding workplace. The first step is to determine if a given part is suitable for robotic welding. Next, several different workplace designs are proposed, bearing in mind industrial safety norms and the workplaces' ability to weld the given parts. In the following section, designs of the proposed workplaces are evaluated from the perspective of their versatility, price, efficiency, size, and safety. At the end, the thesis gives a brief introduction into the programming of robotic welding workplaces.

# Key words

robotization, welding automatization, robotic welding, automated welding workplace

# Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval celé své rodině, zejména pak rodičům za jejich podporu během mých studií.

Dále bych rád poděkoval panu Ing. Zdeňku Novákovi, Ph.D., za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích.

Zároveň děkuji firmě NYTRON za konzultace poskytnuté k návrhu pracoviště a možnost vyzkoušet si programování robotizovaného pracoviště.

# Obsah

*Seznam obrázků* ... 8
*Seznam tabulek* ... 9
*Seznam zkratek* ... 9
1 Úvod ... 12
2 Průmyslové roboty ... 13
2.1 Historie robotů ... 13
2.2 Aktuální situace na trhu ... 14
2.3 Výhody a nevýhody průmyslových robotů ... 14
2.3.1 Výhody robotů ... 14
2.3.2 Nevýhody robotů ... 15
2.4 Rozdělení průmyslových robotů ... 16
2.4.1 Druhy průmyslových robotů podle konstrukce ... 16
2.4.2 Druhy průmyslových robotů podle stupňů volnosti, kinematické struktury a pohonů 21
2.5 Hardware průmyslových robotů ... 22
2.5.1 Řídící jednotka ... 22
2.5.2 Senzory ... 23
2.5.3 Senzory používané při robotickém svařování ... 24
2.5.4 Aktuátory ... 26
2.6 Programování průmyslových robotů ... 27
2.6.1 On-line programování ... 27
2.6.2 Off-line programování ... 28
3 Technologie svařování ... 28
3.1 Svařování metodou MIG/MAG ... 30
4 Návrh robotizovaného svařovacího pracoviště ... 31
4.1 Svařence pro robotizované pracoviště ... 31
4.1.1 Díl 1 ... 31
4.1.2 Díl 2 ... 33
4.2 Svařovací časy ... 35
4.2.1 Díl 1. ... 35
4.2.2 Díl 2. ... 37
4.3 Návrh koncepce ... 39
4.3.1 Základní komponenty pracoviště ... 39
4.3.2 Varianta č.1 ... 40
4.3.3 Varianta č.2 ... 42

4.3.4 Varianta č.3 ..... 44
4.4 Finální výběr robotizovaného pracoviště ..... 46
5 Programování robotizovaného pracoviště ..... 49
6 Závěr ..... 52
7 Literatura ..... 53

# Seznam obrázků

Obrázek 1: Stanford arm [3] ... 13
Obrázek 2: Použití průmyslových robotů [2] ... 14
Obrázek 3: Kloubový šestiosý robot [14] ... 16
Obrázek 4: Karteziánský typ robota [14] ... 17
Obrázek 5: SCARA robot [15] ... 18
Obrázek 6: DELTA robot [16] ... 19
Obrázek 7: Manipulátor s koncovým efektorem [23] ... 22
Obrázek 8: Řízení otevřenou smyčkou [24] ... 23
Obrázek 9: zpětnovazebné řízení [27] ... 23
Obrázek 10: Vyhledávání svaru pomocí dotyku drátu [32] ... 24
Obrázek 11: Sledování svaru pomocí měření charakteristik oblouku [32] ... 25
Obrázek 12: Laserové systému pro sledování svaru [32] ... 25
Obrázek 13: Vyhledávání švů pomocí kamery [32] ... 25
Obrázek 14: Hydraulický lineární aktuátor [36] ... 26
Obrázek 15: Pneumatický lineární aktuátor [37] ... 26
Obrázek 16: Elektrický lineární aktuátor [34] ... 27
Obrázek 17: Postup on-line programování [38] ... 27
Obrázek 18: Postup při off-line programování [39] ... 28
Obrázek 19: Typy používaných softwarů [39] ... 28
Obrázek 20: Přehled a rozdělení svařování [41] ... 29
Obrázek 21: Schéma zapojení při svařování metodou MIG/MAG [43] ... 30
Obrázek 22: Model prvního svařence ... 31
Obrázek 23: Výkres sestavy prvního dílu ... 32
Obrázek 24: Model druhého dílu ... 33
Obrázek 25: Výkres sestavy druhého dílu ... 34
Obrázek 26: Nákres varianty č.1 ... 40
Obrázek 27: 3D model varianty č.1 ... 41
Obrázek 28: Nákres varianty č.2 ... 42
Obrázek 29: 3D model varianty č.2 ... 43
Obrázek 30: Nákres varianty č.3 ... 44
Obrázek 31: 3D model vartianty č.3 ... 45
Obrázek 32: 3D model vybrané varianty ... 48
Obrázek 33: 3D model - pohled zepředu ... 48
Obrázek 34: První část vytvořeného programu ... 49
Obrázek 35: Druhá část vytvořeného programu ... 50
Obrázek 36: Off-line výpis programu ... 51

# Seznam tabulek

Tabulka 1: Časová náročnost při ručním svařování dílu č.1 ..... 35
Tabulka 2: Časová náročnost při ručním stehování a robotizovaném svařování dílu č.1 ..... 36
Tabulka 3: Časová náročnost robotizovaného stehování a svařování dílu č.1..... 36
Tabulka 4: Časová náročnost ručního svařování dílu č.2..... 37
Tabulka 5: Časová náročnost při ručním stehování a robotizovaném svařování dílu č.2 ..... 38
Tabulka 6: Časová náročnost při robotizovaném stehování a svařování dílu č.2..... 38

# Seznam zkratek

| Zkratka | Význam |
|---|---|
| 3D | 3-Dimensional (trojrozměrný) |
| A | Ampér |
| AE | Arc end (konec oblouku) |
| AS | Arc start (začátek oblouku) |
| CAD | Computer-aided design (počítačem podporované projektování) |
| CIR | Circle (kruh – kruhový pohyb) |
| cm/min | Centimetrů za minutu |
| LIN | Linear (lineární) |
| MAG | Metal active gass |
| MIG | Metal inert gass |
| např. | Například |
| PUMA | Programmable Universal Machine for Assembly |
| REM | Remark (poznámka) |
| RGB | Red, green, blue |
| s | Sekunda |
| SCARA | Selective compliance articulated robot arm |
| tzn. | To znamená |
| U | Unit (sektor) |

# 1 Úvod

Prvně se s automatizací výroby setkáváme již na počátku 20. století, kdy byla postavena první výrobní linka pro výrobu automobilů.

Slovo robot se poprvé objevilo v Čapkově hře R.U.R. napsané roku 1920 a díky její popularitě se robot dostal do podvědomí mnoha lidí. Robot podobný člověku byl od té doby často prezentován na technických a hospodářských výstavách. Oproti dnešním robotům ty vystavované uměly pouze jednoduché pohyby, neměly řídící systém a nedaly se tím pádem ani programovat.

Další rozvoj automatizace nastal kvůli situaci na trhu po druhé světové válce, kdy výrazně převažovala poptávka nad nabídkou. Potřeba efektivní a kvalitní výroby velkých sérií vyústila v používání výrobních linek s takzvanou tvrdou automatizací. V případě tvrdé automatizace se bavíme o stavu, kdy je velmi složité nebo nemožné použít linku i pro částečně jiný výrobek.

Průmyslový robot, tak jak ho známe dnes, byl poprvé představen roku 1961. Jednalo se o robota se sférickou kinematickou strukturou a jeho úkolem bylo nahradit obsluhu stroje pro lití. Další vývoj robotů závisel na technických možnostech a požadavcích průmyslu. Převaha nabídky nad poptávkou zapříčinila nutnost výroby s větší variabilitou, což znamenalo potřebu přestavování výrobních linek. Při výrobě menších sérií bylo důležité přejít od tvrdé automatizace k automatizaci pružné. Právě zde se průmyslový robot stal velmi žádaný kvůli možnosti programování a poptávka po robotech vzrostla. Průmyslové roboty byly také čím dál častěji používány ke zvýšení přesnosti nebo nahrazení pracovníků konajících práci při vysokých teplotách a v nezdravém prostředí.

Cílem bakalářské práce je navrhnout robotizované svařovací pracoviště ke svařování dvou skupin výrobků, přičemž prvním krokem bude se seznámit s postupem při návrhu robotizovaného pracoviště. Bude důležité zjistit, zda se vůbec svařence pro robotické svařence hodí, tj. jestli se vyplatí svařovat na robotizovaném pracovišti. Na základě porovnání ručního svařování s robotizovaným dojde k vytvoření různých návrhů pracovišť, které musí splňovat bezpečnostní předpisy dle norem a zároveň musí být schopny svaření zadaných dílů. Následné porovnání koncepcí dle univerzálnosti, ceny, bezpečnosti a efektivity určí nejvhodnější pracoviště.

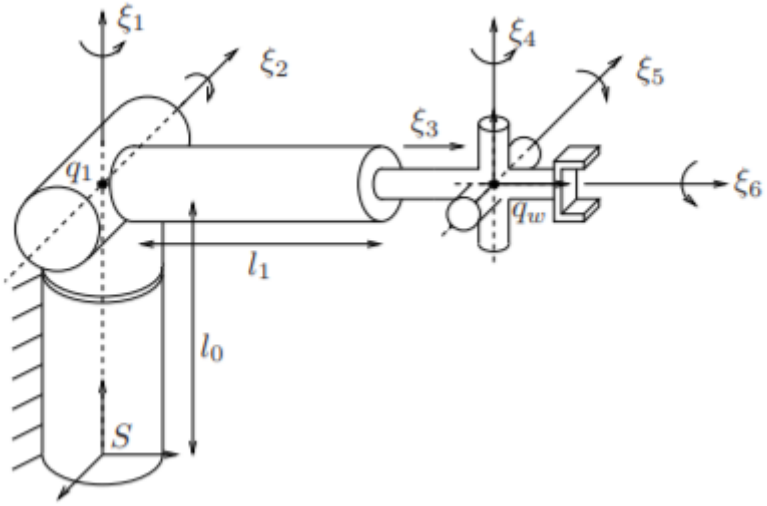
Druhým úkolem je vyzkoušet si programování robotizovaného svařovacího pracoviště. Výstupem bude jednoduchý program, který bude obsahovat základní funkce pracoviště.

# 2 Průmyslové roboty

## 2.1 Historie robotů

Historie moderní robotiky začíná až ve druhé polovině 20. století, kdy inženýr Georg Devol společně s Josephem Engelbergerem vytvořili prvního robota, kterého pojmenovali Unimate. Roku 1961 jim byl udělen patent a roboty s názvem Unimate začali vyrábět ve společnosti Unimation.[1] První průmyslový robot byl instalovaný ve společnosti General Motors, kde nahradil obsluhu stroje pro lití pod tlakem. Průmyslové roboty Unimation byly často nazývány také jako programovatelné stroje pro přemisťování, hlavním úkolem robotů bylo přenášet těžké objekty z jednoho bodu do druhého. [2]

Možnost využít roboty v technicky složitějších aplikacích, jako je svařování či montáž, přišla až v roce 1969 s vynálezem Stanford arm. Jednalo se o šestiosého kloubového robota, který byl navržen tak, aby nahradil funkci lidské ruky. Na obrázku č.1 můžeme vidět uspořádání jednotlivých os šestiosého kloubového robota. Victor Scheinman, který Stanford arm vynalezl, později prodal tento design společnosti Unimation a ta na základě těchto návrhů začala prodávat robota pod názvem PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly). [2]




*Obrázek 1: Stanford arm [3]*

První v Evropě postavený robot byl představen roku 1973 firmou KUKA Robotics. Jednalo se o jednoho z prvních kloubových robotů, který měl všech šest os poháněných elektromechanicky. V lednu roku 1974 byly první průmyslové roboty instalovány do švédské firmy Magnusson. [2] Magnusson byla malá firma zaměstnávající pouhých 20 lidí, která dodávala nerezové trubky do potravinového průmyslu. Hlavním úkolem robotů označených jako IRB 6 bylo broušení a leštění trubek. [4]

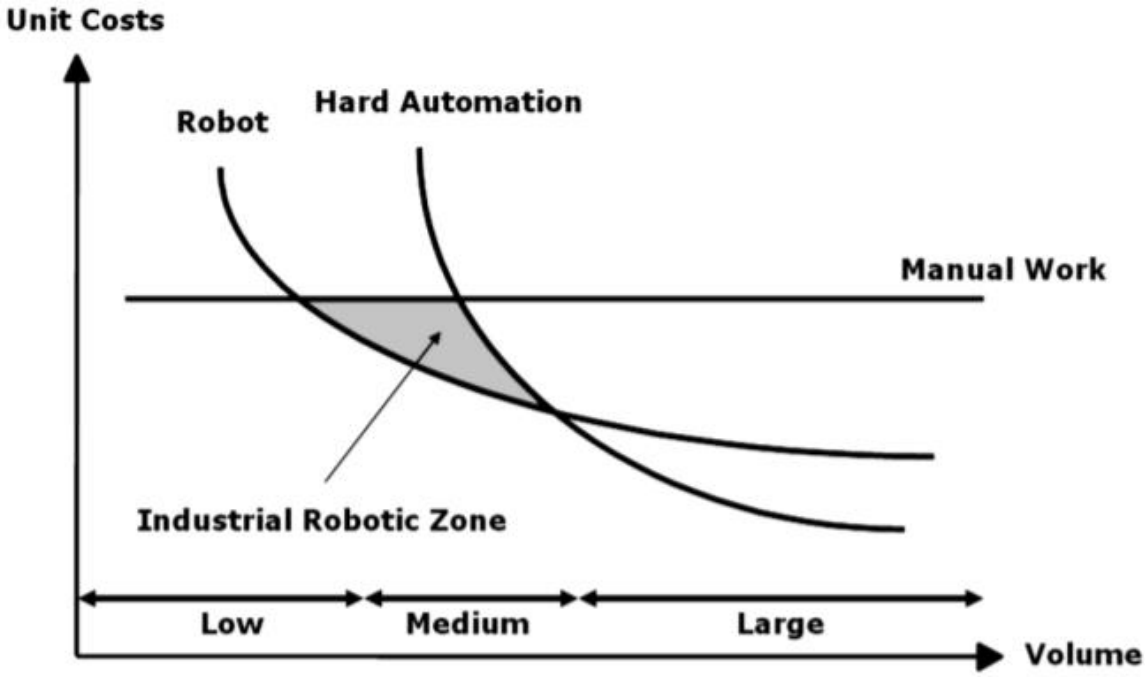
Díky úspěchu instalovaných robotů se do světa robotiky zapojily i další velké firmy jako General Motors a General Electric, které daly společně za vznik dnes známé společnosti FANUC Robotics. [4]

## 2.2 Aktuální situace na trhu

Zájem o robotizaci výroby může potvrdit i fakt, že počet instalovaných robotů za letošní rok vzrostl o 12 %. Za rok 2020 bylo celosvětově zapojeno do výroby více než 373 000 robotů. Oproti loňskému roku je to sice o 12% nižší nárůst, ale toto zpomalení se dává za vinu obtížným časům, které poznamenaly převážně automobilový, ale i elektronický a elektrotechnický průmysl. Automobilové závody společně s výrobci elektroniky tvoří největší odběratele průmyslových robotů. V dnešní době je ve světě pracujících více než 2,7 milionu robotů. Zajímavým ukazatelem skutečného zájmu o robotizaci výroby je přibližně 85 % nárůst počtu instalovaných robotů během pouhých pěti let (2014-2019). Z celkového počtu 2,7 milionu robotů je 73 % z nich instalovaných v pěti státech: Čína, Japonsko, USA, Korea a Německo. [5]

## 2.3 Výhody a nevýhody průmyslových robotů

Jedním z důvodů robotizace výroby je dynamické chování trhu, silná konkurence, neustálý vývoj a s ním související rozmanitost výrobků a také důraz na kvalitu. Průmyslové roboty jsou nejčastěji používané v malosériové a středně sériové výrobě. [6] Srovnání robotizované výroby s manuální prací a tvrdou automatizací můžeme vidět na obrázku č.2. Z grafu je patrné, že po stránce finančních nákladů na jeden výrobek je nejvýhodnější využít robotizovaného pracoviště pro malé či středně velké série.[2] Ne vždy se průmyslové roboty používají kvůli snížení nákladů na výrobu, v některých aplikacích se instalují například kvůli požadavkům na přesnost a kvalitu, kterou člověk není s to pohlídat. [7]




*Obrázek 2: Použití průmyslových robotů [2]*

### 2.3.1 Výhody robotů

**Rychlost**

Průmyslové roboty mohou plnit úkoly mnohem rychleji a efektivněji než lidé. Nahrazení zaměstnance robotem může zvýšit výkon až o 40 %. Výhodou je bezesporu také to, že roboty můžou pracovat bez přestávek, neberou si dovolené a jejich pracovní morálka se nesnižuje. [7] [8] [9]

**Kvalita**

Další velice důležitou vlastností je kvalita. Kvalita je u výrobků velice ovlivněna přesností samotných robotů. Při správné volbě robota můžeme dosáhnout kvalitních produktů, které splňují určité standardy a zároveň tím můžeme zredukovat čas určený pro následnou kontrolu. [7] [8] [9]

**Zlepšení pracovních podmínek**

Robotizace výroby přispěla také ke zlepšení pracovních podmínek. Můžeme jí využít například při nebezpečných, pracných či opakujících se úkolech. S vyšší robotizací roste také bezpečnost těchto pracovišť (převážně díky tomu, že roboty přebírají nebezpečnou práci a tím snižují pravděpodobnost úrazu. Další výhodou je, že průmyslové roboty neztrácí pozornost a nedělají zbytečné a v některých případech nebezpečné chyby. [7] [8] [9]

**Snížení nákladů**

I přes vysokou počáteční investici se vyplatí robota zakoupit pro malosériovou a převážně středně sériovou výrobu. Robotizací jednotlivých operací dojde ke zvýšení produkce, zlepšení kvality a často také ušetření jednotlivých zdrojů (například materiálu). Výhodou je bezesporu také to, že roboty řeší dnešní velký problém s nedostatkem kvalifikovaných pracovníků, typickým příklad jsou svařovací roboty. [7] [8] [9]

**Delší pracovní doba**

Jak již bylo výše naznačeno, roboty mohou pracovat 24 hodin denně všechny dny v roce. Jejich pozornost je stále stejná, nedochází k rozptýlení přestávkami či sledováním času, kdy daná přestávka nastane. Průmyslové roboty si neberou dovolené ani nemocenskou. [7] [8] [9]

**Požadavky na velikost pracoviště**

Malou ale v některých podnicích velmi užitečnou a vítanou vlastností je zmenšení pracoviště. Dáno je to převážně tím, že roboty mohou být nainstalovány v několik polohách (na stěně, na stropě, na podstavci). Díky tomu si podniky mohou vybrat nejvhodnější variantu a tím ušetřit místo. [7] [8] [9]

**Prestiž**

Mezi neméně důležitou výhodu, kterou instalováním robotů často docílíme, je prestiž. Prestiž je velice důležitá při shánění nových odběratelů a často také zaměstnanců. Díky robotizovaným pracovištím můžete ohromit potenciální zákazníky a zvýšit pravděpodobnost, že si vyberou právě Vás. Roboty vzbuzují u klientů důraz na kvalitu, rychlost a přesnost. [9]

### 2.3.2 Nevýhody robotů

**Pořizovací náklady**

Mezi hlavní nevýhodu při automatizaci procesů je pořizovací cena. Před samotným zakoupením by mělo dojít ke zvážení, jestli robot bude dostatečně vytížen, zda díly budou vhodné pro robotizované pracoviště, zda budou objednávané alespoň v malých sériích a také je potřeba uvažovat, zda daná výroba zaručí návratnost investice. [8] [9]

**Kvalifikovaná obsluha**

Po instalaci robota na pracoviště je nutné ho naprogramovat pro daný výrobek. Obsluha robota musí být řádně vyškolena a musí mít též alespoň základní znalosti v problematice použité technologie. V případě změny technologie je většinou zapotřebí pomoci zkušených společností, které se zabývají integrací jednotlivých komponentů pracoviště. [8] [9]

**Limity**

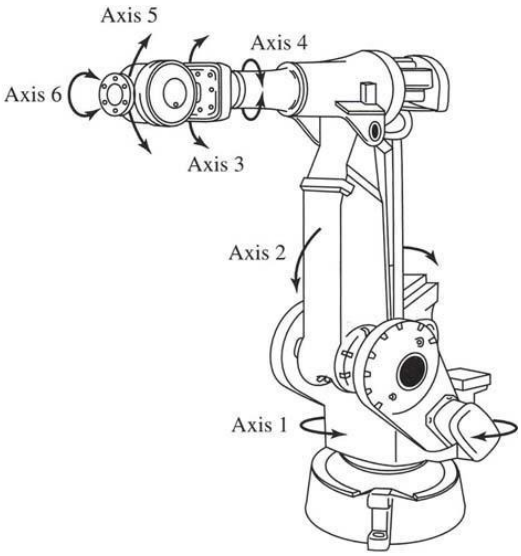
V posledních letech se výrazně zvýšilo množství robotů užívaných v průmyslových podnicích. Důležité při návrhu robotizovaného pracoviště je posoudit, zda není výhodnější použít automatizovaný systém na míru (v případě velkých sérií) anebo naopak ruční práci (při výrobě jednotek kusů). Pro správnou funkci v určitých operacích je nutné robota vybavit například přídavnými senzory či kamerou. Následná integrace přídavných systému se systémem robota není vždy jednoduchá a často je i velice finančně nákladná. [8] [9]

