



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH PRACOVIŠTĚ S PRŮMYSLOVÝM ROBOTEM

DESIGN OF A ROBOTIC CELL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Sobotka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Kubela

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

| | |
|-------------------|--|
| Ústav: | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky |
| Student: | Bc. Tomáš Sobotka |
| Studijní program: | Strojní inženýrství |
| Studijní obor: | Výrobní stroje, systémy a roboty |
| Vedoucí práce: | Ing. Tomáš Kubela |
| Akademický rok: | 2017/18 |

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh pracoviště s průmyslovým robotem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je návrh pracoviště s průmyslovým robotem a polohovadlem pro svařování zadaných výrobků. Práce se zabývá výběrem hlavních komponent a jejich umístění – návrh layoutu pracoviště, návrhem koncových efektorů, přípravků a návrhem zabezpečení pracoviště – ochrany obsluhy.

Cíle diplomové práce:

1. Návrh koncepce pracoviště pro daný typ aplikace.
2. Návrh dílčích systémů (koncové efekторы, přípravky apod.)
3. Integrace dílčích systémů pracoviště, resp. vytvoření modelu pracovní buňky včetně řešení bezpečnosti.
4. Vytvoření simulačního modelu pracoviště v SW Siemes Process Simulate.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4

PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2008. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3

NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0

MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Návrh pracoviště pro robotizované svařování zadané součásti s neměnnou technologií. Návrhy subsystémů pracoviště zajišťující požadovanou funkci a parametry. Řešení bezpečnosti celkového modelu a jeho transformace do simulačního softwaru Siemens Process Simulate s vytvořením simulace pracovního cyklu pracoviště.

ABSTRACT

Design of robotic cell for welding operations at specific production part including unchangeable process technology. Design of subsystems provides required functions and abilities. Risk management of entire model and its transformation into Siemens Process Simulate simulation software including creation task-cycle simulation.

KLÍČOVÁ SLOVA

Svařování průmyslovým robotem, robotizované pracoviště, zvýšení produktivity robotických systémů, simulační model v softwaru Siemens Process Simulate

KEYWORDS

Robotic manipulator welding, robotic cell, increase of productivity at robotic systems, simulation model with Siemens Process Simulate software

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SOBOTKA, T. *Návrh pracoviště s průmyslovým robotem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Kubela.

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování za tuto práci patří panu Ing. Tomáši Kubelovi za jeho vedení, věcné rady a odborné připomínky a panu Ing. Aleši Pochylému za jeho rady pro práci se simulačním softwarem.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Tomáše Kubely a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 22.5.2018

.....
Sobotka Tomáš

OBSAH

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD | 15 |
| 2 | MOTIVACE | 17 |
| 3 | PRŮMYSLOVÉ ROBOTY | 21 |
| 3.1 | Robot..... | 21 |
| 3.2 | Robotický manipulátor | 21 |
| 3.3 | Typické pracovní prostory a uspořádání robotů se sériovou kinematikou | 22 |
| 3.3.1 | Kartézský | 22 |
| 3.3.2 | Cylindrický (válcový)..... | 23 |
| 3.3.3 | Sférický (kulový)..... | 23 |
| 3.3.4 | SCARA..... | 24 |
| 3.3.5 | Angulární | 24 |
| 3.4 | Aplikace | 25 |
| 3.4.1 | Manipulace s materiálem..... | 25 |
| 3.4.2 | Montáž | 25 |
| 3.4.3 | Balení..... | 25 |
| 3.4.4 | Obsluha ohraňovacích lisů..... | 26 |
| 3.4.5 | Paletizace | 26 |
| 3.4.6 | Lakování | 27 |
| 3.4.7 | Obsluha strojů..... | 27 |
| 3.4.8 | Řezání | 28 |
| 3.4.9 | Svařování | 28 |
| 3.5 | Svařování průmyslovými roboty | 28 |
| 3.5.1 | Svařování WIG | 29 |
| 3.5.2 | Svařování MIG/MAG..... | 30 |
| 3.5.3 | Bodové svařování | 31 |
| 3.5.4 | Svařování laserem..... | 31 |
| 4 | NÁVRH ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ | 33 |
| 4.1 | Pracoviště s využitím pomocných manipulačních zařízení | 33 |
| 4.2 | Pracoviště se dvěma základními polohovadly | 35 |
| 4.3 | Pracoviště se dvěma základními polohovadly s automatickou výměnou součástí..... | 36 |
| 4.4 | Pracoviště s manipulačním robotem | 38 |
| 4.5 | Výběr nevhodnější varianty | 39 |
| 5 | NÁVRH DÍLČÍCH SYSTÉMŮ | 41 |
| 5.1 | Upínání..... | 41 |
| 5.2 | Svařovací vybavení..... | 41 |
| 5.3 | Zakládací vybavení | 41 |
| 5.3.1 | Sloupový jeřáb | 41 |
| 5.3.2 | Manipulační přípravek..... | 42 |
| 5.4 | Přístupové dveře | 43 |
| 5.5 | Odsávání svařovacích dýmů | 43 |
| 6 | VIRTUÁLNÍ MODEL A ŘEŠENÍ BEZPEČNOSTI | 45 |
| 6.1 | Bezpečnost pracoviště..... | 45 |
| 6.1.1 | Základní bezpečnostní opatření | 45 |
| 6.2 | Identifikace hlavních nebezpečí a jejich redukce | 46 |
| 6.2.1 | Nebezpečí stlačení přístupovými dveřmi | 46 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 6.2.2 | Nebezpečí pádu materiálu | 46 |
| 6.2.3 | Tepelná nebezpečí | 46 |
| 6.2.4 | Nebezpečí záření | 46 |
| 6.3 | Virtuální sestavení a vytvoření modelu | 47 |
| 7 | VYTVOŘENÍ SIMULAČNÍHO MODELU..... | 51 |
| 7.1 | Simulace | 51 |
| 7.1.1 | Předpoklady pro tvorbu simulace | 51 |
| 7.1.2 | Počáteční podmínky | 51 |
| 7.1.3 | Průběh simulace | 52 |
| 8 | ZHODNOCENÍ A DISKUZE | 57 |
| 9 | ZÁVĚR..... | 59 |
| 10 | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 61 |
| 11 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 65 |
| 12 | SEZNAM PŘÍLOH..... | 67 |

1 ÚVOD

Pro lidstvo je nějakým způsobem přirozené a pochopitelné, že se snaží co možná nejvíce si zjednodušit práci. Je to zcela logické, při dnešním fungování světa je nutné provádět činnosti namáhavé, často se opakující, práci v nepříjemných nebo dokonce nebezpečných podmínkách. Tyto činnosti však nejsou asi nikomu přirozené, natož pohodlné. Již dávno tak autoři sci-fi románů psali o něčem, co tyto úkoly plnilo namísto lidí. A jméno pro „to“ vzniklo v českých zemích, konkrétně v románu R.U.R. od Karla Čapka - robot.

Dlouhou dobu to však bylo téměř nemožné realizovat. Jedinným zdrojem inteligence byl lidský mozek, automatizace šla provádět pouze mechanicky. S rozvojem polovodičové a posléze počítačové techniky bylo možno začít roboty stavět. Stejně tak, jako se vyvíjela automatizace a možnosti řízení, vyvíjeli se v závislosti na tom i roboty. Od robotů řízených např. děrnými štítky až po dnešní technologie kolaborativních robotů, jež jsou schopny spolupracovat s člověkem aniž by jej ohrozili.

V průmyslové praxi se, alespoň zatím, ponejvíce používá robotických manipulátorů. Podle definice v normě ČSN EN ISO 8373 je to automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď upevněn na místě nebo být mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích. To může znamenat spoustu různých uplatnění, které roboty také v praxi mají.

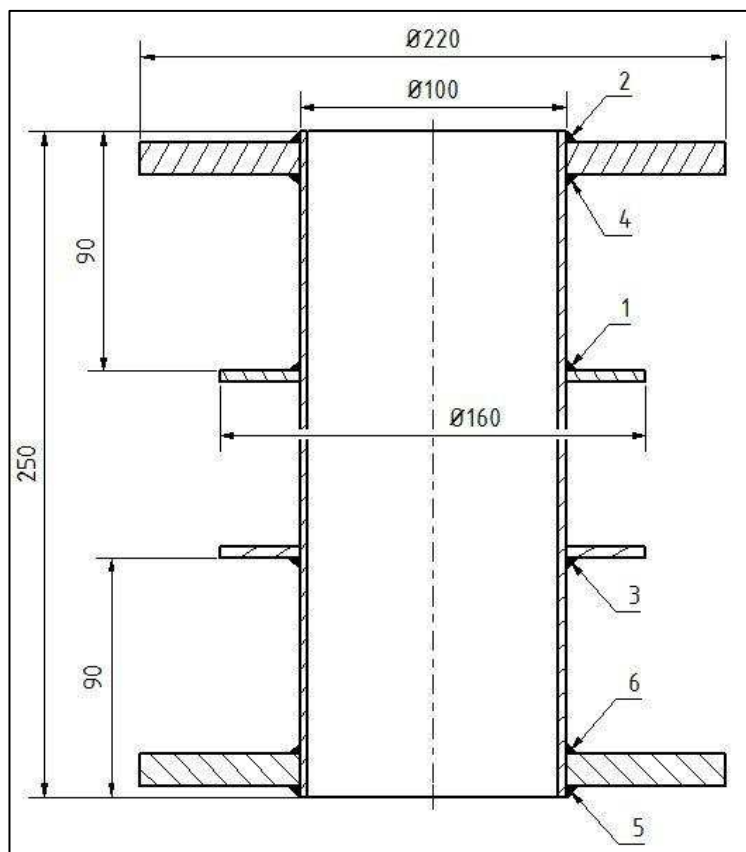
Tato práce se bude zabývat návrhem pracoviště takového robotického manipulátoru pro danou aplikaci a s danými požadavky tak, aby bylo dosaženo co možná nejlepšího řešení při plnění navržených pracovních úkonů. [1][2][3]

2 MOTIVACE

Motivací pro vypracování této práce je návrh nového svařovacího pracoviště, které nahradí pracoviště stávající.

Stávající pracoviště je uzpůsobeno pro svařování součásti přírubového tvaru, na které se svařuje celkem šest svarů. Součást je vyobrazena na obr. 1. Základní technologický postup spočívá v postupném svaření svarů, které jsou na obr. 1 očíslovány v tom pořadí, v jakém jsou svařovány. Pořadí je technologicky pevně stanovené a nelze jej upravovat. Tyto svary jsou předem bodovány, takže na pracovišti se není nutné řešit ustavení částí dílců vůči sobě. Technologie svařovacího procesu je stanovená a nelze ji měnit, taktéž je nutné dodržet ji principiálně, tzn. například nelze svařovat směrem odspodu, všechny svary musejí být svařovány shora.

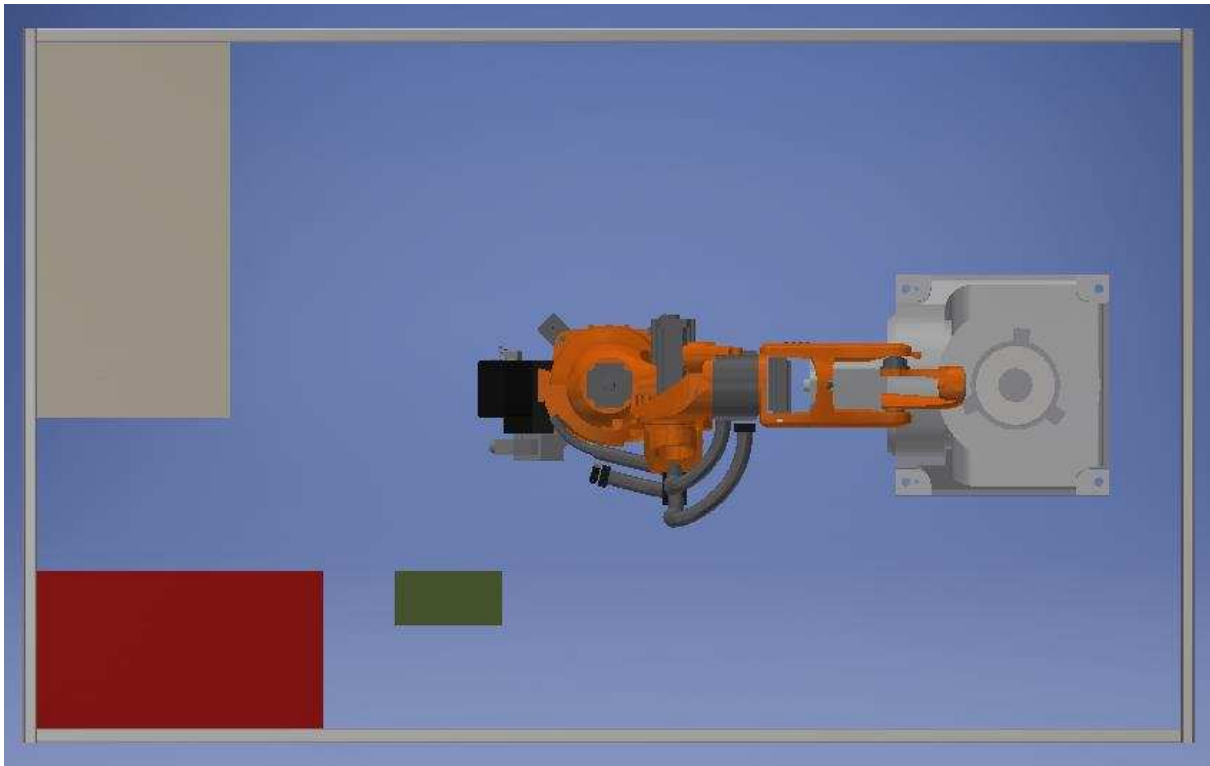
Samotný svařovací proces je obloukové svařování typu MIG a jeho technologie je také téměř neměnná. Je zde možné měnit pouze technologii z hlediska přístupu ke svarům, a změny vzájemných svařovacích pohybů, které ovšem musejí odpovídat technologii původní.



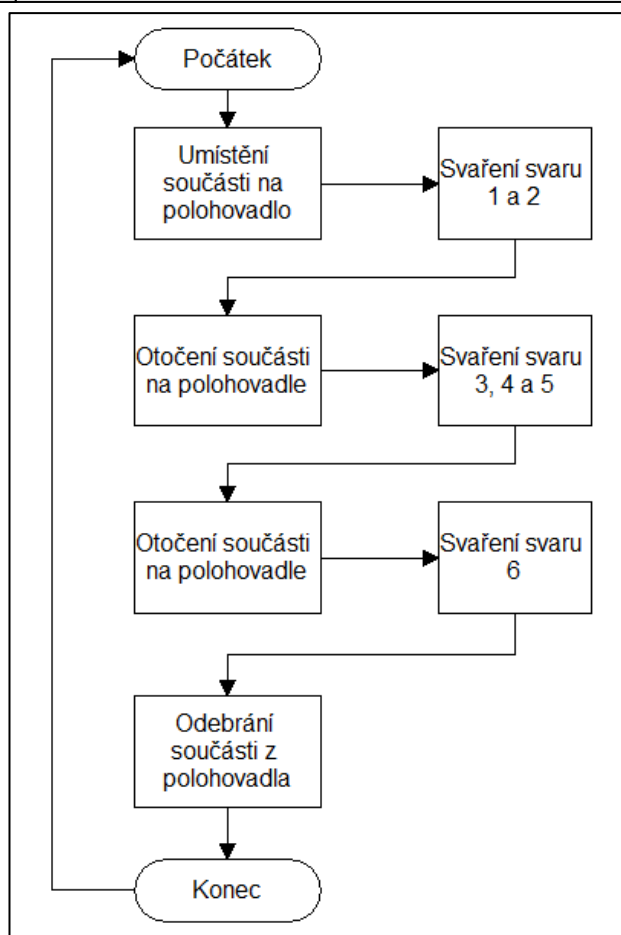
Obr. 1) Výchozí součást pro svařovací pracoviště

Layout stávajícího pracoviště je vyobrazen na obr. 2. Disponuje jedním robotem KUKA KR5-arc, jedním polohovadlem KUKA DKP-400, svařovacím vybavením (svářečka, ...) a dalším podpurným vybavením. Polohovadlo DKP-400 je osazeno ručním mechanickým sklídiclem, do kterého je součást během svařování upnuta a využíváno pouze k pohybu kolem jedné osy, a to kolem osy rotace svařované součásti. Vzhledem k tomu, že není využíváno druhé

polohové osy, je součást vždy v ustavení, kdy osa rotace součásti je vždy ve vertikálním směru. Vzhledem k nutnosti dodržet posloupnost svarů je nutné svařovanou součást během procesu ručně dvakrát otočit, jak je patrné z diagramu posloupnosti svařovacího procesu na obr. 3.



