



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 ROBOTICKÉ BUŇKY PRO NAVAŘOVÁNÍ SKLÁŘSKÝCH FOREM

DESIGN OF A ROBOTIC CELL FOR ADDITIVE MANUFACTURING OF GLASS FORMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Filip Záveský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Pochylý

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Filip Záveský
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Aleš Pochylý
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 robotické buňky pro navařování sklářských forem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je návrh pracoviště s průmyslovými roboty pro navařování sklářských forem. 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

Účelem této diplomové práce je navrhnout výrobní buňku s robotem, která automatizuje proces navařování tvrdokovu na povrch sklářské formy. Robot zde dělá manipulační operace mezi vstupem, indukčním ohřevem, navařovacím automatem a výstupem součásti. Při řešení návrhu je nutné rozvrhnout jednotlivá pracoviště v buňce, provést návrh potřebných funkčních celků a minimalizovat riziko zranění obsluhy. Výsledný návrh konstrukce je simulován pro zaručení dosahu robotem a zjištění času manipulační operace.

ABSTRACT

This diploma thesis contains description of design of robotic cell, which automates process of glass neck ring welding. Robot arm is used as manipulator of part between entry conveyor, induction heating, automatic welding machine and outgoing palette. Construction process contains of making layout of the cell, design of needed workstations and minimize risk of harm for human operator. The final construction design is simulated to verify robot reach and find manipulation time.

KLÍČOVÁ SLOVA

automatizace navařování, navařování sklářských forem, výrobní buňka s robotem, robotizované pracoviště, manipulace, indukční ohřev, virtuální uvedení do provozu, bezpečnost v průmyslu

KEYWORDS

Automatization of welding, glass neck ring hardening, robotic cell, robotics workplace, manipulation, induction heating, virtual commissioning, safety in industry

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZÁVESKÝ, F. Návrh robotické buňky pro navařování sklářských forem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 51 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Pochylý.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu závěrečné práce Ing. Aleši Pochylému za rady, doporučení a odbornou diskuzi při řešení. Nejbližším příbuzným a přátelům za podporu a motivaci.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 23. 5. 2018

.....
Záveský Filip

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	13
2.1	Popis produktu, ústní forma pro sklářský průmysl.....	13
2.2	Plazmové navařování	14
2.3	Indukční ohřev.....	15
3	ANALÝZA PROBLÉMU A POPIS ZADÁNÍ	17
4	USPOŘÁDÁNÍ VÝROBNÍ BUŇKY.....	19
4.1	Návrh variant rozmístění.....	19
4.1.1	Vlastnosti ovlivňující návrh	19
4.1.2	Hodnotící parametry	19
4.2	Navržené varianty	20
4.2.1	Varianta A	20
4.2.2	Varianta B	20
4.2.3	Varianta C	20
4.3	Výběr varianty	21
5	POPIS KONSTRUKCE KOMPONENT BUŇKY	23
5.1	Vstupní zásobník	23
5.2	Uchopovací zařízení robotu	24
5.3	Stanice indukčního ohřevu.....	25
5.4	Uchopovací přípravek při navařování.....	26
5.5	Uložení výstupní palety	27
5.6	Robot KUKA KR-20 R1810	28
5.7	PPC 250 R6	29
5.8	Bezpečnostní konstrukční prvky	30
5.8.1	Oplocení buňky	30
5.8.2	Vstupní dveře	31
5.8.3	Kryt otvoru pro paletu.....	32
6	ANALÝZA A SNÍŽENÍ RIZIK	33
6.1	Blokový diagram výrobní buňky	34
6.2	Určení relevantního nebezpečí	34
6.3	Významná nebezpečí	35
6.4	Doplňující bezpečnostní prvky	38
7	POČÍTAČOVÁ SIMULACE V PROCESS SIMULATE	39
7.1	Základní nastavení a import modelů.....	39
7.2	Vytvoření kinematiky	39
7.3	Nastavení robotu.....	40
7.4	Vytvoření procesů pro časovou simulaci	40
7.5	Výsledky simulace manipulačních operací	41
8	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	43
9	ZÁVĚR.....	45

10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	47
11	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	49
11.1	Seznam tabulek	49
11.2	Seznam obrázků	50
12	SEZNAM PŘÍLOH	51

1 ÚVOD

Od prvních pokusů lidí usnadnit si vlastní práci použitím jiných zdrojů energie již uběhla dlouhá doba. Konstruování prvních vodou poháněných zařízení přešlo ke snaze vytvořit totální automatizaci výroby. K dnešní automatizační technice bezpochyby patří využití robotických ramen ve výrobních buňkách. Tato diplomová práce se proto zabývá jednou z variant využití robotu ve výrobním procesu. Robot zde plní manipulační operace se sklářskou formou, kterou je potřeba navařit tvrdokovem.

Roboty se aplikují do výroby pro usnadnění práce lidí a snížení zátěže dělníka třeba zlepšením pracovního prostředí. V dnešní době nedostatku kvalifikované či ochotné pracovní síly mohou také plně nahradit některé pozice.

V textu této diplomové práce lze nalézt postup návrhu robotického pracoviště, kdy je zpočátku potřeba rozvrhnout plán pracoviště, zkonstruovat a vybrat potřebné komponenty a zařízení. Součástí procesu návrhu musí být zabezpečení lidské obsluhy. Úloha bezpečnosti může v některých případech předčít složitostí samotný funkční technologický návrh. V zemích Evropské unie musí každé zařízení splnit bezpečnostní kritéria daná normami.

Řešením otázky bezpečnosti bych nenazval proces konstrukce jakéhokoli zařízení za ukončený. Dnešní společnost tlačí i na dodržování zásad ekologie. Vlivem zařízení na okolní prostředí se však tato práce nezaobírá. Jediná poznámka týkající se ekologie, kterou lze dodat, je, že pomocí takovéto výrobní buňky dochází k tvorbě skleněných lahví, které jsou obecně vnímány jako ekologičtější než dnes více rozšířené plastové obaly.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

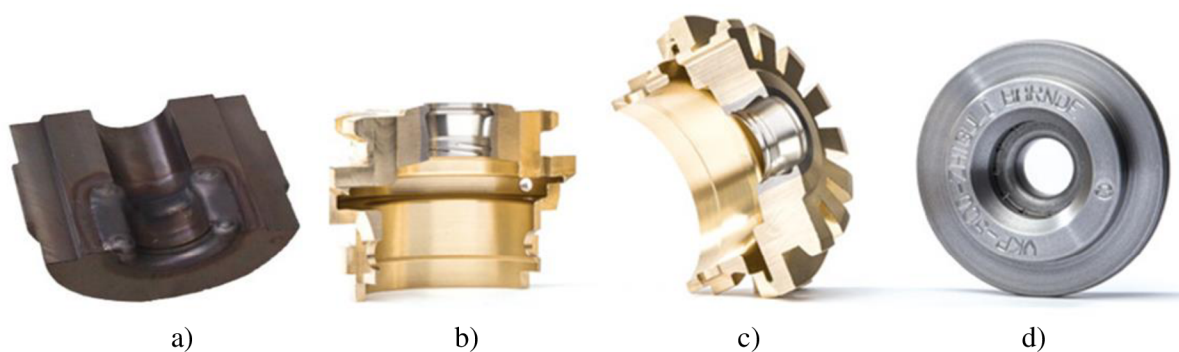
Úkolem této diplomové práce je automatizovat výrobní technologie spojené s výrobou forem pro sklářský průmysl. Konkrétně se jedná o vylepšení vlastností materiálu formy tvarující lahev navařováním. Sklářský průmysl využívá více různých metod navařování pro různé součásti vyskytující se v procesu tvarování skla. Pro sklářské formy to je metoda PTA (plasma transfered arc) použitá v této práci a detailněji popsána v kapitole 2.2 nebo práškové navařování (powder welding) pomocí kyslíko-acetylenového hořáku. Dalšími využívanými metodami navařování jsou HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) spraying, což je typ žárového nástřiku, kdy nosným plynem je kyslík. Podobnou používanou metodou je pak ještě Flame Spraying, která probíhá ve dvou fázích. Těmi jsou sprejování a spékání pomocí plamene. Obě tyto metody se používají pro úpravu povrchu rotačních součástí, jakými jsou např. různé tvary pístů. [14]

Všechny uvedené metody navařování vyžadují přehřátí součásti. Kvalitní přehřev umožňuje bezproblémové navaření a následné použití výrobku při tvorbě lahví bez praskání. V praxi se k ohřevu využívá hořáků, komorových pecí, a právě indukčního ohřevu. Indukční ohřev má výhodu v jednoduchém nasazení do průmyslu, v rychlosti ohřevu, v snadné automatizaci a v zaručení stability procesu. Indukčnímu ohřevu je věnována část této kapitoly (2.3). [15]

2.1 Popis produktu, ústní forma pro sklářský průmysl

Ústní forma je pouze jednou z částí formy pro tvorbu skleněných lahví ve sklářském průmyslu, slouží k tvarování hrdelní části nebo i závitů pro víčko lahve. Pro zajištění těsnosti lahve musí být závit přesně vyroben. Přesnost výsledného produktu velice závisí na přesnosti formy. Přesnost si forma musí zachovat i při vysokých teplotách. Teplota roztaveného skla dosahuje hodnoty 900 °C. Ústní formy mohou vypadat různě, jak naznačuje Obr. 1).

Proces výroby formy začíná odlitím hrubého tvaru z bronzové slitiny. Následně dojde k navaření tvrdokovu v oblasti, která má za úkol tvarovat sklo. Při navařování musí být dbáno na správné propojení navařené vrstvy a základního materiálu. Navařujeme proto nahřáté polotovary. Výsledný navařený povrch dosahuje tvrdosti až 40 HRC. Konečného tvaru plochy formy se docílí obrobením obou polovin formy dohromady na jediné upnutí. Výsledná přesnost leží pod hodnotou 0,02 mm. [6]



Obr. 1) Sklářské formy a) nenařená, b) c) d) hotové i obrobené [6], [7].

2.2 Plazmové navařování

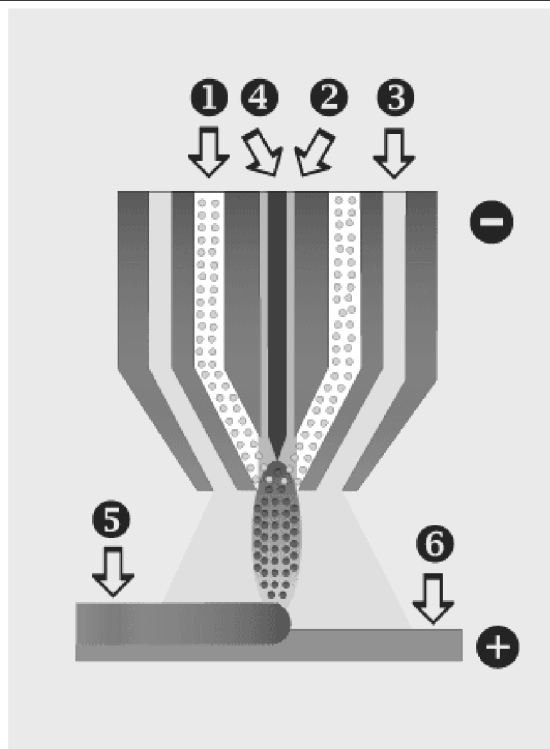
Plazmové navařování se zkratkou PTA z anglického názvu „plasma transferred arc“ se řadí mezi moderní navařovací technologie. Dalšími pak jsou už zmíněné práškové navařování, HVOF, flame spraying nebo využití energie laseru místo plazmy. PTA je metoda, při které se pomocí tepla aplikují otěruvzdorné a korozivzdorné ochranné vrstvy na kovové materiály. S takto upravenými součástmi se můžeme setkat právě u forem na lahve ve sklářském průmyslu nebo dále u těžební techniky, sedel ventilů, u oprav šroubů pro extrudéry na plasty a u opravy leteckých turbín. Proč zvážit využití metody PTA, shrnuje tabulka výhod a nevýhod Tab 1) .[9]

Svařovací proces PTA používá zúžený vysokoenergetický proud plazmy, který vzniká mezi elektrodou a základním materiálem a vytváří lázeň roztaveného kovu. Elektroda se během procesu nespotebovává. Přídavný materiál může být ve formě drátu nebo prášku. Práškové materiály jsou ty, z kterých je těžké vytvořit drát, např. Cobalt 190, ostatní materiály na bázi kobaltu (jsou též někdy nazývané stellity) a kompozity s kovovou maticí, kde extrémně tvrdý materiál jako karbid wolframu je smíchán se spojovacím materiálem, například niklem. Práškový přídavný materiál se dávkuje skrz hořák. [9][10]

Tab 1) Výhody a nevýhody metody PTA.[10]

Výhody	Nevýhody
díky koncentraci plazmy je oblast tavení poměrně úzká a tím se minimalizuje tepelné ovlivnění základního materiálu	přídavný materiál ve formě prášku je nejdražší formou přídavného materiálu ve srovnání s elektrodou nebo drátem
při navařování vzniká velice tenká přechodová vrstva mezi základním materiálem a vlastním návarem cca 1-2 mm	
ve spolupráci s polohovacím zařízením lze vytvářet velice rovnoměrné vrstvy návaru (s tolerancí výšky návaru 1 mm) a tím snižovat náklady za následné obrábění	

Na obrázku Obr. 2) je schematicky nakreslena metoda plazmového navařování. Řídící oblouk hoří mezi wolframovou elektrodou 4 a tryskou pro plazmu 2 (tryska je chlazená vodou) a urychluje tak argonovou nebo heliovou plazmu. Tím zapálí hlavní oblouk, který hoří mezi elektrodou a plochou součástí 6. Hlavní oblouk taví součást a prášek 1, který je poháněn nosným plynem a prochází hořákem. Celý proces je ještě chráněn dusíkem 3 před okolní atmosférou. Na povrchu součásti se tvoří návar 5.[10]



Obr. 2) Schéma plazmového hořáku pro metodu PTA[10].