# 2.4 Rozdělení průmyslových robotů

## 2.4.1 Druhy průmyslových robotů podle konstrukce

### *Kloubové roboty*

Kloubovými nazýváme obecně roboty, které obsahují pouze rotační vazby, tedy klouby. [11] Mechanicky často připomíná lidskou paži a jedná se o často používaného robota v praxi. [13] Jednotlivé články ramene jsou propojeny klouby umožňujícím rotaci. Díky kombinaci na sebe rovnoběžných a kolmých kloubových spojení můžeme získat zajímavý dosah s využitím malého pracovního místa. Nejčastěji se používají čtyřosé (se čtyřmi stupni volnosti) a šestiosé (se šesti stupni volnosti). [10][12]




*Obrázek 3: Kloubový šestiosý robot [14]*

Výhody:

- Flexibilita a obratnost
- Dosah
- Možnost snadného zarovnání v několika rovinách
- Rychlost

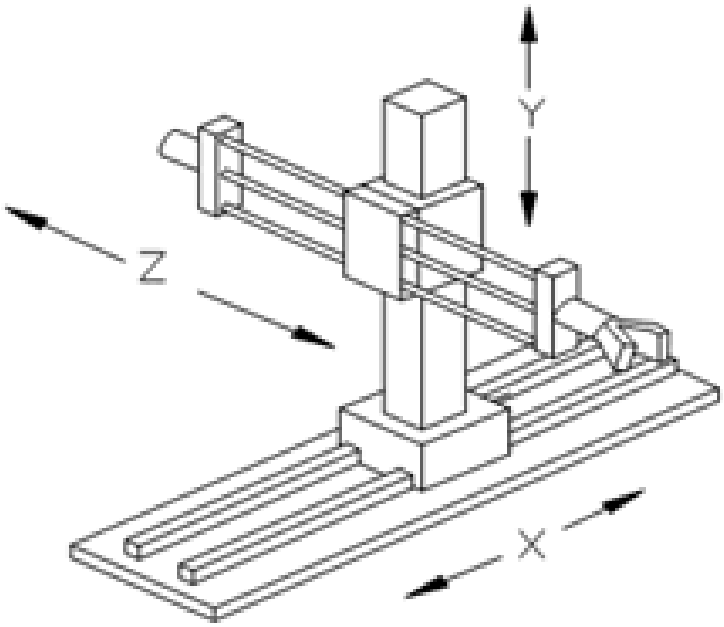
Nevýhody:

- Složité programování
- Složitá kinematika
- Vyžaduje jednoúčelový ovladač
- Vyšší hmotnost komponent

V praxi se s kloubovými roboty setkáváme často při balení, obloukovém a bodovém svařování, manipulaci s materiálem, obsluze strojů a montáži v automobilových závodech. [12][13]

## *Karteziánské roboty*

Karteziánskými myslíme roboty, které disponují třemi (někdy i více) lineárními aktuátory (převaděči rotačního pohybu na lineární), které umožňují posuvný pohyb. U těchto robotů se využívá karteziánský souřadnicový systém (X, Y, Z).[10] Mezi karteziánské patří i portálové roboty, ty jsou zavěšené na dvou paralelních vedeních umožňujících nést těžší předměty. Obvykle se k tomuto typu připojí ještě zápěstí, které umožní rotační pohyb. [13]




*Obrázek 4: Karteziánský typ robota [14]*

Výhody:

- Vysoká přesnost
- Jednoduché řízení
- Snadné off-line programování
- Přizpůsobitelnost
- Možnost přemisťovat těžké předměty
- Cena

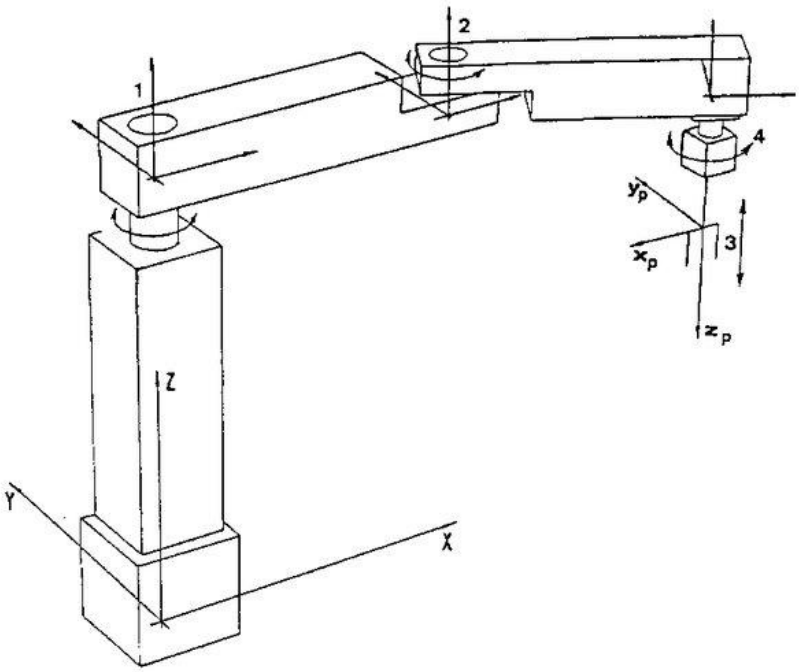
Nevýhody:

- Složitá montáž
- Možnost pohybovat pouze jedním směrem
- Rozměry

V praxi karteziánské roboty používáme při nakládání a vykládání, manipulaci, montáži a přemisťování. [13]

## *SCARA roboty*

SCARA, při doslovném překladu „selektivní kompatibilní kloubové robotické rameno“ je vhodné použít na místě, kde potřebujeme provádět operace mezi dvěma rovnoběžnými rovinami.[12] Skládají se z rotačních hřídelů umístěných svisle, které zajišťují vodorovný pohyb koncového efektoru umožňujícího svislý posuv. [13] SCARA roboty jsou skvělé při montážích, a to především díky velké vertikální tuhosti. Další výhodou je možnost použití v malých prostorech a malá hmotnost. [10]




*Obrázek 5: SCARA robot [15]*

Výhody:

- Vysoká rychlost
- Vynikající opakovatelnost
- Malé rozměry a hmotnost
- Velký pracovní prostor

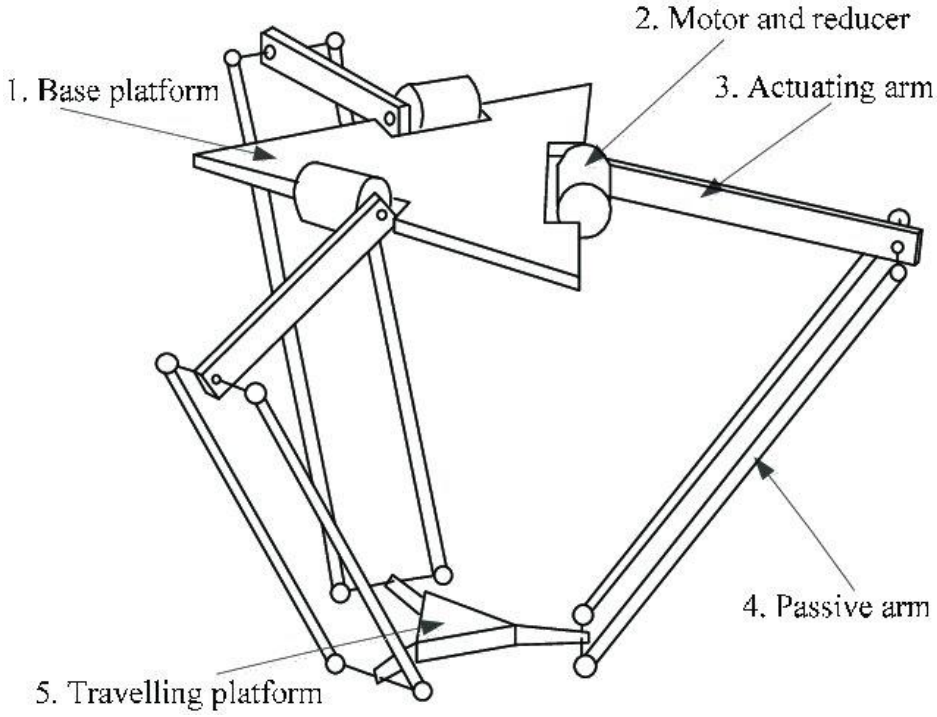
Nevýhody:

- Vyžaduje jednoúčelový ovladač
- Nutnost pracovat v rovnoběžných rovinách
- Náročné off-line programování

Vzhledem k nutnosti pracovat jen v rovnoběžných rovinách se SCARA roboty používají především při montáži, manipulaci a balení. [13]

## *DELTA roboty*

Vzhledem připomínají nejvíce pavouky. Jedná se o robota, který je schopný velmi jemných a přesných pohybů. Skládá se z paralelních spojovacích vazeb spojených se společnou základnou. [10] Tři motory umožňující rotační pohyb se nachází na společné základně a každý z nich má za úkol pohánět jedno rameno. Díky montáži akčních členů (motorů) na stacionární základně je DELTA velice lehké a můžeme dosáhnout vysokých rychlostí při malém zatížení. Většina vyráběných robotů DELTA je tříosých, ale k dispozici jsou také čtyřosé a šestiosé. [13]




*Obrázek 6: DELTA robot [16]*

Výhody:

- Velmi vysoká rychlost
- Vysoká provozní přesnost

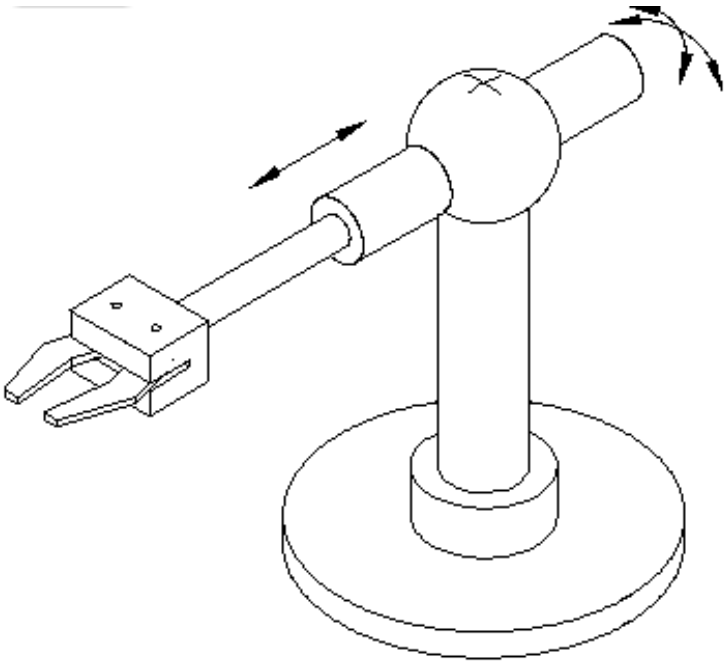
Nevýhody:

- Složité ovládaní
- Vyžaduje jednoúčelový ovladač
- Aplikace

DELTA roboty jsou používány většinou k podávání a nakládání různých součástek, ale najdeme je i při balení (komplementace sad, vkládání do krabic). Vídáme je v potravinářském, farmaceutickém a elektronickém průmyslu nebo také v letových a automobilových simulátorech. [10][13]

## *Polární roboty*

Polární roboty, někdy také nazývané sférické roboty, se skládají ze dvou rotačních kloubů a jedním lineárním (prismatickým) kloubem. Označení sférické dostal kvůli kulovitému tvaru pracovního prostoru. [11][13]



*Obrázek 7: Polární robot [17]*

Výhody:

- Dosah „všude kolem“
- Nevyžaduje velké pracovní místo

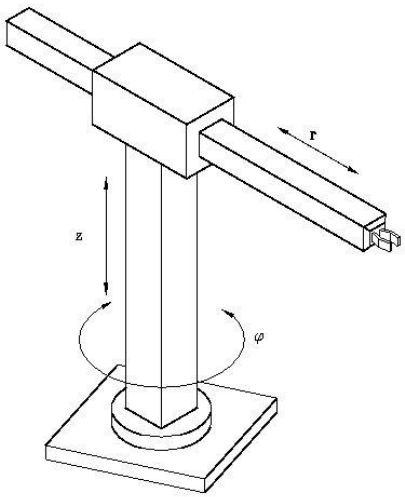
Nevýhody:

- Malý vertikální dosah
- Vyžaduje jednoúčelový ovladač
- Nízká opakovatelnost a přesnost

Design polárních robotů se již příliš nepoužívá. Dříve se používal při manipulaci se sklem a materiálem, vstřikování, kování a lití pod tlakem. [13]

### *Cylindrické roboty*

Kvůli pracovnímu prostoru ve tvaru válce nazýváme další skupinu cylindrické roboty. Tento typ je složen alespoň z jednoho rotačního a dvou prismatických kloubů. Řízení robota se děje v cylindrickém souřadnicovém systému. [11][13]




*Obrázek 8: Cylindrický robot [18]*

Výhody:

- Jednoduchá instalace a obsluha
- Možnost nést těžké předměty
- Nevyžaduje velké pracovní místo

Nevýhody:

- Nemůže dosáhnout za překážku
- Nízká přesnost rotačního pohybu
- Již se moc nepoužívá

Použití cylindrických robotů není v dnešní době časté. Dříve se používal převážně pro aplikaci nátěrů, slévárenské a kovací aplikace, nakládku a vykládku a montáž. [13]

## 2.4.2 Druhy průmyslových robotů podle stupňů volnosti, kinematické struktury a pohonů

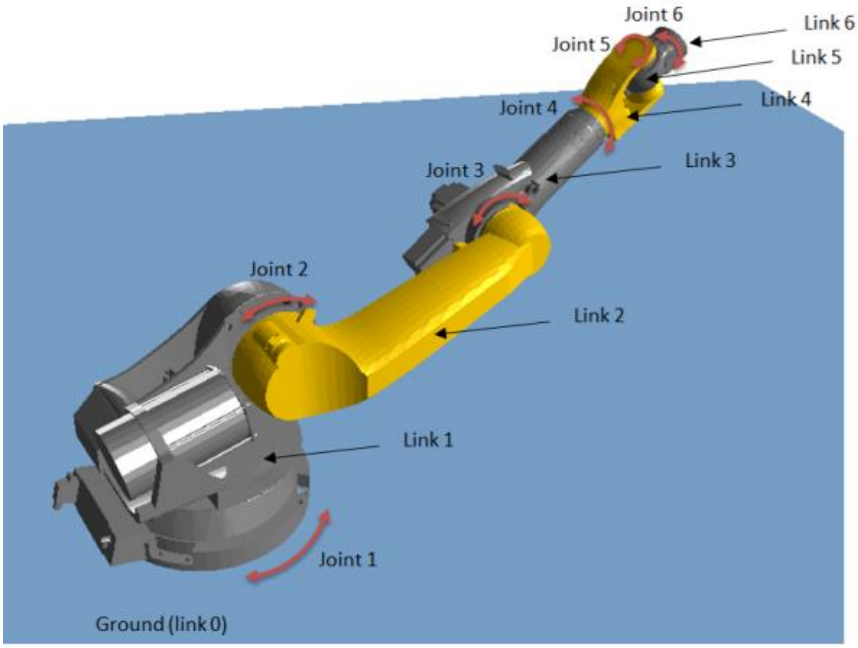
Dále můžeme dělit roboty podle stupňů volnosti, kinematické struktury, druhu pohonů a také podle činnosti. Dle stupňů volnost rozlišujeme roboty **univerzální** (6° volnosti), **redundantní** (více než 6° volnosti) a **deficitní** (méně než 6° volnosti, nejčastěji 3-4°). [19]

Dále se potkáváme s různým řešením kinematické struktury. Zde máme tři používané typy: **sériová** (otevřený kinematický řetězec), **paralelní** (uzavřený kinematický řetězec) a **hybridní** (kombinace). Typickým případem paralelního řešení je DELTA, zatímco s otevřeným řetězcem se setkáváme daleko častěji, například u kloubových a polárních. [19]

K pohonu v dnešní době využíváme tři druhy**. Elektrický**, který jednoznačně převažuje, **hydraulický** a **pneumatický,** případně kombinovaný. S pneumatickými se setkáváme v případě, že potřebujeme dosáhnout vysokých rychlostí. Hydraulické jsou naopak používány při potřebě vysoké nosnosti. [19]

# 2.5 Hardware průmyslových robotů

Hardware průmyslových robotů se skládá z pěti základních komponent: manipulátoru, koncového efektoru, aktuátorů, řídící jednotky a senzorů. [21] Za **manipulátor** považujeme celé rameno, které je podobné lidské ruce a skládá se z kloubů (joints) a částí spojujících jednotlivé klouby (links). **Koncový efektor** neboli pracovní hlavice je koncová část manipulátoru, která má podobný úkol jako lidská dlaň s prsty. [20] Na trhu jsou stovky různých efektorů od různých výrobců s rozdílným úkolem. U koncových efektorů se setkáváme s mechanickým nebo elektromechanickým řešením. [22] Efektory slouží například ke vkládání a vyjímání prvků (pick-and-place), pro technologické operace (svaření, obrábění) či ke kontrole (senzory, scannery, kamery). [23]

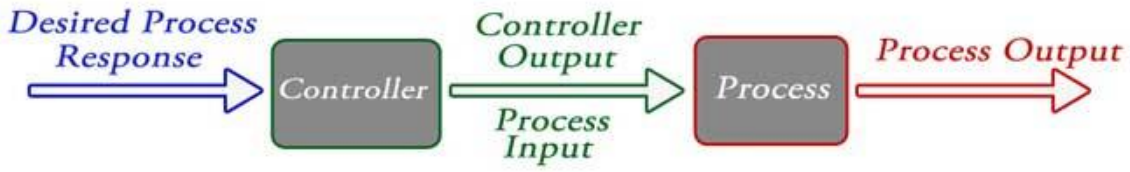



*Obrázek 7: Manipulátor s koncovým efektorem [23]*

## 2.5.1 Řídící jednotka

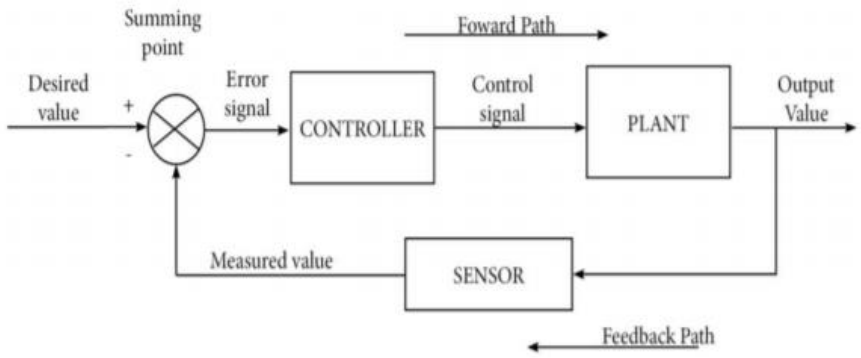
**Řídicí jednotka**, označovaná též jako ovladač, propojuje hardware a software robota, který slouží k řízení pohybů manipulátoru a koncového efektoru. [21] Úkolem řídicí jednotky je koordinovat jednotlivé pohyby tak, aby bylo dosaženo zadaného cíle. U řídících jednotek se setkáváme nejčastěji s dvěma druhy řízení. Řízení uzavřenou smyčkou a otevřenou smyčkou. Na řídící jednotku klademe několik požadavků: přesnost, citlivost, stabilita, rychlost, malé oscilace a velký rozsah provozní frekvence. Přesnost definuje velikost chyb, kterou se řídící jednotka může dopustit. Zvýšení přesnosti můžeme docílit například použitím zpětné vazby. Pod vlastností citlivost můžeme dohledat jak intenzitu reakce systému na vstupní signál, tak ovlivnění negativním rušením (šumem). U stability nás zajímá závislost vstupu na výstupu. Pokud je vstup nulový, pak musí být i výstup nulový, poté můžeme označit řídící jednotku za stabilní. Neméně důležitou vlastností je rychlost, která popisuje dobu k dosažení stabilního stavu. [24]

**Řízení otevřenou smyčkou** na rozdíl od řízení uzavřenou smyčkou nevyžaduje použití senzorů. Na obrázku č.8 můžeme vidět, jak řízení otevřenou smyčkou vypadá. Tento typ ovládání u robotů není příliš častý. Používá se převážně pro jednodušší automatizaci, kde není potřeba měnit výstup ovladače na okolních podmínkách. S tímto řízením se setkáme například u toustovače, pračky, či sušičky. Výhodou je jednoduchost, cena či stabilita. Nevýhodou je převážně nepřesnost, nespolehlivost a nemožnost opravit změnu na výstupu. [24]




*Obrázek 8: Řízení otevřenou smyčkou [24]*

**Řízení uzavřenou smyčkou** je v robotizaci používáno častěji. Jde o řízení, při kterém zohledňujeme výstupní veličinu a podle ní upravujeme velikost veličiny vstupní. Takové zapojení nazýváme zpětnovazební a systém můžeme považovat za automatický řídící systém. [24] Principem dosažení a udržení požadovaného stavu je neustálé srovnávání vstupního (požadovaného) a výstupního (aktuálního) stavu. Na základě tohoto rozdílu (chyby) řídící systému upravuje výstupní hodnotu až do ustáleného (požadovaného) stavu. [25][26] Na obrázku č.9 je zobrazeno schéma zpětnovazebného zapojení. Při použití zpětnovazebného řízení je nutné použít senzorů. [27]