Obr. 2) Layout stávajícího pracoviště



Obr. 3) Diagram pracovního procesu původního pracoviště

Touto jednoduchou analýzou vidíme zásadní nedostatky tohoto pracoviště. Především je to neproduktivita, neboť robot a obsluha na sebe vzájemně čekají, tzn. když probíhá automatizované svařování, obsluha čeká a naopak. Vytvořením virtuálního modelu a následným zjištěním hmotnosti (téměř 8 kg) je patrný další problém, kterým je přílišná fyzická námaha obsluhy, jež svařovanou součást musí na polohovadlo ručně zakládat, vykládat a také otáčet. Ruční mechanické sklíčidlo také zvyšuje námahu a prodlužuje neproduktivní časy.

Hlavní cíle, které budou určovat řešení návrhu nového pracoviště tedy budou především zvýšení produktivity (snížení taktu), snížení počtu ručních manipulačních operací a redukce fyzicky namáhavých úkonů.

Toto vše tedy bude nutno vyřešit a pečlivě zvážit navrhovaná řešení, neboť je zde logicky také požadavek na co nejmenší investiční náklady. Proto bude navrženo několik možností, aby mohla být vybrána ta, která slibuje nejlepší poměr ceny a produktivity.

3 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY

3.1 Robot

Robot obecně je zařízení, které je schopno nahradit člověka v úlohách, které vyžadují jak fyzickou aktivitu, tak psychické, resp. podmíněné rozhodování v daných činnostech. Robotika jako vědní obor se dělí na dva základní směry: robotické manipulátory a mobilní roboty. Zatímco u robotického manipulátoru je základna pevná a robot se může pohybovat pouze v pevně vymezeném prostoru, u mobilních robotů toto neplatí. Mobilní roboty se mohou v prostředí pohybovat volně. Jsou často používány v obslužných aplikacích, kde jsou vyžadovány autonomní schopnosti. Příkladem mobilního robota může být např. autonomní dopravní vozík (obr. 4).[4]

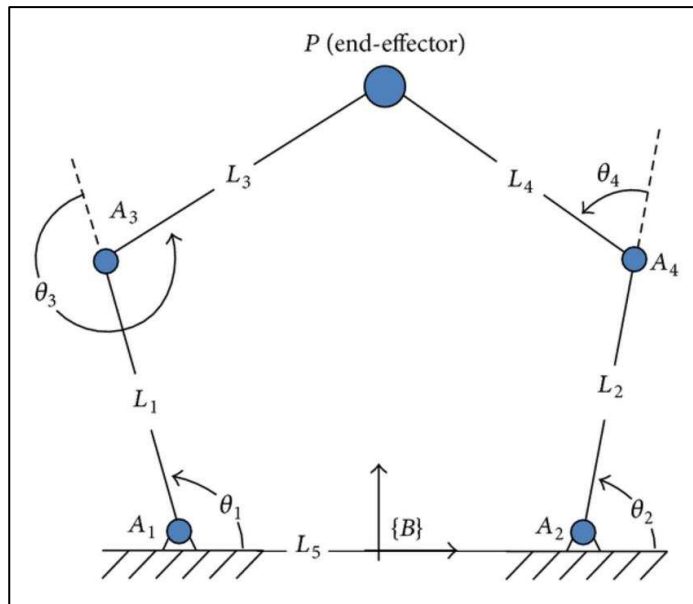


Obr. 4) Autonomní vychystávací vozík Still[5]

3.2 Robotický manipulátor

Robotický manipulátor sestává z pevných členů spojených mezi sebou vazbami. Je charakterizován hlavním kinematickým řetězcem, který zajišťuje pohyb v prostoru, vedlejším kinematickým řetězcem, který určuje obratnost, a koncovým efektem, jež je měnitelný a určený pro konkrétní aplikaci. Pohyb v prostoru je tedy umožněn vazbami. Ty mohou být dvojího typu: rotační a prismatické. Rotační vazby zajišťují otáčivý pohyb, zatímco prismatické dovolují pohyb translační. Podle smyslu uspořádání členů a vazeb rozlišujeme manipulátory na sériové a paralelní.

Paralelní manipulátory jsou charakterizovány tak že jednotlivé členy kinematického řetězce jsou uzavřeny do smyčky, u sériových toto neplatí. Schéma paralelní struktury robotu je na obr. 5.



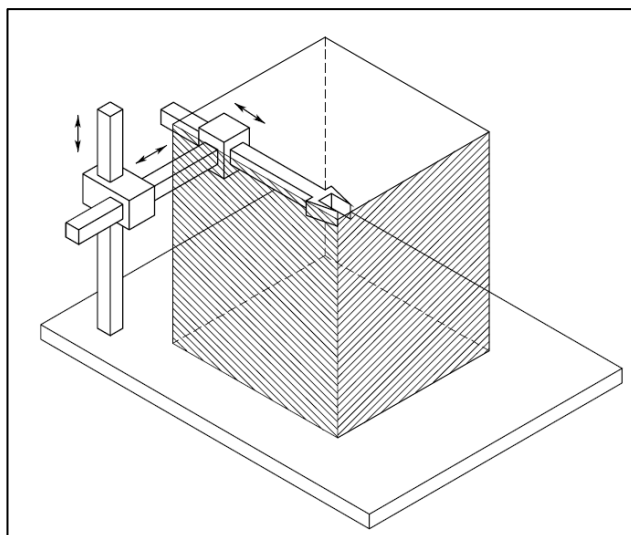
Obr. 5) Znáornění uzavřeného kinematického řetězce robota[8]

Robotický manipuláto se sériovou strukturou je v praxi používanější, tvoří až 90% všech robotů. Jak již bylo řečeno, jednotlivé vazby, ať už rotační nebo translační na sebe navazují, takže nepřesnosti na každé vazbě se sčítají. U sériového uspořádání také každá vazba umožňuje pohyb v jednom stupni volnosti. Podle druhu uspořádání jednotlivých vazeb za sebou (rotačních či translačních) se definují typické pracovní prostory pro tyto roboty. [4][6][7]

3.3 Typické pracovní prostory a uspořádání robotů se sériovou kinematikou

3.3.1 Kartézský

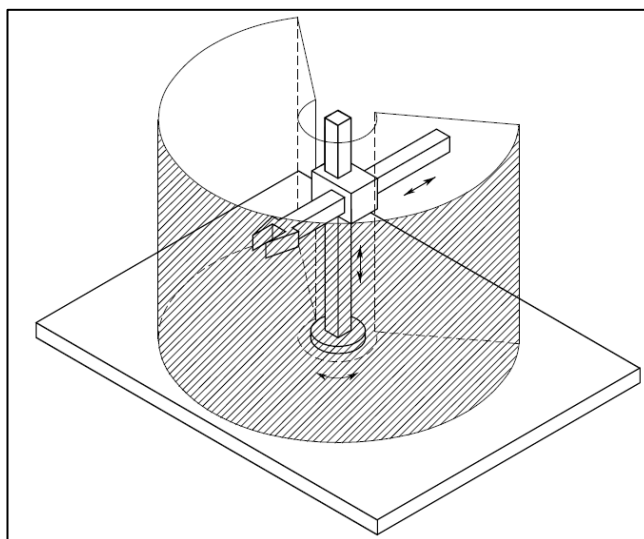
Kartézský pracovní prostor je realizován třemi prismatickými vazbami, které jsou na sebe vzájemně kolmé (ortogonální). Zobrazení kartézského pracovního prostoru je na obr. 6. Jak je vidět z obrázku, každá každá vazba v tomto provedení odpovídá přímo kartézským prostorovým proměnným. Pracovní prostor má tvar kvádra, jehož rozměry jsou omezeny pohyblivostí vazeb. Toto uspořádání disponuje dobrou mechanickou tuhostí. Přesnost polohování je neměnná v kterémkoli místě pracovního prostoru.[6][4]



Obr. 6) Znáornění kartézského pracovního prostoru robota [4]

3.3.2 Cylindrický (válcový)

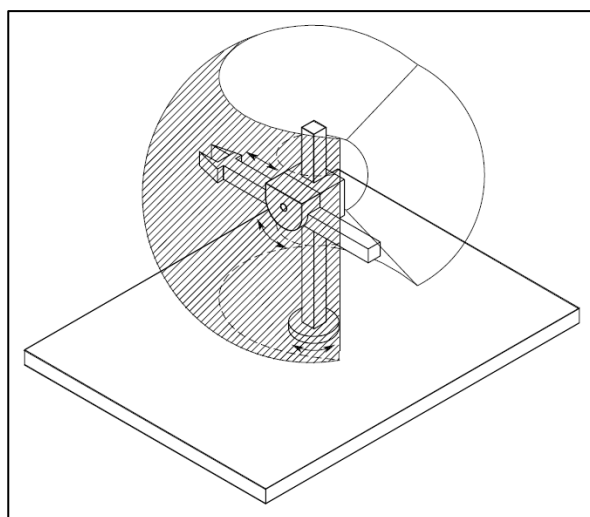
Válcový souřadnicový systém se od kartézského odlišuje nahrazením jedné z translačních vazeb vazbou rotační. Vyobrazení cylindrického souřadného systému je na obr.7. Při manipulaci v cylidrickém souřadném systému se mění úhlová orientace. Pracovní prostor robota pracujícího v cylindrickém souřadném systému má tvar části dutého válce. [4][6]



Obr. 7) Znáornění cylindrického pracovního prostoru robota [4]

3.3.3 Sférický (kulový)

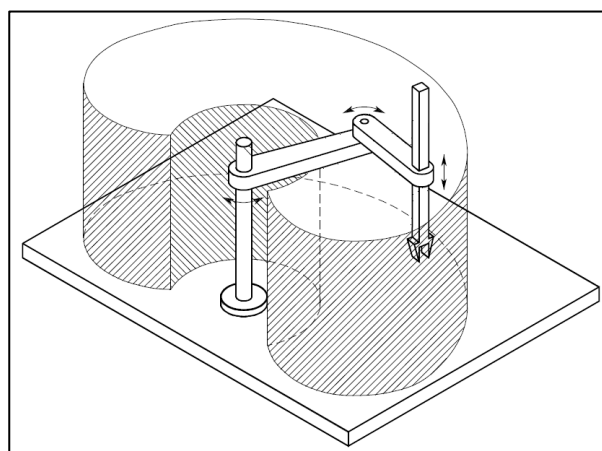
Při nahrazení vertikální (podle obr. 7.) prismatické vazby u cylindrického provedení vazbou rotační vznikne robotický manipulátor se sférickým pracovním prostorem. Pracovní prostor robota o tomto uspořádání je vyobrazen na obr. 8. Mechanická tuhost je zde nižší než u předchozích uspořádání a konstrukce robota je více komplexní. Přesnost polohování klesá s tím, jak se prodlužuje vzdálenost druhé (bráno od základu) translační osy. Jak je patrné z obrázku, pracovní prostor je tvaru výšeče duté koule.[4][6]



Obr. 8) Znázornění sférického pracovního prostoru robota [4]

3.3.4 SCARA

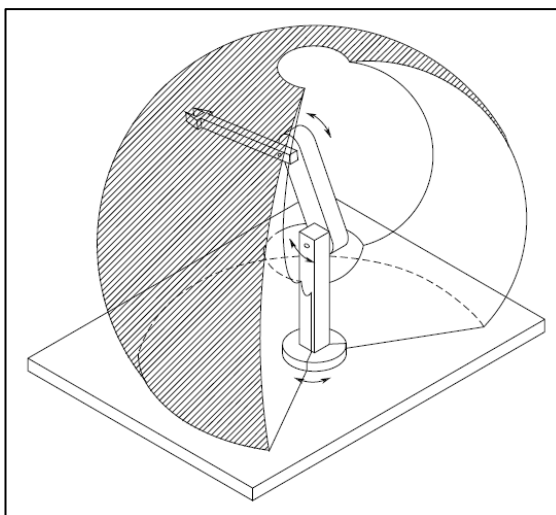
Scara je uspořádání vycházející ze dvou rotačních vazeb a jedné translační. Toto uspořádání je modifikací uspořádání pro cylindrický pracovní prostor. Na rozdíl od něj je však koncová translace zde nahrazena počátečními dvěma rotacemi orientované do jedné pracovní roviny. To přináší zvýšení rychlosti v této rovině. Znázornění pracovního prostoru uspořádání SCARA je na obr. 9. [4][6]



Obr. 9) Znázornění pracovního prostoru robota SCARA [4]

3.3.5 Angulární

Angulární (nebo také anthropomorfoická) geometrie je realizována třemi otáčivými vazbami. Vyobrazení angulárního pracovního prostoru je na obr. 10. První rotační vazba je kolmá na dvě následující rotační vazby, jejichž osy otáčení jsou rovnoběžné. Je zde možné si všimnout určité podobnosti s lidskou rukou, proto je také druhá vazba nazývána vazbou ramenní a třetí vazba vazbou loketní. Angulární uspořádání je nejobratnější, neboť všechny vazby jsou zde rotační. Na druhou stranu je zde ale horší polohování a přesnost se různí kdekoli v pracovním prostoru. Pracovní prostor má tvar části duté koule, ale její rozsah a velikost je značně závislý na celkové konstrukci robota [4][6]



Obr. 10) Znárodnění angulárního pracovního prostoru robotu [4]

3.4 Aplikace

Průmyslové roboty je vhodné nasazovat všude tam, kde je práce člověka nahraditelná robotem, tzn. při činnostech monotónních, fyzicky namáhavých ale i tam, kde je nutno dosáhnout dané jakosti a opakovatelné přesnosti. Hlavní pole působnosti je pak v automobilovém průmyslu. Zde se využívají k celé škále operací, jako např. manipulace s dílci, bodové svařování, montáž, lakování a další. Jak je vidno z operací na kterých jsou roboty nasazeny, používají se především v procesech, kde mohou zkrátit operační časy, zvýšit přesnost a nahradit pracovníky v nepříznivých pracovních podmínkách (např. lakovny). Níže tedy budou uvedeny typické příklady nasazení průmyslových manipulátorů. [4][6]

3.4.1 Manipulace s materiálem

Při volbě vhodného koncového efektoru na robotický manipulátor je možné manipulovat s prakticky jakýmkoli materiálem. Může se jednat o posuny, otáčení, zakládání do výrobních přípravků a další. Jsou zaváděny po celém světě, jsou rychlejší a přesnější než člověk a neprovádějí zbytečné pohyby. Manipulace samotná se postupem času rozdělila do několika odvětví. [6]