2.3 Indukční ohřev

Indukční ohřev umožňuje dobře řídit proces ohřevu součásti. Správné nahřátí součásti je jednou z podmínek kvalitního přilnutí navařované vrstvy na povrch součásti. Při nastavení správných parametrů dosáhneme vytvoření kovové vazby mezi oběma materiály. Předehřev nám umožní dosáhnout potřebného průniku s nižším vnášeným teplem při navařování a následně i zabránit vzniku nežádoucích prasklin.

Praskliny se mohou tvořit z několika důvodů. Důležité je jím zabránit. To může například blízká teplota povrchu součásti a nanášeného materiálu odstraňují vznik lokálních pnutí vlivem tepelné roztažnosti.

To, jak dobře jsme součást nahřáli, hraje významnou roli i při následném chladnutí součásti, které musí být pomalé. Při pomalém chladnutí se snižuje obsah vodíku v návaru, který zvyšuje riziko prasknutí součásti. Zadruhé pak dochází ke snižování tvrdosti v tepelně ovlivněné oblasti, která je pak méně křehká a lépe tvárná. [15]

Proces indukčního ohřívání probíhá bez vzájemného dotyku cívky a ohřívané součásti. Ohřev probíhá za pomoci jevů elektromagnetické indukce. Ohřívána součást tedy musí být elektricky vodivá. Indukční ohřev charakterizuje vysoká efektivita přenosu tepelné energie bez ztráty tepla. Ohřev elektromagnetickou indukcí je založen na třech fyzikálních principech. [11]

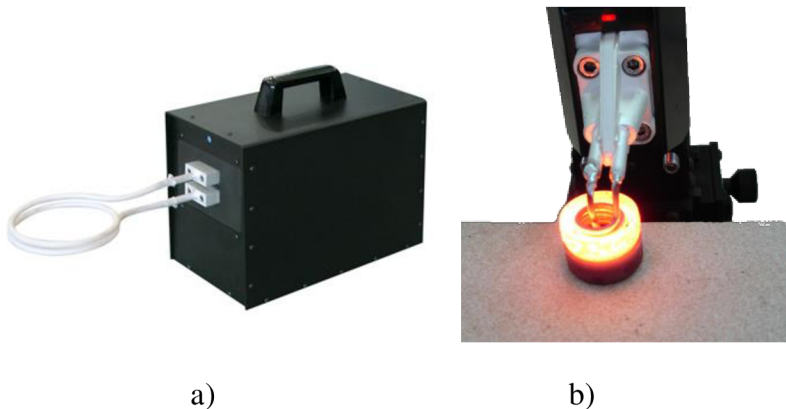
1. Přenos energie z induktoru (cívky) do ohřívané součásti pomocí elektromagnetického pole
2. Přeměna elektrické energie na teplo Joulovým jevem.
3. Šíření tepla ve hmotě součásti pomocí tepelné vodivosti materiálu.

Z teorie vychází, že těleso se při indukčním ohřevu otepluje v závislosti na vlastnostech proudu dodávaného do cívky a materiálových vlastností ohřívané součásti. Doba ohřevu pak závisí nejen na velikosti proudu v obvodu, ale také na rychlosti šíření tepla v součásti, které se šíří od vnějšího povrchu ke středu.

Vybavení pro indukční ohřev Obr. 3) můžeme rozdělit na tři části: zdroj střídavého proudu požadované frekvence, pracovní hlavu a pracovní cívku. Zdroj má za úkol přeměnit standartní frekvenci napájecí sítě 50 Hz na frekvence 20-500 kHz. Výstupní výkon se pohybuje mezi 2 až 500 kW. Pracovní hlava slouží k propojení cívky a zdroje, obsahuje kombinaci kondenzátorů a transformátorů. Pracovní cívka je nejdůležitější část, která určuje přenesenou energii do součásti. Správně navrhnout cívku není jednoduché, vyžaduje hodně zkušeností. [11]

Výhody indukčního ohřívání

- Krátký ohřivací čas
- Místní ohřev
- Efektivní využití energie
- Lehce opakovatelný a řízený proces
- Zvýšená kvalita produktů
- Bezpečnost uživatelů
- Zlepšení pracovních podmínek



Obr. 3) a) indukční hlava s cívkou b) ukázka indukčně ohřívané součásti [11].

3 ANALÝZA PROBLÉMU A POPIS ZADÁNÍ

Cílem práce je vytvořit návrh pracoviště s robotem, obsluhujícím navařovací automat PPC 250 R6 ve sklářském průmyslu. Robotická buňka bude sloužit k automatickému navařování ústních forem. Vnější průměr $D1$ se nejčastěji pohybuje v rozmezí 80–200 mm a délka kusu L od 80 do 140 mm. Maximální hmotnost uvažujeme 5 kg viz Obr. 4).

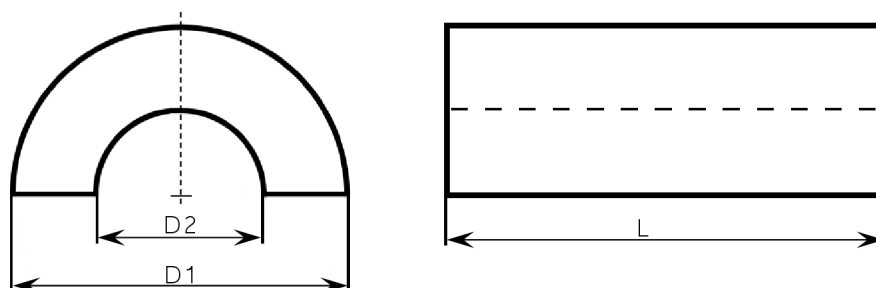
Ústní forma bude do buňky vložena obsluhou do zásobníku nenařovaných forem. Na konci zásobníku je nutné kus zorientovat tak, aby byl připraven na uchopení robotem. Ze zásobníku je přemístěna do indukčního ohřevu a předehřáta. Následně poputuje do navařovacího automatu PPC 250 R6 a v něm se upne a navaří. Hotovou navařenou formu robot přemístí na výstupní část. Součet času všech manipulačních operací by neměl přesáhnout 45 s.

Pro vytvoření kompletního návrhu robotické buňky je nutné vytvořit plán optimálního rozmístění jednotlivých komponent, vytvořit mechanismus vstupní a výstupní části systému, stanici cívky s indukčním ohřevem. Dalším úkolem je navrhnout koncový efektor robotu a automatizovat upínání forem do navařovacího stroje vhodným přípravkem.

Pro navržený koncept pracoviště musíme zvážit bezpečnostní rizika a eliminovat je už během fáze návrhu potřebným zabezpečením, jakým jsou např. pevné kryty, blokovací zařízení, senzory pohybu nebo světelné závory a další. Řešení bezpečnosti bude vycházet převážně z norem ČSN EN 12100 a ČSN EN ISO 10218.

Poslední bod zadání se týká tvorby simulačního modelu manipulace v prostředí programu Tecnomatix Process simulate. Použití tohoto programu má využití například při zkoušení dosahu robotu v trojrozměrném prostoru až po celkovou simulaci výrobního systému včetně virtuálního zprovoznění obsahující programy pro roboty a PLC následně použitelné v reálném systému.

Dalším důvodem, proč simulovat robotické buňky a výrobní systémy, je odhad času potřebného pro provedení operací. Pro co nejpřesnější stanovení času manipulace u robotu potřebujeme využít RCS modul obsahující virtuální ovladač skutečného robotu. S přesnějším odhadem můžeme následně lépe spočítat produktivitu a efektivitu navrhované výrobní technologie.



Obr. 4) Zjednodušený tvar sklářské formy

4 USPOŘÁDÁNÍ VÝROBNÍ BUŇKY

4.1 Návrh variant rozmístění

Pro fázi návrhu layoutu robotické buňky je nutné si stanovit základní pravidla, jak komponenty po prostoru rozmístit. Dalším důležitým krokem je rozmyslet si způsob hodnocení jednotlivých variant, stanovit parametry, které budeme hodnotit.

4.1.1 Vlastnosti ovlivňující návrh

- Rozmísťování je omezeno konstrukcí výrobního navařovacího automatu, u kterého nelze otočit elektrický rozvaděč s řízením. Ovládací panel by měl být obsluze vždy přístupný, tedy měl by se nacházet mimo pracovní prostor buňky.
- Proces navařování generuje velké množství tepla, prachu a toxické plyny. Není tak třeba vhodné v těsné blízkosti umístit skříň s řízením robotu nebo robotu samotného, pokud chceme zajistit nižší riziko poruchy.
- Při programování a ladění procesu navařování musí být zajištěn výhled obsluhy na proces od ovládacího pultu.
- Časově náročnými operacemi v buňce jsou proces navařování a doba indukčního ohřevu. Z důvodu úspory času je vhodné je umístit co nejbližší k sobě. Při dlouhé manipulaci s nahřátou formou také bude docházet k jejímu ochlazení.
- Vstupní a výstupní místa pracoviště by měla mít obsluha co nejbližší k ovládacímu stroje, aby nebyla zbytečně obtěžována a namáhána chozením kolem celé buňky. Často opakující se činnost by měla být v souladu s pravidly ergonomie práce.
- Přístup do výstupního zařízení nesmí přerušit proces navařování a ohřevu součásti. Pohyb robotického ramena bude omezen.
- Před výstupem pro vytažení palety s navařenými formami musí být volný prostor.
- Snaha minimalizovat plochu a délku stěn buňky.

4.1.2 Hodnotící parametry

- Velikost plochy a obvodu buňky
- Možná délka zásobníku kusů
- Minimální počet stran potřebných pro přístup k buňce pro všechny činnosti spojené s výrobou v buňce, včetně přístupu programátora a servisu k jednotlivým komponentám.
- Potřeba prostoru kolem buňky
- Přístup mimo plně automatický režim
- Minimální vzdálenost pohybů robotu
- Počet možných jednotek indukčního ohřevu
- Výhled na činnost uvnitř buňky z místa obsluhy
- Ochranná vzdálenost ostatních prvků od navařování

4.2 Navržené varianty

Zvážení vlastností z přechodí podkapitoly vzniklo několik variant návrhu. Ty nejvhodnější je nutné popsat a zhodnotit. Na základě hodnocení vybrat optimální variantu. Vzhledem k počtu možných kombinací uspořádání nemusíme najít úplně nejlepší rozmístění, ale takové, které splní naše požadavky. Při konkrétním řešení pro konkrétního zákazníka by mělo dojít i ke vzájemné konzultaci a schválení vybrané varianty za účelem eliminace případných reklamací apod.

K návrhu layoutu se používá tvarově jednoduchých modelů reprezentujících budoucí hotové stanoviště. Pro označení je použito zkratk, názvů nebo katalogových označení. PPC 250 R6 je označení pro navařovací automat. KR C4 reprezentuje ovládací a rozvodní elektrickou skříň robotu a IO jako označení stanice indukčního ohřevu.