*Obrázek 9: zpětnovazebné řízení [27]*

## 2.5.2 Senzory

Senzory jsou v dnešní době nedílnou součástí robotů poskytují řídícímu systému zpětnou vazbu s informacemi o aktuálním stavu, aby mohla řídící jednotka upravit výstupní signál a správně provést určitou operaci. Úkolem senzoru je měřit určitou fyzikální veličinu a převést ji na elektrický signál, který může být dále zpracován. [28] Čidla (senzory) můžeme instalovat v případě, že potřebujeme najít polohu a orientaci předmětu, k detekování překážek a vyhnutí se kolizi, k detekci chybových stavů, monitorování interakce s prostředím, k měření změn v prostředí či kontrole výsledků. Mezi základní senzory používané v automatizaci patří hmatové, vizuální, laserové senzory a enkodéry. [29]

**Hmatové senzory**

Dotykové senzory byly vyvinuty kvůli potřebě dodat robotům hmatový vjem. V praxi se setkáváme s několika druhy: optické, kapacitní, piezoelektrické či piezorezistivní. Optické senzory využívají informací o rozptylu světla, výhodou je odolnost vůči rušení a velké prostorové rozlišení. Kapacitní získávají informaci na základě změny kapacity, výhodou je nízká energetická náročnost a prostorové rozlišení. Na principu piezoeletrického jevu (při působení vnějšího zatížení vzniká elektrický náboj) je založen piezoelektrický tlakový snímač. Tento typ má relativně malé rozlišení, ale dobrou

odezvu a velký měřicí rozsah. Piezorezistivní využívá efektu, kdy změna mechanického namáhání vyvolá změnu měrného odporu. [30]

**Vizuální senzory**

Vizuální senzory jsou v dnešní automatizaci výroby běžné. Využívají se například k detekování pohybu, kontrole či lokaci jednotlivých částí výrobku. Informace zachycená senzory je zpracována procesorem, který na základě algoritmu vyhodnotí potřebné údaje. Mezi tento typ senzorů řadíme převážně RGB, hloubkové či multispektrální kamery. [28] RGB, jak již název napovídá, využívají viditelné části spektra vlnové délky a jsou založeny na principu kombinace tří barev – červená, zelená, modrá. Za multispektrální kamery považujeme takové, které jsou schopny získávat obrazy ve viditelné i neviditelné části spektra. Hloubková kamera navíc rozpozná i vzdálenost objektů od objektivu. Nevýhodou těchto senzorů je složité zpracování dat, delší čas vyhodnocování a riziko zaclonění kouřem. [30]

**Laserové senzory**

Laserové senzory se používají převážně pro měření rychlosti, vzdálenosti či vibrací. Základem tohoto měření je vysílač a detektor, které jsou propojené měřícím obvodem. [28] Další možné využití je laserový scanner, kdy máme rozmístěné laserové senzory tak, abychom byli schopni vytvořit 3D obraz tělesa. Nevýhodou laserových senzorů je fakt, že vlnová délka může být ovlivněna teplotou, tlakem či vlhkostí okolí, tudíž tyto nežádoucí vlivy musíme kompenzovat. [30]

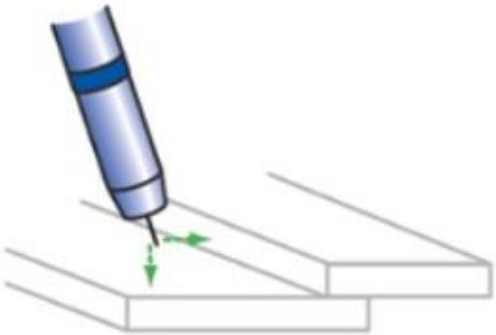
**Enkodér**

Enkodér je typ senzoru, který je zdrojem informací o poloze, úhlu či počtu otáček. Snímač mění otáčivý pohyb na elektrický signál, který může být dále zpracován v řídící jednotce (pomocí zpětnovazebného zapojení). Nejčastěji používané enkodéry jsou fotoelektrické, magnetické, indukční a kapacitní. U enkodéru se setkáváme s absolutními a relativními snímači. Absolutní měří aktuální polohu, zatímco relativní měří jen změnu polohy. [29]

### 2.5.3 Senzory používané při robotickém svařování

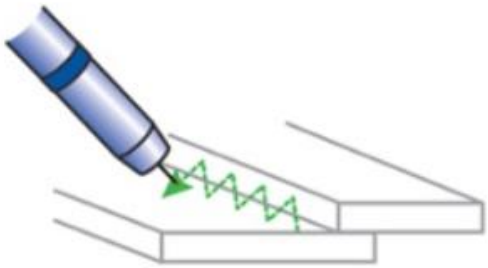
U senzorů používaných při robotickém svařování se setkáváme se čtyřmi hlavními metodami měření: dotykové, obloukové, laserové a vizuální. Úkolem těchto senzorů je kontrola geometrie svaru, lokalizace polohy svaru, měření parametrů při svařování a jejich případná změna, úprava trajektorie pohybu (v případě drobných nepřesností či natočení) či výsledná kontrola povrchu svaru. [31]

**Vyhledávání pomocí drátu** (Through-wire touch sense) je jedním ze standardních senzorických systémů používaných pro vyhledání pozice svaru. V případě dotyku drátu s povrchem svařované součásti dojde k propojení nízkonapěťového obvodu. Řídící jednotka pozici uloží a jednotlivé pozice následně propojí trajektorií. Tento typ senzoru je vhodný pro hledání orientace geometricky jednoduchých spojů. [31] Vyhledávání svarů pomocí drátu se nepoužívá pro vyhledávání spojů s malou svarovou mezerou a pro tupé svary bez úkosu. [32]



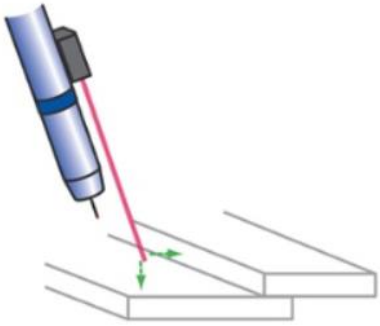
*Obrázek 10: Vyhledávání svaru pomocí dotyku drátu [32]*

**Sledování svaru pomocí oblouku** (Through-arc seam tracking) využívá senzor, který je montován v blízkosti zdroje oblouku za účelem měření charakteristik oblouku během svařování. Robot je poté schopen sám upravit naprogramovanou dráhu. Tímto senzorem můžeme dosáhnout přesnějších a kvalitnějších svarů, vyšší svařovací rychlosti a kompenzovat chybu způsobenou nepřesným upevněním.[31] Senzor je vhodný pro dlouhé či zakřivené spoje, kde je schopný kompenzovat nepřesnosti. Sledování je možné pouze u větších svarů při svařování rozkmitem. [32]



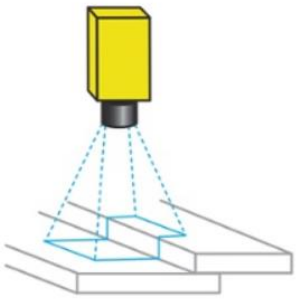
*Obrázek 11: Sledování svaru pomocí měření charakteristik oblouku [32]*

**Laserové senzory** mohou sloužit jak k měření vzdálenosti, tak k vyhledávání pozice švů. Oproti dotykovým senzorům jsou až pětinásobně rychlejší, a navíc jsou schopné sledovat svar v reálném čase.[31] Senzor samotný je umístěn na hořáku (není vhodný pro práci v těsných prostorech svařence) a není vhodný pro práci s reflexními povrchy. [32]



*Obrázek 12: Laserové systému pro sledování svaru [32]*

**Kamery** se nejčastěji používají pro nalezení polohy svaru. V případě použití kamery musíme vytvořit referenční (ideální) obraz polohy dílů. [31] Před každým svařovacím cyklem kamera zachytí polohu dílů, kterou porovná s referenčním obrazem. Na základě rozdílů upraví svařovací dráhy. Při použití kamerového systému musíme dbát na stálé světelné podmínky. [32]



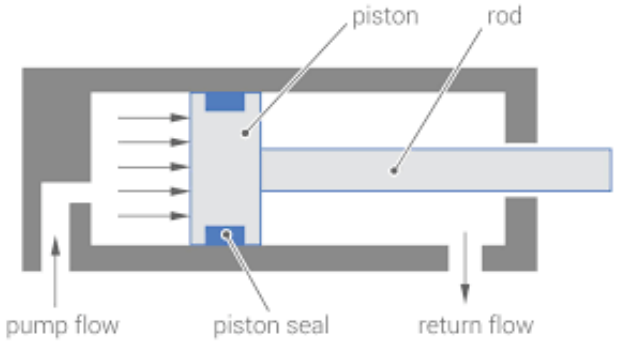
*Obrázek 13: Vyhledávání švů pomocí kamery [32]*

## 2.5.4 Aktuátory

Aktuátory jsou mechanická zařízení, která převádějí energii na pohyb či sílu. Pohyby mohou být lineární, rotační nebo oscilační. Dle používaného typu energie jsou pojmenovány tři základní druhy: elektrické, hydraulické a pneumatické. [33]

### *2.5.4.1 Hydraulický aktuátory*

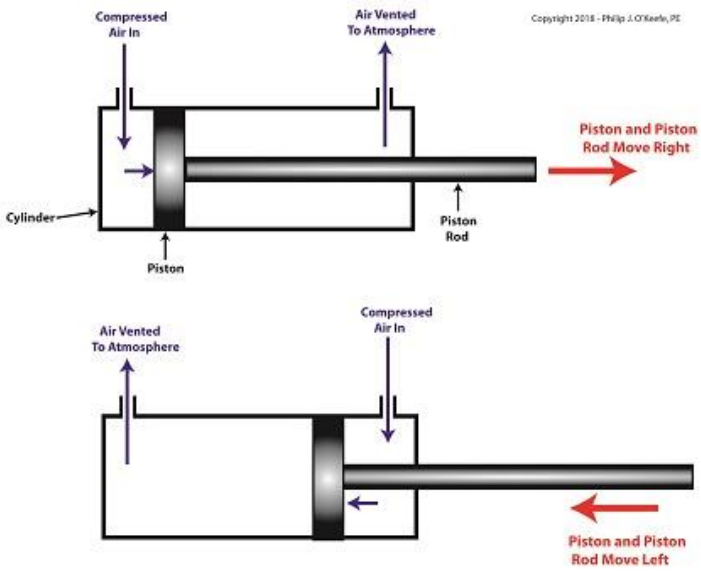
Hydraulické aktuátory převádějí tlak stlačené kapaliny na pohyb. Jsou typické velkými silami či momenty a vysokými tlaky pracovního média. Nejčastějším pracovním médiem jsou oleje, které jsou velmi obtížně stlačitelné a můžeme u nich dosáhnout až desítek MPa. Výhodou je vysoký poměr výkonu ku hmotnosti – dokážou i při menších velikostech produkovat velké síly.[34] Hydraulický aktuátor je také snadno kontrolovatelný a bezpečný. Nevýhodou je vyšší počáteční investice, nutnost údržby a možný únik pracovního média, které se považuje za kontaminant. [35]




*Obrázek 14: Hydraulický lineární aktuátor [36]*

### *2.5.4.2 Pneumatické aktuátory*

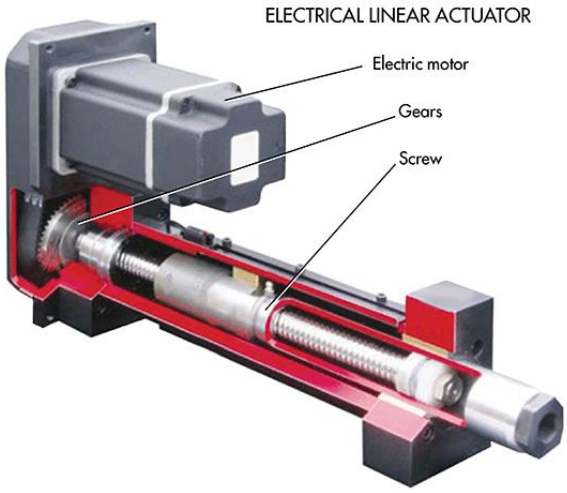
Pneumatické pohony se používají v mnoha průmyslových odvětvích. Jak již název napovídá, tento typ aktuátoru pracuje se stlačeným vzduchem, jehož energii přeměňuje na energii mechanickou. U lineárních pneumatických aktuátorů je stlačený vzduch z externího kompresoru přiveden do válce, kde pohybuje pístem. K zasunutí se používá buďto pružina nebo přivedení vzduchu na druhou stranu válce. [34] Výhodou pneumatických pohonů je bezesporu rychlost, nízká cena a jednoduchost a s tím související vysoká míra spolehlivosti. Mezi nevýhody patří omezený výkon, kratší životnost a nutnost zohledňování teploty. [35]




*Obrázek 15: Pneumatický lineární aktuátor [37]*

### *2.5.4.3 Elektrické aktuátory*

Elektrický aktuátor je čím dál častěji užívaným typem pohonu. Elektrická energie ve formě střídavého proudu je přivedena do motoru, kde se přemění na mechanickou energii. Ta je poté buďto přímo využita při rotačních pohybech nebo přeměněna na lineární pohyb. [34] Výhodou elektrických pohonů je rychlost (jedná se o přímou přeměnu elektrické energie na kinetickou energii), možnost rychlého přeprogramování a přesnost. Mezi nevýhody patří zejména nižší výkon v porovnání s pneumatickými a hydraulickými, složitost konstrukce a vyšší cena. [35]



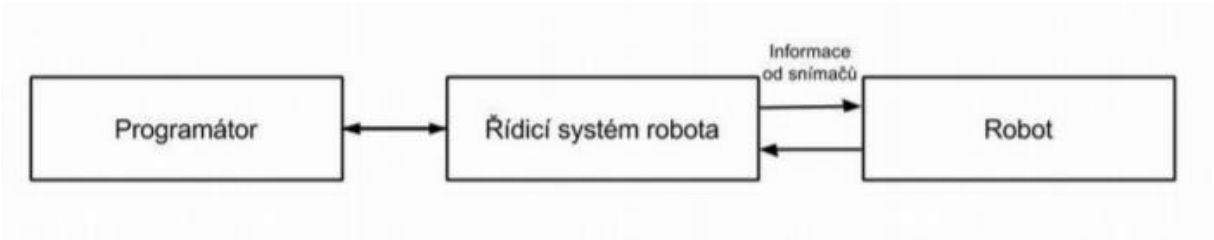

*Obrázek 16: Elektrický lineární aktuátor [34]*

# 2.6 Programování průmyslových robotů

Průmyslové roboty se řídí předem připraveným programem, který je definovaný jako posloupnost příkazů. Úkolem robota řízeného programem je vykonání požadovaného úkolu. Programování definujeme jako sestavení a tvorbu programu na základě vytvořeného algoritmu. Dle přístupu rozlišujeme dva základní druhy; on-line programování a off-line programování. [38][39]

## 2.6.1 On-line programování

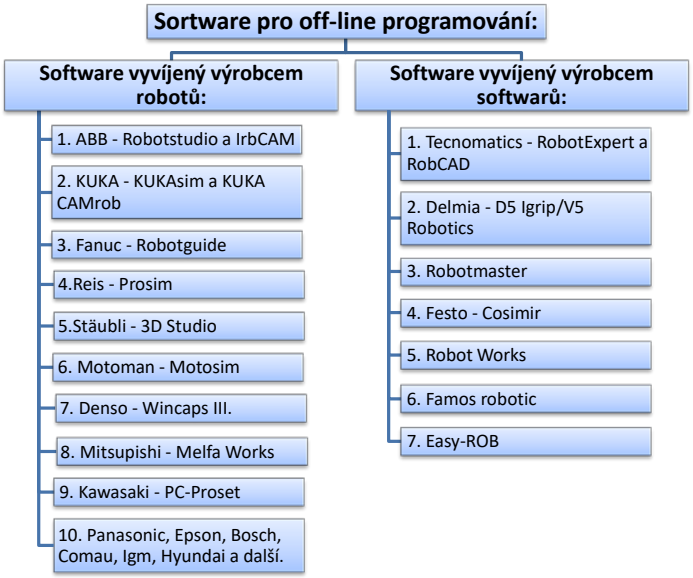
Jedná se o ruční řízení robota skrze programovací panel. U on-line programování není potřeba speciálního hardwarového či softwarového vybavení. Prvním krokem je navádění robota přes požadované manipulační body, které se průběžně ukládají do paměti. Následuje programování logické části řízení koncového efektoru a periferních zařízení a také volba rychlosti pohybů. [38] Mezi výhody patří ověření funkčnosti při práci v reálném prostředí a levný software. Nevýhodou je především odstávka pracoviště při programování a s tím související nižší produktivita a také náročnost programování složitějších pohybů. [39] Mezi dvě základní metody on-line programování patří Teach-in a Play-back. [40]



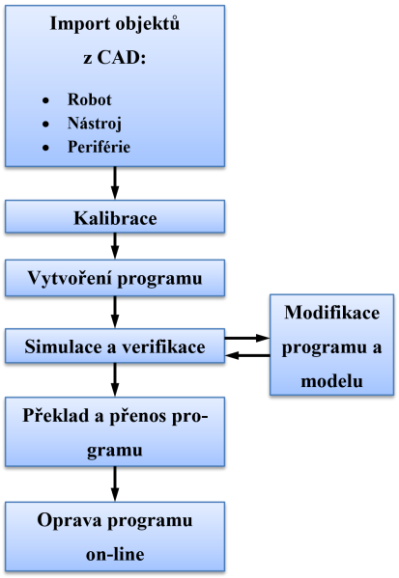

*Obrázek 17: Postup on-line programování [38]*

## 2.6.2 Off-line programování

Off-line programování využívá software, který umožní 3D simulaci robotického pracoviště. Nejdříve si z programu CAD importujeme model samotného robota, nástroje a periferií a vytvoříme pracovní prostředí. Software nám poté pomůže vytvořit optimální trajektorii tak, aby robot mohl splnit daný úkol. [38] Off-line programovací software nám umožní tento postup simulovat a zkontrolovat případné kolize. Dále exportujeme program z počítače do řídící jednotky robota. Hlavní výhodou off-line programování je vytvoření optimálního programu mimo samotné robotické pracoviště, s tím souvisí minimalizace prostojů pracoviště, a tudíž maximalizace produktivity. Výhodou je také realizace programu mimo samotné pracoviště a eliminování kolizí. Software nám také umožní otestovat dosažitelnost jednotlivých bodů. Mezi nevýhody patří vyšší investice do samotného softwaru a také nutnost poté program upravit na samotném pracovišti. Off-line programování se především používá u jednodušších aplikací. Na obr. 18. můžeme vidět druhy používaných softwarů. [39][40]




*Obrázek 19: Typy používaných softwarů [39]*




*Obrázek 18: Postup při off-line programování [39]*

# 3 Technologie svařování

Svařováním nazýváme proces vytváření nerozebíratelných spojů dvou či více součástí za použití přídavného materiálu podobného složení jako jsou spojované prvky. Při svařování spojujeme hutní polotovary (tyče, plechy, trubky a plno jiných polotovarů) do sestav, které nazýváme svařence. Výhodou svařování je velká pevnost, trvanlivost a také těsnost svařovaného spoje. Dalším důležitým parametrem je zvýšení produktivity práce a zároveň možnost poměrně rychlé realizace konstrukčních návrhů. Mezi nevýhody patří vznik nerozebíratelného spoje, změna struktury materiálu vlivem teploty či tlaku a s tím související změna mechanických vlastností, při chladnutí spoje vznik vnitřního pnutí a deformace. Při užití této technologie je potřeba vyškolených pracovníků pro samotné svařování a často také kvalifikovaných pracovníků pro kontrolu svarových spojů. [41]

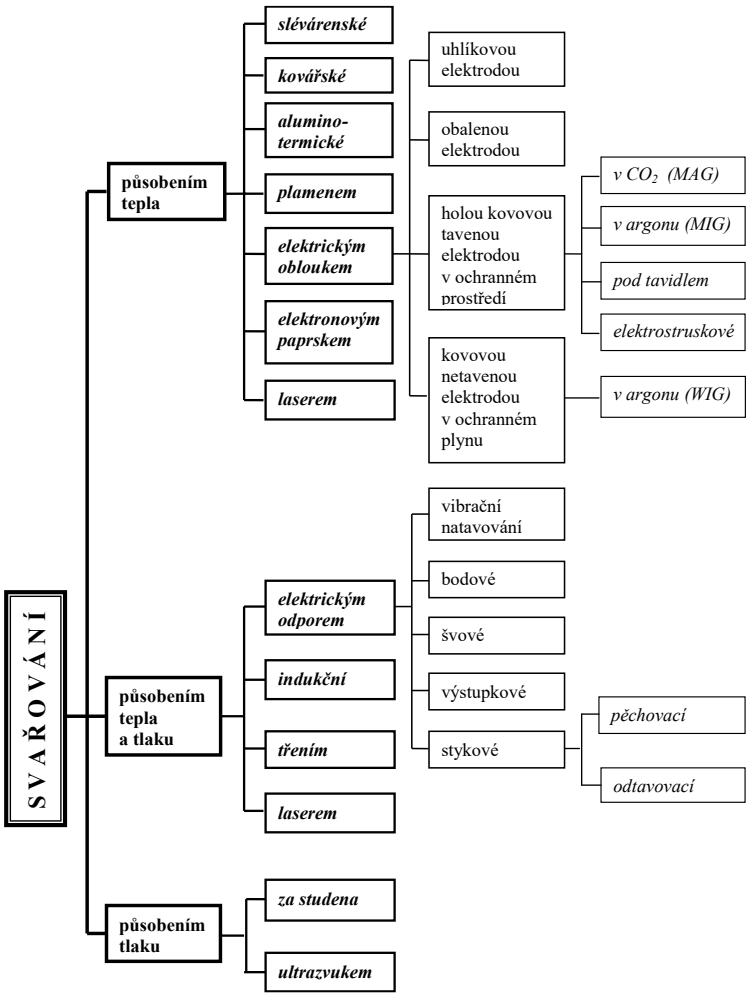
U svařování rozlišujeme tři základní druhy vzniku svarového spoje: působením tepla, působením tlaku a působením tepla a tlaku zároveň. [41]