3.4.2 Montáž

Roboty mohou montážní operace výrazně urychlit a zpřesnit. Ve výrobních linkách často nahrazují monotónní, únavnou a nezáživnou práci. Na rozdíl od člověka dokáží pracovat rychleji a přesněji nedělají zbytečné chyby a nemají prostoje, takže zajišťují stálou a vysoce kvalitní produkci. Nicméně i tak jsou činnosti, ve kterých je lidská přítomnost zatím nenahraditelná. [6][10]

3.4.3 Balení

Robotizované balení se dá považovat za pododvětví manipulace. Nejde jen o balení samotné, používají se pro seskupování, etiketování i jednoduchou montáž balicích komponent. Balicí operace se také často liší, proto jsou roboty výhodou, neboť mohou mít k dispozici více balicích programů a mezi jednotlivými snadno přecházet. V rámci jednoho balicího systému dokáže použití robotů zvýšit rychlost linky a odstranit lidský chybový faktor. Příklad aplikace robota pro balicí operace je na obr. 11. [6][12]



Obr. 11) Robotizované balení [12]

3.4.4 Obsluha ohraňovacích lisů

Podle hmotnosti plechů správně zvolený robot může nahradit obsluhu u ohraňovacího lisu, jak vidno na obr. 12. Nahrazení lidské obsluhy robotem zde přináší mnohé výhody, jako např. vždy správné usazení plechu do lisu, zvýšení rychlosti zakládání plechů a lisu, práce bez prostojů atd. Robot a lis spolu vzájemně elektronicky komunikují, takže lis může být plně vytížen. [6]



Obr. 12) Robotická obsluha ohraňovacího lisu [11]

3.4.5 Paletizace

Paletizace je další pododvětví manipulační aplikace, její rozsáhlost však přerostla do vlastní kategorie. Robot je při tomto použití osazen vhodným koncovým efektem, jež ochopuje materiál (součásti, krabice, pytle) z daných pozic a rovná je na palety dle programu. Je zde také nutné zajistit správné uskupení materiálu před uchopením a umístěním. I to je však možné provádět pomocí robotů. Vyobrazení paletizační aplikace robota je obr. 13. [6]



Obr. 13) Paletizace pomocí robotického manipulátoru [13]

3.4.6 Lakování

V pracovním prostoru s těkavými látkami, aerosoly a v rizikových podmínkách je nasazení robota velmi vhodné z důvodu odstranění ohrožení lidského zdraví a také také dosažení konzistence nástřiku barvy nebo laku. Lakování pomocí robotů vylepšuje vzhled nástřiku, zkracuje pracovní časy, šetří materiál neboť disponuje větší efektivitou. Zároveň také zvyšuje kvalitu nástřiku. Příklad lakovací aplikace robota je na obr. 14. [6][14]



Obr. 14) Robotické lakování [14]

3.4.7 Obsluha strojů

Nahrazení lidské obsluhy strojů robotem přináší zvýšení produktivity a přesnosti. Jsou ideální volbou pro zakládání či vykládání u vstřikovacích strojů, CNC frézek a soustruhů, lisů atd.

Robot vykonává činnosti nepřetržitě, nahrazuje lidskou práci a může obsluhovat jeden i více strojů. Jedná se o pružné řešení obsluhy, která nabízí možnost provádět změny v pracovišti na základě výrobních požadavků. Díky vyloučení chyb způsobených lidským faktorem je snazší odstranění chyb nebo vad na stroji i výrobku, nebo poruch stroje. Příklad aplikace obsluhy stroje robotem je na obr. 15. [6]



Obr. 15) Obsluha stroje robotickým manipulátorem [15]

3.4.8 Řezání

Roboty představují správnou volbu v případě celé řady řezacích prací pomocí laseru, plasmu a vodního paprsku, neboť mohou vyřezávat složité tvary na potrubí, plechy nebo obrobky jiného tvaru a zvýšit flexibilitu pracovního procesu. Vysoká přesnost a schopnost vedení dráhy robotem poskytuje trvale kvalitní výrobky a to dokonce i s větší flexibilitou než u řady specializovaných řezacích strojů. [6]

3.4.9 Svařování

Využití průmyslových robotických manipulátorů pro svařovací aplikace patří v dnešní době k nejrozšířenějším, až 25% robotických manipulátorů je nasazeno právě na ně. Průmyslové robotické manipulátory nemají konkurenci při zajištění jednotnosti, opakovatelnosti a rychlosti. V základu se jedná o dvě nejrozšířenější oblasti – obloukové a bodové svařování. Někdy se také využívají pro svařování laserem. Při svařovacích operacích se uvolňuje vysoká teplota, velké elektrické proudy, nebezpečné světelné záření a jedovaté zplodiny. Nasazení robotů tak nemá jen kvalitativní a kvantitativní důvody, ale také důvody zdravotní, hygienické a ergonomické. Tato technologie bude dále blíže popsána. [6][7][9]

3.5 Svařování průmyslovými roboty

Svařování se definuje jako nerozebíratelné spojení dvou kovových součástí teplem, kde je využito jejich lokální natavení a slití ve slitině dohromady. Obecně je svařování také možno provádět tlakem a třením při deformaci kontaktních ploch.

Svařování nalézá v technické výrobě široké uplatnění. Umožňuje vytvářet tvarově složité součásti i součásti z různých materiálů. Využití nalézá v elektrotechnice i elektronice, stavbě strojů, mostů až po leteckou a kosmickou techniku. Konstrukce součástí svařováním přináší řadu výhod ale i nevýhod. Mezi výhody patří:

- Jednoduchost konstrukce
- Možnost nahrazení technologie lití popř. kování
- Redukce hmotnosti vhodnou konstrukcí a materiálem
- Růst produktivity při uplatnění mechanizovaných a automatizovaných procesů
- Redukce nákladů na výrobu
- Vyšší rychlost spojování

Mezi nevýhody svařovacích procesů naopak můžeme uvést:

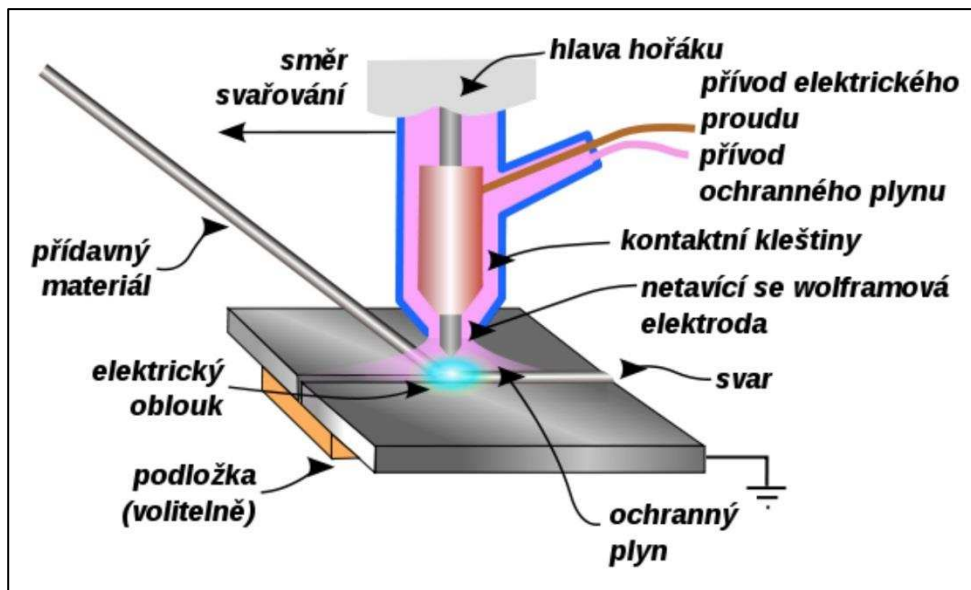
- Výskyt lokálních ohřevů
- Ohřev není stejnosměrný, nýbrž postupný ve směru svarové housenky
- Změny ve struktuře a v mechanických vlastnostech svarového spoje
- Vnitřní napětí a deformace
- Jakost je závislá na případných vnitřních vadách

Dále bude uvedeno několik typických aplikací svařování které se s úspěchem používají v automatizovaných procesech za pomoci robotických manipulátorů. [6][7]

3.5.1 Svařování WIG

WIG, neboli Wolfram Inert Gas z německého jazyka. V anglickém jazyce také pod zkratkami TIG (Tungsten Inert Gas) nebo GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). Tato metoda je založena na ohřevu materiálu výbojem elektrického oblouku mezi svařovanými součástmi a wolframovou netavicí se elektrodou. Tento výboj elektrického oblouku vytvoří na svařovaných materiálech tavnou lázeň, která po vychladnutí vytvoří svarovou housenku. Přídavný materiál (pokud je pro proces vyžadován) se dodává zvlášť přímo do tavné lázně v podobě drátu. Celý svařovací proces probíhá v ochraně netečného (inertního) plynu, jež je přiváděn skrz svařovací hořák. Od toho je vyžadována vysoká čistota, minimálně 99,995%.

Tímto způsobem lze svařovat nízkolegované oceli, korozivzdorné oceli, slitiny hliníku, hořčíku a dalších lehkých kovů. Jako plyn se využívá argon nebo směs helia a argonu. Přídavný materiál je závislý na materiálu svařovaných součástí. Touto metodou je možné svařovat i různé materiály, které jsou jinak obtížně svařitelné, např. ocel a měď. Náskres principu svařování metodou TIG/WIG/GTAW je na obr. 16. [16][6][7]



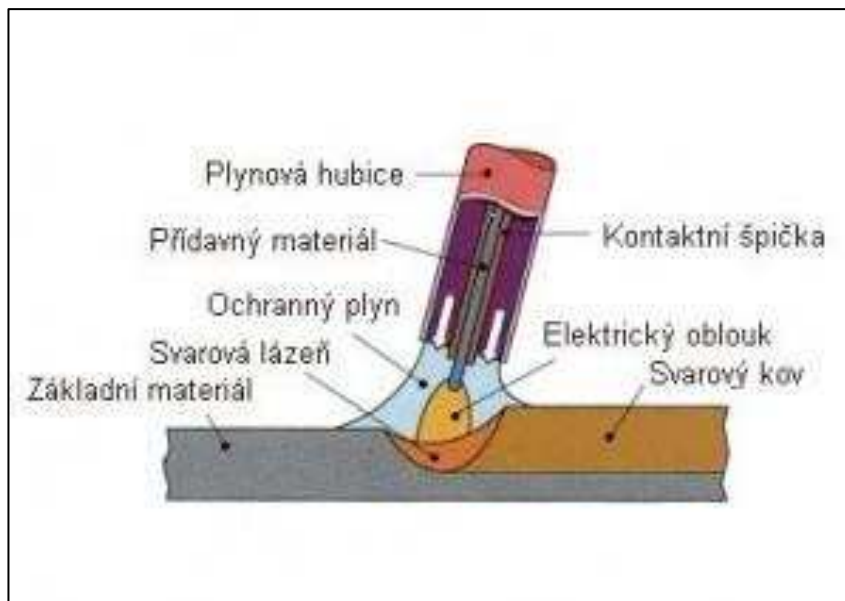
Obr. 16) Princip svařování metodou TIG/WIG/GTAW [16]

3.5.2 Svařování MIG/MAG

Zkratky MIG a MAG znamenají „Metal Inert Gas“ (kov – netečný plyn) a „Metal Active Gas“ (kov – aktivní plyn). Zdánlivě se podobá předchozímu způsobu, avšak elektroda je zde tvořena přiváděným drátem, který se odvíjí kontinuálně v průběhu svařování a odtává do svařovací lázně. Sama elektroda tak tvoří přídavný materiál. Stejně jako u metody TIG/WIG/GTAW je i zde teplo pro svařování vyvozováno výbojem elektrického oblouku mezi svařovanými součástmi a elektrodou. Svar je i v tomto případě chráněn ochranným plynem, avšak na rozdíl od předchozího způsobu je zde možnost svařovat jak netečným (MIG) tak aktivním (MAG) plynem. Aktivním plynem se rozumí plyn, jenž vstupuje do procesu tím, že ovlivňuje především materiálové vlastnosti svaru. Oba způsoby jsou tak na první pohled k nerozeznání, liší se pouze ve vlastnostech ochranného plynu. Zobrazení svařovacího procesu metodou MIG/MAG je na obr. 17.

Při svařování metodou MAG je aktivním plynem oxid uhličitý, směs oxidu uhličitého s argonem nebo vícesložková směs argonu a kyslíku (kde je však kyslík zastoupen v řádu jednotek procent). Plyny s oxidem uhličitým se používají pro svařování nízkolegovaných konstrukčních ocelí. Naopak plyny na bázi argonu zejména pro vysokolegované a korozivzdorné oceli.

Metoda MIG používá jako plyn argon, který má pouze funkci ochranné atmosféry a jinak se svařovací technologie neúčastní. Využívá se jej při vysoké čistotě (99,996% a více). Této metody se používá pro svařování hliníkových materiálů, slitin mědi, titanu apod. Někdy se také využívá směs argonu a helia. [6][7][17]



Obr. 17) Princip svařování metodou MIG/MAG [18]

3.5.3 Bodové svařování

Princip svařování pomocí odporu a tlaku. Tímto způsobem se svařují nejčastěji plechy, v průběhu procesu jsou stisknuty k sobě dvěmi měděnými elektrodami, kterými prochází vysoký elektrický proud. Ten ohřívá materiál, jež je poté zatepla a tlakem spojen. Velikost samotného svaru je přibližně závislá na velikosti elektrod. Lze také provádět modifikaci, kdy dvě statické elektrody jsou nahrazeny otáčejícími se kotouči, které mezi sebou vytvářejí kontinuální svar. Tento způsob pak nazýváme svařováním švovým. Bodové svařování našlo široké uplatnění v automobilovém průmyslu, zejména ve výrobě a montáži karoserií. [6][7]

3.5.4 Svařování laserem

Mezi další způsoby svařování vhodného pro automatizování průmyslovými roboty patří např. svařování laserem. Laser je zařízení produkující tenký paprsek světla (fotonů) o vysoké energii. Ten je usměrněn na konkrétní místo v materiálu kde materiál nataví a vytvoří svarovou lázeň. Ta po vychladnutí vytvoří svar. Nutná je zde také přítomnost ochranného plynu (argon, oxid uhličitý, dusík), který má však další specifické technologické důvody. Využití nalézá u svařování vysokolegovaných ocelí, mědí, hliníku ale i u materiálů s vysokou teplotou tavení jako molybden nebo wolfram. [6][7]

4 NÁVRH ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ

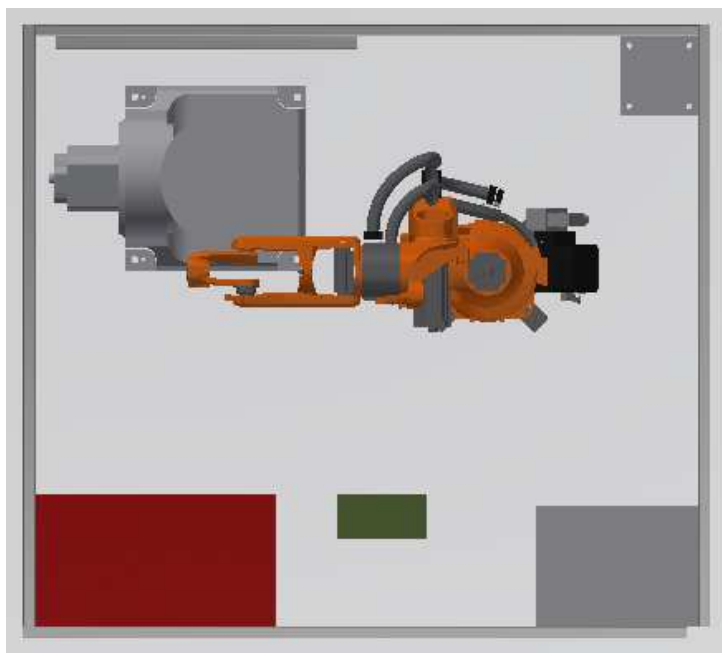
V kap. 2 byly představeny požadavky na návrh nové koncepce pracoviště. Na základě těchto požadavků tedy bude dále vytvořeno několik návrhů nového pracoviště tak, aby mohlo být vybráno to nejvhodnější.