4.2.1 Varianta A

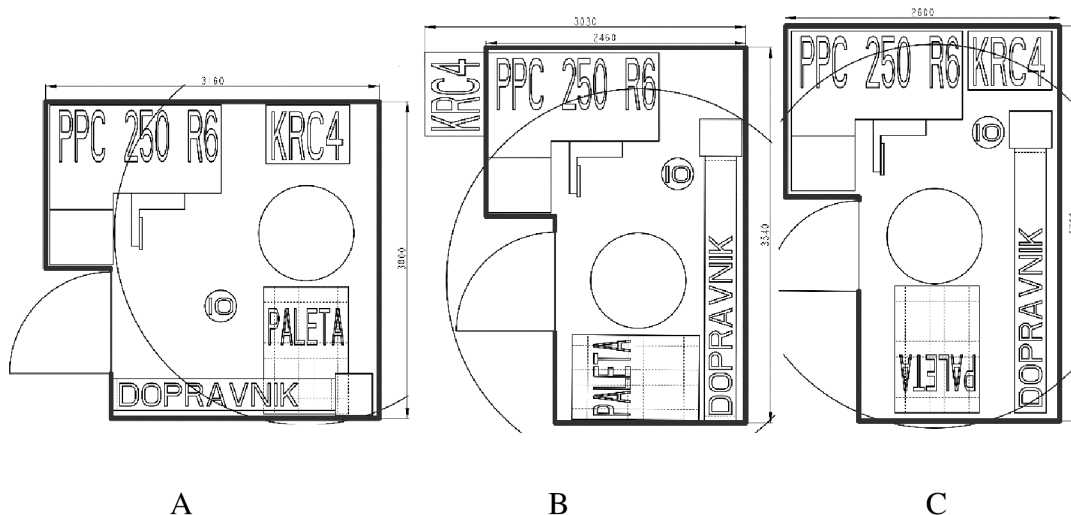
Z vybraných ve variantě A na Obr. 5) se navařovací stroj nachází nalevo od osy robotu. Zbylé prvky obsluhované robotem jsou umístěny před robotem. Dopravníkem dlouhým 2 000 mm prochází součást zleva doprava, z části překrývá paletu pro skladování hotových kusů. Dopravník se bude nacházet více než 700 mm nad paletou. Paleta se bude dát zepředu vyjmout pomocí speciálního otevíratelného otvoru u země. Indukční ohřev zaujme místo před navařovacím strojem. Půdorys výrobní buňky tvoří přibližně čtverec s plochou 9,5 m². Přístup obsluhy pro servis a programování buňky bude dveřmi na levé straně před ovládacím pultem navařovacího stroje.

4.2.2 Varianta B

Pro variantu B Obr. 5) došlo k protažení plochy na obdélník, kde navařovací automat je umístěn severozápadním směrem za robotem a vpravo od něho najdeme indukční ohřev a výstup z dopravníku, který je situován zepředu dozadu a má délku 2 500 mm. Pro uložení navařeného kusu se pak robot bude muset otočit o 180 °. Napříč umístěná paleta bude vyjímatelná z přední strany buňky. Specifikem varianty B je modul KR C4 pro řízení robotu, uložený mimo uzavřený prostor buňky vlevo, hned vedle stroje pro navařování. Plocha buňky bez prostoru KR C4 měří 8,7 m². Dveře jsou opět umístěny vlevo před ovládacím pultem.

4.2.3 Varianta C

Poslední z možných variant (C) Obr. 5) je velice podobná té předchozí. Modul KR C4 zaujímá místo v buňce vpravo od navařovacího automatu. Předním pak končí dopravník délky 2 500 mm a leží indukční ohřev. Paleta na hotové kusy je opět uložena a vyjímatelná zepředu, orientovaná po délce. Dveře najdeme na stejném místě vlevo před navařovacím strojem. Varianta C leží na ploše 9,7 m².



Obr. 5) Vybrané varianty A, B, C k porovnání

4.3 Výběr varianty

Pro výběr optimální varianty byla použita tabulka Tab 2), která v prvním sloupci obsahuje jakési hodnocení vlastností každého typu návrhu. Druhý sloupec udává váhu daného kritéria. Velikost váhy je v rozmezí 1 až 5 a byla volena na základě úsudku. Zbylé tři sloupce obsahují jednotlivé hodnoty. Pro každé kritérium má hodnota jiný význam, tam, kde jsou uvedeny jednotky, je zapsán skutečný údaj. Ostatní údaje jsou vždy obodovány čísly 1–3, opět podle úsudku založeném na základní vizualizaci a představě.

Tab 2) Tabulka hodnot pro výběr nejlepší varianty

Kritérium	Váha	varianta A	varianta B	varianta C
velikost plochy (m ²)	2	9,5	8,7	9,7
délka obvodu (m)	2	12,3	12	12,6
délka zásobníku	3	3	1	1
počet obslužných míst (-)	5	2	2	2
prostor okolo buňky	2	1	3	2
dráha robotu	3	1	2	3
viditelnost na navařování	3	1	2	3
obsluha v buňce	2	1	3	2
bezpečná vzdálenost od navařování	4	1	3	2
rozšíření indukčního ohřevu	3	1	1	2
		79,6	93,4	97,6

Na základě výpočtu v tabulce byla vybrána varianta A jako optimální, i přesto, že je vybavena nejkratším dopravníkem. I tak by měl pojmout až 10 velkých forem. Problémem řešení varianty A může být pohyb robotu. Z tohoto důvodu bude provedena simulace v SW Process Simulate, z které také získáme i informace o času potřebném pro vykonání manipulace a při doplnění technologickými časy i celkový takt výrobní buňky.

5 POPIS KONSTRUKCE KOMPONENT BUŇKY

5.1 Vstupní zásobník

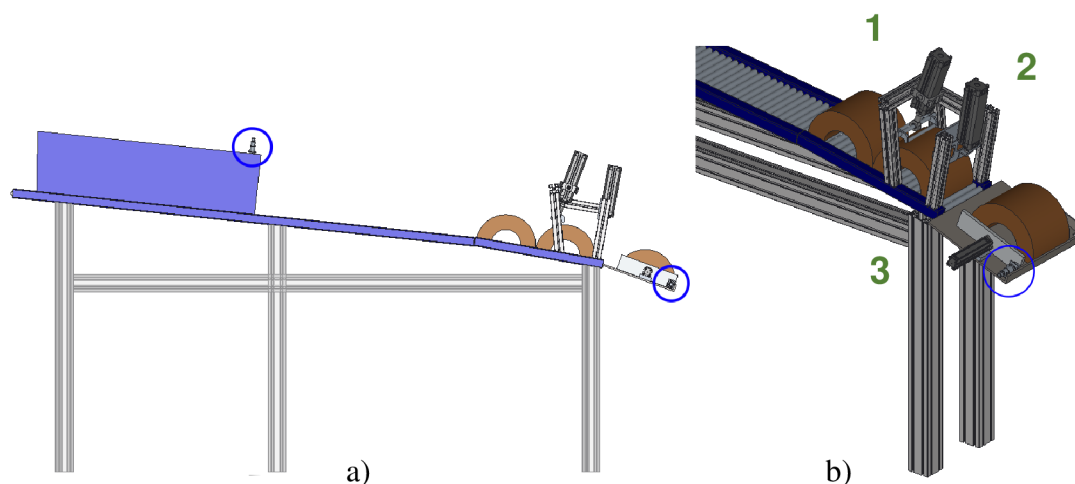
Vstupní zásobník plní několik funkcí. Zaprvé slouží jako vstupní prvek do robotické buňky. Jeho další funkcí je zadržování a následné dávkování nenavařených forem po jednom kuse pro robotické rameno.

Vstupní zásobník tvoří gravitační válečkový dopravník s pneumatickým oddělovačem jednotlivých kusů forem. Na konci se nachází mechanismus pro přesné zorientování polotovaru pro bezproblémový odběr součásti robotem.

Válečková trať má 5° sklon vůči vodorovné rovině. Dopravník má délku 2100 mm. Průměr válečků byl zvolen 15 mm s délkou 160 mm. Na dopravníku se tak může nacházet až 10 největších kusů respektive 25 nejmenších. Válečky nejsou poháněny.

K oddělení jednotlivého kusu od zbytku fronty slouží soustava dvou pneumatických válců 1 a 2 na 0, které pohybují zarážkami sloužícími k zadržení ostatních forem. Při doplňování kusů je zavřena zarážka 2 a jednotlivé výrobky se řadí za sebou do fronty. Jakmile přijde z řídicího systému pokyn pro odebrání kusu, přitlačí válec 1 zarážku na kus pod sebou. Následně se vysune válec dvě a tím umožní pohyb první součásti ve frontě na skluz. Po identifikaci součásti na skluzu dojde k zavření zarážky 2 a otevření zarážky 1. Kusy ve frontě se posunou o jednu pozici dolů.

Oddělený kus tím, jak sklouzne na skluzu ke spodnímu okraji, se vyrovná ve dvou rovinách. Dorovnění do třetí roviny zprostředkovává válec 3, který dorazí součást na pravý okraj skluzu. Zde je správně orientovaný kus odebrán robotem.



Obr. 6) a) Vstupní zásobník tvořený dopravníkem a b) dělicí mechanismus.

Průběh součástí zásobníkem je hlídán dvojicí senzorů na Obr. 6) (modře zakroužkované). Z nasnímaných údajů probíhá kontrola správnosti součásti, která byla vložena do systému, zda rozměry souhlasí s právě aktuální nastavenou výrobní technologií. Kontrolu správnosti vnějšího průměru zajišťuje optický senzor OGT 200, který vyhodnocuje naměřená maxima na senzoru odpovídající právě poloměru součástí tzn. poloviny D_1 . Délkový rozměr L_1

a jeho správnost ověřuje až senzor na konci skluzu. Tento senzor OGT 200 měří vzdálenost mezi senzorem a plochou součástí. Před tím, než je použit jako měřicí senzor, identifikuje přítomnost součásti na skluzu, aby mohl být aktivován dorovnávací válec. Po dorovnání na doraz je změřena délka součásti.

5.2 Uchopovací zařízení robotu

Pro uchopení součásti robotem byly vybírány hotové konstrukční celky od firmy Schunk. Pro správný výběr musely být splněny následující parametry:

- Pohyb čelistí min 65 mm
- Doporučená hmotnost manipulovaného břemena min. 5 kg
- Co nejnižší hmotnost zařízení
- Teplená odolnost
- Odolnost proti prachu
- Co nejmenší rozměry

Vyhovující uvedeným parametrům a zvládající uchopovací úlohu je modul s označením PFH 40-80. Mezi jeho technické parametry patří posuv čelistí o 80 mm s upínací silou 1260 N. Doporučená hmotnost manipulovaného výrobku je 6,3 kg. Tato hodnota vychází z výpočtu uvažující koeficient statického tření mezi součástí a čelistí 0,1 a bezpečnostním koeficientem 2 proti vyklouznutí při zatížení silou tvořenou zrychlením součásti zatížené gravitační silou [12]. Důležité je ještě upozornit na fakt, že součinitel tření mezi bronzem a ocelí je vyšší než 0,1. Uvádí se 0,35 pro suché a čisté povrchy, 0,19 pak pro mazané či znečištěné.

Při pohybu robotu s gripperem a součástí budou vznikat momenty a síly zatěžující vedení jezdců čelistí, toto působení je ještě nebezpečnější vzhledem k uchycení součásti úplně mimo jakoukoliv osu procházející těžištěm. Maximální zátěžné momenty jsou dané v katalogu. Pro výpočet je použita rovnice (7), kde M je působící moment [Nm], m hmotnost součásti [kg], a velikost zrychlení [ms^{-2}] a r rameno působící síly [m]. Kontroluje se dále pouze síla F_z dle druhého Newtonova zákona (8).

$$M = m \cdot a \cdot r \quad (1)$$

$$F = m \cdot a \quad (2)$$

Maximální dovolené momenty jsou $M_x = 50 \text{ Nm}$, $M_y = 100 \text{ Nm}$, $M_z = 70 \text{ Nm}$ a síla $F_z = 1100 \text{ N}$. Směry znázorňuje Obr. 7). Pro výpočet uvažujeme největší součást, tzn. $D_1 = 200 \text{ mm}$ a $L_1 = 140 \text{ mm}$ s hmotností 5 kg. Velikosti jednotlivých ramen pak vychází z konstrukce. Jejich velikost byla změřena pomocí 3-D modelu. Pro maximální zrychlení na konci robotického ramene uvažujeme 20 ms^{-2} a $g = 10 \text{ ms}^{-2}$.