Svařováním za působení tepla, jinak také tavným svařováním, rozumíme spojování materiálů natavením základního materiálu bez použití tlaku či rázů. Při tavném svařování obvykle využíváme

přídavný materiál, který má stejné nebo dosti podobné složení jako materiál základní. Před samotným svařováním je důležité mechanicky připravit svarové plochy a odstranit zejména rez. Při tavném svařování nejdříve vytvoříme tavnou lázeň, která vznikne promísením natavených svarových ploch základního materiálu a roztaveného přídavného materiálu. Prvním svarem vytvoříme tzv. kořen svaru, na který postupně přidáváme další housenky do vyplnění celého průřezu svaru. Důležitou charakteristikou svaru je tzv. hloubka závaru, která udává hloubku promísení přídavného materiálu do materiálu základního. Při tavném svařování musíme brát v potaz také deformace a změnu struktury způsobenou rozdílem teplot v tepelně ovlivněné oblasti. [41]

Mezi svařování za působení tepla a tlaku řadíme metody, u kterých využíváme tepla k natavení svarových ploch a tlaku k vytvoření samotného svaru. Do této metody řadíme například svařování elektrickým odporem, stykové, bodové, švové či výstupkové svařování. [41]

Podstatou svařování za působení tlaku je vzájemné přiblížení spojovaných součástí na takovou vzdálenost, aby mohlo dojít k interakci mezi atomy obou ploch. Takového stavu dosáhneme velkou silou, respektive velkým tlakem. Při dostatečném tlaku dochází k difúzi, při které se vytvoří vazby mezi atomy obou spojovaných ploch. Při tlakovém svařování je oblast ovlivněna výraznou plastickou deformací. Stejně jako u tavného svařování (svařování za působení tepla) musí být povrchy před svařením zbaveny nečistot. [41]




*Obrázek 20: Přehled a rozdělení svařování [41]*

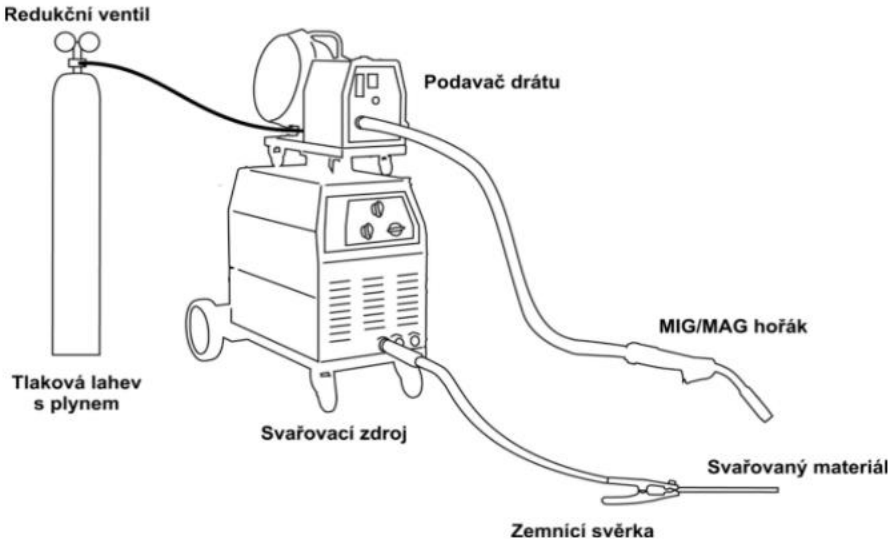
# 3.1Svařování metodou MIG/MAG

Zkratkami MIG a MAG označujeme svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře plynu, který může být inertní (MIG) nebo aktivní (MAG).[42] Elektrický oblouk, který vzniká mezi svařencem a drátovou elektrodou, vytváří dostatečné teplo k natavení drátu a svarových ploch. Vzniklá svarová lázeň je chráněna ochranným plynem, který buďto napomáhá procesu svařování nebo jej chrání před okolní atmosférou. [41] Jedná se o poloautomatické svařování, protože přídavný materiál je kontinuálně přiváděn do místa svařování. [43]

Výhodou svařování MIG/MAG je možnost svařovat ve všech svařovacích polohách, vysoká produktivita, nižší nároky na odstranění strusky, nízká cena plynu, možnost automatizace a viditelnost oblouku a svarové lázně. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena, náročnější obsluha svařovacího zdroje, vyšší nároky na údržbu a riziko odfouknutí ochranného plynu. [41][42]

U svařování metodou MAG (metal active gas) hoří elektrický oblouk mezi přídavným materiálem (drátem o průměru 0,8-2,4 mm) a svařencem.[41] Elektrický oblouk a svarová lázeň jsou chráněny aktivní atmosférou oxidu uhličitého, směsí argonu a kyslíku, nebo směsí oxidu uhličitého, kyslíku a argonu. Výhodou oxidu uhličitého je nízká cena, snadná dostupnou a dobrý průvar, ale vzhledem k možnosti vzniku karbidů a oxidů je používán především při hobby svařování. Je vhodný pro nelegované a nízkolegované konstrukční oceli. Směs argonu a oxidu uhličitého je o něco dražší, ale vykazuje lepší kvalitu svaru a produktivitu svařování. Použití této směsi je stejné jako u čistého oxidu uhličitého. Směs argonu a kyslíku se používá zejména pro svařování nerezových ocelí a jiných vysocelegovaných ocelí. [42] Úkolem aktivního plynu je vstupovat do chemických reakcí ve svarové lázni a zároveň zamezit přístupu vzduchu. [43] Ke svařování potřebujeme zdroj stejnosměrného proudu s kladnou polaritou elektrody. [41]

Svařování metodou MIG je velice podobné svařování metodou MAG. Elektrický oblouk hoří mezi plynule dodávanou drátovou elektrodou (o průměru 0,8-2,4 mm) a svařencem v ochranné atmosféře inertního plynu. [41] Nejpoužívanějším inertním plynem ve svařování je argon, který je vhodný zejména pro svařování hliníkových materiálu, měděných slitin či titanu. Dále se používá směs argonu a helia, která je běžná u automatizované svařování metodou MIG. Tyto inertní plyny se neúčastní chemických reakcí při svařování a jejich hlavním úkolem je chránit svarovou lázeň před vzduchem. [42] Stejně jako u metody MAG se svařuje stejnosměrným proudem s kladnou polarizací elektrody. [41]




*Obrázek 21: Schéma zapojení při svařování metodou MIG/MAG [43]*

# 4 Návrh robotizovaného svařovacího pracoviště

Cílem této části bakalářské práce bude navrhnout robotizované svařovací pracoviště, které musí být schopno svařit dva níže uvedené díly.

Důležité je vzít v potaz, že svařence se čas od času nepatrně rozměrově nebo uspořádáním jednotlivých částí změní, tudíž je potřeba počítat s rezervou při návrhu pracoviště. Zjednodušeně řečeno musíme při návrhu pracoviště počítat s tím, že větší díl může být požadován ve větších rozměrech (řádově jednotky až desítky centimetrů).

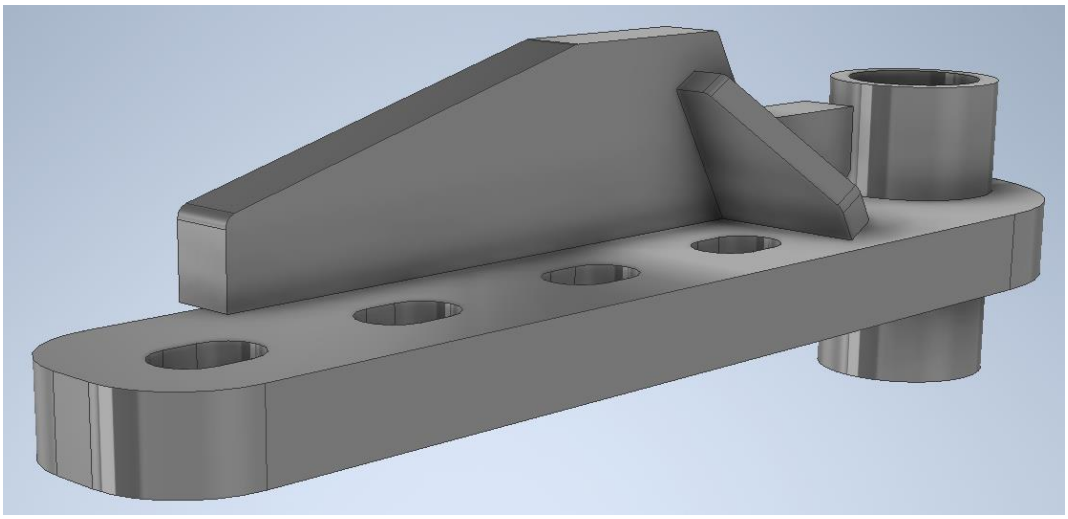
Robotizované svařovací pracoviště je navrhováno pro malou kovovýrobu VLČEK a syn a je nutné počítat s občasnými výpadky objednávek, tudíž další důležitou vlastností pracoviště bude jeho univerzálnost. Pracoviště se budeme snažit navrhnout co nejlevněji, ale nebudeme se v práci zabývat přesnými částkami, protože výrobci robotů či příslušenství obvykle ceny neuvádí. Neméně důležitým parametrem pro výběr finálního pracoviště bude jeho efektivita. Pracoviště musí být také řádně zabezpečené a musí vyhovovat všem bezpečnostním požadavkům. Samotná bezpečnost by byla nad rámec bakalářské práce, tudíž bezpečností prvky budu volit po dohodě s konzultantem z firmy NYTRON.

V případě robotizovaného svařování je důležité mít díly vyrobené s dostatečnou přesností, aby pasovaly do přípravku, a zároveň aby robot následně mohl svařovat s požadovanou přesností a kvalitou. Z tohoto důvodu u každého dílu uvedu v krátkosti postup výroby, abychom měli představu o přesnosti jednotlivých dílů.

## 4.1 Svařence pro robotizované pracoviště

### 4.1.1 Díl 1

Jedná se o malý svařenec, který váží 7,6kg. Při ručním svařování takového výrobku v malých sériích je důležité vytvořit přípravek pro přesné umístění jednotlivých svařovaných dílů.

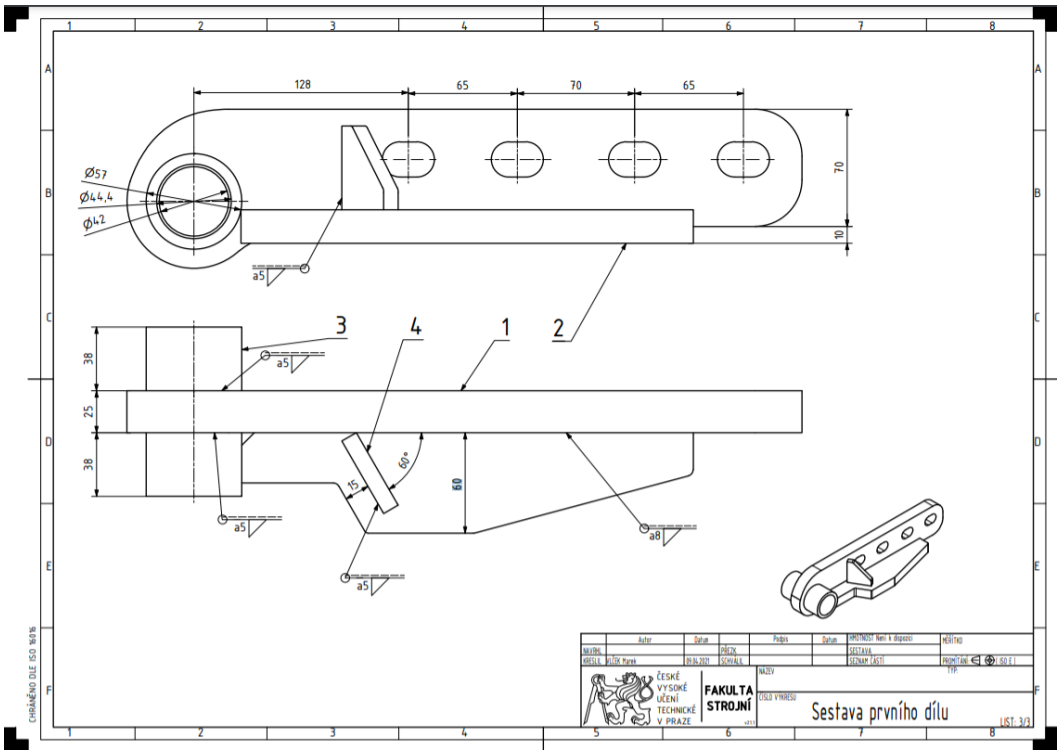


*Obrázek 22: Model prvního svařence*

Při ručním svařování se u tohoto svařence používá přípravek, který má za úkol pouze přesné umístění dílů, nikoliv zachycení deformačních sil a pnutí, které vznikají při svařování. Užívaný přípravek slouží k založení, upnutí a následnému nastehování a zaručuje dobrou opakovatelnost s danou přesností. Po nastehování vyjmeme výrobek z přípravku a pokračujeme v samotném svařování. Důležité je nastehovaný výrobek přes samotným svařováním vyjmout z přípravku, protože svařování nepřímo způsobí velké deformační síly, které by mohly přípravek poškodit. Svařenec musíme po svaření vyrovnat a začistit.

Při automatizaci svařování pomocí robota bychom mohli použít obdobný proces, založení, upnutí a následné nastehování buďto robotem přímo na pracovišti nebo si tento proces předpřipravit ručním stehováním. Svaření nastehovaného dílu by proběhlo bez přípravku za pomocí robota a následně by bylo opět nutné takto svařený díl vyrovnat.

Nákladnější ale efektivnější možností by bylo vytvoření přípravku, který nezaručí pouze přesnost a opakovatelnost, ale také dostatečnou tuhost pro zachycení deformačních sil a pnutí. Svařovací přípravek musí mít vyšší tuhost než svařenec, aby mohl zachytit deformační síly a pnutí. Takový přípravek bude těžký, mohutný a zároveň taky nákladný na výrobu a návrh. Správně navržený svařovací přípravek zachytí deformační síly a po svaření nebude nutnost svařenec vyrovnávat a dojde k ušetření času.

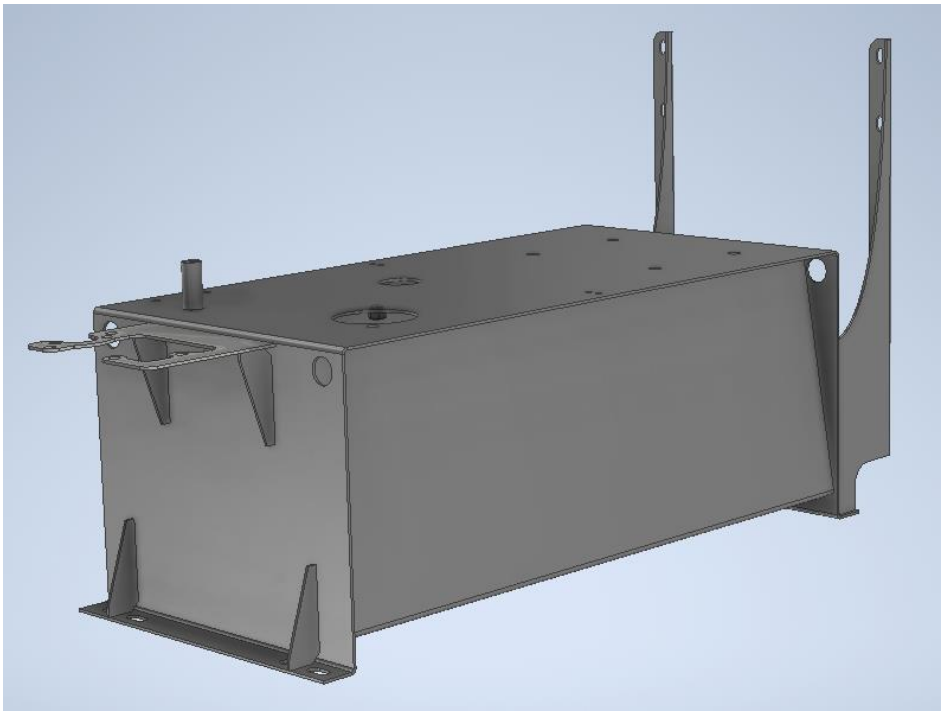



*Obrázek 23: Výkres sestavy prvního dílu*

První svařenec se skládá ze čtyř různých dílů. Pozice 1 a 2 jsou výpalky. Pozice 1 je vypálená na autogenu z plechu tloušťky 25 mm z materiálu S355. Dále je potřeba výpalek odjehlit, vyvrtat díru ⌀41,5 a v případě potřeby vyrovnat. Pozice 2 je vypálená též na autogenu ale tentokrát z plechu tloušťky 20 mm z materiálu S355, dále odjehlená a vyrovnaná. Pozice 3 je uříznutá na pásové pile z TR.⌀57x6,3 S355 z šestimetrového polotovaru na délku 38 mm. Dále srazíme hrany a jedno čelo zarovnáme. Pozice 4 je vypálená na plazmě z plechu S355 tloušťky 10 mm a odjehlená.

## 4.1.2 Díl 2

Druhý svařenec je rozměrově větší, váží 38 kg a jedná se o složitější konstrukci pro svařování. Navíc je zde požadavek na vodotěsné svary, protože se jedná o nádrž pro kapalinu.



*Obrázek 24: Model druhého dílu*

Ačkoliv se tyto nádrže vyrábí v malých sériích, tak při ručním svařování nebylo použito žádného speciálního přípravku. Samozřejmostí je použití upínek a svěrek. Při ručním svařování si svářeč nejdříve nastehoval veškeré díly a poté celou nádrž svařil.

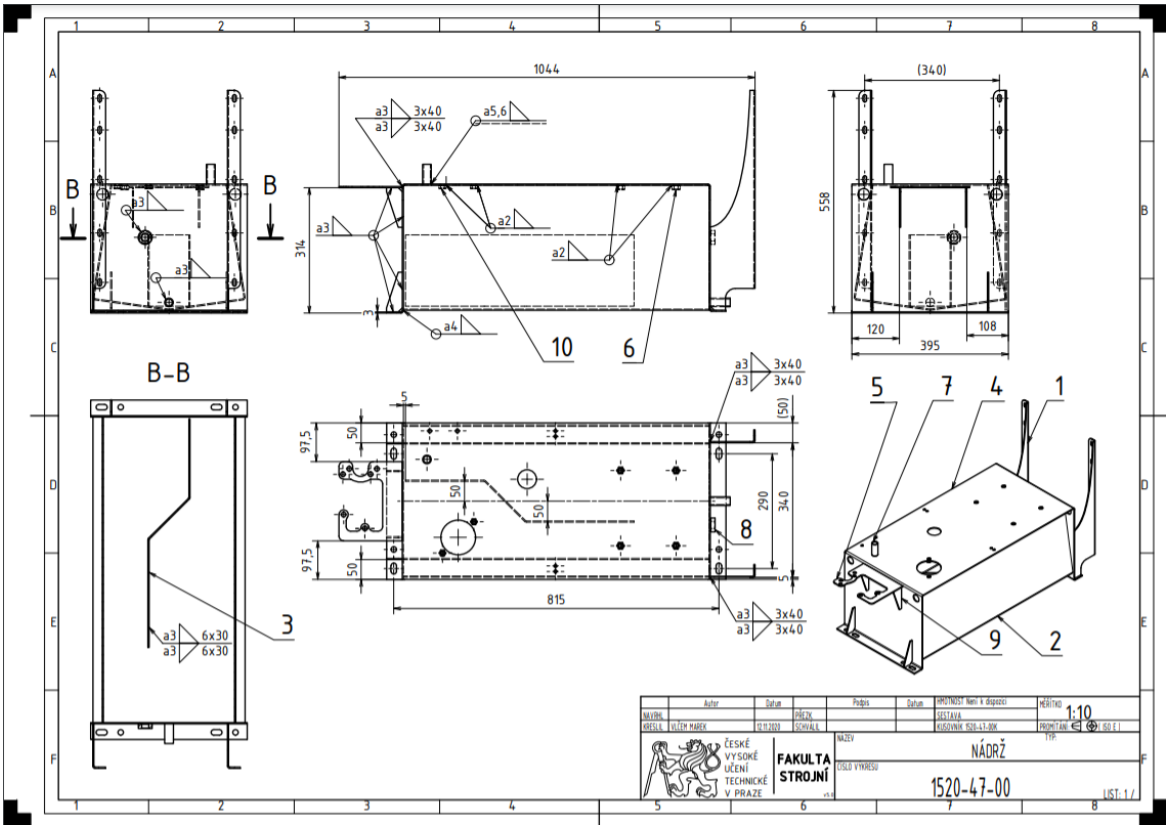
V případě sváření nádrže na robotizovaném svařovacím pracovišti je nutné si uvědomit, že nejdříve je potřeba si zkompletovat vnitřní část nádrže, ke které se poté již nedostaneme. To znamená, že v případě potřeby automatizace takového procesu, bychom potřebovali minimálně tři různé přípravky.