4.1 Pracoviště s využitím pomocných manipulačních zařízení

Tento návrh spočívá v koncepci pracoviště, jež bude (tak jako původní pracoviště) obsahovat svařovacího robota a jedno polohovadlo. Na rozdíl od původního pracoviště však bude doplněno pomocné manipulační zařízení a provedena úprava svařovacího procesu, aby bylo svařeno všech šest svarů při pouze jednom otočení svařovaného dílce na polohovadle. Dále bude také pracoviště vybaveno pneumatickým sklíčidlem pro další snížení celkového času operace. Zásadní změnou je zde úprava svařovacího procesu.

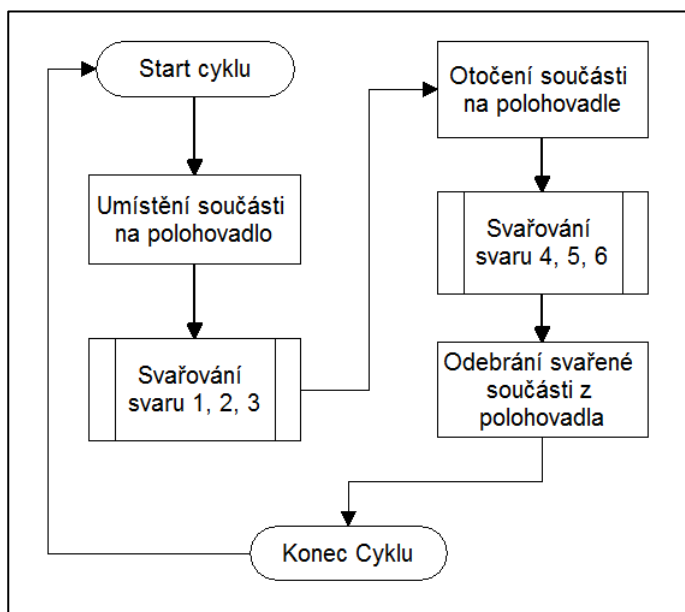
Tu lze upravit naklopení polohovadla v jedné ose polohovadla tak, aby osa součásti byla v horizontální poloze, a zavedením svařovacího posuvu otáčením kolem druhé osy polohovadla (součásti) při statickém robotu. Typicky se jedná o svary 1, 3, 4 a 6 (na obr. 1) zatímco svary na 2 a 5 na koncích přírub budou svařeny stávajícím procesem natočením tak, aby osa součásti byla ve vertikální poloze kdy svařování probíhá opět otáčením druhé osy polohovadla kolem osy součásti. Takto navržený proces má potenciál ke zvýšení produktivity, avšak stále stále zůstává nevýhoda, kdy robot a obsluha na sebe vzájemně čekají.

Hlavním přínosem tohoto návrhu je radikální snížení lidské práce a námahy a nízké náklady. Návrh spočívá v konstrukci pracoviště se sloupovým jeřábem s volně otočným ramenem a jeřábovou kočkou umístěnou tak, aby obsluha byla schopna dosáhnout jak polohovadla umístěného přímo v pracovišti tak i mimo pro manipulaci na např. přepravní vozíky, popř palety. Konec lana kladkostroje je pak osazen vhodným manipulačním přípravkem pro upnutí/zavěšení dílce. Vstup pro zakládání dílce do pracoviště a následnou manipulaci s ním je řešen posuvnými dveřmi. Dveře jsou řešeny pro uchycení ve třech bodech a to tak, aby nijak nevadily zakládání pomocí jeřábu. Layout návrhu je vyobrazen na obr. 18. pracovní proces pak na obr. 19.



Obr. 18) Návrh layoutu pracoviště

Návrh také předpokládá konstrukci přípravku pro manipulaci a otáčení svařované součásti. Požadavky na něj jsou především jednoduchost a bezpečnost a s ohledem k tomu bude případně navržen. Pracoviště využívá automatického pneumatického sklíčidla řízeného přímo robotem pro ušetření neproduktivních časů.



Obr. 19) Diagram pracovního procesu návrhu pracoviště s manipulačními zařízeními

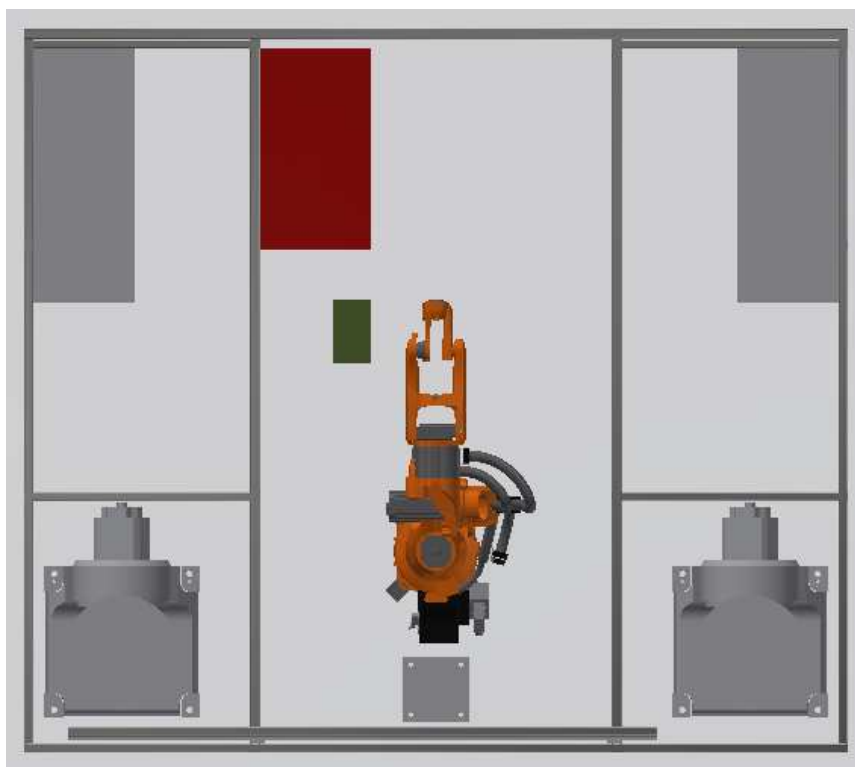
Bohužel nedá se předpokládat, že toto řešení povede k zásadnímu zvýšení produktivity. Na jednu stranu se sníží čas samotného svařovacího procesu, dále také času upínání, ale je zde předpoklad zvýšení základacích časů mechanizovaného zakládání. Jedinou výhodou tohoto návrhu tak zůstávají nízká cena a odstranění manuální lidské práce.

4.2 Pracoviště se dvěma zakládacími polohovadly

Při zvážení zásadních problémů a požadavku na zvýšení produktivity za současného požadavku odstranění fyzicky namáhavé práce se nabízí možnost návrhu pracoviště se dvěma polohovadly. Tento návrh odstraňuje základní neproduktivní časy robota i obsluhy a to tím způsobem, že robot i obsluha mohou provádět úkony úplně, nebo alespoň částečně současně

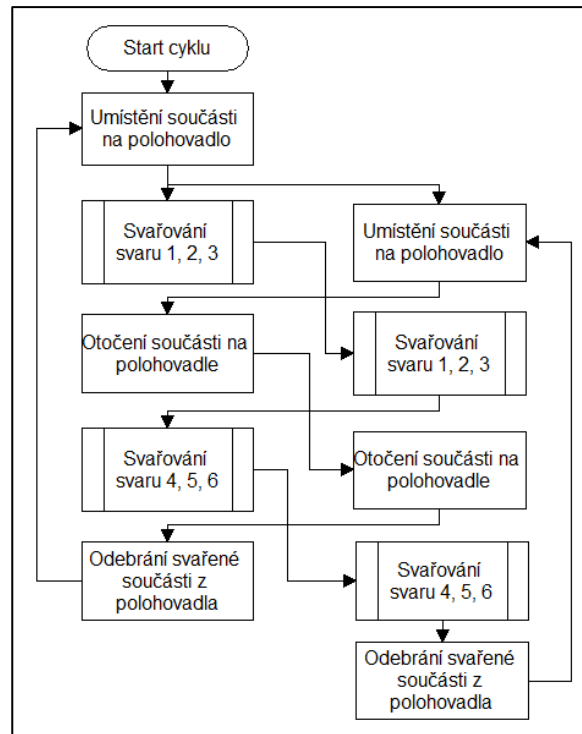
Návrh spočívá v koncepci pracoviště zobrazené na obr. 20. Pracoviště je uspořádáno se dvěma polohovadly, mezi kterými je umístěn svařovací robot tak, aby dosáhl na obě polohovadla a na obou mohl provádět totožné svařovací operace. Tohoto lze využít tak, že v průběhu práce robota na jednom dílci umístěném na jednom polohovadle obsluha provádí manipulaci s dalším dílcem na druhém polohovadle. Toto lze provádět současně při zajištění dostatečných bezpečnostních opatření. V dalším kroku se role robota a obsluhy prohodí. Celý pracovní proces pak odpovídá diagramu na obr. 21.

Pro manipulaci je i zde předpoklad použití volně otočného sloupového jeřábu, umístěného na středním sloupu při kraji ohrady robotického pracoviště tak, aby kružnice osy zdvihu protínala jak obě zakládací polohovadla tak dosáhla i mimo robotické pracoviště pro umístění na přepravní vozíky, popř. palety nebo jiné logistické řešení konkrétní pro danou firmu. Upevnění, resp. uchopení i zde předpokládá využití přípravku jako v předchozím návrhu.



Obr. 20) Návrh layoutu pracoviště

Návrh také využívá možnosti použití automatizovaných sklíčidel řízených výrobním systémem robota, tak aby se námaha obsluhy snížila na minimum. Veškerá manipulace s dílci tak teoreticky předpokládá využití jen minimálního lidského úsilí.



Obr. 21) Diagram pracovního procesu návrhu pracoviště se dvěma polohovadly

Toto řešení předpokládá snížení výrobního času na minimum. Jedinou podmínkou pro takové snížení výrobního času je předpoklad rychlosti obsluhy při manipulaci s dílci, tj. zakládání, vykládání a otáčení dílců. Vzhledem k časům svařovacího procesu a předpokladu rovnoměrného rozložení počtu svarů při svařování (tj. 3, otočení dílce a další 3) by to mělo být zvládnutelné. Další výhodou tohoto řešení optimalizace pracovního prostoru. Ten je možné uzpůsobit tak, že v pracovišti nebude ideálně žádný nebo jen minimální nevyužitý prostor. Výhodou je také jednoduchost pracoviště, neboť lze předpokládat relativní jednoduchost umístění komponent a jednoduchost programového vybavení.

Mezi nevýhody tohoto pracoviště patří jeho vyšší pořizovací náklady. Vedle jeřábu je předpoklad nákupu několika tmavých panelů pro splnění bezpečnosti a především nákup druhého polohovadla. Jedno polohovadlo je k dispozici z původního pracoviště a vzhledem k tomu že je spolehlivé a osvědčené, není důvod jej nahrazovat jiným. Je tedy předpoklad nákupu druhého polohovadla DKP-400 od firmy kuka, neboť toto řešení je ověřeno a odzkoušeno. Zatímco původní pracoviště bylo konstruováno pouze pro jednoho robota a jedno polohovadlo, toto pracoviště by vyžadovalo kompletně nové uspořádání, tzn. nejdříve vymezit prostor pro pracoviště a následně vytvořit zcela nové oplocení. Na pracovišti také stále zůstává poměrně významný podíl obsluhy. I když pracoviště je navrženo tak aby se minimalizovala namáhavá práce, stále musí být přítomna obsluha na poměrně vysokém počtu operací.

4.3 Pracoviště se dvěma zakládacími polohovadly s automatickou výměnou součástí

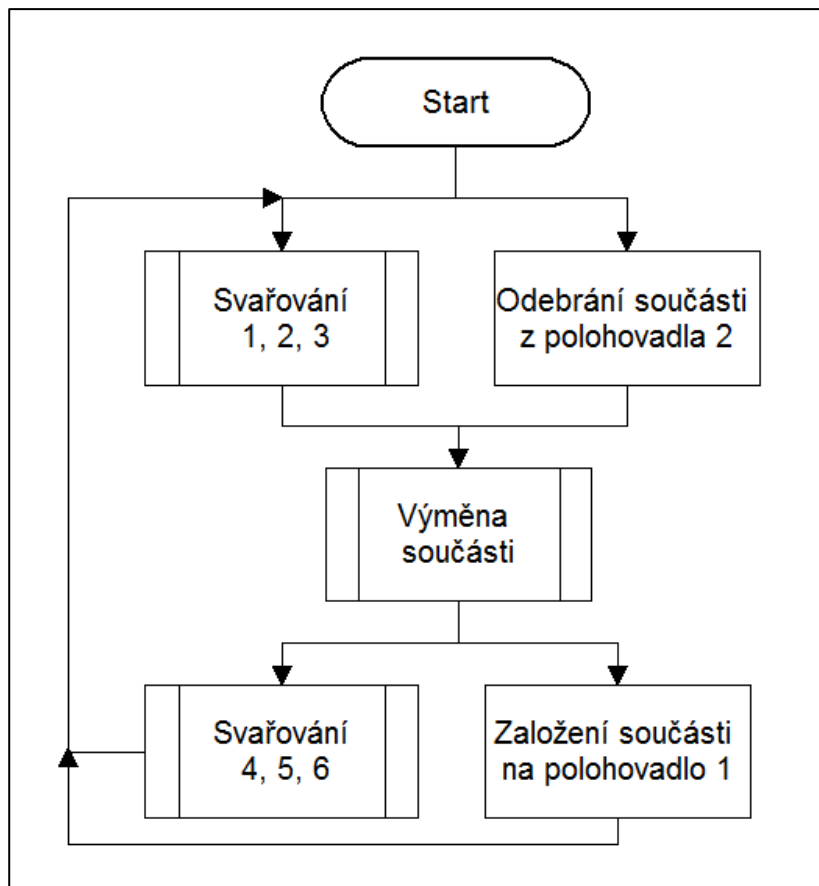
Návrh vychází z předchozí koncepce. Také tento návrh předpokládá použití dvou polohovadel, avšak eliminuje nutnost otáčení dílců na polohovadlech během pracovního procesu. Otočení dílců je v tomto návrhu vyřešeno předávkou dílců na polohovadlech mezi sebou. Proces tedy probíhá tak, že po svaření třech svarů na prvním polohovadle se polohovadla natočí k sobě tak,

aby osy sklíčidel na polohovadlech byly totožné. Poté se rozevrou čelisti na druhém polohovadle a jedno z polohovadel se přisune k druhému. Čelisti na druhém polohovadle uchopí dílec a čelisti na prvním polohovadle jsou uvolněny. Následně se polohovadla odsunou a dílec je tedy upnut obráceně na druhém polohovadle, kde proběhne svaření dalších tří svarů.

Na rozdíl od předchozího návrhu je robot a sloup jeřábu umístěn v pracovišti jinak, aby nekolidoval s dráhou translačního posunu polohovadla. Návrh tedy předpokládá umístění jednoho z polohovadel na pohyblivou a řízenou translační osu, řízenou robotem jako sedmá osa. I v této koncepci se předpokládá využití jeřábu pro eliminaci namáhavé lidské práce. Ten je řešen podobně jako v předchozím návrhu: otočně tak aby dosáhl na obě polohovadla v základním ustavení pro zakládání a vykládání dílců a také pro manipulaci mimo robotizované pracoviště. Také je zde předpoklad přípravku, ovšem ten může být jednodušší, neboť není vyžadována schopnost otáčení dílce na polohovadle, pouze založení a vyložení v pracovišti.