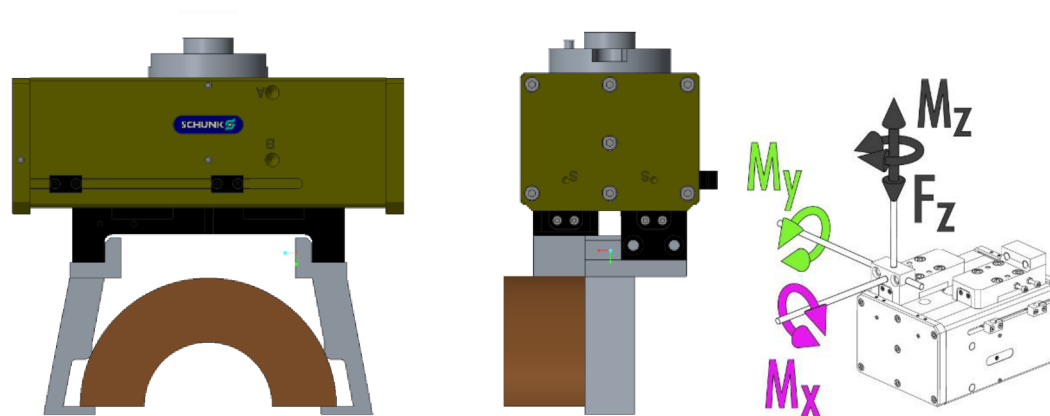
$$M_x = m \cdot a \cdot r_x = 5 \cdot (10 + 20) \cdot 0.101 = 15,5 \text{ Nm} \quad (3)$$

$$M_y = m \cdot a \cdot r_y = 5 \cdot (10 + 20) \cdot 0.082 = 12,3 \text{ Nm} \quad (4)$$

$$M_z = m \cdot a \cdot r_z = 5 \cdot (10 + 20) \cdot 0.050 = 7,5 \text{ Nm} \quad (5)$$

$$F = m \cdot a = (m \cdot m_{j_{aw}})(g + a) = (5 + 0.3) \cdot (10 + 20) = 159 \text{ N} \quad (6)$$

Pro vlastní uchycení součásti slouží ocelové čelisti s tvarem zajišťujícím pevné uchopení celé škály uvažovaných výrobků. Navržený design také zabezpečuje pevnou pozici výrobku v uchyceném stavu. Nelze tedy pootočit se součástí. Pro připojení gripperu k robotickému rameni ještě slouží mezipříruba. Uchopovací hlavici drží dvojice šroubů se závitem M8. Příruba robotu má středící průměr 31,5 H7. Na průměru 50 se nachází 7 děr M6 a jednu středící díru s průměrem 6 H7 pro upevnění, respektive pro zafixování otočení.



Obr. 7) Uchopovací zařízení Schunk PFH 40-80 s čelistmi a výrobkem. [12]

5.3 Stanice indukčního ohřevu

Indukční ohřev slouží k ohřátí součásti na teplotu až do 450 °C podle technologického postupu. Hlavní prvek tvoří cívka. Musí být uchycena pomocí elektricky a tepelně nevodivých komponent, aby se v nich za prvé neindukoval proud a za druhé, aby nedocházelo k šíření tepla vedením. Aby se předešlo problému změny orientace součásti při ohřevu, je IO vybaven přídržovacím mechanismem.

Robotické rameno vkládá kus do indukčního ohřevu z přední strany ze spodu cívky. Po najetí na pozici ve středu svislé osy cívky se posune součástí o kus nahoru tak, aby došlo k částečnému stlačení pružiny. Následně se spodní část mechanismu pomocí pneumatického válce přitiskne k součásti. Součást je poté uvolněna ze sevření robotem. Spodní pneumatický válec pak zasune součást celým objemem do prostoru cívky. Po nahřátí na požadovanou teplotu proběhne inverzní proces vyjmutí součásti.

Jednotka indukčního ohřevu se skládá z rámu svařeného z ocelových profilů („jeklů“), kde se nahoře nachází cívka indukčního ohřevu. Přesný počet závitů a stoupání musí být upraven na základě požadavků technologa. Výška však musí být minimálně 145 mm, aby se tam vešla největší uvažovaná forma. Z boků jsou dráty cívky přídržovány nevodivými součástmi z materiálu textit. Indukční cívka je napojena na indukční hlavu typu HH18 výrobce Ceia.

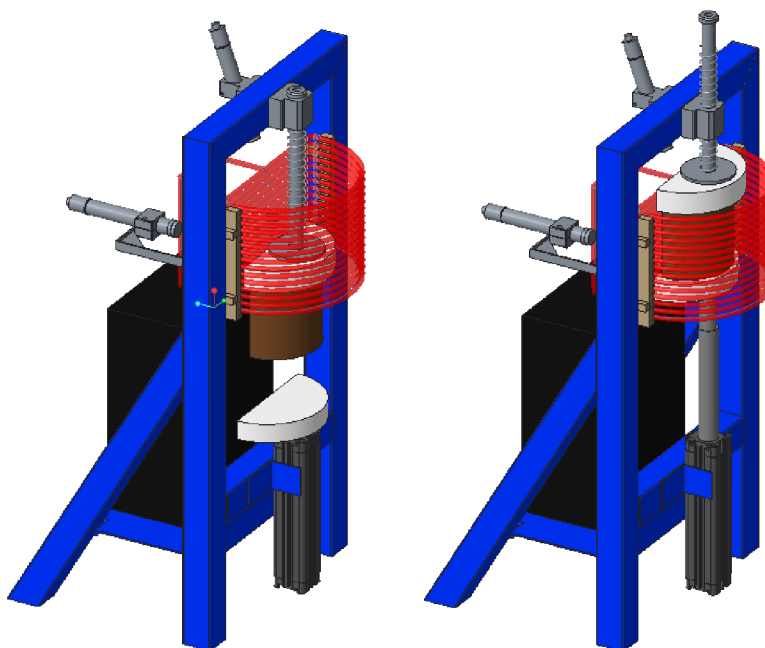
Přídržovací mechanismus se skládá z horní a spodní části. Shora ho tvoří přesná tyč uložená v kluzném ložisku a zakončená na jedné straně dorazem a z druhé strany držákem keramické izolace, na kterou pak dosedá čelo ohříváné součásti. Keramická izolace zabraňuje přestupu tepla z výrobku do zbytku mechanismu, protože je elektricky nevodivá, není ohřívána vlivem indukce. Na tyči je ještě navlečena pružina popsaná v Tab 3), která stlačení vytváří sílu působící proti pneumatickému válci uloženému v části spodní.

Vespodu se tedy nachází pneumatický válec s teleskopickou pístnicí pro zmenšení zástavbového prostoru. Na pístní tyči se opět nachází keramická izolační vložka.

Kontrolovat proces umožňuje dvojice tepelných senzorů typu SH15 s optikou CL60 opět od firmy Ceia, aby bylo co nejjednodušší řídit teplotu. Jedná se o takzvané pyrometry, které jsou bezdotykové. Princip je založen na měření vlnové délky záření vyzařovaného ze součástí.

Tab 3) Vlastnosti pružiny

d Drát (mm)	De Průměr vnější. (mm)	Di Průměr vnitřní. (mm)	LO Volná délka (mm)	Ln Max. délka se zatížením (mm)	Sn Max. zdvih (mm)	Fn Max. síla (N)	R Tuhost pružiny (N/mm)
2,00	27,00	23,00	195,00	43,80	151,20	127,49	0,83



Obr. 8) Model stanice indukčního ohřevu

5.4 Uchopovací přípravek při navařování

Pro automatizaci procesu navařování je nutné nahradit stávající upínací systém jednoúčelového stroje novým. Při návrhu konstrukce musely být splněny, kromě pevného upnutí součástí s vystředěním na osu otočného stolu, podmínky pro funkčnost při znečištění práškem navařovaných kovů, zvýšené teploty, také aby byl umožněn potřebný náklon svařovacího hořáku a nedošlo ke kolizi v pracovním prostoru.

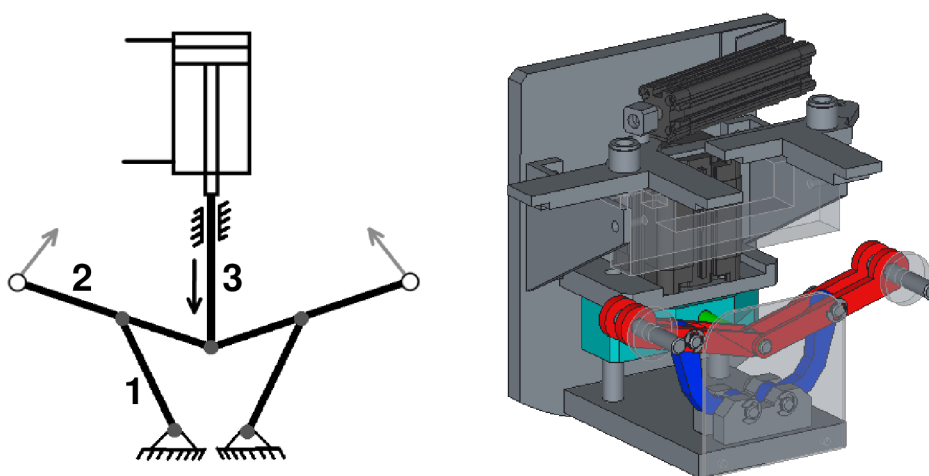
Při procesu navařování se v některých případech používá sklíčidel. Zkušenost je však taková, že vlivem vysokých teplot přenesených z procesu navařování a přítomnosti navařovacích směsí dochází k úplnému znemožnění pohybu čelistí. Tato negativní skutečnost jde zlepšit použitím starého sklíčidla, ve kterém vlivem používání vznikne větší vůle v mechanismu. V každém případě je nutné sklíčidlo pravidelně čistit a to tak, že je kompletně rozebráno. Pokud zanedbáme údržbu, může dojít k už zmíněnému zaseknutí čelistí a při následné demontáži musí být použito nestandardních nástrojů (kladivo a palice).

Přítomnost prášku vedla ke snaze vytvořit mechanismus co nejjednodušší, s co nejméně pohyblivými částmi, avšak vyhovující změně vnějšího průměru výrobků a splňující vlastnosti

uvedené v prvním odstavci části 5.4. Pohyblivé části je třeba zakrýt před znečištěním nebo umístit do větší vzdálenosti od zdroje prachu.

Navržený mechanismus Obr. 9) je tvořen dvěma spojenými pákami 2 uloženými na rotačně pohyblivých členech. Upnutou součást tyčová zakončení pák dotlačují na přestavitelné patky. Upínací sílu vytváří tlak na plochu pneumatického válce průměru 40 mm, která je přenášena pomocí propojovací tyče 3 doprostřed mechanismu, kde jsou spojeny páky. Síly, které by vedly k nesymetrickému pohybu svírání mechanismu, jsou zachytávány pomocí lineárních ložisek a vodících tyčí rovnoběžných s pohybem pístnice hlavního válce.

Automaticky přestavitelné patky mění své nastavení podle velikosti navařované součásti. Jejich zvláštní konstrukce umožňuje náklon hořáku při technologickém procesu, popřípadě nedochází k zasahování do navařované oblasti dílce.

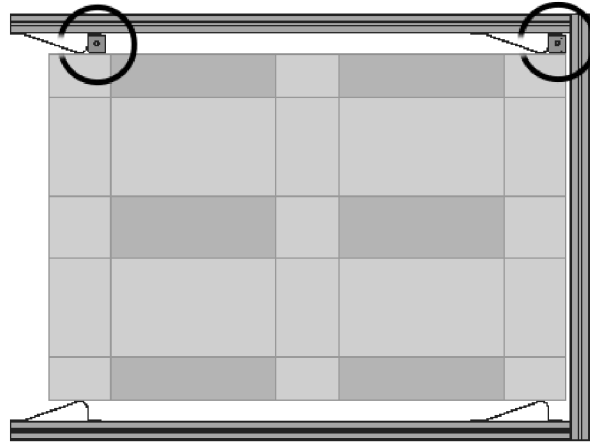


Obr. 9) Upínací přípravek pro stroj PPC 250 R6

5.5 Uložení výstupní palety

Paletu určenou k odkládání hotových navařených forem obsluha zasouvá z přední části buňky. Otvor pro uložení je kryt odklápěcími vraty a bezpečnostním zámek. Po otevření krytu musí být paleta umístěna do prostoru vymezeného konstrukcí. Správnost uložení hlídá dvojice senzorů. Stav senzorů signalizují LED diody umístěné vedle otevřeného otvoru.

Konstrukce je tvořena třemi hliníkovými profily spojenými do tvaru písmene U. Dvojice bočních profilů doplňují 4 dorovnávací plechy, které slouží ke snazšímu uložení palety. Na levé straně se za oběma plechy nachází indukční senzor IM5131 se spínací vzdáleností 40 mm. Pokud se v doku nachází paleta, oba spínače jsou seplé signalizační LED dioda na vnějším krytu buňky svítí zeleně, je možné zavřít a zajistit kryt.

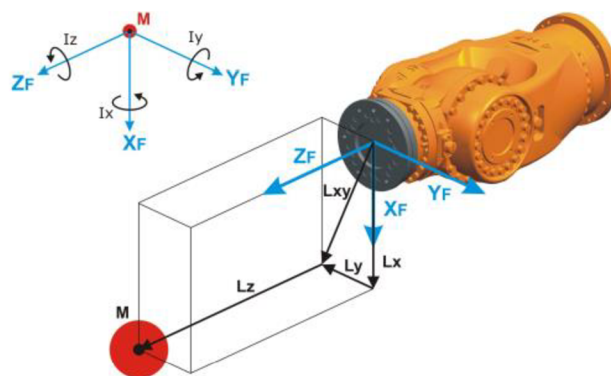


Obr. 10) Rám s výstupní paletou

5.6 Robot KUKA KR-20 R1810

Robot firmy Kuka byl vybrán na základě potřebného dosahu a nosnosti při tvorbě jednoduchého layoutu. Nosnost vychází z předpokládané maximální hmotnosti součástí a hmotnosti uchopovacího zařízení s čelistmi. Hmotnosti vychází z katalogu výrobců. Řízení robotu zprostředkovává jednotka KR – C4.