První přípravek by sloužil k přivaření matic (pozice 6 a 10) k vrchní části nádoby (pozice 4). Vzhledem k tomu, že se jedná dohromady o 6 matic, tak upevňování do přípravku a následné robotizované svařování by bylo ekonomicky i časově nevýhodné. Důležité je taky poznamenat, že matice navazují na díry v horní části nádrže, tudíž není potřeba složitého vyměřování, kam matice usadit, a přípravku v případě ručního svařování není třeba. Po automatizaci svařování této části bychom mohli sáhnout v případě výroby velkých sérií či nedostatku svářečů.

Druhý přípravek bychom poté museli použít k přivaření vlnolamu (pozice 3) k samotnému dnu nádoby (pozice 2). U vlnolamu nemusíme dbát na přesné umístění ke dnu nádoby a zároveň nám zde stačí přerušovaný svar. Robotizace svařování by byla v tomto případě opět nevýhodná a časově náročnější.

Třetí a finální operací by bylo spojení spodní (pozice 2) a vrchní části nádoby (pozice 4) vodotěsným svarem a přivařením ostatních dílů k pozici 4, a to konkrétně pozice 1, pozice 5, pozice 7 a pozice 9. Jednou z možností je všechny díly nastehovat ručním svařováním a následně samotné svařování provést na robotizovaném pracovišti již bez přípravku, respektive s odebráním části

přípravku, která by bránila robotu. K nastehování by mohl stačit nějaký jednoduchý přípravek, resp. více přípravků. Druhou volbou by mohlo být vytvoření přípravku, který by nám umožnil svařovat vše na robotizovaném pracovišti. U takového přípravku musíme dbát na výbornou opakovatelnost, dostatečnou tuhost, abychom kvůli kompenzaci deformačních sil nezničili samotný přípravek (vzhledem k menším svarům budou deformační síly menší než v porovnání s předchozím dílem), a také si musíme dát pozor na to, aby se robot se svařovací hubicí dostal bez problému ke všem svarům. Tento fakt je jedna z věcí, která může v některých případech dosti odlišit přípravek používaný pro ruční svařování a přípravek používaný pro robotizované svařování.




*Obrázek 25: Výkres sestavy druhého dílu*

Nádrž je svařená dohromady z 10 dílů. Pozice 1 se pálí plazmou z plechu materiálu S235 a tloušťky 3 mm a poté se na ohraňovacím lisu ohýbá. Spodní část nádrže (pozice 2) je z mořeného plechu tloušťky 3 mm a také se pálí na plazmě. Poté je potřeba tento díl odjehlit a ohnout. Ze stejného plechu jako je spodní část nádoby si vypálíme také vlnolam (pozice 3), poté tento díl odjehlíme a ohneme opět na ohraňovacím lisu. Pozice 4 je též vypálená plazmou, odjehlená a ohnutá. Pozice 5 je řezaná laserem kvůli přesnosti z plechu S235 tloušťky 6 mm a následně odjehlená. Díl číslo 7 je nařezaný na pásové pile z trubky o ⌀22x2,5 materiálu S235 na délku 50 mm. Pozice 8 je také nařezaná na délku 14 mm na pásové pile z materiálu S235. Polotovarem je kulatina o ⌀35. Na soustruhu poté srazíme čelo a hranu pod úhlem 45° a vysoustružíme trubkový závit R1/2“. Pozice 9 je vypálená z plechu S235 tloušťky 3 mm a následně odjehlená. Pozice 8 a 10 jsou koupené matice velikosti M10 a M12.

# 4.2 Svařovací časy

Velice důležité v případě pořizování robotizovaného svařovacího pracoviště je zjistit, zda se nám svařování dílů na pracovišti vůbec vyplatí. V této kapitole porovnáme časy ručního svařování s dobou svařování na robotizovaném pracovišti. Lépe řečeno nebudeme porovnávat časy samotného svařování, protože to by se lišilo jen málo, ale celý proces související se svařování (tzn. upevnění, manipulace, svařování, vyjmutí a vyrovnání). U ručního svařování bude nejjednodušší vzít čas praxí podložený, tzn. skutečnou dobu, kterou svářeči trvá zhotovení jednoho svařence včetně upevnění, přípravy, manipulace, svařování, vyjmutí a vyrovnání. U robotizovaného pracoviště použijeme doporučené rychlosti svařování pro jednotlivé svary a z nich dopočítáme dobu svařování konkrétních svarů. Manipulační časy robota budeme odhadovat a konzultovat s programátorem pracoviště z firmy NYTRON. V případě svařování robotem využijeme přibližně 80 % času k samotnému svařování a pouze zbylých 20 % k manipulaci (přemístění robota), tudíž při odhadu vznikne jen malá nepřesnost.

## 4.2.1 Díl 1.

**Ruční svařování**

U ručního svařování je těžké počítat čas svařování, protože každý svářeč používá jiné parametry a s tím souvisí i rychlost svařování. Samotné svařování přitom tvoří pouze cca 25 % potřebného času k zhotovení dílu. Časy, které bychom vypočítali u ručního svařování, by byly jen orientační, proto raději vezmeme čas zjištěný při dlouhodobé výrobě těchto výrobků. V tabulce uvedené níže uvedeme průměrné časy, za které je schopen svářeč díly nastehovat (včetně upevnění, manipulace), svařit (včetně manipulace, případného přeupevnění) a následně vyrovnat.

| | |
|---|---|
| Stehování dílu ručně | 360 s |
| Ruční svařování | 1416 s |
| Vyrovnání dílu | 90 s |
| Výsledný čas | 1866 s (31 min 6 s) |

*Tabulka 1: Časová náročnost při ručním svařování dílu č.1*

**Robotizované svařování s předchozím ručním nastehováním**

V případě robotizovaného svařování s předešlým ručním nastehováním počítáme s tím, že se nám nevyplatí vyrobit přípravek pro robota. Samotné heftování svařence provádí svářeč na jiném pracovišti či obsluha pracoviště v mezičase, kdy robot svařuje. Musíme však počítat s možností, že obsluha pracoviště nevlastní svářečský průkaz, tudíž budeme v samotných výpočtech výsledného času brát v potaz čas, který svářeči zabere stehování tohoto dílu (čas na stehování je podložený dlouhodobou výrobou těchto dílů). Nastehovaný díl již upneme na samotné pracoviště, samotné upnutí nám zabere necelou minutu, ale tento čas do výsledného času nezapočteme, protože zatímco na jednom pracovišti díl upevňujeme, na druhém robot sváří. To stejné bude platit i pro vyjmutí dílu.

| | |
|---|---|
| Stehování dílu ručně | 360 s |
| Upnutí dílu | ----- |
| 2x Poz.3 – Poz.1, koutový a5, 43 cm/min | 50 s |
| Manipulace Poz.3 – Poz.1 | 6 s |
| Poz.4 – Poz.1, koutový a5, 39 cm/min | 15 s |
| Poz.4 – Poz.2, koutový a5, 39 cm/min | 17 s |
| Manipulace Poz.4 – Poz.1, Poz.4 – Poz.2 | 4 s |
| Poz.2 – Poz.1, koutový a8, 18 cm/min | 87 s |
| Manipulace Poz.2 – Poz.1 | 12 s |
| Vyrovnání dílu | 90 s |
| Výsledný čas | 641 s (10 min 41 s) |

*Tabulka 2: Časová náročnost při ručním stehování a robotizovaném svařování dílu č.1*

**Robotizované svařování včetně robotizovaného stehování**

Postup je velice podobný robotizovanému svařování s ručním stehováním, jen stehování jednotlivých pozic dělá robot namísto svářeče. Po nastehování dílu musíme odstranit upínky, aby při svařování robotu nepřekážely. U robotizovaného svařování můžeme také navrhnout přípravek tak, abychom mohli díly před svářením předepnout. Navržení takového přípravku je sice dražší, ale může nám ušetřit čas potřebný k vyrovnání dílů. V následující tabulce je porovnání robotického svařování s přípravkem bez předepnutí a s předepnutím.

| | |
|---|---|
| Upnutí dílu | ----- |
| Stehování dílu robotem | 40 s |
| Odstranění upínek (stop pracoviště) | 30 s |
| 2x Poz.3 – Poz.1, koutový a5, 43 cm/min | 50 s |
| Manipulace Poz.3 – Poz.1 | 6 s |
| Poz.4 – Poz.1, koutový a5, 39 cm/min | 15 s |
| Poz.4 – Poz.2, koutový a5, 39 cm/min | 17 s |
| Manipulace Poz.4 – Poz.1, Poz.4 – Poz.2 | 4 s |
| Poz.2 – Poz.1, koutový a8, 18 cm/min | 87 s |
| Manipulace Poz.2 – Poz.1 | 12 s |
| Vyrovnání dílu | 90 s |
| Výsledný čas | 351 s (5 min 51 s) |
| Výsledný čas bez vyrovnání | 261 s (4 min 21 s) |

*Tabulka 3: Časová náročnost robotizovaného stehování a svařování dílu č.1*

## 4.2.2 Díl 2.

**Ruční svařování**

Časy u ručního svařování se velice těžko odhadují, proto budeme tyto časy brát stejně jako u prvního dílu z praxe.

| | |
|---|---|
| Stehování dílu ručně | 1260 s (21 min) |
| Ruční svařování | 5520 s (92 min) |
| Kontrola vodotěsnosti a svarů | 600 s (10 min) |
| Výsledný čas | 7380 s (123 min) |

*Tabulka 4: Časová náročnost ručního svařování dílu č.2*

**Robotizované svařování s předešlým ručním stehováním**

V případě robotizovaného svařování s předešlým ručním nastehováním počítáme s tím, že se nám nevyplatí vyrobit přípravek pro robota. Samotné heftování svařence provádí svářeč na jiném pracovišti či obsluha pracoviště v mezičase, kdy robot svařuje. Musíme však počítat s možností, že obsluha pracoviště nevlastní svářečský průkaz, tudíž budeme v samotných výpočtech výsledného času brát v potaz čas, který svářeči zabere stehování tohoto dílu. Nastehovaný díl již upneme na samotné pracoviště, samotné upnutí nám zabere nějaký čas, ale tento čas do výsledného času nezapočteme, protože zatímco na jednom pracovišti díl upevňujeme, na druhém robot sváří. To stejné bude platit i pro vyjmutí dílu.

| | |
|---|---|
| 2x Poz.10 + 4x Poz.6 – Poz.4, koutový a2, ruční | 300 s (5 min) |
| Poz.3 – Poz.2, přerušovaný koutový a3, ruční | 180 s (3 min) |
| Stehování dílu ručně | 1260 s |
| Upnutí dílu | ----- |
| 2x Poz.1 – Poz.4, koutový a3, 45 cm/min | 122 s |
| Manipulace Poz.1 – Poz.4 | 8 s |
| Poz.8 – Poz.4, koutový a3, 50 cm/min | 13 s |
| Manipulace Poz.8 – Poz.4 | 2 s |
| Poz.7 – Poz.4, koutový a3, 50 cm/min | 8 s |
| Manipulace Poz.7 – Poz.4 | 2 s |
| Poz.2 – Poz.4, koutový a4, 43 cm/min | 483 s |
| Manipulace Poz.2 – Poz.4 | 4 s |
| Poz.7(2.) – Poz.4, koutový a3, 50 cm/min | 8 s |
| Manipulace Poz.7(2.) – Poz.4 | 4 s |
| 4x Poz.9 – Poz.4, koutový a3, 45 cm/min | 128 s |
| Manipulace 4x Poz.9 – Poz.4 | 8 s |
| Poz.5 – Poz.4, koutový a3, 45 cm/min | 32 s |

| | |
|---|---|
| Manipulace Poz.5 – Poz.4 | 5 s |
| Kontrola vodotěsnosti a svarů (v mezičase) | 600 s |
| Výsledný čas | 3167 s (52 min 47 s) |
| Výsledný čas při kontrole v mezičase | 2567 s (42 min 47 s) |

*Tabulka 5: Časová náročnost při ručním stehování a robotizovaném svařování dílu č.2*

**Robotizované svařování včetně robotizovaného stehování**

Postup je takřka totožný s robotizovaným svařováním s předešlým ručním stehováním, pouze se pokusíme vytvořit přípravek vhodný na robota, který nám umožní výrazně zkrátit čas stehování. Předešlé dvě operace (svařování Poz.10, Poz.6 a Poz.3) opět necháme svařovat ručně, protože se takové svařování pro robota nehodí. Opět počítáme s tím, že při upínání dílu robot sváří na druhém pracovišti, proto s upínacím časem počítat nebudeme.

| | |
|---|---|
| 2x Poz.10 + 4x Poz.6 – Poz.4, koutový a2, ruční | 300 s (5 min) |
| Poz.3 – Poz.2, přerušovaný koutový a3, ruční | 180 s (3 min) |
| Upnutí dílu | ----- |
| Stehování dílu robotem | 70 s |
| Odstranění upínek, případně části přípravku | 90 s |
| 2x Poz.1 – Poz.4, koutový a3, 45 cm/min | 122 s |
| Manipulace Poz.1 – Poz.4 | 8 s |
| Poz.8 – Poz.4, koutový a3, 50 cm/min | 13 s |
| Manipulace Poz.8 – Poz.4 | 2 s |
| Poz.7 – Poz.4, koutový a3, 50 cm/min | 8 s |
| Manipulace Poz.7 – Poz.4 | 2 s |
| Poz.2 – Poz.4, koutový a4, 43 cm/min | 483 s |
| Manipulace Poz.2 – Poz.4 | 4 s |
| Poz.7(2.) – Poz.4, koutový a3, 50 cm/min | 8 s |
| Manipulace Poz.7(2.) – Poz.4 | 4 s |
| 4x Poz.9 – Poz.4, koutový a3, 45 cm/min | 128 s |
| Manipulace 4x Poz.9 – Poz.4 | 8 s |
| Poz.5 – Poz.4, koutový a3, 45 cm/min | 32 s |
| Manipulace Poz.5 – Poz.4 | 5 s |
| Kontrola vodotěsnosti a svarů (v mezičase) | 600 s |
| Výsledný čas | 2067 s (34 min 27 s) |
| Výsledný čas při kontrole v mezičase | 1467 s (24 min 27 s) |

*Tabulka 6: Časová náročnost při robotizovaném stehování a svařování dílu č.2*

# 4.3 Návrh koncepce

## 4.3.1 Základní komponenty pracoviště

**Robot**

Základem každého robotizovaného pracoviště je robot. V případě svařovacích pracovišť se ohlížíme po šestiosých, případně sedmiosých robotech vhodných ke svařování, v našem případě postačí šestiosý svařovací robot. Při výběru je nutné zvolit robota s vhodným dosahem, dostatečným maximálním zatížením a také potřebnou opakovatelnou přesností. Při přidání sedmé osy je důležité znát taky hmotnost samotného robota. Mezi známé výrobce svařovacích šestiosých robotů patří FANUC, ABB, KUKA, NACHI, anebo další jako Panasonic či Motoman.

**Polohovadlo**

Polohovadlo je nutné volit s ohledem na svařence, které na pracovišti chceme dělat. V našem případě stačí jednoosá polohovadlo s malou nosností a horizontální osou rotace. Polohovadlo je tvořené rotační jednotkou na jednom konci a podpěrným ložiskem na konci druhém. Při svařování tvarově složitějších svařenců či nutnosti svařovat v obtížněji dostupných místech je vhodné zvolit dvouosé polohovadlo.

**Lineární pojezd**

Existuje široká nabídka pojezdů pro robota, která se liší nosností, přesností či délkou jednotlivých segmentů, ze kterých dráhu skládáme. Můžeme volit dráhu umístěnou na zemi nebo na podpěrných nosnících. Dle váhy robota vybereme pojezd s dostatečnou nosností a následně i přesností. Při svařování, kdy pojezd slouží jen k přemístění robota z pracoviště na druhé pracoviště, nemusíme mít důraz na přesnost.

**Svařovací zdroj, podavač drátu a hořák**

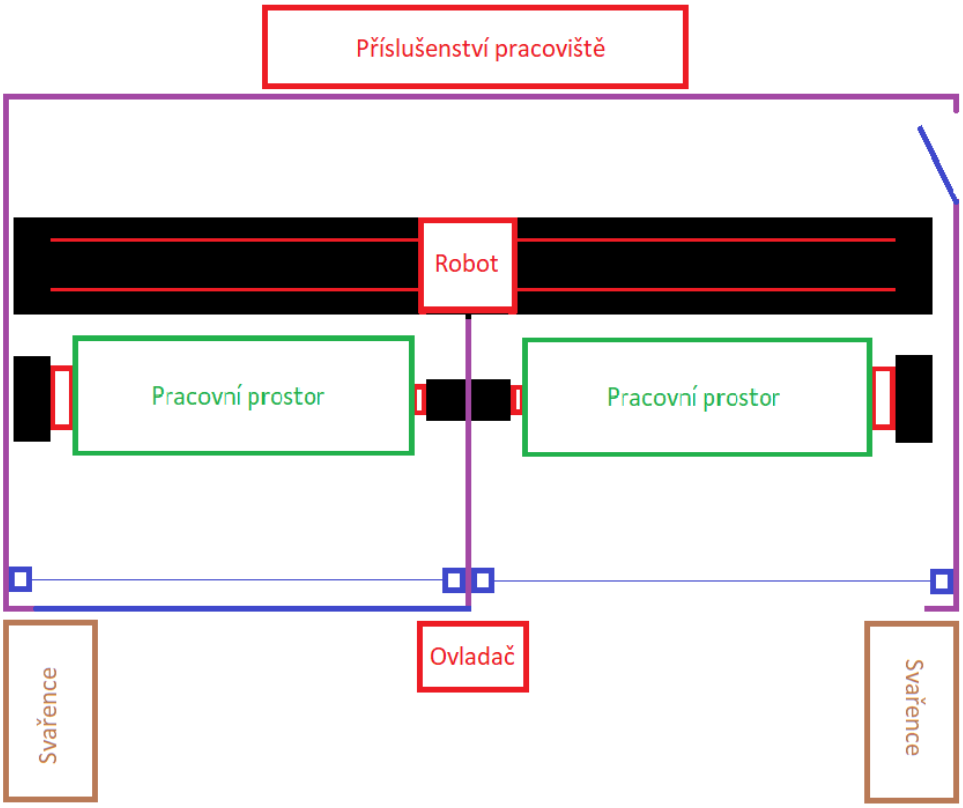
Od svařovacího zdroje požadujeme komunikaci s řídící jednotkou robota a také schopnost rychlé reakce na její povely. Součástí zdroje je obvykle i podavač drátu. Od hořáku požadujeme dlouhou životnost, robustnost, udržení výkonu při dlouhých svařovacích cyklech a s tím související dobré chlazení a kompatibilitu s robotem.

**Bezpečnostní prvky**

Součástí každého robotizovaného pracoviště budou též bezpečnostní prvky. Mezi základní bezpečnostní prvky patří světelné závory, bezpečnostní dveře vybavené bezpečnostním zámkem a bezpečnostním dveřním spínačem, tlačítka total stop, pevné zábrany, skenery a plno dalších.

## 4.3.2 Varianta č.1

Jedná se o jedno ze standardních průmyslových řešení robotizovaných svařovacích pracovišť. Pracoviště je vybaveno šestiosým svařovacím robotem navíc doplněným o lineární pojezd, který robotu přidává sedmou osu. Lineární pojezd je připevněn na rám ve tvaru písmena E, na kterém jsou současně připevněna i jednoosá polohovadla (mohou být i dvouosá). Pracoviště je navrženo tak, abychom co nejvíce snížili prostoje robota. Zatímco robot sváří v jednom pracovním prostoru, obsluha pracoviště v druhé části vyjímá svařence a rovná je na paletu a poté připravuje (upevňuje do přípravku) svařované součástky. Svařované díly jsou umístěny na paletách. U pracoviště počítáme i s nutností manipulace s těžšími svařenci pomocí jeřábu, proto volíme posuvná vrata v přední části pracoviště, která slouží převážně k ochraně proti záření a zamezení přístupu nepovolaným osobám i obsluze. Ovládání samotné pracoviště se nachází v bezpečném prostoru před pracovištěm. Celé příslušenství je umístěné v tomto případě za pracovištěm, ale je možné ho přesunout například vedle pracoviště.