Výhodou tohoto návrhu je zásadní eliminace možné chyby obsluhy. U předchozích návrhů musí obsluha dbát na to, aby byl dílec otočen, když má být otočen. Tento návrh toto riziko eliminuje, otáčení je zde zajištěno upořádáním a možnostmi pracoviště. Navíc je i příznivé jeho uspořádání vzhledem k pracovnímu procesu, neboť na jednom polohovadle jsou dílce pouze zakládány, zatímco na druhém pouze vykládány. Celý pracovní proces je vyobrazen na diagramu na obr. 22.

Zásadním problémem tohoto návrhu je však technická proveditelnost. Aby bylo možno toto uspořádání provést, bylo by zapotřebí velice přesného srovnání polohovadel vůči sobě. Při „předávce“ dílců je totiž nutné dosáhnout toho, aby část, za kterou je dílec uchopován na druhém polohovadle, byla přesně v ose sklíčidla. Pokud by to nebylo dosaženo, hrozí riziko nepředvídatelných sil a momentů na obě polohovadla i na samotný translační posuv polohovadla. Další nevýhodou je také to, že nelze předpokládat, že výrobce zaručí určitou úroveň přesnosti, resp. opakovatelnosti při ustavování vzájemné polohy robota a polohovadla. To by potenciálně mohlo přinést mnoho problémů při uvádění pracoviště do provozu. Nevýhodou je také produktivita. I když návrh ušetří jednu ze tří manuálních operací obsluhy, obsluha stále bude muset být přítomna prakticky nepřetržitě. Navíc předávka dílce mezi polohovadly zabere určitý čas, při kterém nebude možné provádět žádné jiné operace. Při tomto čase tak bude neproduktivní jak robot, tak obsluha. Návrh jako celek se také řadí k nákladově náročnějším, k investicím uvedených v předchozím návrhu je nutno přičíst navíc investice do polohovací translační osy na jednom polohovadle.



Obr. 22) Diagram pracovního procesu návrhu pracoviště s výměnou mezi polohovadly

4.4 Pracoviště s manipulačním robotem

Tato koncepce robotizovaného pracoviště je ze všech nejpropracovanější a nejsofistikovanější. Vychází z předpokladu minimalizace lidských obslužných operací při zakládání, vykládání a manipulaci na polohovadlech a minimalizace obslužných operací při toku materiálu skrz pracoviště.

Do pracoviště je umístěn druhý robot, který se stará o manipulaci s materiálem na polohovadlech i o veškerou ostatní manipulaci. Dílce jsou do robotizovaného pracoviště dodávány na zakládacích vozících/přípravcích, pro které je uzpůsoben software manipulačního robotu. Ten je z tohoto zakládacího přípravku odebírá a umísťuje na polohovadla, kde s nimi podle potřeby procesu také dále manipuluje. Dílce také po provedení všech svařovacích operací odebírá z polohovadel a umísťuje do vykládacího vozíku/přípravku. Svařovací část pracoviště má pak podobné uspořádání, jako v návrhu pracoviště se dvěma polohovadly. V tomto případě je však svařovací robot umístěn mezi polohovadly. Představu o pracovišti je možné si udělat z obr. 20, pouze místo prostoru pro obsluhu je vyhrazeno pro manipulačního robota a nejsou přítomny ochranné ploty oddělující robota od obsluhy a jeřáb. Celé robotizované pracoviště je tak tímto podstatně rozlehlejší. Manipulační robot je umístěn tak, aby dosáhl na obě polohovadla a současně na zakládací i vykládací přípravky.

Významnou výhodou tohoto návrhu je vysoká úroveň automatizace. Obsluha do pracoviště zakládá dílce po větším množství a o celý pracovní proces se stará pracoviště samo. To logicky eliminuje možné chyby způsobené chybou člověka. Obsluha pracoviště není tolik vázaná na pracovní proces a v jeho průběhu se může věnovat i jiným činnostem, neboť celý

proces probíhá dávkově dle kapacity zakládacích a vykládacích přípravků. Fyzická práce na pracovišti je pak prakticky nulová.

Největší nevýhodou tohoto návrhu jsou však náklady. Pro zprovoznění tohoto pracoviště by bylo nutno investovat do manipulačního robota. Při uvážení hmotnosti a rozměrů modelového zakládaného dílce by tento robot musel být poměrně výkonný, což se na nákladech pochopitelně odrazí. Další nevýhodou je oproti předchozím návrhům větší zastavěná plocha pracoviště, ale také náročnější řešení technického vybavení pracoviště. Pracoviště sice nemusí nutně obsahovat clony pro svařování, nicméně ohrady pracoviště jsou větší. Je také nutno vyřešit např. zakládací a vykládací přípravky

4.5 Výběr nejvhodnější varianty

Vybrat nejvhodnější variantu v této konkrétní aplikaci znamená najít optimum mezi investicí a přínosy, a to jak materiálními tak nemateriálními. Na místě tedy je, porovnat návrhy podle nákladové náročnosti, a rozhodovat o přínosech, možnostech, výhodách a nevýhodách jednotlivých návrhů pracovišť.

První návrh, tj. využití současné podoby robotizovaného pracoviště, je ze všech nejméně investičně náročný. Jeho hlavním přínosem je odstranění fyzicky namáhavé lidské práce. Nelze ovšem předpokládat zásadní zvýšení produktivity. Výhody nabízí v podstatě jen v oblastech ergonomie a hygieny.

Návrh se dvěma statickými polohovadly je už investičně náročnější, nicméně slibuje vysokou produktivitu. Stále je nutná přítomnost obsluhy, ta je však mnohem více vytížena a tudíž více produktivní než u stávajícího pracoviště. Rovněž se zvyšuje vytíženost robota.

Návrh s jedním statickým a jedním posuvným polohovadlem vyžaduje ještě větší investici, než návrh předchozí, bohužel však nenabízí nic moc navíc. Zvýšení produktivity oproti předchozímu návrhu je přinejmenším diskutabilní (výměna součásti zde představuje neproduktivní čas), obsluha musí být nepřetržitě přítomna a náročná fyzická lidská práce je eliminována i v předchozím návrhu.

Poslední návrh, pracoviště s manipulačním robotem, nabízí nejvyšší produktivitu ze všech. Obsluha je v tomto návrhu eliminována na minimum a může se věnovat jiným činnostem. Je však na pováženou, zda se takto finančně náročné řešení vyplatí a jaká by byla doba návratnosti.

Vzhledem k výše uvedenému srovnání bude dále řešen návrh se dvěma statickými polohovadly, neboť slibuje nejlepší poměr ceny a produktivity.

5 NÁVRH DÍLČÍCH SYSTÉMŮ

V předchozí kapitole byla vybrána optimální koncepce pracoviště. Je ovšem také nutné pracoviště vybavit přípravky, zařízeními a všemi dalšími systémy pro požadovanou funkčnost pracoviště. Zde tedy budou vybrány dílčí systémy nutné pro činnost pracoviště.

5.1 Upínání

Na samotné polohovadlo DKP-400 je nutné navrhnout vhodný systém upínání součástí a to zejména s ohledem na produktivitu a přesnost. Vzhledem k unifikaci a charakteru práce, s přihlédnutím k polohovací přesnosti se jako nejvhodnější varianta jeví využití tří nebo čtyřčelistového pneumatického sklíčidla. Toto sklíčidlo může být vybaveno přestavnými čelistmi pro případ, že se změní upínací rozměry. Navíc při použití elektricky řízených pneumatických rozváděčů je možné, aby byla upínací síla iniciována přímo řídicím systémem robota.

Pro pracoviště tak byla vybrána tříčelist'ová sklíčidla PU3S od firmy Poličské strojírný, která budou upnuta na polohovadla a ovládána stlačeným vzduchem přes pneumatické rozváděče SYJ5000 od firmy SMC umístěné v podpůrném rozvaděči. Stlačený vzduch je k dispozici z centrálního rozvodu stlačeného vzduchu. [22][23]

5.2 Svařovací vybavení

Pro svařování typu MIG/MAG použité v dané technologii je nutné řešit vybavení, které bude vhodné pro dané pracoviště. Jedná se především o svařovací zdroj (dále svářečka), zařízení pro odvíjení drátu, tlakové lahve se svařovacím plynem, svařovací hořák.

Výslovným požadavkem zde bylo, aby toto vybavení bylo použito z původního pracoviště (kvůli zachování technologie) a také nebylo nutné dalších nezanedbatelných investic. Z tohoto důvodu nebude svařovací vybavení navrhováno a hledáno optimum kladené na vybavení, nýbrž bude hledáno optimum konstrukce samotného pracoviště aby splnilo požadavky na nové pracoviště s využitím původního svařovacího vybavení.

5.3 Zakládací vybavení

Zakládacím vybavením je myšleno vše, co usnadňuje manipulaci s obrobkem u obsluhy pracoviště. Jak vyplývá z koncepce zvolené výše, bude se jednat o sloupový jeřáb a přípravek.

5.3.1 Sloupový jeřáb

Aby byla odstraněna namáhavá manuální práce, byl do pracoviště navržen volně otočný sloupový jeřáb. Jeho základna je umístěna symetricky mezi oběma polohovadly blíže u stěny, takže jeřábem je možno obsluhovat všechny úkony pracoviště, tzn. zakládání, otáčení a vykládání na obou polohovadlech. Dále také manipulace se součástmi i v obslužném prostoru pracoviště. Takto zvolený a umístěný sloupový jeřáb eliminuje veškerou namáhavou práci, neboť jeho využitím je možné provádět všechny pracovní i procesní úkony.

Pro konkrétní aplikaci byl po zvážení nosností a rozměrů vybrán sloupový jeřáb KBK 100-101 od firmy DEMAG (Konecranes and Demag s.r.o.). [20]

5.3.2 Manipulační přípravek

Pro sloupový jeřáb je také nutno navrhnout manipulační přípravek, přes který bude možné svařovanou součást uchopit. Navíc je nutné přípravek navrhovat s ohledem na možnost jednoduchého otáčení součásti na polohovadle, což je operace prováděná obsluhou během svařovacího procesu. Požadavky na přípravek jsou zejména jednoduchost, snadná a intuitivní obsluha, bezpečnost a co nejmenší čas pro operace prováděné s přípravkem.

Návrh přípravku je zobrazen na obr. 23. Vyobrazení funkce ustavení součásti v přípravku pak na obr. 24. Jeho konstrukce sestává ze tří svařenců (rám přípravku, část pro uchopení součásti, část pro uchopení obsluhou) a několika dalších spojovacích součástí. Vzhledem k tomu, že přípravek je obsluhován člověkem, není řešen pro přesné ustavení, neboť přesné ustavování na sklíčidla je záležitostí obsluhy. Hmotnost přípravku dosahuje 5,4 kg, což je poměrně dost, ovšem obsluha by neměla přípravek nijak zvedat, pouze měnit jeho orientaci.

Funkce přípravku spočívá v uchopování součásti volně mezi dvěma středními nákrážky součásti. Toto uchopení zajistí optimální umístění těžiště součásti blízko osy otáčení čepu přípravku. Při nadzvednutí součásti přípravkem do vzduchu dojde k vymezení celkového těžiště do osy lana. Přípravek je uzpůsoben tak, aby sama gravitace bránila v tomto případě svévolnému vypadnutí součásti z přípravku a to i při otočení součásti kolem osy čepu přípravku. Přípravkem je tak možno velmi jednoduše a rychle součásti uchopovat a manipulovat ale také otáčet, což je přesně to, co pracoviště vyžaduje. Navíc je toto vše možné provádět teoreticky jen jednou rukou, i když to nelze doporučit vzhledem k ergonomii a hygieně. Samotná část přípravku pro ovládání je navržena s přihlédnutím k co možná největšímu uživatelskému komfortu. Pro správnou funkci přípravku je nutné vycházet z rozměrů uvedených v nákrese přípravku v příloze 2.



Obr. 23) Návrh manipulačního přípravku



Obr. 24) Funkce ustavení součásti v přípravku při nadzvednutí

5.4 Přístupové dveře

Přístupové dveře plní v robotickém pracovišti funkci spíše bezpečnostní funkce, i tak je ale vhodné je uvažovat již při konstrukci pracoviště (přestože bezpečnost pracoviště bude řešena dále). Přístupové dveře v tomto pracovišti svými pohyby omezují, resp vymezují vzájemné přístupové a pracovní prostory robota, polohovedal i obsluhy tak, aby nemohlo dojít k jejich vzájemné kolizi.

V pracovišti se nachází celkem troje přístupové dveře: jedny na straně pracoviště směrem k obsluze, které svými rozměry a jednou nebo druhou krajní polohou překrývají buď jeden nebo druhý přístupový prostor k polohovačům. Další dvojice dveří je pak kolmo k těmto předním dveřím a oddělují prostor polohovačů od robota.

Všechny tyto dveře jsou uloženy na HIWIN lištách pro přímočarý pohyb. HIWIN lišty jsou umístěny ve spodních částech dveří, v hodních jsou uloženy v pravoúhlém třecím vedení. Rám nad přístupovým oknem pro obsluhu je zejména v případě předních přístupových dveří vyloučen, neboť by kolidoval s lanem sloupového jeřábu pro manipulaci obrobku na polohovačích. Všechny dveře jsou poháněny vzduchem, přímočarými pneumotory. [24][25]

5.5 Odsávání svařovacích dýmů

Při svařovacích procesech vznikají svařovací dýmy, které mohou být potenciálně nebezpečné. I když obsluha je významným způsobem oddělena od samotného svařovacího procesu, odsávání svařovacích dýmů je rozhodně žádoucí, při řešení bezpečnosti pak bude posouzena jeho nutnost.

Pro pracoviště byl navrhnout digestoř od firmy TIGEMA který ovšem nebude obsažen v samotné konstrukci, neboť se předpokládá jeho montáž přímo na strop nad pracoviště. Digestoř tedy nebude součástí samotného pracoviště. [26]

6 VIRTUÁLNÍ MODEL A ŘEŠENÍ BEZPEČNOSTI

Při uvažování návrhu pracoviště již byl vytvořen základní virtuální model. V této kapitole tak tento základní model bude osazen všemi stanovenými dílčími systémy z kapitoly předchozí tak, aby bylo možné virtuální sestavu upravit a odladit její nedostatky. To je nutné vzhledem k tomu, že jednotlivé dílčí podsestavy budou použity jako vstupní entity do modelu simulačního.

Virtuální model bude vytvořen v softwaru Autodesk Inventor Professional 2017, jež je k tvorbě virtuálních součástí a sestav vhodný. Důležitá je ovšem analýza bezpečnosti spojená s návrhem. Základní model je představen v kap. 4, a na němž bude provedena analýza rizik, ze které budou výstupem finální požadavky na konstrukci.

6.1 Bezpečnost pracoviště

Bezpečnost robotizovaného pracoviště bude pozouzena podle dvou platných norem týkající se bezpečnosti daného návrhu, a sice normy ČSN EN ISO 12100, která určuje všeobecné požadavky na bezpečnost strojních zařízení a určuje postupy při redukci rizik, a normy ČSN EN ISO 10218-1 určující požadavky na bezpečnost pracovišť s průmyslovými roboty a seznam hlavních rizik typických pro tato pracoviště. Jednotlivé interakce a vazby dílčích systémů jsou popsány v samotném návrhu, případně v popisu dílčích systémů. Nejprve tedy bude provedena analýza základních bezpečnostních opatření, následně analýza rizik a jejich snížení. [27][28]

6.1.1 Základní bezpečnostní opatření

Mezi základní bezpečnostní opatření uvažované již při návrhu pracoviště jsou ty, která musejí být přítomna, aby pracoviště mohlo splnit bezpečnostní nároky, nebo ta, která jsou vyžadována přímo normou.