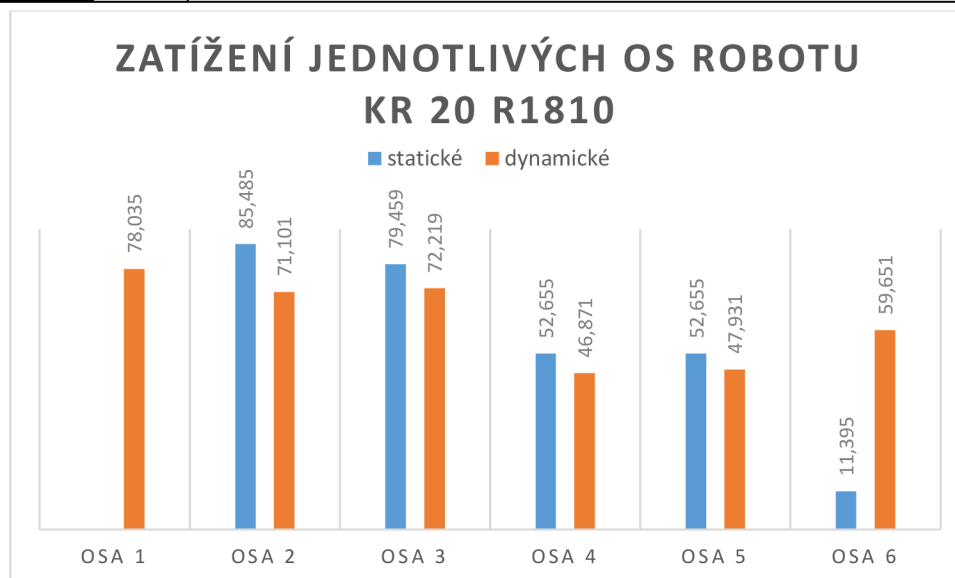
Z pouhého sečtení hmotností komponent a součástí zavěšených na rameni robotu nelze usuzovat, že je robot schopný provádět danou operaci. Navíc nelze tvrdit, že jsme schopni dodržet životnost a přesnost udávanou katalogem. Důležité je ještě posoudit dynamické zatížení robotu. Výpočet dynamiky a zatížení robotu vychází z výpočtu zatížení silami a setrvačnými momenty na přírubu šesté osy. Pro výpočet je nutné znát ještě jednotlivé výkony a momenty setrvačnosti částí robotu. Pro usnadnění práce byla využita aplikace KUKA Payload 5.0, která údaje o robotu obsahuje. Využití tohoto softwaru doporučuje samotný výrobce a v běžné praxi ho standardně využívá například koncern VW. Metodiku výpočtu kinematiky a dynamiky lze nalézt v odborné literatuře [1], popřípadě v knize Roboty a robotizované výrobní technologie [2].



Obr. 11) Náskres orientace, vzdáleností a momentů pro výpočet zatížení.

Tab 4) Tabulka vstupů do výpočtu zatížení robotu

	hm. [kg]	L_x	L_y	L_z	I_x	I_y	I_z
přiruba, gripper, celisti	8	6,23E-02	-1,49E-01	7,52E+01	2,56E-02	7,02E-02	5,80E-02
vyrobek	5	0	-55	173	1,17E-02	1,79E-02	2,29E-02



Obr. 12) Graf zatížení os robotu v procentech

5.7 PPC 250 R6

Plazmový navařovací automat PPC 250 R je určen na navařování rotačních součástí z čela nebo na obvodu (sedla, klíny a kuželky armatur, středící kroužky, ústní formy, dýnka, závěrové hlavy sklářských forem, ventily a sedla spalovacích motorů apod.) metodou PTA s práškem.

Jedná se o nejkompaktnější zařízení firmy. Do přístroje lze umístit kus o hmotnosti až 30 kg na výklopný otočný stůl s průměrem 300 mm ovládaný servomotory. Hořákem lze pohybovat ve 3 osách a ještě jej naklánět. Rozsah os je 490 mm, 260 mm, 260 mm, naklopení hlavy je až 40°. Stroj pak lze umístit do prostoru o velikosti 1 770 x 1 700 x 2 185 mm. Hmotnost stroje je 1 100 kg.

Kromě os, je u takového stroje důležitý i jeho hořák. Velikost hořáku závisí na konkrétní operaci. Pro navařování vnitřních ploch válců volíme menší velikost, aby se vešel do díry. Menší hořák je ovšem méně výkonný. Hořák spolu s anodou jsou vodou chlazeny. Pro dávkování práškové směsi slouží speciální podavač, který za pomoci plynu dodává potřebné množství až do hořáku.

Stroj lze ovládat pomocí dotykového panelu a klávesnice na přední straně rozvodné skříně. Skříň obsahuje komponenty a systém od firmy B&R s vlastní nadstavbou. Stroj lze programovat pomocí dialogu nebo „teach-in“ metodou. Diagnostiku lze provádět na dálku pomocí připojení k síti internetu. Převzato a upraveno z internetového zdroje [7].



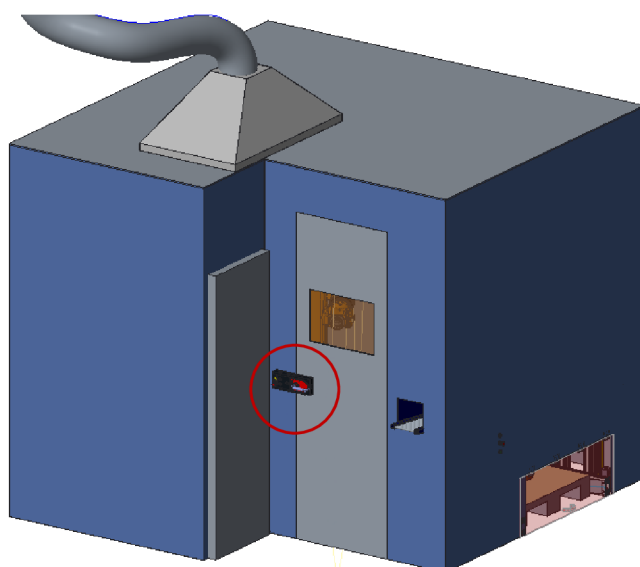
Obr. 13) Navařovací automat KSK s.r.o. PPC 250 R6 [7].

5.8 Bezpečnostní konstrukční prvky

Proces navařování vyžaduje úplné oplocení ze všech stran s plnými deskami. Pro kontrolní místa je možné použít speciální tmavá skla, která filtrují nebezpečná záření a nedochází tak k poranění zraku. Protože při procesu vznikají i zdraví škodlivé výpary, musí mít buňka i strop a být vybavena odsáváním.

5.8.1 Oplocení buňky

Pro výběr komponent ochranného oplocení lze vybírat z mnoha katalogů různých firem. Většinou se jedná o konstrukci z hliníkových profilů s výplní, která jak už bylo zmíněno musí být plná bez děr. Pro zajištění bezpečnosti je důležité, aby nebylo možné jednoduše odstranit jednotlivé panely oplocení. Oddělení montáže však uvítá systém s jednoduchou montáží pomocí různých zaklapávacích spojek. Zjednodušeně je oplocení vyobrazeno na Obr. 14).



Obr. 14) Pohled na krytování buňky

5.8.2 Vstupní dveře

Jak už vychází z návrhu rozložení, do prostoru buňky lze přistupovat jedněmi dveřmi. Dveře mají šířku 700 mm. Tyto přístupové dveře jsou vybaveny bezpečnostním zámekem Euchner MGB-AP (vyznačen červeným kroužkem na Obr. 14), který zabraňuje otevření dveří v automatickém režimu. Pro odblokování dveří je nutné zastavit veškeré pohyby robotu a počkat do ukončení procesu navařování. To lze buďto z řídicího systému, který oznámí obsluze, když bude moci vstoupit do buňky. Druhá varianta uvolnění nastává po stisku emergency stopu, kdy je celý proces zastaven ihned.

Systém zabezpečení typu MGB je přizpůsoben pro nasazení do automatizovaných linek a robotických pracovišť. Plní všechny požadavky normy ČSN EN ISO 14119. Blokovací síla bránící otevření z venku je 2000 N. Z vnitřní strany se nachází klika, kterou v případě uvěznění obsluhy uvnitř lze otevřít. Aby nešlo systém obejít, připojením jiného modulu s klikou a provozovat, tak zcela otevřenou buňku, jsou obě části zámku vybaveny RFID identifikací. Další důležitou výhodou zařízení je možnost zavírat dveře s jejich nepřesností seřízení ± 4 mm v ose X, ± 5 mm v ose Z. [16]

Prostor buňky při probíhajícímu procesu je velice nebezpečný, proto se nesmí stát, že dojde omylem k uzavření např. servisního technika uvnitř buňky a spuštění automatického režimu. Příkaz pro automatický cyklus je proto podmíněn jednak zavřenými dveřmi a také přítomností čipu v zařízení typu CKS od firmy Euchner.

Klíčový adaptér a čtecí hlava CKS vytváří bezpečnostní systém, kdy je klíč držen v hlavě a nelze vytáhnout bez splnění zadaných podmínek. Každý klíč obsahuje unikátní kód, takže ho nelze libovolně měnit za jiný.

Při využití systému CKS v této robotické buňce je předpokládáno využití dvou čtecích hlav. Jedna se nachází vně buňky mezi hlavním ovládacím modulem a dveřním systémem MGB-AP. Druhá čtecí hlava se nachází uvnitř buňky. Přítomnost čipu uvnitř povoluje funkce pro seřizování a servis.



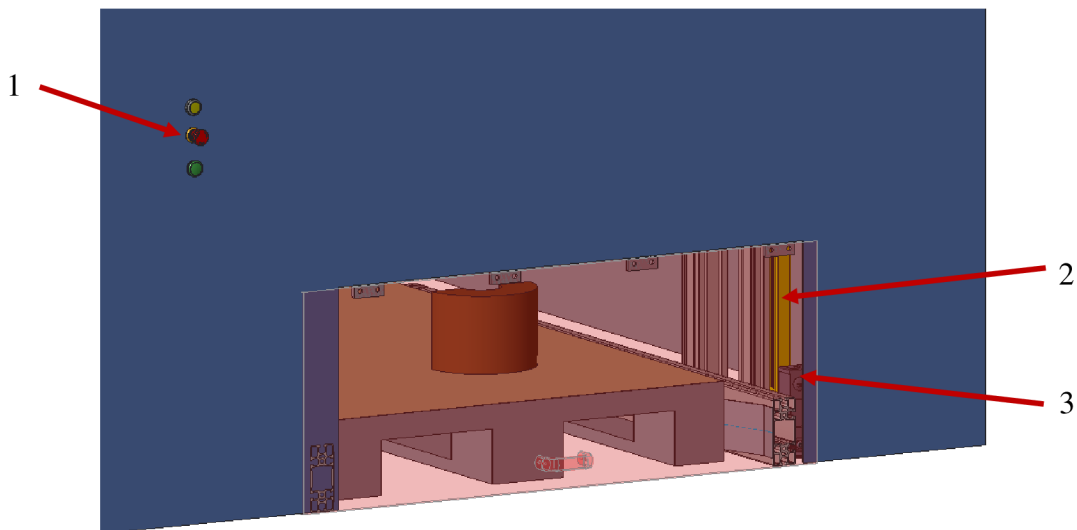
Obr. 15) Použité bezpečnostní prvky firmy Euchner [16]

5.8.3 Kryt otvoru pro paletu

Druhá možnost přístupu do buňky je skrz odklápěcí vrata pro výměnu palety na hotové navařené kusy. Nepovolené otevření chrání bezpečnostní zámek TX opět od firmy Euchner. Zámek TX je vybaven jištěním, u kterého lze sledovat jeho stav. Navržený tvar ho předurčuje k montáži na hliníkové profily. Díky velkému naváděcímu trychtýři lze použít u rotačně uložených krytů jako v tomto případě. [16]

Předpokládaným omezením probíhajících procesů v buňce je zastavení pohybů robotu. Proces navařování a indukční ohřev budou v tuto dobu v provozu, proto je důležité zabránit lidské obsluze ve vniknutí do buňky. Z tohoto důvodu je umístěna světelná závora LCA-2TR-40-310 na otvor pro paletu, která se neaktivuje hned po otevření otvoru, protože by vlivem průchodu navařených kusů přes závora došlo k vyvolání falešného nebezpečného stavu. Samotná paleta brání možnosti průlezu obsluhy do buňky. Aktivace světelné závory proběhne až na základě informace dané senzory hlídajícími, že je paleta vytažena. Při zakládání nové palety pak tento senzor navíc slouží jako kontrola, že vkládaná paleta je prázdná.