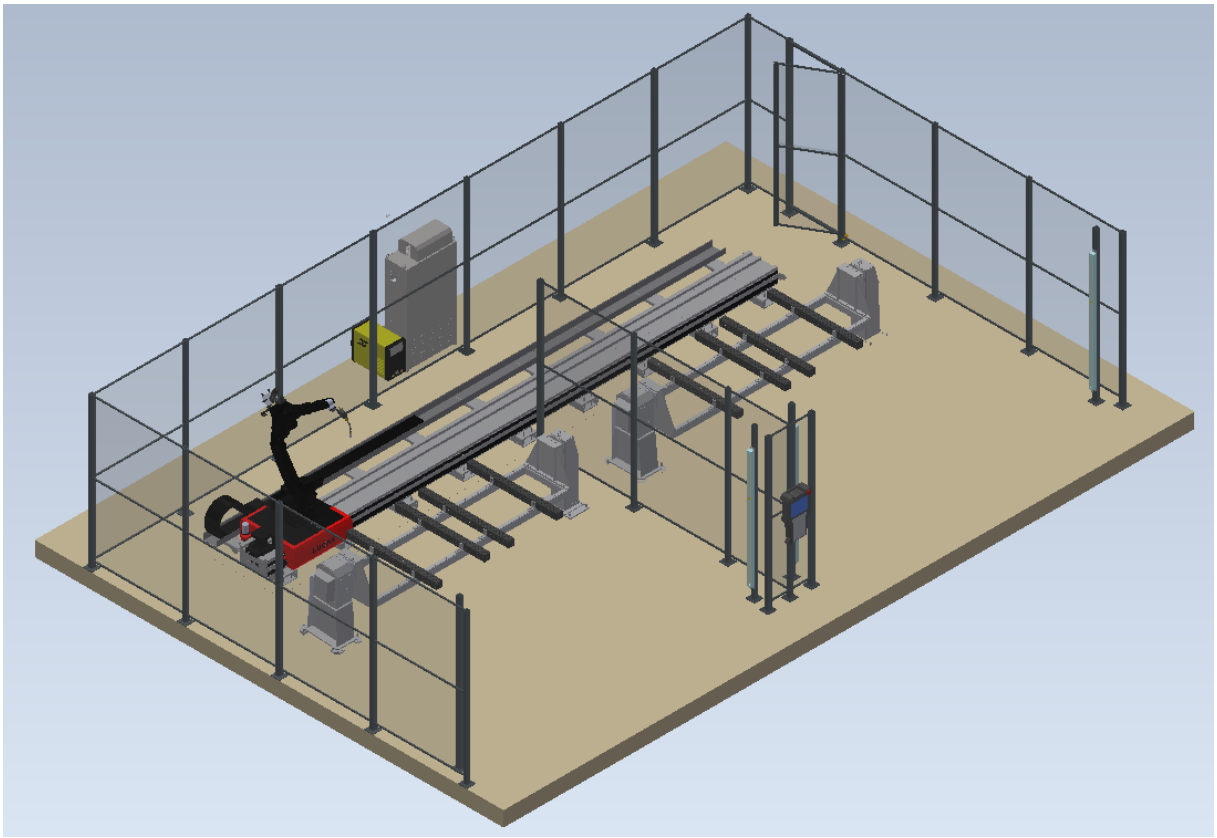



*Obrázek 26: Nákres varianty č.1*

**Bezpečnost**

Pracoviště je navrženo tak, aby odpovídalo bezpečnostním předpisům dle normy ČSN EN ISO 10218-1, ČSN EN ISO 10218-2. Příslušenství pracoviště se nachází za robotem a je k němu přístup skrze bezpečností dveře vybavené bezpečnostním zámkem a bezpečnostním dveřním spínačem. Úkolem bezpečnostních dveří je zabránění vstupu do nebezpečného prostoru při chodu a zároveň brání samovolnému uzamčení v případě, že obsluha se nachází uvnitř pracoviště. V případě, že by i přesto došlo k uzamčení osoby uvnitř pracoviště a započal by pracovní cyklus robota, na vnitřní straně dveří se nachází tlačítko total stop, které v případě zamáčknutí zajistí okamžité zastavení pracovního cyklu. Celé pracoviště je dále obehnáno pevnými zábrany, které tvoří naprosto základní bezpečnostní

opatření každého svařovacího pracoviště. Úkolem zábran je zabránit přístupu nepovolaným osobám či obsluze do míst s hrozícím nebezpečím a zároveň zamezit úniku záření při svařování. V přední části pracoviště jsou posuvná vrata, která mají stejný bezpečnostní význam jako pevné zábrany. Vrata uzavírají vždy část pracoviště, ve které probíhá pracovní cyklus. Ovladač celého pracoviště je umístěný mezi pracovními prostory tak, aby obsluha viděla do obou nebezpečných prostorů. Před každým spuštěním pracovního cyklu je úkolem obsluhy zajistit, aby se nikdo nenacházel v části, kde se chystá spustit onen pracovní cyklus. Tuto povinnost obsluhy je možné nahradit například bezpečnostním laserovým skenerem, jehož úkol je kontrolovat přítomnost osoby v pracovním a nebezpečném prostoru. V případě zjištění přítomnosti osoby laserový skener zamezí spuštění pracoviště. Při absenci laserového skeneru je nutné pohlídat, aby od chvíle, kdy obsluha vydá pokyn k zahájení pracovního cyklu (tudíž s tím související zavření vrat), se žádná osoba nedostala dovnitř. K tomu slouží bezpečností světelné závory, které musí být v dostatečné vzdálenosti od nebezpečného prostoru, aby mohly včas zastavit pracovní cyklus. Světelné závory by byly důležité i v případě použití svařovacích závěsů namísto posuvných vrat. Pro případ selhání bezpečnostních prvků či obsluhy nainstalujeme do obou nebezpečných prostorů tlačítko total stop, které okamžitě zastaví pracovní cyklus. Důležité je bezpečnostní pojištění robota, že neohrozí obsluhu na pracovišti, kde zrovna dochází k upevňování dílů do přípravku. Toho docílíme například dvěma světelnými závorami mezi pracovišti či senzory umístěnými na lineárním vedení robota.



*Obrázek 27: 3D model varianty č.1*

**Výhody návrhu**

Výhodou této koncepce je možnost rozšířit pracoviště o další dva pracovní prostory na druhé straně robota. Toto rozšíření může sloužit například k nastehování dílů před samotným svařováním. V tomto případě bychom ale museli dořešit bezpečnost pracoviště a takové řešení není časté. Další výhodou návrhu je univerzálnost. Sedmá osa robota nám umožní také svařování dlouhých svařenců, čehož můžeme při drobné úpravě pracoviště jednoduše dosáhnout. Důležité je, aby byl rám tvaru E rozebíratelný a přizpůsobitelný velikosti svařenců (respektive aby polohovadla nebyla pevně přidělaná

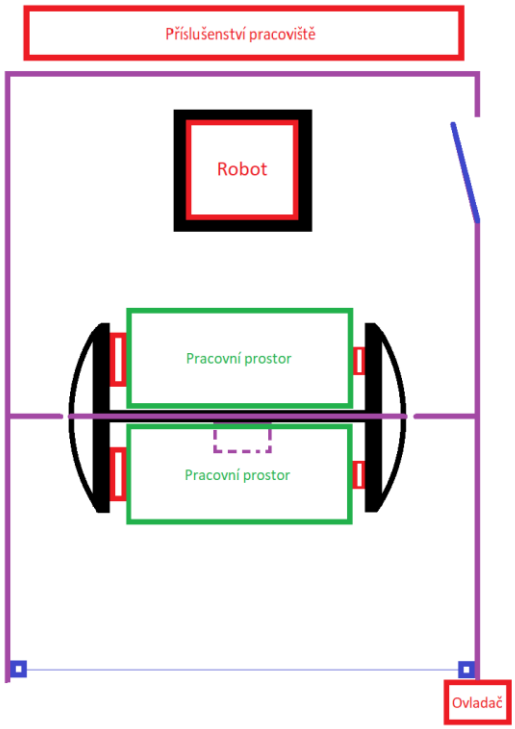
k rámu). Sedmá osa robota nám též zajistí lepší přístupnost k obtížněji přístupným svarům. Lineární pojezd nám umožní vybrat robota s menším maximálním dosahem, než by bylo třeba u zbývajících dvou pracovišť.

**Nevýhody návrhu**

Nevýhodou konceptu je vyšší pořizovací cena (právě kvůli sedmé ose robota. Za další nevýhodu pak můžeme považovat nutnost většího volného prostoru pro realizaci.

### 4.3.3 Varianta č.2

Varianta č.2 využívá opět šestiosého svařovacího robota, který je ale tentokrát umístěn na pevném podstavci. Za samotným robotem se nachází veškeré příslušenství k pracovišti a přístup k němu je skrze bezpečnostní dveře umístěné na straně. Před robotem se nachází otočný stůl ve tvaru písmena H, na kterém jsou umístěny dvě jednoosá polohovadla (mohou být i dvouosá). Pracovní prostory odděluje ocelová zábrana, která chrání obsluhu před zářením a robotem samotným. Obsluha na jedné části otočného stolu vyjímá hotové svařence a následně připravuje díly ke sváření, zatímco na druhé straně robot sváří dle navoleného programu. Před pracovištěm se nachází palety s díly potřebnými pro svařování a také paleta pro hotové svařence. Ovladač celého pracoviště je umístěn před pracovištěm z důvodu bezpečnosti.

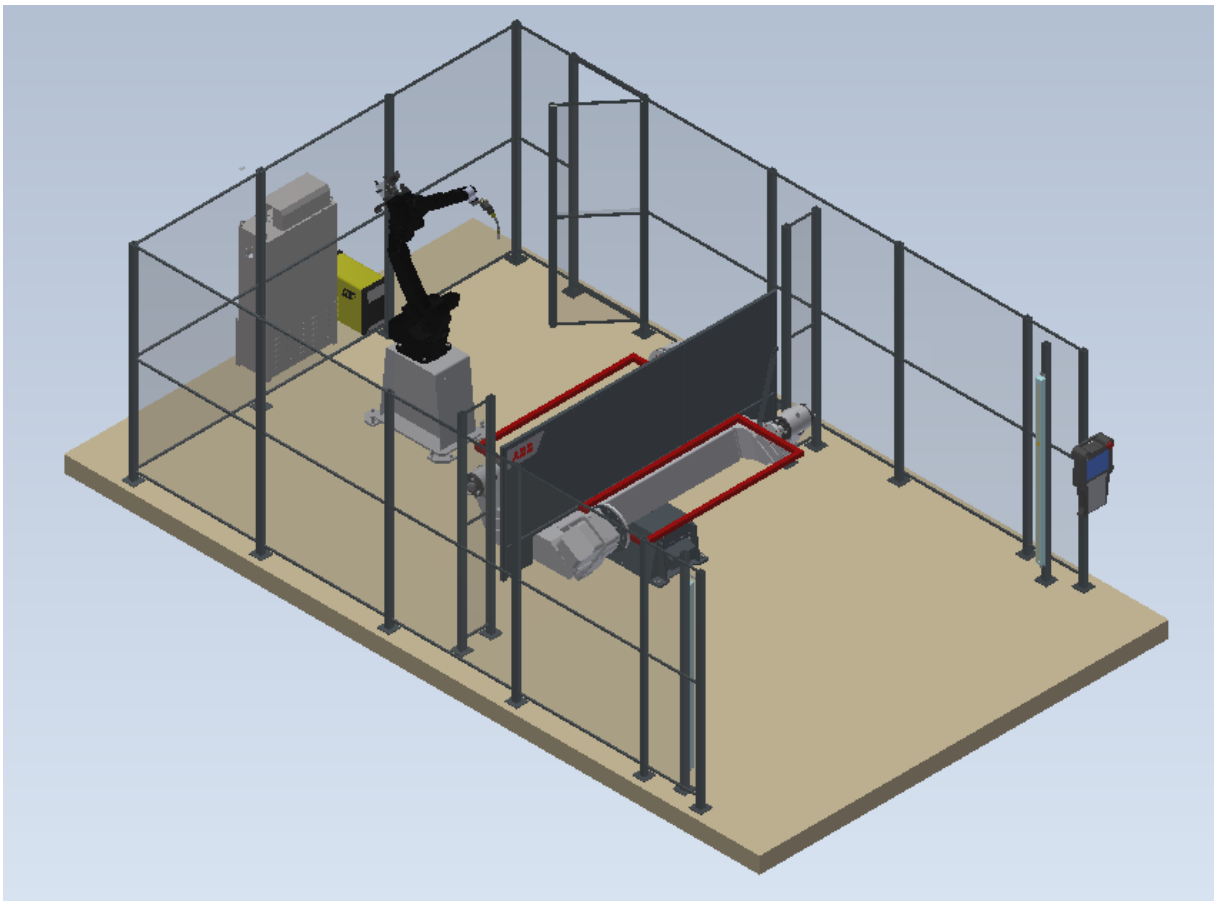



*Obrázek 28: Nákres varianty č.2*

**Bezpečnost**

Pracoviště je navrženo tak, aby odpovídalo bezpečnostním předpisům dle normy ČSN EN ISO 10218-1, ČSN EN ISO 10218-2. Přístup k samotnému robotu a příslušenství celého pracoviště je skrze bezpečnostní dveře opatřené bezpečnostním zámkem a bezpečnostním dveřním spínačem. V případě jakéhokoliv selhání se uvnitř pracoviště (v části, kde se nachází robot a příslušenství) nachází tlačítko

total stop, které neprodleně zastaví pracovní cyklus. Celé pracoviště je obestavěno pevnými zábrany. Jejich úkolem je zamezit vstupu osob a zároveň chránit před nebezpečným zářením, které vzniká jako vedlejší produkt při sváření. Ovládání pracoviště se nachází v přední části v dostatečné vzdálenosti od stolu. Nebezpečný prostor na straně otočného stolu je monitorován skenerem umístěným pod otočným stolem. Funkcí skeneru je porovnávat aktuální obraz pracoviště s nadefinovaným (tj. navolený obraz od výrobce). Když se tyto dva obrazy pracoviště neshodují, tedy nachází-li se v prostoru cizí objekt, skener neumožní otočení stolu. V tomto případě je ještě vhodné v dostatečné vzdálenosti umístit světelné závory. Úkolem světelných závor je hlídat vstup do nebezpečného prostoru v místech, která jsou pro skener skrytá. Například místa za umístěným regálem či paletou. V pracovním prostoru, kde probíhá vyjímání a příprava dalších dílů, se nachází také tlačítko total stop.



*Obrázek 29: 3D model varianty č.2*

**Výhody návrhu**

Výhodou řešení je efektivnost v případě výroby jednoho svařence. Obsluha nemusí přecházet z pracoviště k jinému pracovišti. Mezi další výhodu bychom mohli počítat snadný přístup k robotu při jeho servisu (polohovadlo je daleko a robot se nenachází na sedmé ose). Za výhodu můžeme také považovat jednoduché odclonění pracoviště.

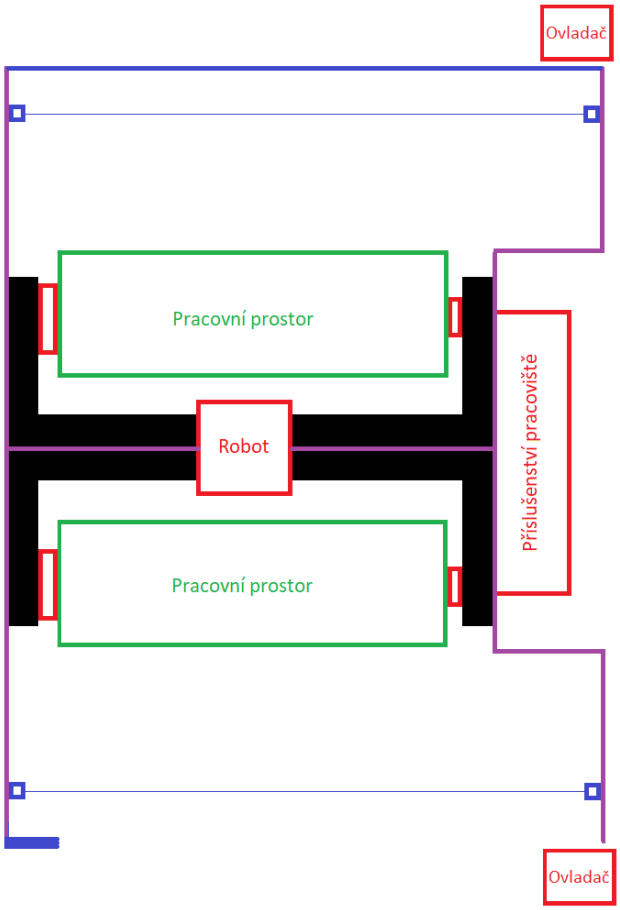
**Nevýhody návrhu**

Nevýhodou je nutnost použít robota s větším dosahem, musíme totiž počítat s protočným průměrem stolu při otáčení, a tudíž robota umístit dostatečně daleko od polohovadla. S tím je spojená i vyšší pořizovací cena robota. Další nevýhodou je potřeba svařovat na obou pracovních prostorech stejný či podobný svařenec (například pravý a levý díl) z důvodu umístění palet pro díly a svařence. Zatímco u varianty č.1 a č.3 můžeme ke každému pracovišti dát paletu s jinými díly, u tohoto pracoviště by se nám těžko umístily do pracoviště dvě palety s různými díly a další dvě palety pro svařence. Za

další nevýhodu by se dala považovat univerzálnost pracoviště. Pracoviště nemůžeme snadno přestavět pro větší svařence. Problémem by byl dosah robotu a také nás limituje velikost protočného průměru.

### 4.3.4 Varianta č.3

Základem návrhu je opět šestiosý robot pevně umístěný uprostřed rámu tvaru písmena H. Na každé straně robota se nachází jedno pracoviště. Stejně jako u minulých dvou pracovišť je i toto navrhnuté tak, aby na jedné části robot svářel a na druhé obsluha vyjímala a následně připravovala díly ke sváření. Součástí pracoviště jsou jednoosá (případně dvouosá) polohovadla umístěná na rámu. Celý rám opět můžeme navrhnout rozebíratelný, tudíž můžeme přizpůsobit například vzdálenost osy polohovadla od robota. U každého pracoviště se nachází palety s díly ke sváření a také palety pro hotové svařence. Ovládání celého pracoviště je umístěno vně pracoviště tak, aby obsluha měla přehled o všem, co se uvnitř pracoviště děje.

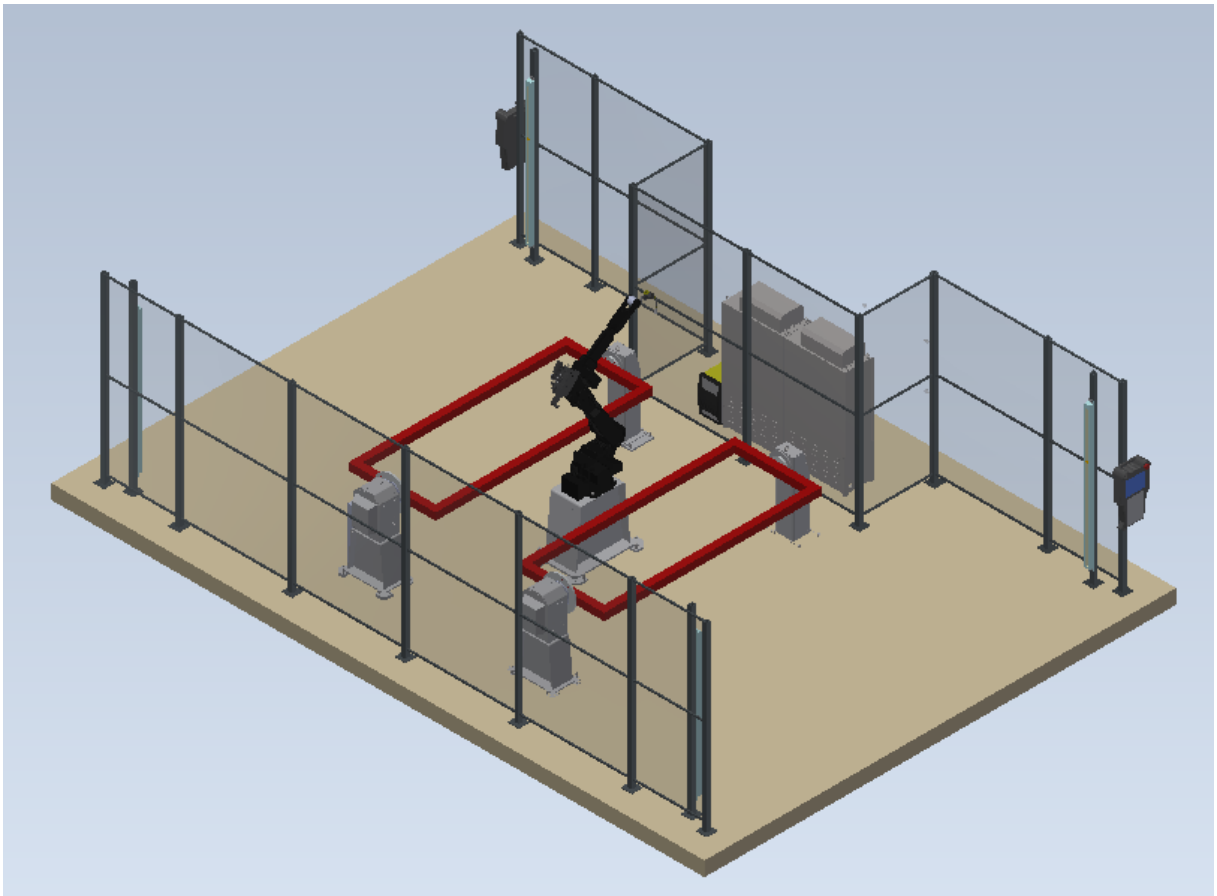



*Obrázek 30: Nákres varianty č.3*

**Bezpečnost**

Pracoviště je navrženo tak, aby odpovídalo bezpečnostním předpisům dle normy ČSN EN ISO 10218-1, ČSN EN ISO 10218-2. Důležité bude u tohoto pracoviště vyřešit odclonění mezi dvěma pracovišti. Jednou možností je vložit mezi polohovadlo a robota výsuvnou stěnu, která ochrání obsluhu před zářením z druhého pracoviště. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost počítat s větší vzdáleností mezi robotem a polohovadlem. Potřebujeme zajistit, aby clona robota neomezovala při sváření na druhé straně a zároveň aby nezasahovala do druhého pracovního prostoru. Výsledkem by byla nutnost

použít robota s větším dosahem, než by byl potřeba pro takové pracoviště s jedním pracovním prostorem. Druhou možností je navrhnout clonu uprostřed mezi dvěma pracovními prostory. Problémem je vyřešit clonu kolem robota. V tomto případě budeme muset vytvořit jakousi obálku kolem robota, která bude chránit prostupu záření mezi dvěma pracovišti. Důležité je, aby tato clona byla hladká a nemohla se o ní obsluha případně zranit. Pracoviště je stejně jako u předešlých dvou návrhů kolem dokola obehnáno ochranným plotem, který brání úniku záření a zároveň vstupu osob do nebezpečných prostorů. Oba vstupy do pracoviště jsou v tomto případě chráněny pouze před únikem záření pomocí svařovacích závěsů. Opět bychom zde mohli využít i posuvná vrata, která by nám ale v tomto případě pracoviště zvětšila. U každého pracoviště bychom využili světelné závory, které musí být v dostatečné vzdálenosti od nebezpečného prostoru a v případě přerušení světelného paprsku pracoviště zastaví. Ovladač se nachází před pracovištěm v místě, odkud obsluha vidí celý prostor pracoviště. Uvnitř obou pracovišť se nachází tlačítko total stop.