Při svařovacích ale i jiných operacích, kde se vyskytuje automatických pohybů nejen robotů je nutné, aby obsluha nemohla v žádném případě přijít do kontaktu s pohyblivými se částmi. Toto nemusí platit pro seřizování, opravy a údržbu, nicméně v těchto případech jsou pohyby robota omezené rychlostně i funkčně.

Vyloučení kontaktu robota a obsluhy zajišťuje systém posuvných dveří u obou svařovacích prostorů. Tyto dveře se představují tak, aby vždy do jednoho operačního prostoru (tj. prostor polohovadel) měla přístup obsluha a neměl přístup robot a naopak. Pohyb dveří v koncových polohách je snímán koncovými spínači. Pokud nejsou dveře ve správných polohách, robot nemůže pracovat.

Také je nutné, aby bylo na pracovišti bylo dobře přístupné tlačítko nouzového zastavení. To bude umístěno na přední části pracoviště mezi pracovními prostory tak, aby bylo uprostřed stanoviště a pracovního prostoru obsluhy ve standardní, dobře přístupné a ergonomicky logické výšce v souladu s normou.

Dále tedy budou identifikována hlavní nebezpečí týkající se daného návrhu pracoviště vybraná dle normy ČSN EN ISO 10218-1 a provedena jejich redukce dle postupů v normě ČSN EN ISO 12100. [27][28][29][30]

6.2 Identifikace hlavních nebezpečí a jejich redukce

6.2.1 Nebezpečí stlačení přístupovými dveřmi

Přístupové dveře obsluhy do operačních prostorů jsou vyrobeny z jednotné konstrukce a jsou řešeny jako jeden pohyblivý kus. To znamená že pokud se jeden operační prostor otevírá, druhý se zavírá. Otevírání a zavírání je řešeno pneumaticky. Při zavírání hrozí nebezpečí stlačení ruky mezi dveře a rám (oplocení) pracoviště. Aby bylo zavírání bezpečnější, bude pracoviště osazeno světelnou závorou s rozlišením prstu. Pokud tedy bude v prostoru před dveřmi cizí těleso, zavírání se zastaví.

I přesto by ovšem hrozilo stlačení dveřmi při kontaktu v závěru zavírání dveří. Proto bude pro posuv dveří snížen tlak vzduchu redukčním ventilem. Tím se sice nebezpečí nevyloučí, nicméně následky i v případě stlačení nebudou vážné.

Na dveře bude také dána výstraha před dáváním rukou do prostoru dveří při jejich zavírání a obsluha musí být informována o této výstraze. [27][28][29][31][32]

6.2.2 Nebezpečí pádu materiálu

Při zakládání materiálu do operačního prostoru s ním manipuluje obsluha. Hrozí zde pád a při hmotnosti cca 8 kg může způsobit vážná poranění např. nohou.

Nejprve byl vytvořen přípravek, který pád materiálu při správném použití vylučuje.

Přípravek byl dále upravován tak, aby pád materiálu mohl být vyvolán pouze zcela nesprávným použitím za zvýšené fyzické námahy.

Aby ale k pádu materiálu (součásti) z přípravku nedocházelo, musí být obsluha proškolená v používání přípravku. [27][28]

6.2.3 Tepelná nebezpečí

Při svařování se uvoňuje značné množství tepla, součást se ohřívá a i s ohřátou součástí je nutné manipulovat, jakékoli chlazení by bylo komplikované nebo značně negativně ovlivňovalo produkci.

Již výše byl tedy vytvořen přípravek, aby nebylo nutné se součástí nijak dotýkat a veškerá manipulace probíhala přes tento přípravek.

Konstrukce přípravku byla uzpůsobena tak, aby obsluha manipulovala se součástmi přípravku co možná nejdále od zdroje tepla (součástí) a byla tak vystavena co nejmenšímu tepelnému záření. Zároveň bude obsluha také vybavena příslušnými svařovacími rukavicemi

Na dveře také bude umístěno příkazové upozornění prikazující používání stanovených rukavic při manipulaci s materiálem (součástmi). Na toto nebezpečí a nařízení musí být obsluha také proškolená. [27][28]

6.2.4 Nebezpečí záření

Svařování materiálu se vyznačuje produkcí zdraví nebezpečného elektromagnetického vyzařování. To může způsobit poškození očí nebo kůže.

Celé pracoviště, resp. jeho oplocení včetně přístupových dveří pro obsluhu i robota tak bude namísto standardního pletiva osazeno neprůsvitným plechem nýtovaným na rám ohrady pracoviště.

Kompletní zakrytí by však znamenalo nemožnost sledovat (např. za účelem seřizování) svařovací proces a pro seřizování by bylo pracoviště předpokládaně nesprávně používáno.

Proto v přístupových dveřích pro obsluhu budou umístěny dva průhledy (do každého operačního prostoru jeden) osazené kouřovým svařovacím sklem.

Dále bude přidáno upozornění, že nikdo nesmí sledovat svařovací proces jinak než skrz k tomu určený průzor. Toto upozornění musí být také součástí školení obsluhy, včetně seřizovačů. [27][28][33]

6.3 Virtuální sestavení a vytvoření modelu

V softwaru Autodesk Inventor Professional byly vytvořeny jednotlivé komponenty. Ty byly exportovány do souborů příslušného formátu a samotné virtuální sestavení robotizovaného pracoviště je provedeno v softwaru Siemens Process Simulate. Uspořádání pracoviště je zobrazeno na obr. 25, perspektivní pohled pak v příloze 1. Nákres půdorysu pracoviště obsahující základní rozměry v příloze 3.

Rám a oplocení pracoviště je řešeno konstrukcí ze čtvercového dutého profilu dle ČSN 42 5720 o rozměru 40x40 mm. Pro větší jednoduchost a unifikaci je tento profil použit pro veškerá místa oplocení, ale i dalších konstrukčních celků, jako např. přístupových dveří. Návrh modelu oplocení, resp. rámu je svařovaný a zajišťuje tak celkově dobrou tuhost a odolnost proti kolizím. Jak bylo vyřešeno v kapitole o bezpečnosti, oplocení bude řešeno neprůhledně, a to přinýtováním plechů na následující místa:

- boky pracoviště
- přední strana pracoviště
- všechny přístupové přesuvné dveře
- zadní stěna operačního prostoru (přepážka mezi polohovadly a rozváděči).

Z důvodu přehlednějšího zobrazování a jednoduššího náhledu nebude plechová výplň součástí virtuálního modelu, ani simulačního modelu.

Pracoviště disponuje celkem třemi dveřmi, jež jsou umístěné na lineárních vedeních. Dvoje z nich, které určují přístup robota do operačního prostoru, mají na sobě namontované kolejnice lineárního vedení, přičemž vozíky lineárního vedení jsou statické na rámu oplocení pracoviště. Dveře jsou co do šířky větší než je jejich pojezd, aby bylo možné je upevnit v celé dráze jejich pracovního přesunu. Namontováním kolejnice na dveře a vozíku kolejnice na rám je výhodnější z hlediska nečistot. Lze předpokládat, že přímo nad dráhou vedení bude probíhat svařovací proces, ve kterém vznikají nečistoty a prach. Pokud by byla kolejnice na rámu a vozík kolejnice na dveřích, svařovací proces by mohl probíhat přímo nad kolejnicí a způsobovat problémy se spolehlivostí a údržbou. Stejně tak jsou řešeny dveře přístupové pro obsluhu, pouze se vyznačují odlišnou konstrukcí. Dveře jsou umístěny těsně za přední stranou pracoviště a jejich velikost je daná jejich funkcí. Jsou navrženy tak, aby vždy v jedné poloze umožňovaly přístup obsluhy do jednoho operačního prostoru pracoviště a současně blokovaly přístup do operačního prostoru druhého. Samotnou konstrukcí těchto dveří je tak dosaženo větší bezpečnosti, neboť obsluha nemůže přijít do kontaktu s robotem.

V operačních prostorech se nacházejí dvě polohovadla KUKA DKP-400, osazená pneumatickými sklíčovými, orientovaná tak, aby součást do nich upnutá mohla být naklopena směrem do středu (kolem osy kolmé na přední stranu pracoviště) a současně rotována kolem vlastní osy pro vyvození svařovacího pohybu. Celé toto řešení musí být uspořádáno tak, aby robot měl zaručený přístup k celému procesu.

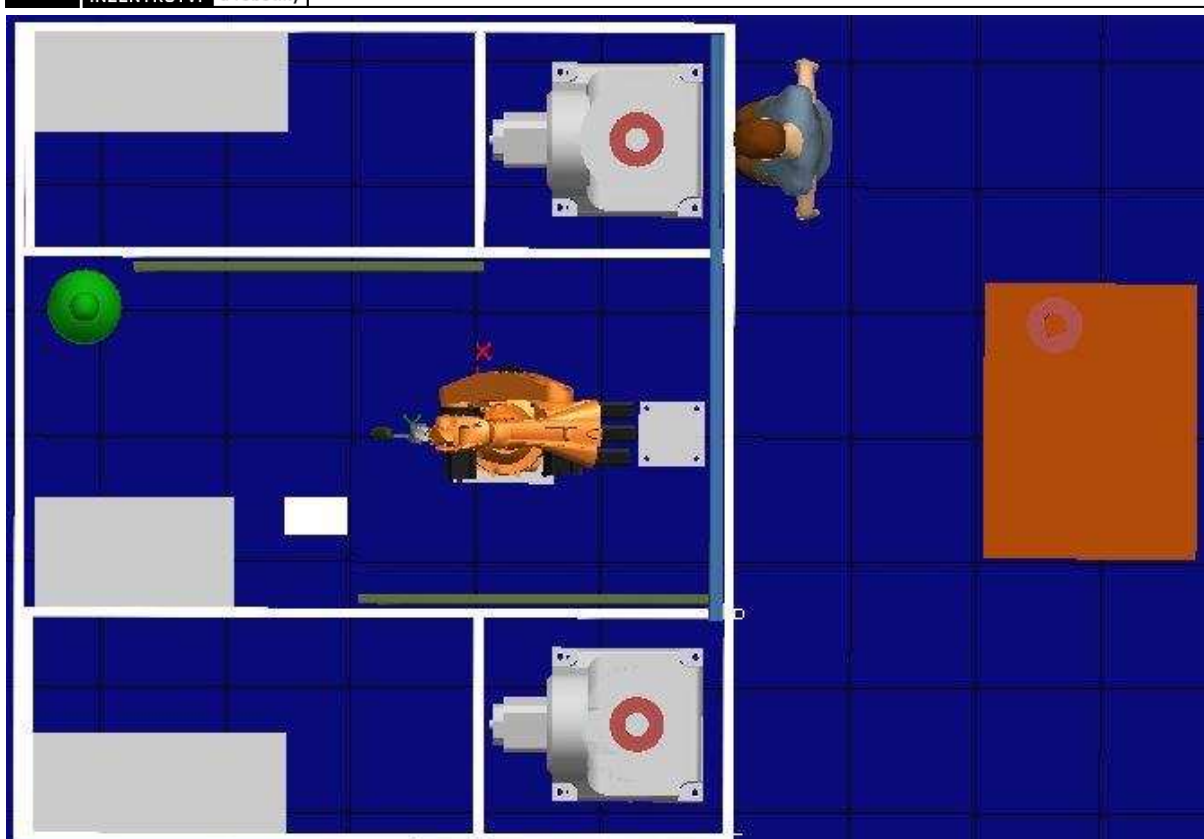
Uprostřed pracoviště, nejbliže u přední přístupové strany, je umístěn sloup manipulačního sloupového jeřábu. Jak již bylo popsáno výše, sloupový jeřáb je zde umístěn kvůli odstranění fyzicky náročné práce obsluhy, a je umístěn tak, aby pomocí něj bylo snadno možno dosáhnout na obě polohovadla a současně i mimo pracoviště pro ostatní manipulaci se součástmi. Z tohoto důvodu také přístupová okna pro obsluhu nemají na vrchní straně žádnou výztužnou konstrukci, neboť ta by bránila v přístupu jeřábu (resp. lana) do operačních prostorů. Samotný jeřáb s jeřábovou kočkou však modelován ani simulován nebude, jeho vztah je pouze k obsluze a neovlivňuje funkci pracoviště v její automatizované stránce.

Mezi polohovadly je pak také umístěn samotný svařovací robot. Ten je umístěn na piedestale, což by možná sice nebylo nutné, ale zajistí se tím lepší přístupové možnosti při provádění jednotlivých operací. Piedestal má optimální výšku k tomu aby robot prováděl operace v úrovni, kde disponuje největšími prostorovými rozsahy. Robot je pak umístěn v rámci možností co nejbliže sloupu jeřábu, aby měl co nejlepší výchozí pozici pro přístup do operačních prostorů na jednotlivá polohovadla.

V dalších částech svařovacího pracoviště jsou umístěny ostatní nezbytné a podpůrné části pro svařovací aplikace robotem. Především je to svařovací aparatura tvořená svářecím zdrojem, odvíječkou drátu a tlakové lahve se svařovacím plynem. Ty jsou umístěny ve střední části pracoviště u zadní stěny (svářecí zdroj je reprezentován větším „kvádrem“). V zadních bočních částech pracoviště jsou pak umístěny rozváděče robota, rozváděče polohovadel a rozváděče samotného pracoviště, včetně rozváděčů vzduchu.

Důležité je také samotné ovládání pracoviště. Jako nejlepší způsob se jeví umístění dvou ovládacích tlačítek, každého uvnitř jednoho operačního prostoru na bočním oplocení. Dále kombinace světelných závor a snímače polohy natočení konzoly jeřábu, neboť žádná operace nemůže být spuštěna, pokud by se rameno jeřábu s přípravkem nacházelo v operačním prostoru.

Funkce kombinace tohoto ovládání je následující: robot pracuje na opačném polohovadle, zatímco obsluha manipuluje se součástí na daném polohovadle. Po dokončení manipulace stiskne tlačítko signalizující řídicímu systému, že manipulace (založení/otočení) je dokončená a opustí operační prostor. Řídicí systém pak může uzavřít operační prostor dveřmi pouze za podmínek, kdy se konzole jeřábu nachází v daném úseku mimo operační prostor a světelné závory nejsou blokovány. Pro nenadálé situace je také vhodné umístit na čelní stranu pracoviště kromě tlačítka nouzového zastavení, také tlačítko provozního zastavení, které uvede robota do klidu a zastaví pracovní proces.



Obr. 25) Layout modelu pracoviště

7 VYTVOŘENÍ SIMULAČNÍHO MODELU

Jak již bylo popsáno, simulační model bude vytvořen v softwaru Siemens Process Simulate. Tento software je vhodný pro tvorbu simulací robotických pracovišť, umožňuje vytváření jednotlivých procesních úkonů, simulace práce obsluhy a další funkce. Nejprve tedy bude vytvořen samotný model. Jak již bylo uvedeno, jeho jednotlivé součásti byly importovány ze softwaru Autodesk Inventor. Postupným skládáním byl vytvořen celkový model, který bude sloužit jako výchozí podklad pro simulaci.

7.1 Simulace

7.1.1 Předpoklady pro tvorbu simulace

V simulaci bylo z objektivních důvodů upuštěno od některých vlastností, které nejsou pro samotnou simulaci nutné, resp. jejich přítomnost by byla nežádoucí z hlediska vizuální stránky.

Jedna z těchto vlastností je oplocení. Pracoviště je navrhováno tak, aby z důvodu záření od svařovacího procesu bylo oplocení řešeno neprůsvitně – plechem. V případě že by plechové výplně na předepsaných místech byly přítomny, nebylo by vizuálně nic vidět a musely by být zprůhledněny. Fakticky by to mělo zcela stejný efekt, jako když přítomny nebudou.