LCA-2TR-40-310 je světelná závora s rozlišením 40 mm určena pro detekci přerušení lidskou paží. Zvolená délka je 310 mm, aby bylo snímáno přerušování paprsku po celé výšce otvoru pro paletu. Technické údaje o bezpečnostních prvcích pochází z katalogů firmy Euchner.[16]



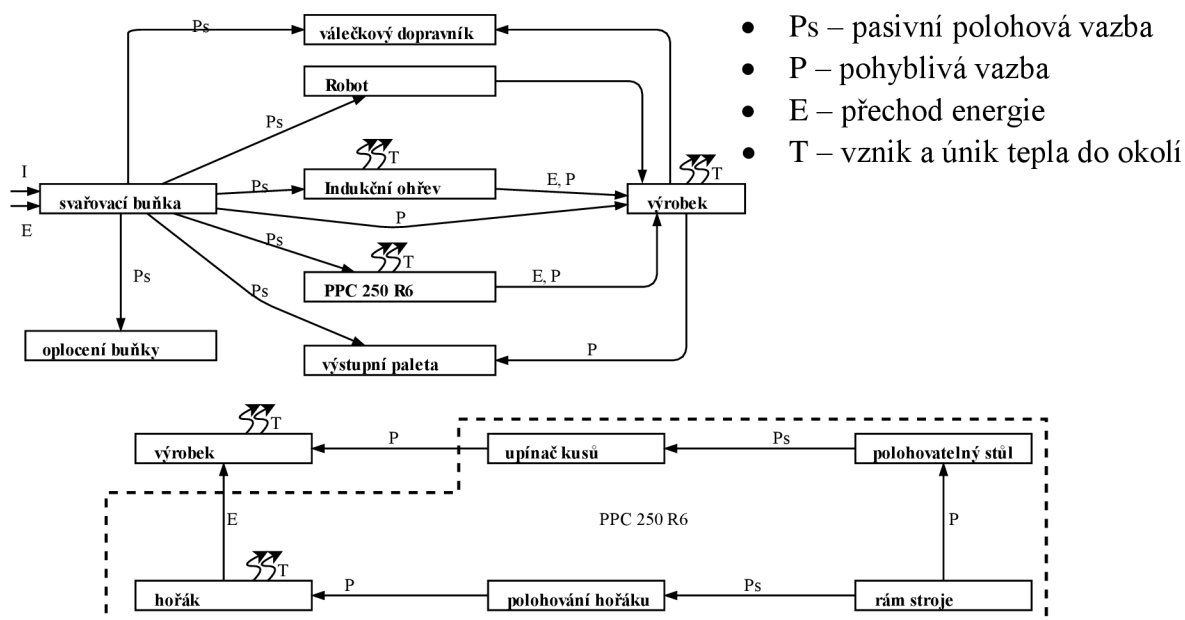
Obr. 16) Ochrana výstupní palety: 1) ovládací prvky, 2) světelná závora LCA-2TR-40, 3) bezpečnostní zámek TX

6 ANALÝZA A SNÍŽENÍ RIZIK

Aby se předešlo zranění obsluhy výrobní buňky, je nutné snížit riziko nebezpečí zranění. Konstrukční prvky uvedené v kapitole 5.8 slouží především k zamezení přístupu a vymezení pracovního prostoru buňky. Umožňují také aktivaci různých omezení funkce jednotlivých zařízení v buňce, v závislosti na právě prováděné operaci obsluhou.

Provést kompletní zabezpečení buňky při celém životním cyklu zařízení pouhým zamyšlením se konstruktéra nad nebezpečnými situacemi vyžaduje velikou zkušenost konstruktéra. I tak lze předpokládat, že by nedošlo k úplnému podchycení všech rizik. Proto je dále v této práci uveden systematický postup snížení rizika, který napomáhá odhalit všechna nebezpečí, ohodnotit je a následně provést jejich snížení. Při studiu metody analýzy rizik bylo čerpáno z [20] a technických norem.

- ČSN EN ISO 12100 (833001) Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika
- ČSN EN ISO 13857 (833212) Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami
- ČSN EN ISO 14119 (833315) Bezpečnost strojních zařízení - Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty - Zásady pro konstrukci a volbu
- ČSN EN ISO 13732-1 (833557) Ergonomie tepelného prostředí - Metody posuzování odezvy člověka na kontakt s povrchy - Část 1: Horké povrchy
- ČSN EN 349 A1 (833211) Bezpečnost strojních zařízení - Nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla
- ČSN EN ISO 10218 Roboty a robotická zařízení



Obr. 17) Blokový diagram výrobní buňky

6.1 Blokový diagram výrobní buňky

Pro znázornění složitějších systémů jednodušší formou, než je například 3-D model, slouží diagramy. Výhodou tvorby diagramů v digitální podobě je jejich možnost skrývat a rozšiřovat různé úrovně detailizace.

Sestavený blokový diagram má tři úrovně. Nejvyšší úroveň je samotná buňka, v další jsou pak jednotlivá pracoviště následně rozdělená na podsestavy rozdělené podle funkce. Popisky u vztahů znázorňují jejich význam. Úplný blokový diagram lze nalézt v příloze. Část diagramu se nachází na Obr. 17). Pro tvorbu diagramu byla použita webová aplikace draw.io. Jako zdroj dat posloužil formát strukturovaného textu s oddělovači s příponou .csv.

6.2 Určení relevantního nebezpečí

Relevantní nebezpečí posuzujeme pro každou komponentu z blokového diagramu. Kromě názvu komponenty a nebezpečí je ještě uvedena poloha komponenty v systému. Níže se nachází část tabulky relevantních nebezpečí Tab 5) . Celou tabulku pak obsahuje příloha. Podle normy se mohou vyskytovat tyto druhy nebezpečí.:

- Mechanické nebezpečí
- Elektrické nebezpečí
- Tepelné nebezpečí
- Nebezpečí vytvářené hlukem
- Nebezpečí vytvářené vibracemi
- Nebezpečí vytvářené zářením
- Nebezpečí vytvářené materiály a látkami
- Nebezpečí vytvářené zanedbáním ergonomických zásad při konstrukci stroje
- Nebezpečí uklouznutí, zakopnutí a pádu

Tab 5) Relevantní nebezpečí – část tabulky

Komponenta systému	Umístění v systému	Typ nebezpečí	ID. Číslo
válečková trať	Prac. prostor buňky – vstupní dopravník	Mechanická nebezpečí, Nebezpečí způsobená špatnou ergonomií	1, 8
dělič kusů	Prac. prostor buňky – vstupní dopravník	Mechanická nebezpečí	1
Skruz	Prac. prostor buňky – vstupní dopravník	Mechanická nebezpečí	1
Dorovnávač	Prac. prostor buňky – vstupní dopravník	Mechanická nebezpečí	1
rám dopravníku	Prac. prostor buňky – vstupní dopravník	Mechanická nebezpečí	1
podstavec robotu	Prac. prostor buňky – robot	Mechanická nebezpečí	1
KUKA KR-20 R1810	Prac. prostor buňky – robot	Mechanická nebezpečí, Elektrická nebezpečí, Tepelná nebezpečí	1, 2, 3

6.3 Významná nebezpečí

Při posuzování rizika musíme uvažovat celý životní cyklus stroje od montáže přes seřízení, používání, opravy až po jeho vyřazení z provozu a demontáž. Pro systémové odhadnutí rizik byla použita následující tabulka Tab 6) .

Tab 6) Tabulka rizik v průběhu života výrobní buňky (část)

č.	typ události	nebezpečí	označení nebezpečí	Popis nebezpečné události
x	Doprava			
1a	zdvihání, nakládání, přeprava, vykládání	stlačení, pořezání, odření, naražení, převržení	1.1-1, 1.2-1, 1.5, 1.4,1.8	Vlivem špatného uchycení celků a následného neřízeného pohybu při zvedání. Povolení popruhu, naklonění nebo pád zařízení na obsluhu.
1b	balení, rozbalování	naražení, pořezání, propíchnut nebo píchnutí, nebezpečí převržení, zakopnutí a pád	1.2-2, 1.4, 1.6, 1.9, 9.1	Při pohybu kolem stroje úder vlivem nepozornosti o vyčnívající části, pořezání o ostré hrany.
x	montáž a instalace /uvedení do provozu			
2a	montáž jednotlivých pracovišť	stlačení, pořezání, odření, propíchnutí, zakopnutí a pád	1.1-2, 1.2-3, 1.5, 1.6, 9.2	Pohyb volných částí, manipulace s náradím. Zakopnutí o připevněné části nebo prvky kotvení.

Následně pak ještě byla vytvořena tabulka významných nebezpečí Tab 7) , která navíc obsahuje hodnocení těchto nebezpečí. Bylo ustanoveno, že hodnota rizika nesmí přesáhnout hodnotu 6. Pokud bude tuto hodnotu riziko převyšovat, musí dojít k následnému snížení.

- Z – Závažnost a možné škody na zdraví
 - S0 žádné zranění
 - S1 lehké zranění
 - S2 těžké zranění
 - S3 smrt
- V – Četnost a doba trvání ohrožení
 - A1 zřídka až častěji
 - A2 často až trvale
- M – Možnost vyvarování se nebezpečí
 - E1 možné
 - E2 možné za určitých podmínek
 - E3 sotva možné
- P – Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události
 - W1 malá či nepravděpodobná
 - W2 střední
 - W3 velká

Tab 7) Tabulka seznamu významných nebezpečí

Seznam významných nebezpečí		Z	V	M	P	Σ
ozn.	Název nebezpečí					
1	Mechanická nebezpečí					
1.1	Nebezpečí stlačením					
1.1-1	Nebezpečí stlačením při vykládání, nakládání a přepravě stroje	S2	A1	E1	W2	6
1.1-2	Nebezpečí stlačením při montáži pracovišť	S2	A1	E1	W2	6
1.1-3	Nebezpečí stlačením při montáži odsávání zplodin	S1	A2	E1	W1	2
1.1-4	Nebezpečí stlačením při montáži ochranných plotů	S1	A2	E1	W3	4
1.1-5	Nebezpečí stlačením polohováním hořáku	S2	A1	E1	W1	5

Snižování rizika probíhá ve 3 krocích. V prvním kroku konstruktér hledá opatření, které by zabudoval do konstrukce. Řadíme mezi ně pevné a pohyblivé kryty, kryty s blokováním a jištěním, optické zábrany nebo dvouruční ovládací pulty často používané pro obsluhu lisů. Výčet velké škály krytů lze nalézt v normách, konkrétní typy pak lze vybrat z katalogů firem například Sick či Euchner.

Ve druhém kroku přidáme bezpečnostní ochranu a doplňková bezpečnostní opatření. Třetí krok, pak slouží k formulaci upozornění obsluhy při školení, jak se za dané situace chovat a jakých činností se vyvarovat.

VUT v Brně, FSI ÚVSSR		FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA		Stroj: Navařovací buňka s robotem
		Zpracoval: Záveský Filip		Datum: 4. 4. 2018
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100		
		1. Mechanické nebezpečí		
1.1-6	1	Nebezpečí stlačením pohybem upínače kusů		
Životní etapa stroje:	montáž a instalace, seřizování, programování		Nebezpečný prostor: pracovní prostor buňky	
Ohrožené osoby:	Obsluha stroje		Provozní stav stroje: mimo automatický režim	
Popis nebezpečné situace/událo sti:	Stlačení prstů nebo části ruky mezi pohyblivé části polohování nebo při vložení končetiny do zařízení.			
Počáteční riziko:	Závažnost možné škody na zdraví	S2- těžké zranění (trvalé následky)	Velikost rizika 10	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2- často až trvale		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1- možné		
	Prs. výskytu nebezpečné události	W3 - velká		
Krok:1 Opatření zabudovaná v konstrukci				
Popis opatření:	Nožní pedál s krytem			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S2- těžké zranění (trvalé následky)	Velikost rizika 6	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 - zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 - možné		
	Prs. výskytu nebezpečné události	W2- střední		
Krok:2 Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření				
Popis opatření:	Neexistuje žádná účinná bezpečnostní ochrana.			
Krok:3 Informace pro používání				
Popis opatření:	Použití kleští pro zakládání Bezpečnostní sdělení na stroji: Spouštět a ovládat pouze podle návodu k obsluze. Při ručním zakládání použij kleště s rukavicemi!			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S2- těžké zranění	Velikost rizika 5	
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1- zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 - možné		
	Prs. výskytu nebezpečné události	W1 - malá		
Validace: Opatření jsou dostatečná		Záveský Filip		4.4.2018

Obr. 18) Formulář snížení rizika číslo 1.1-6

6.4 Doplnující bezpečnostní prvky

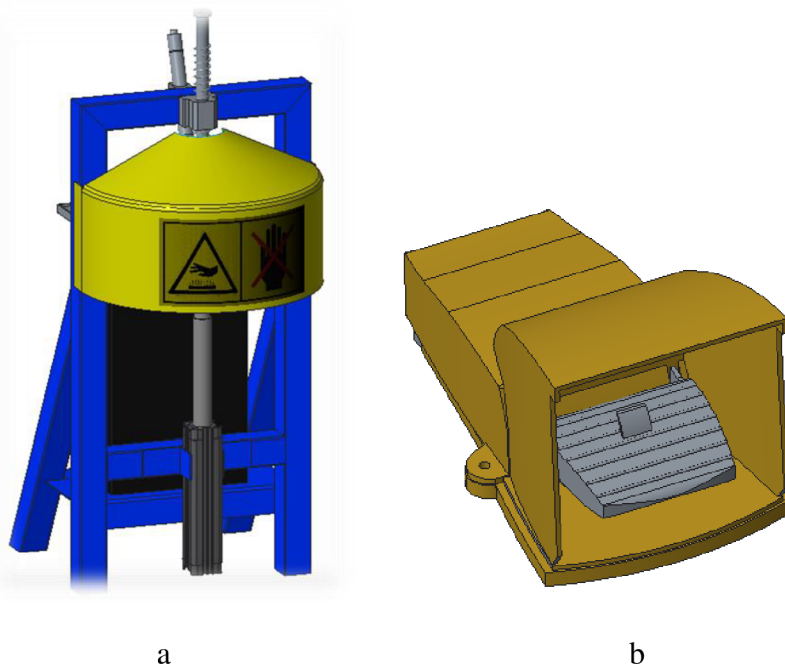
Na základě tříkrokové metody byla konstrukce doplněna o další prvky zajišťující zvýšení bezpečnosti při obsluze. Zejména se pak jedná o dobu, kdy je prováděna údržba, programování nebo nastavování technologie uvnitř buňky.