*Obrázek 31: 3D model vartianty č.3*

**Výhody**

Výhodou pracoviště je možnost svařování dvou odlišných svařenců (na každém pracovišti jeden). Další výhodou je nižší pořizovací cena, protože zde nepotřebujeme sedmou osu robota.

**Nevýhody**

Mezi nevýhody patří složitější zabezpečení prostupu záření z jednoho pracoviště na druhé. Jak již bylo výše zmíněno, tak bezpečnost nám u tohoto návrhu značně oddálí osu polohovadla od robota, a tudíž jsme nuceni použít robota s větším dosahem. Za nevýhodu bychom mohli také považovat menší univerzálnost pracoviště v porovnání s variantou č.1. Ačkoliv rám samotný je rozebíratelný a pracovní prostor zvětšit tím pádem můžeme, tak problémem bude dosah robota, který je pevně umístěn na rámu. Takové řešení nebude vhodné pro svařování dlouhých svařenců.

# 4.4 Finální výběr robotizovaného pracoviště

Při finálním výběru pracoviště je důležité vzít v potaz veškeré výhody a nevýhody jednotlivých pracovišť a srovnat je dle důležitosti. Důležité při rozhodování je poukázat na fakt, že se jedná o robotizované pracoviště pro malou kovovýrobu, která vyrábí desítky, maximálně stovky kusů svařenců měsíčně.

**Univerzálnost**

Počet objednaných kusů je každý měsíc rozdílný a tomu musíme přizpůsobit návrh samotného pracoviště. Musíme zajistit možnost svařování i rozměrově odlišných výrobků, abychom zajistili stálý provoz na navrženém pracovišti. Z hlediska univerzálnosti jasně vede varianta č.1, která nám umožní pracovní prostor zvětšit dle naší potřeby. Výhodou této varianta je bezesporu možnost svařování dlouhých výrobků, protože máme robota přidělaného na lineárním pojezdu. Pracoviště je zároveň navržené tak, abychom mohli měnit vzdálenost mezi polohovadly. Na druhé místo z pohledu univerzálnost umístíme variantu č.3. U této koncepce můžeme změnit vzdálenost mezi polohovadly, což nám umožní upevnění dlouhých svařenců. Limitováni jsme však dosahem robota, který je pevně připevněný k rámu. Nejméně univerzální pracoviště je pracoviště č.2. U této varianty máme pevně danou vzdálenost polohovadel kvůli protočnému průměru.

**Efektivita**

Z hlediska efektivity výroby by na prvním místě byla varianta č.2 s otočným stolem. Výhodné takové pracoviště bude v případě, že budeme svařovat časově nenáročné díly (u dvou dalších variant obsluha musí přebíhat mezi dvěma pracovišti a v případě krátkých svařovacích časů by se výrazně snížila efektivita výroby). Za nevýhodu ale můžeme považovat možnost svařování pouze jednoho dílu najednou. Obsluha zde připravuje díly ke sváření na stejném místě pro obě polohovadla, a tudíž by bylo komplikované svařovat dva různé výrobky najednou, například kvůli možné záměně dílů či nedostatku prostoru pro díly na dva různé svařence. Z hlediska efektivity je na druhém místě varianta č.1, kde obsluha musí přecházet mezi dvěma pracovišti. Nejméně efektivní v případě kratších svařovacích časů by bylo pracoviště č.3, kde obsluha musí pro přípravu dílů obejít celé pracoviště. Ačkoliv se efektivita pracoviště nezdá natolik důležitá, protože svařovací časy robotů budou velice podobné u všech pracovišť, musíme ji zahrnout do hodnocení kvůli pohodlí obsluhy pracoviště.

**Bezpečnost**

Pracoviště jsou navržena tak, aby odpovídala bezpečnostním předpisům dle normy ČSN EN ISO 10218-1, ČSN EN ISO 10218-2. Nejjednodušší z pohledu bezpečnosti bude varianta č.1, kde nám stačí pouze světelné závory, bezpečnostní dveře, tlačítka total stop a pevné zábrany. Část zodpovědnosti připadá na obsluhu pracoviště, jejíž úkolem je hlídat, aby se nikdo nenacházel v nebezpečném prostoru v momentě, kdy obsluha pracoviště spustí. Varianta č.1 je tedy sice z pohledu bezpečnosti nejjednodušší, ale bezpečnost je závislá i na obsluze. V případě varianty č. 2 s otočným stolem musíme instalovat pod otočný stůl skener, který je výrazně nákladnější, ale neumožní spustit pracoviště v případě cizího předmětu v nebezpečném prostoru. Důvodem k užití skeneru je fakt, že polohovadlo je v tomto případě více nebezpečné než samotný svařovací robot. Přidáním skeneru snížíme zodpovědnost obsluhy. S nejvíce komplikovanou bezpečnostní se setkáme u pracoviště č.3, které musíme zabezpečit stejně jako první variantu, ale navíc musíme počítat s nutností chránit obsluhu před zářením z druhého pracovního prostoru, kde se v tu chvíli sváří. Jak již bylo výše zmíněno oba způsoby zabezpečení nám buďto zhorší dosah robota nebo nám částečně omezí jeho pohyb.

**Celková velikost pracoviště**

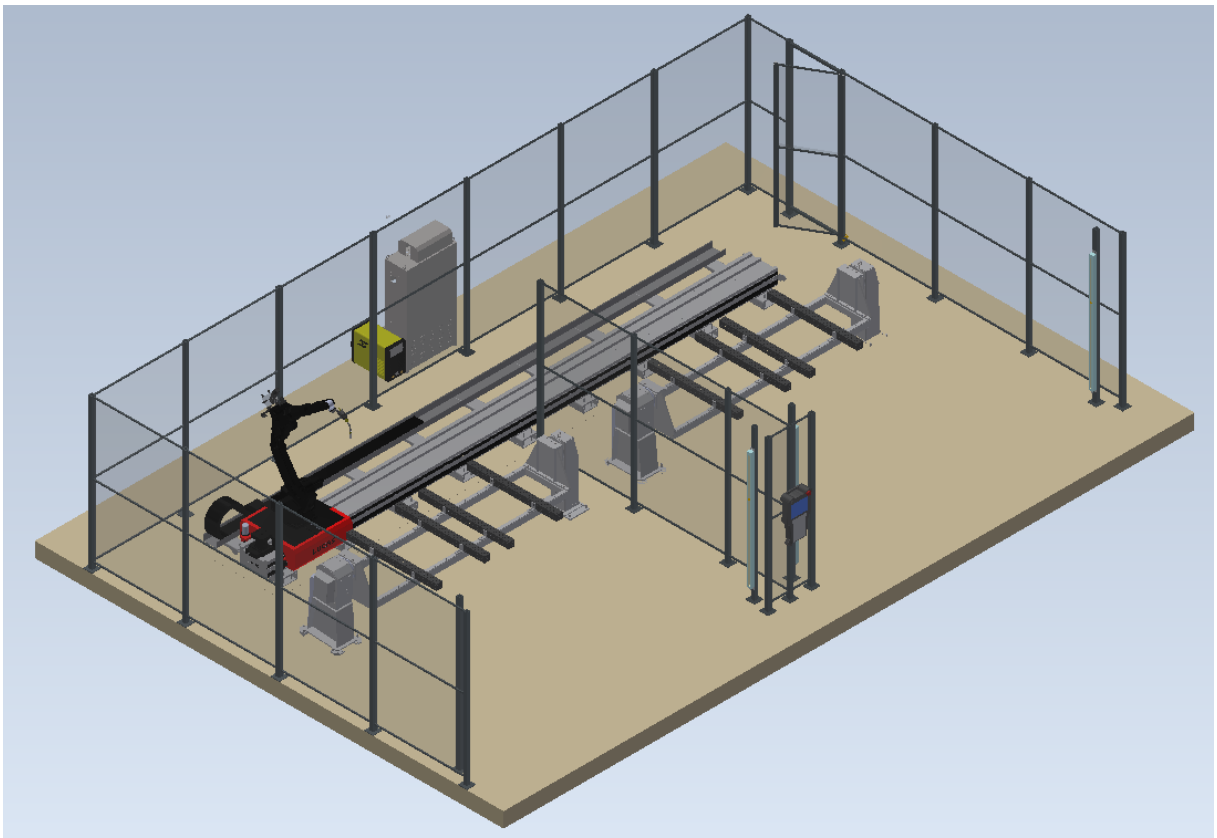
Největším pracovištěm by bylo pracoviště č.1, které v případě realizace bychom udělali alespoň s šestimetrovým pojezdem kvůli možnost svařování dlouhých kusů. Nutné je celé pracoviště obehnat pevnými zábrany v dostatečné vzdálenosti od robota a polohovadel, aby nedošlo k nárazu robota do zábran. Dále je nutné počítat s umístěním příslušenství pracoviště mimo samotné pracoviště, abychom k příslušenství měli dobrý přístup. Je také nutné uvažovat velikost nebezpečné zóny, která je definována normou, a podle toho umístit světelné závory dostatečně daleko od polohovadel. Varianta č.3 je na tom z pohledu bezpečnosti (pevné zábrany a světelné závory) obdobně. Musíme si dát pozor, aby nemohlo dojít ke kontaktu polohovadla či robota s pevnými zábrany a zároveň musíme umístit světelné závory dostatečně daleko od polohovadla. Rozměrově je varianta č.3 výhodnější z důvodu umístění polohovadel blízko sebe a zároveň také kvůli pevnému umístění robota, což nám ale oproti předchozí variantě omezí dosah robota. Velikostí nejmenší je varianta č.2, kde nebezpečný prostor, který musíme zabezpečit světelnou závorou a skenerem, se nachází pouze na jedné straně. Nutností je také robota umístit dostatečně daleko od otočného stolu kvůli protočnému průměru. Ačkoliv nám zabezpečení a otočný stůl pracoviště zvětší, v porovnání s dvěma dalšími variantami bude varianta č.2 nejmenší.

**Cena**

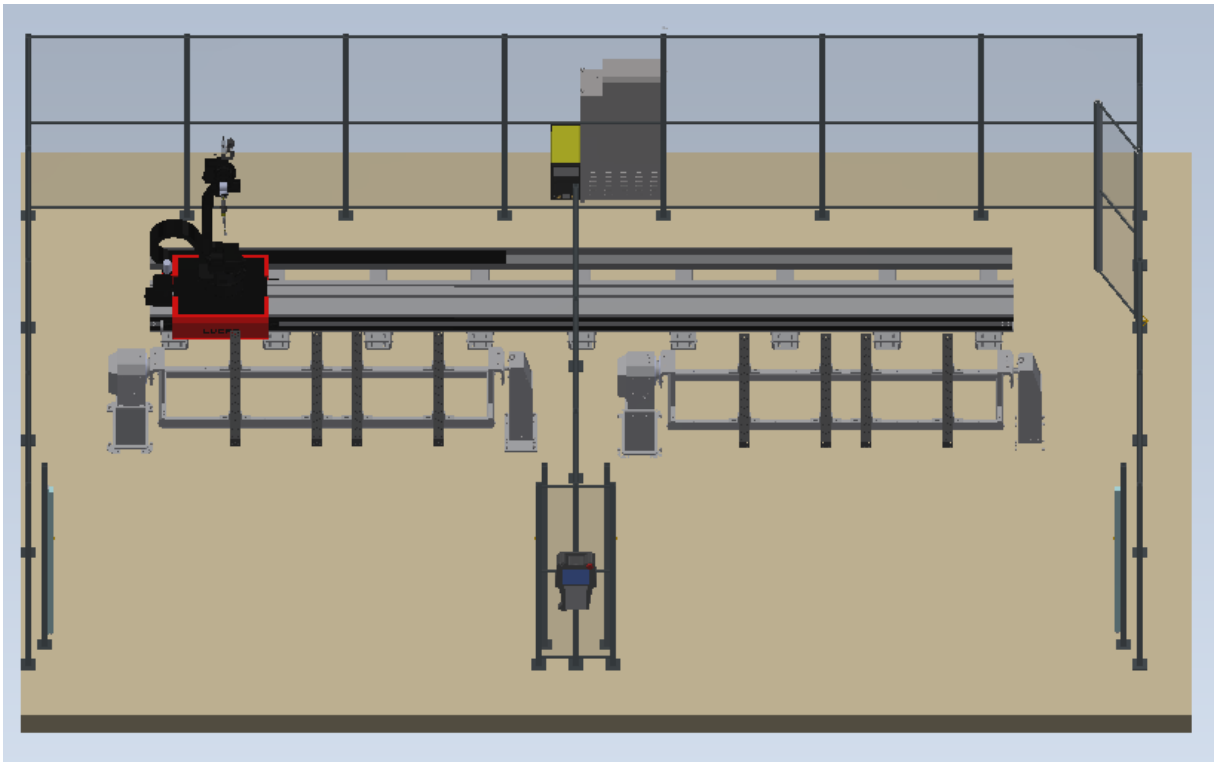
Srovnání dle ceny bude složité, protože u většiny robotů, polohovadel či bezpečnostních prvků je nutné pro získání ceny zadat kontaktní údaje na firmu. Pravděpodobně finančně nejnáročnější bude varianta č.1, kde bude potřeba nakoupit lineární pojezd, sedmou osu robota, výhodou však bude možnost koupit levnějšího robota s menším dosahem než u zbývajících dvou variant. U varianty č.2 bude finančně náročnější koupě otočného stolu, proto bych z pohledu ceny usoudil, že pracoviště č.2 bude na druhém místě. Nejlevnější pracoviště bude pracoviště č.3, kde nemáme otočný stůl, sedmou osu robota ani lineární pojezd.

**Finální výběr**

Jak již bylo výše zmíněno, pro malou kovovýrobu je velice důležitá univerzálnost, cena, ale také možnost svařování dvou výrobků zároveň. Kvůli výše zmíněným důvodům volím jako nejvhodnější variantu č.1. Nutné je u tohoto pracoviště podotknout, že se obvykle při samotném svařování pohybuje pouze robot, nikoliv lineární pojezd (sedmá osa). Sedmá osa slouží obvykle k přesunutí robota na vhodnou pozici a poté pohyby při svařování koná šestiosý robot a polohovadlo. Problémem je totiž rovnoběžnost osy polohovadla s lineárním pojezdem a také přesnost lineárního pojezdu. Šestá osa se obvykle skládá z několika (například metrových) kusů a výrobce vytvoří pojezd tak dlouhý, jak potřebuje.



*Obrázek 32: 3D model vybrané varianty*



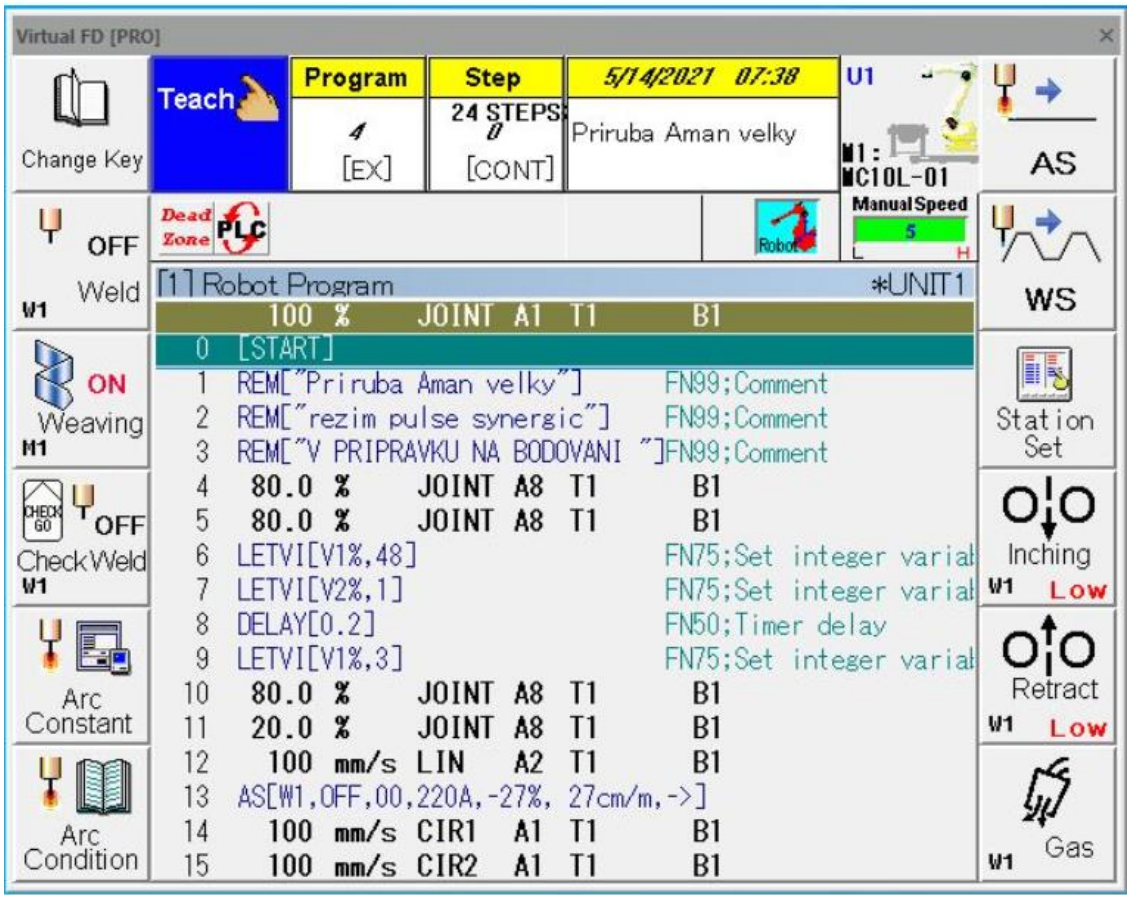
*Obrázek 33: 3D model - pohled zepředu*

# 5 Programování robotizovaného pracoviště

Úkolem této části bakalářské práce bylo vytvořit jednoduchý program, u kterého se seznámím se základními funkcemi robotizovaného pracoviště, zjistit, na co si při programování dát pozor a zároveň se také naučit něco nového.

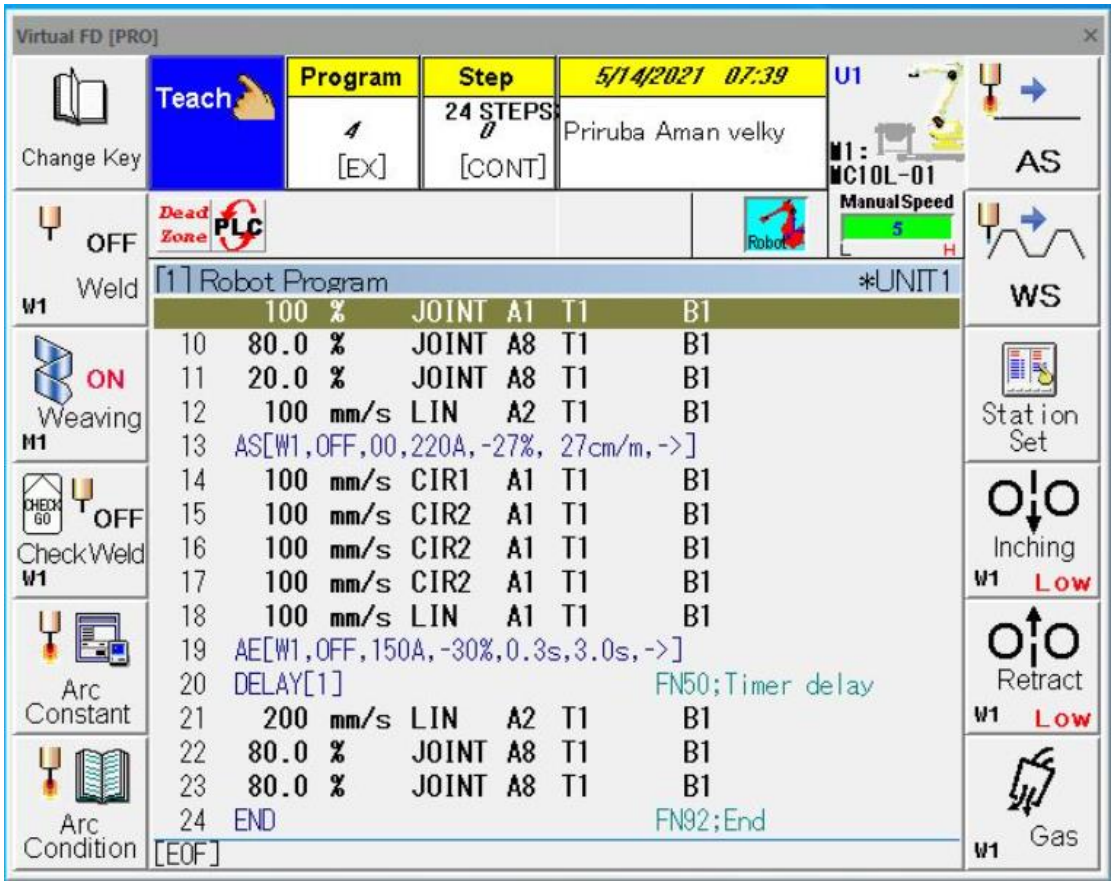
Celé programování probíhalo online na pracovišti firmy NYTRON. Ze začátku bylo důležité nastavit správný unit (sektor), ve kterém se robot bude pohybovat. Na obrázku č. 34 je v pravém horním rohu vidět tento sektor nastavený pod zkratkou U1, který nám umožňuje pohybovat s polohovadlem na pracovišti, robotem v předvoleném rozsahu a také robota posouvat po dráze. Rozdělení pracoviště na sektory je z důvodu bezpečnosti, abychom při programování v jedné části nehýbali například polohovadlem v části druhé, a také pro servisní účely, kdy můžeme povolit pohyb například jen robotu. Celé programování pracoviště probíhalo v bezpečném režimu, kdy jsme softwarově robotu omezili maximální rychlost, aby to bylo bezpečné.