Dále nebude v simulaci zobrazováno zakládání pomocí manipulačního sloupového jeřábu a zakládacího přípravku. Sloupový jeřáb je jako celek ovládán obsluhou, není nijak automatizován a na úkony jak automatizované tak manuální nemá rozhodující vliv. Byl vyřešen požadavek pro zajištění schopností funkce v pracovišti a ačkoli sloup jeřábu je umístěn v pracovním prostoru robota, samotná konzola do operačního prostoru nezasahuje. V simulačním modelu je tedy umístěn pouze sloup jeřábu pro detekci případných kolizí. I přes toto bude však zakládací výbava brána v úvahu, aby nemohla narušit proces. Zakládání tak bude řešeno simulací obsluhou nesoucí součást, avšak ta v reálném pracovišti bude využívat zakládací vybavení.

Dále v simulaci nebude zobrazen úkon, kdy obsluha stiskne tlačítko pro signalizaci řídicímu systému, že operační prostor je připraven pro provádění automatizovaných operací.

V simulaci byly také redukovány svařovací časy. Po najetí robota do svařovací polohy a začátku svařování by následoval několik desítek sekund dlouhý svařovací proces, ze kterého by nebyly žádné poznatky ani výstupy. V simulaci tedy bude samotné svařování zobrazeno pouze najetím robota/hořáku do příslušné svařovací polohy.

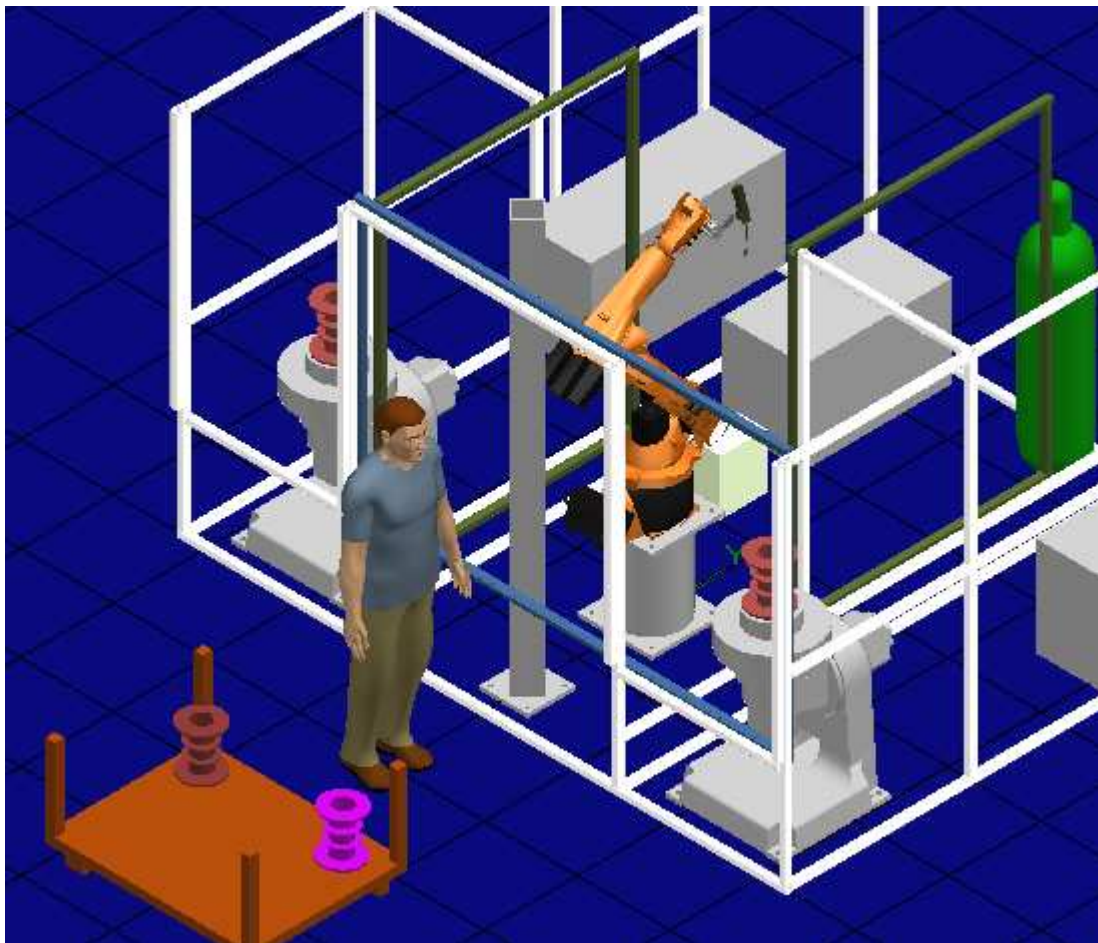
7.1.2 Počáteční podmínky

Předpokladem pro simulaci práce pracoviště je jeden výrobní cyklus. Počáteční uspořádání pracoviště pro tento cyklus je vyobrazeno na obr. 26.

Na začátku simulace je tak pracoviště ve stavu, kdy je na levém polohovadle založena součást na které zatím nebyly provedeny žádné operace, zatímco na polohovadle pravém je založena součást po kompletním svařovacím procesu. Přesuvné dveře pro přístup obsluhy do pracoviště jsou zde v pozici stále ještě blokující přístup k pravému polohovadlu, na kterém byly právě dokončeny svařovací operace, a umožňující přístup k levému polohovadlu, na které byla založena nová součást. Tyto dveře jsou vyobrazeny tmavě modrou barvou.

Přesuvné dveře pro přístup robota jsou v pozici, kdy levé dveře blokují přístup robota do operačního prostoru a pravé to naopak umožňují. Už zde je tedy vidět, jak tento systém posuvných dveří odděluje prostory přístupné pro robota a obsluhu.

Robot se zde nachází ve výchozí pozici, do které se bude vždy vracet po třech provedených svařech a z této pozice bude vždy začínat. Tato pozice je výhodná vzhledem k tomu, že pokud se začne robot otáčet pro přístup k operačním prostorům, nijak nekoliduje se stavbou pracoviště. Zároveň je natočen tak, že např při seřizování je v této pozici natočen do nejlépe přístupného a nejvíce rozlehlého prostoru.



Obr. 26) Počáteční uspořádání pracoviště v simulaci

7.1.3 Průběh simulace

Simulace začíná přesunem všech tří přesuvných dveří, čímž se změní přístupové možnosti robota a obsluhy k polohovadlům. Zatímco v počátečním uspořádání měl do pravého operačního prostoru přístup robot a do levého obsluha, přesunutím dveří se toto obrátí.

Následuje kombinovaná operace obsluhy, robota a levého polohovadla. Polohovadlo se sklopí a robot se přesune do pozice pro svařování svaru 1 (obr. 27). Následně se polohovadlo vrací aby bylo možné svařit svar 2, pak opět sklápí pro svařování svaru 3. Mezitím probíhají také pracovní úkony obsluhy, která z pravého polohovadla sundá hotovou součást a založí součást další.



Obr. 27) Průběh simulace {1}

Po dokončení svařování těchto tří svarů na levém polohovadle se robot vrací do výchozí pozice. Dveře se přesunou a opět tím změní přístup do operačních prostorů. Robot následně najíždí do pozice svařování na pravém polohovadle, kde je založena nová součást a budou na ní svařovány stejné tři svary jako předtím na součásti na levém polohovadle. Stejně tak jako v předchozím případě se tedy polohovadlo sklápí a narovná v posloupnosti a robot postupně najíždí do pozic svařování. Zároveň s tímto obsluha provádí operace nutné na levém polohovadle. Aby bylo možné svařit další tři svary, musí obsluha součást na polohovadle otočit. Průběh simulace v této části je zobrazen na obr. 28.



Obr. 28) Průběh simulace {2}

Po dokončení prvních tří svarů na pravém polohovadle se opět přesouvají dveře a robot svařuje svary 4, 5 a 6 na levém polohovadle, zatímco obsluha provádí otáčení součásti na pravém polohovadle (obr. 29).



Obr. 29) Průběh simulace {3}

Po dokončení těchto svařovacích operací na levém polohovadle je součást kompletně hotova, dveře se opět přesouvají a robot provádí stejné operace na pravém polohovadle. Hotovou součást z levého polohovadla obsluha vykládá a zakládá novou (Obr. 30 a 31)



Obr. 30) Průběh simulace {4}



Obr. 31) Průběh simulace {5}

Založením nové součásti na levé polohovadlo a dokončením svarů 4, 5 a 6 na součásti na pravém polohovadle je cyklus pracoviště uzavřen, neboť pracoviště se dostává do stejné konfigurace jako na začátku simulace.

Videosoubor zachycující průběh simulace tvoří netextovou přílohu.

Vytvořením simulace byly ověřeny schopnosti pracoviště plnit předpokládané pracovní procesy. Také slouží k ověření správnosti návrhu konstrukce pracoviště tak aby mělo bezkolizní chod zejména v případě robota a polohovadel. Dále také ověřuje schopnosti obsluhy ergonomicky zvládat jednotlivé pracovní úkony. Simulace také slouží jako podklad pro vytvoření řídicího programu.

8 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Zadáním práce bylo navrhnout a vytvořit model včetně simulace pracovního pracovního procesu svařování dané součásti. Daná součást byla popsána včetně technologické posloupnosti provádění svarů. Technologie samotného svařování nesměla být změněna, resp. mohla být změněna pouze velmi omezeně (jiná poloha a to pouze v některých případech).

Byly vypracovány čtyři varianty řešení a na základě daných kritérií byla zvolena nejvhodnější, která byla dále řešena.

Pro tuto variantu bylo navrženo celkové uspořádání včetně virtuálního modelu, dále pak navrženy dílčí systémy a to vše integrováno do jednoho technologického pracoviště s přihlédnutím k bezpečnému provozu.

Bezpečnost pracoviště poté byla dále řešena a dle platných norem byla zjištěná nebezpečí v souladu s platnými normami eliminována na nejnižší možná.

Celé takto vytvořené pracoviště poté bylo zpracováno v příslušném softwaru pro simulaci pracovního procesu, který ověřil schopnost správné funkce pracoviště a schopnost splnění požadovaných technologických požadavků na pracovní proces.

9 ZÁVĚR

Na začátku této práce stál požadavek na návrh koncepce nového pracoviště pro plnění striktně zadaných technologických pracovních procesů, konkrétně svařování dané součásti. Nejprve tedy byla provedena analýza současného pracoviště a identifikace nedostatků, ze které byly výstupem požadavky na pracoviště nové. Tyto požadavky se staly hlavními cílovými body pro návrh nového pracoviště.

Před samotným řešením návrhu pracoviště byla provedena rešeršní studie, týkající se témat, kterými se návrh pracoviště a jeho technologií bude zabývat. Konkrétně to byla témata týkající se robotů, průmyslových manipulátorů a jejich uspořádání a možnosti, uvedeny příklady jejich použití a využití, nasazení v různých aplikacích. Dále pak témata týkající se robotizovaného svařování, jeho možnostmi a omezeními. Následně bylo přistoupeno k vlastnímu řešení nových návrhů pracoviště.

Čtyři návrhy nového pracoviště byly posouzeny z objektivních hledisek a vybrána varianta, která nejlépe splňovala hodnotící kritéria. Tato vybraná varianta na rozdíl od původního pracoviště, kde na sebe robot a obsluha vzájemně čekají, umožňuje vzájemnou součinnost, přičemž robot je maximálně vytížen. Tímto tedy tento návrh snižuje čas taktu a zvyšuje produktivitu. Další podstatnou výhodou je také to, že eliminuje namáhavou fyzickou práci a zlepšuje tím hygienický a ergonomický komfort obsluhy. Návrh také redukuje jednu pracovní operaci obsluhy. To vše za poměrně přijatelné náklady.

Bohužel je v koncepci stále nutná přítomnost obsluhy (jednoho pracovníka), ovšem ta je i tak vzhledem k produktivitě mnohem více vytížena než v původním pracovišti.

Dále byly do pracoviště navrženy vhodné dílčí systémy, které byly nutné pro správnou funkci pracoviště. Pneumaticky poháněné přístupové dveře, manipulační sloupový jeřáb, manipulační přípravek nebo pneumatická upínací sklíčidla umožňují využít plný potenciál pracoviště, dále redukují neproduktivní čas, a zlepšují pracovní podmínky obsluhy.

Vzhledem k návrhu de facto nového strojního zařízení podléhá takovéto strojní zařízení platným předpisům týkajících se konstrukce s přihlédnutím k bezpečnosti. Bezpečnost byla tedy řešena v souladu s platnými normami pro konkrétní pracoviště. Nejprve bylo pracoviště navrženo s přihlédnutím k obecným bezpečnostním zásadám, poté byla adekvátní nebezpečí podle platných norem redukována. Výsledkem je tedy návrh který splňuje všechny požadavky na výkonnost, produktivitu, hygienu, ergonomii a bezpečnost.

Všechny tyto dílčí postupy byly nakonec sjednoceny a vznikl model pracoviště navržený přesně na míru daného dílce, splňující všechny striktní požadavky. Aby však byla jistota schopnosti funkce pracoviště, byl model pracoviště převeden do simulačního softwaru aby mohla být provedena simulace funkce.

Simulace byla provedena na celém pracovním cyklu pracoviště, takže na začátku simulace je pracoviště ve stejné konfiguraci jako na konci. Celkově ji lze považovat za přijatelný manuál pro tvorbu řídicího systému robota a v podstatě celého pracoviště. Především ale prověřila schopnost bezkolizního chodu robota i ostatních automaticky pohyblivých součástí pracoviště a současně schopnost robota bezproblémově dosáhnout všech nutných pracovních bodů pro splnění svařovací technologie a procesu.

Stejně tak prověřila schopnosti obsluhy dosáhnout všech nutných pracovních bodů a umístění součástí, kde bude nutné aby probíhala manipulace.