Nebezpečná situace, kdy by mohlo dojít ke zranění na rukou je, když bude obsluha sama upínat kus do navařovacího automatu. Aby nedošlo ke skřípnutí nebo stříhnutí ruky byl navařovací automat doplněn o nožní ovládání upínače. Obsluha se tak bude moci více soustředit na to, kde má ruce. Protože však upínaná součást bude nahřátá na vysokou teplotu, je doporučeno použít k zakládání kleští a použití ochranných rukavic proti vzniku nebezpečí popálením.

Nebezpečí popálení také hrozilo při dotyku se stanicí indukčního ohřevu, protože se tato komponenta nachází v blízkosti dveří, lze tak předpokládat častý pohyb osob v jeho okolí při práci v buňce. Pro zvýšení bezpečnosti proto byla indukční cívka zakryta krytem, opatřeným výstražným polepem.

Dalším opatřením je zajistit spouštění procesu navařování při seřizování pomocí dvou tlačítek, tzn. je nutné použít obě ruce. Pro upozornění na horké povrchy lze v buňce vhodně umístit maják s výstražným nápisem.

Obsluha seřizující technologické parametry procesu jako je ohřev a navařování by měla být plně vybavena pro svařování. Pracovník by měl být oděn svářečskou kombinézou, helmou pro svařování, měl by mít svářečské rukavice, a navíc ještě ochranu sluchu, respirátor.



Obr. 19) a) indukční ohřev s krytem, b) nožní ovládání upínače

7 POČÍTAČOVÁ SIMULACE V PROCESS SIMULATE

V rámci posledního bodu zadání vznikl simulační model výrobní buňky v Tecnomatix Process Simulate. Model byl převážně vytvořen pro ověření dosahu robotu ke všem součástem buňky včetně uvažování orientace nástroje, která snižuje maximální dosah uváděný v katalogu a stanovení času, který potřebuje robot pro manipulaci se součásti.

7.1 Základní nastavení a import modelů

Prvním krokem tvorby modelu je vytvoření jednotlivých komponent simulovaného systému. Komponenty se dělí na typy parts (výrobky, materiál) a resources (roboty, upínací prvky apod.). Každou komponentu pak reprezentují dva soubory, oba uložené v jedné složce. Jeden ze souborů určuje vlastnosti a typ zařízení. Druhý je pak pouhá grafická reprezentace naimportovaná z 3-D CAD programu.

Grafické znázornění bylo převzato z modelu vytvořeného v Creo Parametric. Dále bylo nutné vybrat typ zařízení a u pohyblivých částí vytvořit kinematické schéma. Nastavené typy komponent jsou znázorněny v tabulce na obrázku Obr. 20).

7.2 Vytvoření kinematiky

Pro tvorbu kinematických schémat musíme použít *Kinematics editor* na záložce *Modeling*. Zde vytvoříme propojením bloků vazbami danou kinematiku. Každému bloku přiřazujeme pouze název a grafickou reprezentaci jedním či více modely. Vazby můžeme vybírat dvojího typu, a to posuvnou nebo rotační. U obou vazeb musíme správně doplnit, která komponenta je rodič a která potomek, a vybrat osu vazby. Například u kinematiky uchopovacího zařízení se jedná o dvě posuvné vazby čelistí, které jsou vzájemně propojeny tak, aby se pohybovaly souměrně, aby model odpovídal realitě.

Nejsložitější bylo vytvoření modelu kinematiky pneumatického upínacího mechanismu navařovacího stroje, protože se jedná o takzvaný uzavřený mechanismus, který se řeší rozdělením na dva otevřené se stejnou polohou koncového bodu [13]. Pro zjednodušení tvorby schématu jsou předpřipraveny základní 4vazbové uzavřené mechanismy, navržený mechanismus je však o něco složitější. Kinematickým modelem tedy byla zvolena kombinace dvou šablon typu RRRP a posuvná vazba propojená rovností velikosti hodnot, viz Obr. 21).

Folder	Type
diplomka1	
GRIPPER_1_54_ASM	Gripper
INDUKCNI_OHREV_ASM	ToolPrototype
kr20_r1810	Robot
R6_JEDNODUCHE_54	Turn_Table
RAM_PALETY_54_ASM	Device
upinac2	Clamp
vyrobek80_80	PartPrototype
ZASOBNIK_MAIN_54_ASM	Conveyer

Obr. 20) Typy komponent v simulačním modelu

7.3 Nastavení robotu

Posledním krokem při tvorbě modelu buňky je potřeba nainportovat robot KUKA KR20, který byl stažen z databáze výrobce a propojit ho s uchopovacím zařízením. Stažený soubor obsahuje jak modely jednotlivých částí robotu, tak i soubor s nastavením kinematiky atd. U robotu jsou i předdefinovány důležité souřadné systémy, souřadný systém základny (*baseframe*) a konce mechanismu na přírubě (*tool frame*).

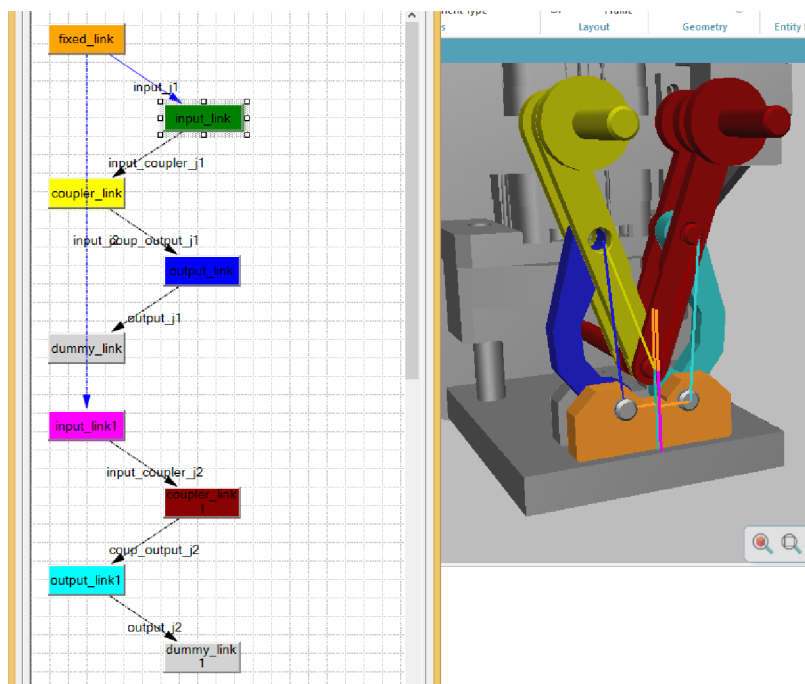
Uchopovací zařízení připojíme pomocí nástroje *Mount Tool*, kde vybereme nástroj a robotu, k této informaci ještě přiřadíme odpovídající si souřadné systémy. Po ukončení editace se bude uchopovací nástroj pohybovat společně s robotem.

7.4 Vytvoření procesů pro časovou simulaci

Vytvořený model následně rozpohybujeme. Pro co nejsnazší následnou práci při tvorbě simulace procesů je dobré mít správně nastavené souřadné systémy u všech prvků. Změna pozic je pak definována právě souřadnicemi a orientací daných souřadných systémů. Při programování robotu tedy využijeme připravené body. Robot zarovnáme k daným souřadným systémům, při správné definici stačí pouze vybrat daný souřadný systém a robot se potřebně natočí. Pozice zaznamenáváme do simulace pohybů robotu a doplníme je příkazy pro uchopovací zařízení k uchopení a puštění.

K rozpohybování zařízení s nastavenou kinematikou použijeme editor pozic, kde nastavujeme hodnoty nezávislých vazeb. Jednotlivé cílové pozice pak uložíme. V okně simulace už jednoduše dáme povel k pohybu do dané pozice. Například uchopovacímu mechanismu stroje zadáme příkaz změny stavu z *otevřeno* na *upnuto*.

Celý proces simulace se zaznamenává v okně sekvenční simulace. Znáznorňuje se pomocí gantova diagramu s časovou osou (Obr. 22). Jednotlivé akce reprezentují modré obdélníky a délka znázorňuje časový interval kdy probíhá. Pomocí vazby lze nastavovat precedenci operací. U vazeb lze také nastavovat zpoždění následující operace.

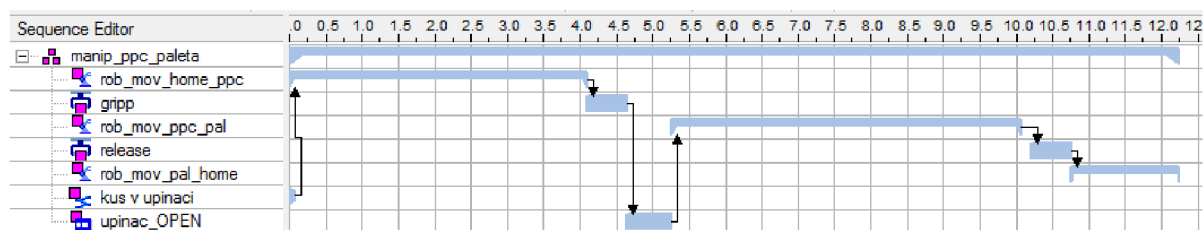


Obr. 21) Znáznornění kinematiky upínače v editoru

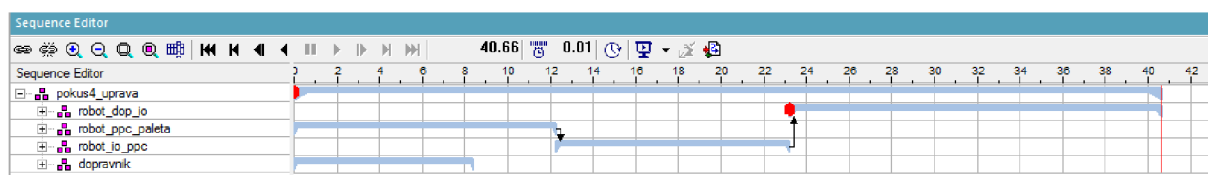
7.5 Výsledky simulace manipulačních operací

Prvním výsledkem simulace bylo ověření dosahu robotu do všech navržených zařízení. Důležité pak je, že nebude muset dojít ke složitému přetáčení ramene robotu. Pokud by k přetáčení docházelo, bylo by nutné upravit konstrukci například upravením layoutu. V horším případě pozměnit konstrukci navržených komponent.

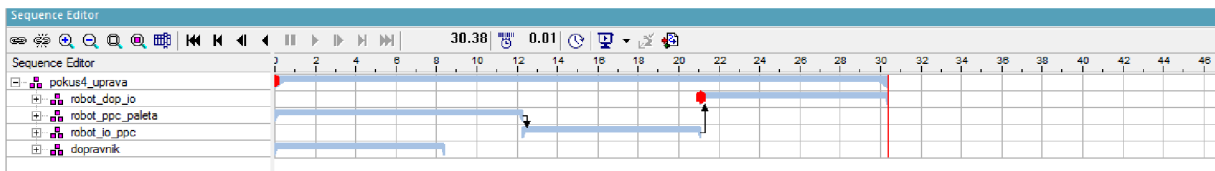
Nejdůležitějším výsledkem, kvůli kterému jsme dělali simulaci, je čas potřebný pro manipulaci s formou napříč stanicemi buňky. Výsledný čas simulace bez použití RCS modulu, který nemá žádnou vypovídající hodnotu, je 41 s, viz Obr. 23). Výsledný čas po použití RCS modulu obsahující parametry skutečného robotického ramene je 31 s, viz Obr. 24). V zadání byl požadovaný čas pro manipulaci menší než 45 s, můžeme tedy tvrdit, že podmínce lze vyhovět.