Robot a s ním propojená dráha má nastavenou home pozici, do které se vrátí po dokončení cyklu. V této pozici začínáme s programováním nového svařence. Online programování robota spočívá v najetí do určitých pozic a následné uložení těchto pozic. Poté musíme zvolit rychlost, kterou se robot bude pohybovat, typ pohybu a přesnost, se kterou tento pohyb vykonáme. Důležité je také vědět, že rychlost se vždy automaticky upraví podle nejpomalejšího zařízení. Tudíž pokud robot by ukončil svůj pohyb dříve než polohovadlo, tak software automaticky upraví rychlost tak, aby oba pohyby skončily současně. Tato vlastnost je kolikrát velmi důležitá při samotném programování.




*Obrázek 34: První část vytvořeného programu*

První tři řádky počínající zkratkou REM slouží k vložení komentáře, tzn. například název dílu, režim svařování či informace o přípravku, ve kterém se svařuje. Čtvrtý řádek se již týká pohybu, 80 % určuje rychlost v procentech, JOINT označuje interpolaci. Typ pohybu JOINT se používá především pro přesouvání robota, obvykle je spojen s vyššími rychlostmi a znamená to, že robot se pohybuje tak, jak je to pro aktuální polohu jednotlivých os nejvýhodnější. U interpolace JOINT musíme počítat s obloukovou trajektorií pohybu, tudíž se používá především pro rychlé přesouvání například z home pozice ke svařenci. Přesnost pohybu je pak označená A1-A8, kdy A1 je pohyb nejpřesnější a A8 nejméně přesný. Tolerance přesnosti u jednotlivých tříd přesnosti jsou pak závislé na používaném robotu. Zkratka T1 označuje nástroj, v našem případě hořák. Na dalších řádcích se pak setkáme s interpolací LIN a CIR, společně s JOINT to jsou všechny interpolace, které robot využívá. LIN (linear) používáme tehdy, pokud chceme pohyb po přímce, tzn. při svařování s přímou trajektorií a také velmi často při manipulaci v malých prostorech, kdy si nemůžeme dovolit obloukovou trajektorii z důvodu kolize, či najetí ke svaru. CIR (circle) používáme v případě potřeby přesné obloukové trajektorie, např. přivaření čepu. U interpolace CIR v případě kruhové trajektorie je nutné uložit 4 (resp. 5) bodů. Přesnost je u všech interpolací zadávána stejně. Rychlost můžeme zadat v procentech, jak již bylo výše zmíněno, cm/s anebo také můžeme zadat čas, za který se musí děj vykonat.




*Obrázek 35: Druhá část vytvořeného programu*

Funkce LETVI nastavuje charakteristiku svářečky, jakým drátem a materiálem budeme svařovat, dále metodu, kterou použijeme, a také přepíná typ svařování. Funkce DELAY nám udává zpoždění následující operace, kdy v závorce je uvedena prodleva v sekundách.

Funkce AS (arc start) nám zapíná samotné svařování, kdy hodnota W1 nám udává řízení přes interface definované svářečky, OFF 00 znamená vypnuté opakování svaru a jeho rychlost, 220 A udává

nastavený proud, - 27 % udává, jestli přidáme nebo ubereme materiál ve svarové lázni (- znamená více materiálu, + méně materiálu) a 27 cm/min je rychlost svařování.

AE (arc end) vypíná svařování, přičemž hodnota W1 opět znamená řízení přes interface definované svářečky, OFF znamená vypnuté opakování, 150A proud, -30 % je stejné jako u AS a navíc zde máme čas 0,3 s, což udává dobu vyvaření kráteru a 3,0 s dofoukání plynu chladícího lázeň.

Off-line výpis programu z robota je vidět na obr. 36.

```
REM "Priruba Aman velky"
REM "rezim pulse synergic"
REM "V PRIPRAVKU NA BODOVANI "
MOVEX A=8,AC=0,SM=0,M1X,P,(675.727,-
1.8,1259.03,0.021,17.618,0.007),R=80.0,H=1,MS,
CONF=0010,M2J,P,(3260.04),R= 100,H=1,M4J,P,(  43.37,  -0.00),R= 100,H=1
MOVEX A=8,AC=0,SM=0,M1X,P,(675.635,-
1.8,1258.97,0.021,17.628,0.007),R=80.0,H=1,MS,
CONF=0010,M2J,P,(4729.81),R= 100,H=1,M4J,P,(  43.37,  -0.01),R= 100,H=1
LETVI V1%,48
LETVI V2%,1
DELAY 0.2
LETVI V1%,3
MOVEX A=8,AC=0,SM=0,M1X,P,(989.114,541.101,307.387,179.243,21.464,-
0.031),R=80.0,H=1,MS, CONF=0001,M2J,P,(4729.79),S= 100.0,H=1,M4J,P,(
46.86,  -0.01),S= 100.0,H=1
MOVEX A=8,AC=0,SM=0,M1X,P,(1036.58,541.178,278.69,179.241,25.506,-
0.04),R=20.0,H=1,MS, CONF=0001,M2J,P,(4729.78),R=20.0,H=1,M4J,P,(
46.86,  -0.01),R=20.0,H=1
MOVEX A=2,AC=0,SM=0,M1X,L,(1043.86,541.231,264.812,179.221,28.211,-
0.083),S= 100.0,H=1,MS, CONF=0001,M2J,P,(4729.78),R=10.0,H=1,M4J,P,(
46.86,  -0.01),R=10.0,H=1
AS 1,0,0,1,1,0,0,2,0,0,220,-
27,0,27,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,2,0,0,0,50,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,100,100,0,
0,0,0,0
MOVEX A=1,AC=0,SM=0,M1X,C1,(1140.12,442.824,265.056,-92.856,28.2,-
0.078),S= 100.0,H=1,MS, CONF=0001,M2J,P,(4729.78),S= 100.0,H=1,M4J,P,(
46.86,  -0.01),S= 100.0,H=1
MOVEX A=1,AC=0,SM=0,M1X,C2,(1241.43,541.88,264.574,-2.918,28.204,-
0.101),S= 100.0,H=1,MS, CONF=0000,M2J,P,(4729.78),S= 100.0,H=1,M4J,P,(
46.86,  -0.01),S= 100.0,H=1
MOVEX A=1,AC=0,SM=0,M1X,C2,(1139.56,639.472,263.905,89.366,28.208,-
0.073),S= 100.0,H=1,MS, CONF=0000,M2J,P,(4729.78),S= 100.0,H=1,M4J,P,(
46.85,  -0.01),S= 100.0,H=1
MOVEX A=1,AC=0,SM=0,M1X,C2,(1043.52,541.287,265.117,178.282,28.194,-
0.077),S= 100.0,H=1,MS, CONF=0002,M2J,P,(4729.78),S= 100.0,H=1,M4J,P,(
46.85,  -0.01),S= 100.0,H=1
MOVEX A=1,AC=0,SM=0,M1X,L,(1044.5,543.917,266.537,178.278,28.201,-
0.081),S= 100.0,H=1,MS, CONF=0002,M2J,P,(4729.78),S= 100.0,H=1,M4J,P,(
46.85,  -0.01),S= 100.0,H=1
AE 1,0,1,1,0,0,2,0,150,-30,0,0.3,3,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
DELAY 1
MOVEX A=2,AC=0,SM=0,M1X,L,(1016.67,543.436,289.636,178.276,28.195,-
0.077),S= 200.0,H=1,MS, CONF=0002,M2J,P,(4729.78),S= 100.0,H=1,M4J,P,(
46.85,  -0.01),S= 100.0,H=1
MOVEX A=8,AC=0,SM=0,M1X,P,(865.492,543.352,538.768,88.459,28.201,-
0.068),R=80.0,H=1,MS, CONF=0000,M2J,P,(4729.78),R= 100,H=1,M4J,P,(
46.85,  -0.01),R= 100,H=1
MOVEX A=8,AC=0,SM=0,M1X,P,(675.727,-
1.8,1259.03,0.021,17.618,0.007),R=80.0,H=1,MS,
CONF=0010,M2J,P,(3260.04),R= 100,H=1,M4J,P,(  43.37,  -0.00),R= 100,H=1
END
```

*Obrázek 36: Off-line výpis programu*

# 6 Závěr

Úkolem teoretické části bakalářské práce bylo vypracovat rešerši na téma používaných průmyslových robotů pro automatizovaná pracoviště. Na začátku práce je zmíněn vývoj robotů až do dnešní podoby a je zde popsán aktuální stav robotizace ve světě. Při robotizaci je důležité znát všechny výhody a nevýhody, které roboty zpravidla přináší, a následně vyhodnotit, zda se robotizace výroby vyplatí. Tyto informace jsou uvedeny v podkapitole 2.3 výhody a nevýhody. Při výběru robota pro pracoviště musíme znát základní rozdělení robotů dle konstrukce, výhody a nevýhody jednotlivých uspořádání oproti ostatním a s tím související použití v praxi. V podkapitole 2.5 hardware průmyslových robotů jsou zmíněny prvky průmyslových robotů včetně základních a přídavných senzorických systémů, které řídící systém informují pomocí zpětné vazby o aktuálním stavu. Ke konci teoretické části jsem se seznámil s dvěma druhy programování průmyslových robotů. Samostatná kapitola je věnována problematice svařování metodou MIG/MAG, která má být použita pro svařování dílu č.1 a dílu č.2.

Cílem první praktické části bylo navrhnout robotizované svařovací pracoviště pro menší kovovýrobu určené ke svařování dvou odlišných typů výrobků.

Před samotným návrhem bylo nutné zjistit, zda se svařence vůbec vyplatí svařovat na robotizovaném pracovišti, a proto jsem nejdřív porovnal rychlost ručního svařování s robotizovaným svařováním pro každý díl. V podkapitole 4.2 jsem nicméně také uvedl, že některé operace se ke sváření na robotizovaném pracovišti nehodí. U robotizovaného svařování jsem dále porovnal časy při předchozím ručním stehování s robotizovaným stehováním. Výsledkem srovnání bylo zvýšení efektivity svařování u obou svařenců, kdy u dílu č.1 bychom mohli čas pro svařování snížit z původních 30 minut na cca. 5 minut a u dílu č.2 ze 120 minut na cca. 25 minut.

Následujícím krokem bylo navrhnutí možných koncepcí pracovišť, jejich srovnání a výběr nejvhodnějšího pracoviště. Před samotným modelováním jsem každé pracoviště načrtnul, následně konzultoval uspořádání jednotlivých komponent a bezpečnost pracoviště s konzultantem firmy NYTRON. U každé koncepce jsou uvedeny výhody a nevýhody, jednoduchý popis pracoviště a bezpečnost dle normy ČSN EN ISO 10218-1 a ČSN EN ISO 10218-2. Pro finální výběr pracoviště bylo důležité porovnat jednotlivé návrhy dle univerzálnosti, efektivity, ceny, bezpečnosti a také celkové velikosti. Za nejdůležitější se dá považovat univerzálnost pracoviště kvůli nestálému množství objednaných kusů a občasné potřebě svařovat dlouhé svařence. Efektivita při výrobě desítek, maximálně stovek kusů měsíčně není natolik důležitá a požadavek na velikost pracoviště nebyl ze strany kovovýroby zadán. Za nejvhodnější variantu byla vybrána koncepce č.1, kde odůvodnění pro výběr varianty je detailně popsán v kapitole 4.4.

V další práci by se na návrh robotizovaného pracoviště dalo navázat výběrem konkrétních komponent (robota, lineárního pojezdu, svařovacího zdroje, polohovadla atd.).

V poslední kapitole jsem se seznámil s online programováním robota ve firmě NYTRON a následně vytvořil jednoduchý program, který obsahuje základní funkce robotizovaného pracoviště se sedmou osou robota. Vyzkoušel jsem si pohybování s robotem v různých režimech, ukládání jednotlivých bodů a následnou volbu rychlosti, seznámil se s typy pohybů, které se používají při programování, a parametry, které je nutné při svařování zadat.

# 7 Literatura


1) ŽÁČEK, Michal. *Historie robotů? Sahá až do řecké mytologie!* [online]. 9.11.2014 [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: https://factoryautomation.cz/historie-robotu-saha-az-do-recke-mytologie

2) HONG, Tang Sai, Morteza GHOBAKHLOO a Weria KHAKSAR. *Robotic Welding Technology: History of welding* [online]. květen 2014, , 4-5 [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/285951267_Robotic_Welding_Technology

3) *History of robots* [online]. 2014 [cit. 2020-11-19]. Dostupné z: http://www.cds.caltech.edu/~murray/books/MLS/pdf/mls94-complete.pdf

4) WALLÉN, Johanna. *The history of the industrial robot: ABB and their IRBs* [online]. 8.5.2008, , 10-11 [cit. 2020-11-20]. Dostupné z: http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:316930/FULLTEXT01.pdf

5) IFR presents World Robotics Report 2020. *IFR International Federation of Robotics* [online]. 2020 [cit. 2020-11-23]. Dostupné z: https://ifr.org/ifr-press-releases/news/record-2.7-million-robots-work-in-factories-around-the-globe

6) PIRES, J.N., A. LOUREIRO, T. GODINHO, P. FERREIRA, B. FERNANDO a J. MORGADO. *Welding robots* [online]. 2003, , 1-2 [cit. 2020-11-27]. ISSN 1070-9932. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/document/1213616/

7) DUCHOSLAV, Petr. Desatero dobrých důvodů, proč investovat do robotů. *Factory automation* [online]. 2014 [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: https://factoryautomation.cz/desatero-dobrych-duvodu-proc-investovat-do-robotu/

8) ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF INDUSTRIAL ROBOTS. *PlastikMedia* [online]. 2018 [cit. 2020-11-29]. Dostupné z: https://www.plastikmedia.co.uk/advantages-disadvantages-of-industrial-robots/

9) *Advantages and Disadvantages of Industrial Robots* [online]. 2016 [cit. 2020-11-29]. Dostupné z: https://www.granta-automation.co.uk/news/advantages-and-disadvantages-of-industrial-robots/

10) ŽÁČEK, Michal. Průmyslové roboty: Jaké jsou jejich druhy? *Factory automation* [online]. 2018, 23.3.2018 [cit. 2020-12-1]. Dostupné z: https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-jake-jsou-jejich-druhy/

11) What are the main types of robots. *RobotWorx* [online]. [cit. 2020-12-5]. Dostupné z: https://www.robots.com/faq/what-are-the-main-types-of-robots

12) MINNER, Matt. 4 Types of Robots Every Manufacturer Should Know. *NIST* [online]. 2019, 11.7.2019 [cit. 2020-12-5] Dostupné z:https://www.nist.gov/blogs/manufacturing-innovation-blog/4-types-robots-every-manufacturer-should-know

13) 6 Major Types of Industrial Robots Used in the Global Manufacturing 2018. *Technavio* [online]. 2018, 31.8.2018 [cit. 2020-12-5]. Dostupné z: https://blog.technavio.com/blog/major-types-of-industrial-robots

14) *Arbotist - Types Of Robots In Automation Robotics: Articulated* [online]. [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: http://www.arbotist.com/types-of-robots.html

15) *On the possibility to minimize trajectory tracking errors of planar robots endowed with compliant joints: Introduction* [online]. September 2000 [cit. 2020-12-11]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/307887723_On_the_possibility_to_minimize_trajectory_tracking_errors_of_planar_robots_endowed_with_compliant_joints

16) *Optimal Design and Tuning of PID-Type Interval Type-2 Fuzzy Logic Controllers for Delta Parallel Robots* [online]. May 2016 [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: doi:10.5772/63941

17) *The industrial Robot Types and Their Different Uses: Different categories of industrial robots* [online]. [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: https://www.howtorobot.com/index.php/expert-insight/industrial-robot-types-and-their-different-uses?lang=pl

18) *Base Structure of Industrial Robots - Manipulators - Cylindrical Base Robot: Workspace of Cylindrical Base Robot* [online]. 2009-03-16 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: https://www.brighthubengineering.com/robotics/29395-base-bodies-of-robots-cylindrical-base-robot/

19) SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008], 229 s. [cit. 2020-12-14]. ISBN 978-80-248-1522-0. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf

20) *KONCOVÉ EFEKTORY PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ PRO MANIPULACI: Aplikace koncových efektorů* [online]. Brno, 2013 [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=66998. Bakalářská práce. VUT.

21) *Robots: 5 Important Components of Robots* [online]. [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: https://www.yourarticlelibrary.com/robots/robots-5-important-components-of-robots/5692

22) *What is an End Effector and How Do You Use One?* [online]. 09/04/2020 [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-News/What-is-an-End-Effector-and-How-Do-You-Use-One/content_id/9134

23) *Robot Manipulators Position, Orientation and Coordinate Transformations* [online]. , 1-3 [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: https://www.maplesoft.com/content/EngineeringFundamentals/13/MapleDocument_13/Position,%20Orientation%20and%20Coordinate%20Transformations.pdf

24) *Control Systems: What Are They? (Open-Loop & Closed-Loop Control System Examples)* [online]. [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: https://www.electrical4u.com/control-system-closed-loop-open-loop-control-system/

25) *Introduction to Robotic Control Systems* [online]. [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: https://towardsdatascience.com/introduction-to-robotic-control-systems-9ec17c8ac24f

26) *Robotics Technology - Controllers* [online]. [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: http://www.electronicsteacher.com/robotics/robotics-technology/controllers.php

27) ANOOD, Ibrahim, Reba RACHEL ALEXANDER, Sanghar MOHAMMED SHAHID UMAR a D"Souza ROYSON DONATE. *Control Systems in Robotics: A Review* [online]. 2016 [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: http://dl.icdst.org/pdfs/files3/2c4a6c44eb4d6272ae2d5f22984cba8f.pdf. Manipal University.

28) *What Sensors do Industrial Robots Need?* [online]. [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: https://www.market-prospects.com/articles/sensors-system

29) *SENZORY PRO ROBOTIKU* [online]. , 2-4 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: http://people.ciirc.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/51Robotika/51SenzoryRobotika.pdf

30) PENG, Li a Liu XIANGPENG. *Common Sensors in Industrial Robots: A Review* [online]. , 2-5 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1267/1/012036/pdf

31) KUS, Jaroslav. *Senzory v robotizovanem svarovani: Senzorické systémy používané v robotickém svařování* [online]. Praha, 2019 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/84767/F2-DP-2019-Kus-Jaroslav-Senzory%20v%20robotizovanem%20svarovani.pdf?sequence=-1&isAllowed=y . Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE.

32) LEATH, John. *Knowing When Welding Sensors Make Sense* [online]. 10/10/2018 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: https://www.motoman.com/en-us/about/blog/knowing-when-welding-sensors-make-sense

33) *TYPES OF LINEAR ACTUATORS* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: https://www.progressiveautomations.com/pages/actuators

34) GONDZALEZ, Carlos. *What's the Difference Between Pneumatic, Hydraulic, and Electrical Actuators?* [online]. APR 16, 2015 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/linear-motion/article/21832047/whats-the-difference-between-pneumatic-hydraulic-and-electrical-actuators

35) BAKER, Michele. *Hydraulic vs. Pneumatic vs. Electric Actuators* [online]. In: . September 23rd, 2019 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: https://yorkpmh.com/resources/hydraulic-vs-pneumatic-vs-electric-actuators/

36) PARIKH, Darshak. *Introduction to hydraulic actuators* [online]. January 14, 2019 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: https://www.engineeringclicks.com/hydraulic-actuators/

37) O´KEEFE, Philip J. *The Depositor's Pneumatic Actuator* [online]. 2018 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: http://www.engineeringexpert.net/Engineering-Expert-Witness-Blog/the-depositors-pneumatic-actuator-2

38) *PROGRAMOVÁNÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ KUKA: Programování robotů* [online]. Brno, 2015 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=102446. Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Ing. ALEŠ POCHYLÝ.

39) *Návrh automatizace pracoviště kalibrace Kovárny VIVA a.s: PROGRAMOVÁNÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ* [online]. Zlín, 2015 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/31155/%C5%A1%C3%ADrek_2015_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y . Diplomová práce. Univerzita Tomáš Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Maloch, CSc.

40) *Príručka Automatizačná a robotická technika: Programovanie robotov* [online]. September 2011, , 5-18 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/files/vystupy/prirucka_sk_final.pdf

41) BENEŠ, Libor. *Svařování*. Praha. Dostupné také z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT_01_Prehled_svarovani_T08.pdf

42) *Svařování MIG/MAG* [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: https://www.svarecky-elektrody.cz/svarovani-mig-mag-zakladni-seznameni/t-41/t-116

43) *MIG/MAG (CO2)* [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/