Vytvoření simulačního modelu a úspěšné provedení simulace je tak hlavním výstupem této práce. Dokazuje, že návrh pracoviště je schopen funkce, pokrývá veškeré požadavky na něj kladené a poskytuje přijatelný manuál pro stavbu pracoviště.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Stručná historie průmyslových robotů. *ElektroPrůmysl.cz* [online]. 30. srpen 2017 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/strucna-historie-prumyslovych-robotu>
- [2] Robotika od historie po současnost. *ElektroPrůmysl.cz* [online]. 23. srpen 2012 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/automatizace/robotika-od-historie-po-soucasnost>
- [3] ISO 8373:2012: Robots and robotic devices -- Vocabulary. 2012-03.
- [4] SICILIANO, Bruno, Lorenzo SCIAVICCO, Luigi VILLANI a Giuseppe ORIOLO. Robotics: Modelling, Planning and Control. Springer, 2009. ISBN ISBN 978-1-84628-641-4.
- [5] NOVOTNÝ, Radek. Nejlepší inovace v manipulační technice letos předvedly Still, Jungheinrich a Torwegge. Logistika [online]. 19. 6. 2017 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-65773910-nejlepsi-inovace-v-manipulacni-technice-letos-predvedly-still-jungheinrich-a-torwegge>
- [6] KOHŮT, J. *Aplikace průmyslových robotů v oblasti svařování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 41 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
- [7] KOZUBÍK, J. *Aplikace průmyslových robotů v oblasti svařování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 46 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
- [8] HYUN-PIO, Shin a Lee DONGHUN. A New Decoupling Method for Explicit Stiffness Analysis of Kinematically Redundant Planar Parallel Kinematic Mechanism. Research Gate [online]. 11.1.2015 [cit. 2018-04-16]. DOI: 10.1155/2015/957269. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/287359900_A_New_Decoupling_Method_for_Explicit_Stiffness_Analysis_of_Kinematically_Redundant_Planar_Parallel_Kinematic_Mechanism
- [9] COUFAL, J. *Aplikace průmyslových robotů v oblasti tváření*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 63 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
- [10] Tesla opět nevyrobí. Musk spí v továrně ve spacáku, zradili ho roboti. Idnes.cz [online]. 18.4.2018 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: https://auto.idnes.cz/tesla-musk-tovarna-robot-0xw-/automoto.aspx?c=A180417_112022_automoto_fdv
- [11] Robotizace ohraňovacích lisů. Canmet s.r.o. [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.canmet.eu/clanky/detail/jednoducha-obsluha-a-integrace-temer-s-jakymkoliv-cnc-ohranovacim-lisem.htm#zalozka-1>
- [12] Top 3 Robotic Applications Shaping the Packaging Industry in 2017. Technavio [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.technavio.com/blog/top-3-robotic-packaging-industry-2017>
- [13] Robotic bag palletizer: AR-200 Series | Robotic bag palletizers. PREMIER TECH Chronos [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.ptchronos.com/en-pa/products/palletizing-robots/robotic-bag-palletizers/robotic-palletizer/>
- [14] KREMLIN, Sames. ROBOTIC PAINTING SOLUTIONS IN GENERAL INDUSTRY. Easy paint robot [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.easypaintrobot.com/#!prettyPhoto>

- [15] ROBOTICKÁ BUŇKA ROBOTEC APC 20 (7, 10): Robotická buňka i pro malé série. *TECNOTRADE Obráběcí stroje s.r.o.* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.tecnotrade.cz/roboticka-bunka-robotec-apc/>
- [16] *Svařování TIG - seznámení* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/svarovani-tig-zakladni-seznameni/t-39/t-120>
- [17] Svařování MIG/MAG - seznámení. *Svářečky-elektrody.cz* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/svarovani-mig-mag-zakladni-seznameni/t-41/t-116>
- [18] KUKA. KR 5 arc HW, KR 5 arc HW-2: Specification [online]. Spez KR 5 arc HW V5. 2016 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/48ec812b1b2947898ac2598aff70abc0/spez_kr_5_arc_hw_en.pdf
- [19] KUKA. KUKA Positioner DKP-400: Specification [online]. Spez DKP-400 V8. 2017 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/48ec812b1b2947898ac2598aff70abc0/spez_dkp_400_en.pdf
- [20] KONECRANES AND DEMAG S.R.O. *Säulenschwenkkrane SSK KBK Wandschwenkkrane WSK KBK: Technische Daten* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.demagcranes.com/cs/produkty/jerabova-stavebnice-kbk/sloupove-nastenne-vykyvne-jeraby>
- [21] KUKA. Linear units and positioners: Technische Daten [online]. 2017 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka_pb_positioners_linear_units_en.pdf
- [22] POLIČSKÉ STROJÍRNY A.S. *Pneumatická upínací tříčelistová sklíčidla PU3S* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: http://pos.cz/wp-content/uploads/2016/04/zak_upinaci_naradi_pu3s.pdf
- [23] SMC. 4/5 Port Solenoid Valve [online]. SMC Corporation [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: https://content2.smctech.com/pdf/SYJ_000-B_EU.pdf
- [24] FESTO. *Kruhové válce DNSU* [online]. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_DSNU
- [25] HIWIN. Lineární vedení HIWIN CG. HIWIN s.r.o. [online]. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-cg>
- [26] TIGEMMA. *Odsávací digestoře* [online]. TIGEMMA spol.s r.o. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: https://www.tigemma.cz/images/katalogove_listy/prumyslove_digestore.pdf
- [27] ČSN EN ISO 10218-1: *Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 1: Roboty*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [28] ČSN EN ISO 12100: *Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [29] Bezpečnostní magnetický spínač RC Si M30. REM-Technik s.r.o. [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/bezpecnostni-systemy/spinace-bezpecnostni/magneticke-bezpecnostni-spinace/bezpecnostni-magneticky-spinac-rc-si-m30-147.html>
- [30] Nouzová tlačítka YW v krabici. REM-Technik s.r.o. [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/bezpecnostni-systemy/nouzova-tlacitka/nouzova-tlacitka-v-krabice-131.html>

[31] Bezpečnostní světelná závora EOS4 X. REM-Technik s.r.o. [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/bezpecnostni-systemy/svetelne-zavory-bezpecnostni/bezpecnostni-svetelna-zavora-eos4-x-489.html>

[32] Regulátory tlaku AR-B. SMC Industrial Automation CZ s.r.o. [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/digital_catalog_2/jsp/view_product_configurator.jsp?dc_product_id=128986

[33] Svářecí sklo WG tmavé. *Pracovní oděvy Varieta* [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.varieta-odevy.cz/svareci-sklo-wg-tmave>

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| OBR. 1) VÝCHOZÍ SOUČÁST PRO SVAŘOVACÍ PRACOVIŠTĚ | 17 |
| OBR. 2) LAYOUT STÁVAJÍCÍHO PRACOVIŠTĚ | 18 |
| OBR. 3) DIAGRAM PRACOVNÍHO PROCESU PŮVODNÍHO PRACOVIŠTĚ | 19 |
| OBR. 4) AUTONOMNÍ VYCHYSTÁVACÍ VOZÍK STILL[5] | 21 |
| OBR. 5) ZNÁZORNĚNÍ UZAVŘENÉHO KINEMATICKÉHO ŘETĚZCE ROBOTA[8]..... | 22 |
| OBR. 6) ZNÁZORNĚNÍ KARTÉZSKÉHO PRACOVNÍHO PROSTORU ROBOTA [4]..... | 23 |
| OBR. 7) ZNÁZORNĚNÍ CYLINDRICKÉHO PRACOVNÍHO PROSTORU ROBOTA [4]..... | 23 |
| OBR. 8) ZNÁZORNĚNÍ SFÉRICKÉHO PRACOVNÍHO PROSTORU ROBOTA [4] 24 | |
| OBR. 9) ZNÁZORNĚNÍ PRACOVNÍHO PROSTORU ROBOTA SCARA [4] ... | 24 |
| OBR. 10) ZNÁZORNĚNÍ ANGULÁRNÍHO PRACOVNÍHO PROSTORU ROBOTU [4]..... | 25 |
| OBR. 11) ROBOTIZOVANÉ BALENÍ [12]..... | 26 |
| OBR. 12) ROBOTICKÁ OBSLUHA OHRAŇOVACÍHO LISU [11]..... | 26 |
| OBR. 13) PALETIZACE POMOCÍ ROBOTICKÉHO MANIPULÁTRU [13]..... | 27 |
| OBR. 14) ROBOTICKÉ LAKOVÁNÍ [14] | 27 |
| OBR. 15) OBSLUHA STROJE ROBOTICKÝM MANIPULÁTOREM [15] | 28 |
| OBR. 16) PRINCIP SVAŘOVÁNÍ METODOU TIG/WIG/GTAW [16] | 30 |
| OBR. 17) PRINCIP SVAŘOVÁNÍ METODOU MIG/MAG [18]..... | 31 |
| OBR. 18) NÁVRH LAYOUTU PRACOVIŠTĚ..... | 34 |
| OBR. 19) DIAGRAM PRACOVNÍHO PROCESU NÁVRHU PRACOVIŠTĚ S MANIPULAČNÍMI ZAŘÍZENÍMI | 34 |
| OBR. 20) NÁVRH LAYOUTU PRACOVIŠTĚ..... | 35 |
| OBR. 21) DIAGRAM PRACOVNÍHO PROCESU NÁVRHU PRACOVIŠTĚ SE DVĚMA POLOHOVADLY | 36 |
| OBR. 22) DIAGRAM PRACOVNÍHO PROCESU NÁVRHU PRACOVIŠTĚ S VÝMĚNOU MEZI POLOHOVADLY | 38 |
| OBR. 23) NÁVRH MANIPULAČNÍHO PŘÍPRAVKU | 42 |
| OBR. 24) FUNKCE USTAVENÍ SOUČÁSTI V PŘÍPRAVKU PŘI NADZVEDNUTÍ..... | 43 |
| OBR. 25) LAYOUT MODELU PRACOVIŠTĚ | 49 |
| OBR. 26) POČÁTEČNÍ USPOŘÁDÁNÍ PRACOVIŠTĚ V SIMULACI | 52 |

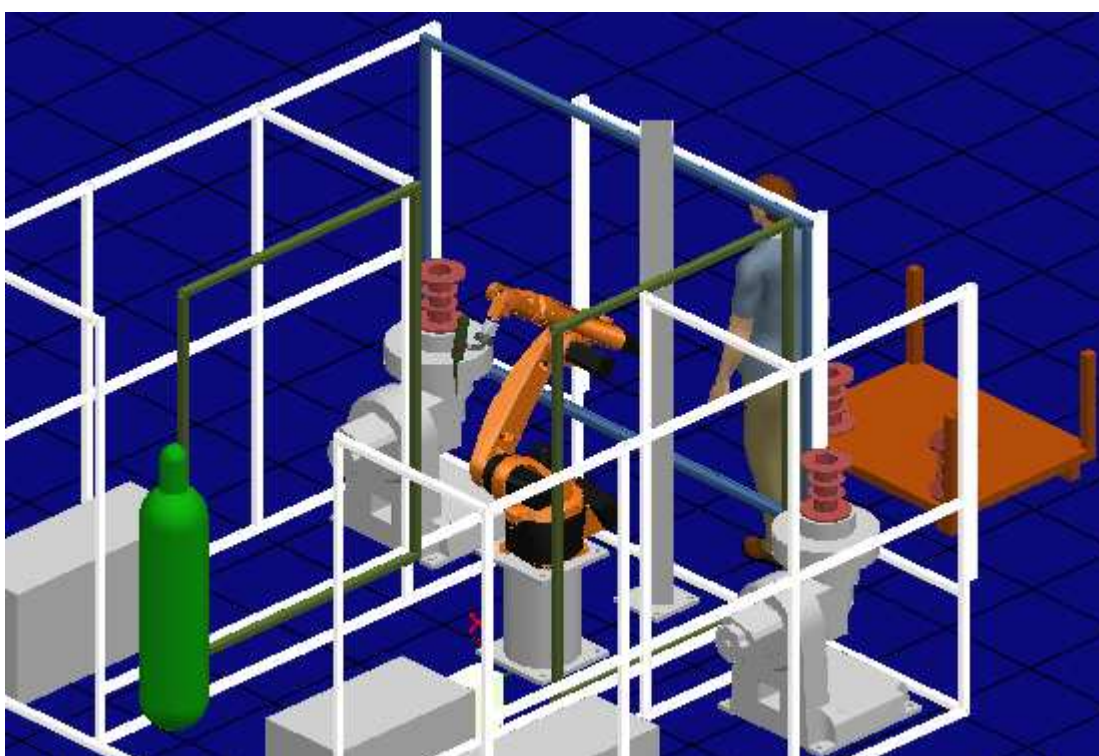
| | |
|---|-----------|
| OBR. 27) PRŮBĚH SIMULACE {1} | 53 |
| OBR. 28) PRŮBĚH SIMULACE {2} | 54 |
| OBR. 29) PRŮBĚH SIMULACE {3} | 54 |
| OBR. 30) PRŮBĚH SIMULACE {4} | 55 |
| OBR. 31) PRŮBĚH SIMULACE {5} | 55 |

12 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Perspektivní pohled na model pracoviště
- Příloha 2: Nákres manipulačního přípravku se zaznamenanými hlavními funkčními rozměry
- Příloha 3: Nákres půdorysu rámu pracoviště se zaznamenanými hlavními rozměry
- Netextová příloha: Videosoubor simulace pracoviště

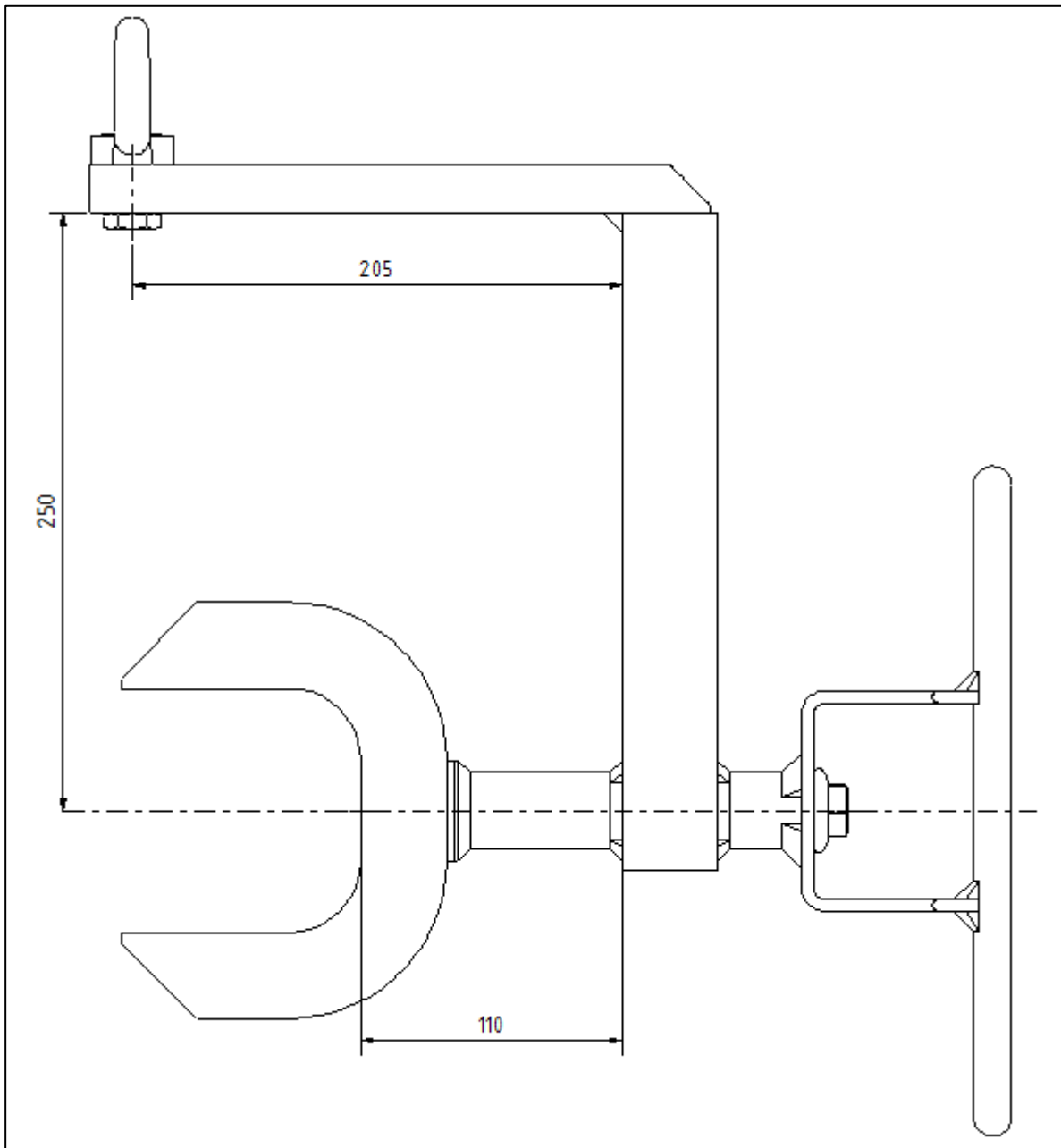
PŘÍLOHY

Příloha 1:
Perspektivní pohled na model pracoviště



Příloha 2:

Nákres manipulačního přípravku se zaznamenanými hlavními funkčními rozměry



Příloha 3:
Nákres půdorysu rámu pracoviště se zaznamenanými hlavními rozměry