Obr. 22) Gantův diagram manipulace z PPC 250 R6 na výstupní paletu



Obr. 23) Gantův diagram manipulace bez RCS modulu



Obr. 24) Gantův diagram manipulace s RCS modulem

8 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

V kapitole zhodnocení a diskuze se převážně věnuji kritice a jiným variantám návrhu fungování výrobní buňky.

Prvním a velice důležitým výsledkem je vybraná varianta rozmístění strojů, od které se odvíjí úspěšnost fungování celé buňky. Při řešení bylo vytvořeno asi 10 různých návrhů, ale variant může být i mnohem více. I když byla snaha vytvořit soubor požadavků na buňku a ještě jim byla přiřazena různá váha v konečném rozhodování, tak samotné řešení návrhů, myšlenkové pochody v hlavě, ovlivňovaly průběh mnohem více. Myslím, že mě nejvíce ovlivnila snaha navrhnout buňku s co nejmenším zástavbovým prostorem.

Podíváme-li se na vybraný layout, tak každého napadne otázka, zdali je vhodné umístit paletu takto pod dopravník. Bude pro manipulaci dostatek místa? Již při konstrukčním návrhu dopravníku na to bylo myšleno a několikrát byla provedena kontrola proti kolizím. Nejprokazatelnější však byla až následná simulace výrobní buňky v Process Simulate.

Zmínil bych zde ještě další varianty řešení zásoby kusů pro výrobu. Prvním uvažovaným řešením bylo umístit do buňky dvě palety. Jednu vstupní a druhou výstupní. Vstupní paleta by byla vybavena kamerou, která by naváděla robotické rameno na přesnou souřadnici. Důvodem, proč se nevydat touto cestou, je právě instalace kamery. Již samotná kamera by zvýšila celkovou částku za buňku, ale mnohem důležitější by byla kvalita programu pro kameru a jeho cena. Dalším možným řešením by bylo vytvořit zásobník s volně položenými formami a operace bin picking. Můj vlastní názor na operaci bin picking je, že do automatizovaných procesů a linek nepatří. Lepší je se snažit mít věci logicky uspořádané a zajistit tak nižší počet problémů a neshod současně s vyšší efektivitou výrobních celků. Se zvyšováním stupně automatizace je proto současně nutné vylepšovat řízení procesů (výroba, skladování, tok materiálu).

Protože v buňce probíhá manipulační operace s vyjmutím a následným založením výrobku do zařízení, a to hned na dvou pozicích, v indukčním ohřevu a do navařovacího automatu, je zde otázka, zda nevyužít uchopovacího prvku, kde by robot mohl zároveň držet dva kusy. Tato varianta byla nejprve uvažována, aby byl navařovací stroj maximálně využit. Pro změnu mě pak donutil fakt, že by bylo nutné použít robotu s větší nosností, který by byl zároveň větší, muselo by tedy dojít i ke zvětšení celé buňky. Mezi vyjmutím a založením by robot vykonal pohyby navíc. Možným problémem by tak bylo zamezení kolizí v celkem malém výrobním prostoru navařovacího automatu.

9 ZÁVĚR

V rámci diplomového projektu byl vytvořen návrh buňky s robotem, dále obsahující navařovací automat, stanici indukčního ohřevu, vstupní dopravník a výstupní paletu. Vstupním polotovarem do buňky je odlitek ústní formy pro sklářský průmysl a výstupním produktem je forma navařená vrstvou tvrdokovu metodou PTA. Aby bylo možné provést návary s co nejvyšší kvalitou, dochází k indukčnímu předehřevu.

Po dokončení návrhu funkčních celků bylo nutné doplnit konstrukci opatřeními pro ochranu lidské obsluhy. Protože se jedná o navařovací operaci, musela být buňka oplocena plným materiálem a pomocí bezpečnostních prvků zamezen přístup dovnitř buňky v automatickém režimu. Pro zajištění bezpečnosti v průběhu celé životnosti zařízení byla provedena analýza rizik zakončená minimalizací rizika tříkrokovou metodou.

Konečná verze návrhu byla simulována v Tecnomatix Process Simulate na realizovatelnost manipulačních operací robotem. Simulační model také posloužil ke kontrole podmínky velikosti časového intervalu, ve kterém budou probíhat manipulační operace mezi stanovišti.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer *Handbook of Robotics*. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4
- [2] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [3] PIRES, J. N. *Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future*. Springer, 2008. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3
- [4] NOF, S. Y. *Springer Handbook of Automation*. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0
- [5] MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. *Robot Grippers*. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197
- [6] Ústní forma. *Componenta Perfecta* [online]. Brno: webdilna.com, 2018 [cit. 2018-02-4]. Dostupné z: <http://componentaperfecta.cz/portfolio/cz/ustni-forma>
- [7] KSK: Český výrobce svařovacích navařovacích automatů kooperant v oboru navařování tvrdokovu [online]. Česká Třebová, ©2016 [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <http://www.kskct.cz>
- [8] SMITH, Jordan. What is Plasma Transferred Arc Welding (PTAW)? [online]. 1.12.2015, 6 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://americanroller.com/wp-content/uploads/2016/09/White-Paper-What-is-PTAW-by-Jordan-Smith-Revision-4-Final.pdf>
- [9] Plasma transferred arc welding. KUKA AG [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-au/technologies/process-technologies/2016/07/plasma-transferred-arc-welding>
- [10] Plazmové navařování. *Servis armatur* [online]. Paskov, 2012 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.servisarmatur.cz/index.php?page=plasma-powder-surfacing>
- [11] Ceia - Induction Heating: Induction heating systems [online]. © C.E.I.A. S.p.A., 2018 [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <http://www.ceia-power.com>
- [12] PFH 40-80. *Schunk: Superior Clamping and Gripping* [online]. 19.03.2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: https://schunk.com/ch_en/gripping-systems/product/5092-0302043-pfh-40-80/
- [13] GREPL, Robert. *Kinematika a dynamika mechatronických systémů*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3530-8.
- [14] Höganäs AB. *Thermal Surfacing: Glass Mould Industry Solutions* [online]. In: Höganäs, květen.2017 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: https://www.hoganas.com/globalassets/media/documents/surface-coating/glass-mould-industry-solutions_may-2017_1949hog.pdf
- [15] HAVEN, Caleb. Preheating can be critical to welding success. *The Fabricator* [online]. 7.12.2016 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/article/arcwelding/preheating-can-be-critical-to-welding-success>
- [16] *Euchner: More than safety* [online]. Německo, 2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://www.euchner.de/>

- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] ČSN EN ISO 10218-2. *Roboty a robotická zařízení: Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 2: Systémy robotů a integrace*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [20] BLECHA, Petr. *Management technických rizik u výrobních strojů: Technical risk management in production machines: teze habilitační práce*. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-4062-3.

11 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1 Seznam symbolů a zkratk

[a] = ms ⁻²	zrychlení
[g] = ms ⁻²	tíhové zrychlení
[m] = kg	hmotnost součásti
[r] = mm	rameno působící síly
[D ₁] = mm	vnější průměr navařované součásti
[L] = mm	délka navařované součásti
[F _z] = N	síla ve směru z
[M] = Nm	působící kroutící moment
[M _x] = Nm	zatěžující moment v ose x
[M _y] = Nm	zatěžující moment v ose y
[M _z] = Nm	zatěžující moment v ose z
HVOF	High Velocity Oxy-Fuel
IO	Indukční ohřev
PLC	Programmable Logic Controller
PTA	Plasma Transferred Arc
RCS	Robot Controller system

11.2 Seznam tabulek

TAB 1) VÝHODY A NEVÝHODY METODY PTA.[10]	14
TAB 2) TABULKA HODNOT PRO VÝBĚR NEJLEPŠÍ VARIANTY	21
TAB 3) VLASTNOSTI PRUŽINY	26
TAB 4) TABULKA VSTUPŮ DO VÝPOČTU ZATÍŽENÍ ROBOTU	28
TAB 5) RELEVANTNÍ NEBEZPEČÍ – ČÁST TABULKY	34
TAB 6) TABULKA RIZIK V PRŮBĚHU ŽIVOTA VÝROBNÍ BUŇKY (ČÁST)...35	
TAB 7) TABULKA SEZNAMU VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ	36

11.3 Seznam obrázků

OBR. 1) SKLÁŘSKÉ FORMY A) NENAVAŘENÁ, B) C) D) HOTOVÉ I OBROBENÉ [6], [7].	13
OBR. 2) SCHÉMA PLAZMOVÉHO HOŘÁKU PRO METODU PTA[10].	15
OBR. 3) A) INDUKČNÍ HLAVA S CÍVKOU B) UKÁZKA INDUKČNĚ OHŘÍVANÉ SOUČÁSTI [11].	16
OBR. 4) ZJEDNODUŠENÝ TVAR SKLÁŘSKÉ FORMY	17
OBR. 5) VYBRANÉ VARIANTY A, B, C K POROVNÁNÍ	21
OBR. 6) A) VSTUPNÍ ZÁSOBNÍK TVOŘENÝ DOPRAVNÍKEM A B) DĚLÍCÍ MECHANISMUS.	23
OBR. 7) UCHOPOVACÍ ZAŘÍZENÍ SCHUNK PFH 40-80 S ČELISTMI A VÝROBKEM. [12].	25
OBR. 8) MODEL STANICE INDUKČNÍHO OHŘEVU	26
OBR. 9) UPÍNACÍ PŘÍPRAVEK PRO STROJ PPC 250 R6	27
OBR. 10) RÁM S VÝSTUPNÍ PALETOU	28
OBR. 11) NÁKRES ORIENTACE, VZDÁLENOSTÍ A MOMENTŮ PRO VÝPOČET ZATÍŽENÍ	28
OBR. 12) GRAF ZATÍŽENÍ OS ROBOTU V PROCENTECH	29
OBR. 13) NAVAŘOVACÍ AUTOMAT KSK S.R.O. PPC 250 R6 [7].	30
OBR. 14) POHLED NA KRYTOVÁNÍ BUŇKY	30
OBR. 15) POUŽITÉ BEZPEČNOSTNÍ PRVKY FIRMY EUCHNER [16].	31
OBR. 16) OCHRANA VÝSTUPNÍ PALETY: 1) OVLÁDACÍ PRVKY, 2) SVĚTLENÁ ZÁVORA LCA-2TR-40, 3) BEZPEČNOSTNÍ ZÁMEK TX	32
OBR. 17) BLOKOVÝ DIAGRAM VÝROBNÍ BUŇKY	33
OBR. 18) FORMULÁŘ SNÍŽENÍ RIZIKA ČÍSLO 1.1-6	37
OBR. 19) A) INDUKČNÍ OHŘEV S KRYTEM, B) NOŽNÍ OVLÁDÁNÍ UPÍNAČE	38
OBR. 20) TYPY KOMPONENT V SIMULAČNÍM MODELU	39
OBR. 21) ZNÁZORNĚNÍ KINEMATIKY UPÍNAČE V EDITORU	40
OBR. 22) GANTŮV DIAGRAM MANIPULACE Z PPC 250 R6 NA VÝSTUPNÍ PALETU 41	
OBR. 23) GANTŮV DIAGRAM MANIPULACE BEZ RCS MODULU	41
OBR. 24) GANTŮV DIAGRAM MANIPULACE S RCS MODULEM	41

12 SEZNAM PŘÍLOH

3-D model ve formátu STEP

Výkresová dokumentace – návrhové výkresy důležitých sestav celkem 12 listů

Navařování - buňka s robotem	2 listy	PRT0000.pdf
Sestava vstupní zásobník	2 listy	PRT1000.pdf
Sestava dopravník + oddělovač	2 listy	PRT1100.pdf
Sestava upínač	2 listy	PRT2000.pdf
Sestava výstupní paleta	1 list	PRT5000.pdf
Sestava gripper	1 list	PRT7000.pdf
Sestava indukční ohřev	2 listy	PRT8000.pdf

Analýza rizik – tabulky a formuláře – celkem 22 stran

Blokový diagram	1 strana	blokovy_diagram.pdf
Tabulka relevantních rizik	2 strany	relevantni_rizika_tab.pdf
Tabulka významných rizik	4 strany	vyznamna_rizika.pdf
Seznam významných nebezpečí	2strany	Sez_vyznam_nebezp.pdf
Snížení rizika	14 stran	Snizeni_rizika.pdf