



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
BODOVÉ SVAŘOVÁNÍ
DESIGN OF A ROBOTIC CELL FOR SPOT WELDING APPLICATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Vojtěch Kaňa

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Aleš Pochylý

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Vojtěch Kaňa
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Aleš Pochylý
Akademický rok:	2018/19

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 bodové svařování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na návrh pracoviště s průmyslovými roboty pro výrobu komponent – objektů. Práce se zabývá výběrem hlavních komponent a jejich umístěním – návrhem layoutu pracoviště, návrhem koncových efektorů/upínacích přípravků a návrhem zabezpečení pracoviště – ochrany obsluhy. V rámci návrhu pracoviště bude využit SW Siemens Process Simulate pro detailní simulaci výroby a ověření funkčnosti navrženého řešení ve virtuálním prostředí.

Cíle diplomové práce:

Systémový rozbor zadané problematiky.

Návrh koncepce automatizace pracoviště pro zadaný typ aplikace.

Návrh dílčích systémů (koncové efekty, přípravky, oplocení apod.).

Integrace dílčích systémů pracoviště, resp. vytvoření modelu pracovní buňky včetně řešení bezpečnosti/ochrany obsluhy.

Vytvoření simulačního modelu pracoviště v SW Siemens Process Simulate.

Technicko–ekonomické posouzení navrženého řešení.

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.

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 2018/19

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce byl návrh robotické buňky pro bodové svařování výztuhy sedadla a následnou automatickou dopravu dílu z buňky ven. Měl být proveden jak konstrukční návrh, tak simulace procesu v prostředí Process Simulate. Jde tedy o aplikaci pro automobilový průmysl. Buňka se skládá z přípravku, do kterého obsluha zakládá díly a je umístěn na navrženém otočném stole. Svařování probíhá pomocí dvou robotů Kuka a na ně připojenými svařovacími kleštěmi. Práce pojednává o návrhu konstrukce a volbě jednotlivých komponent, stejně tak o jejich vhodném rozmístění v buňce. Současně s návrhem buňky byla zpracovávána simulace ve zmíněném softwaru. Výstupem této práce je 3D model pracoviště, simulace celého procesu svařování a manipulace a zhodnocení taktu buňky s pomocí RCS modulu.

ABSTRACT

The aim of this thesis was to design a robotic cell for spot welding of seat reinforcement and the subsequent automatic transport of the part from the cell. Both construction plan and process simulation in Process Simulate should be performed there. It is therefore an application for the automotive industry. The cell consists of a device into which the operator places the parts and is placed on the designed turntable. The welding is performed by two Kuka robots and welding tongs attached to them. The thesis deals with the design of the structure and the choice of individual components, as well as their appropriate deployment in the cell. Along with the design of the cell, the simulation was processed in the software. The output of the thesis is a 3D model of the workplace, simulation of the whole process of welding and manipulation and evaluation of the cell cycle using the RCS module.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robotické bodové svařování, svařovací buňka, simulace procesu, robot Kuka, Process simulate

KEYWORDS

Robotic spot welding, welding cell, process simulation, robot Kuka, Process simulate

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KAŇA, Vojtěch. Návrh robotické buňky pro bodové svařování [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116743>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Aleš Pochylý.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce za cenné informace, pedagogickou a odbornou pomoc při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji za obrovskou podporu mým rodičům, manželce a dvěma synům po celou dobu studia.

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 10.5.2019

.....

Kaňa Vojtěch

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ A SYSTÉMOVÝ ROZBOR	11
2.1	Zástupci softwarů pro offline programování a realizaci digitální továrny	11
2.2	Odporové svařování	12
3	SPECIFIKACE ZADÁNÍ	16
3.1	Základní parametry	16
3.2	Specifikace procesu	17
3.3	Výběr komponent	17
3.4	Další požadavky	17
4	NÁVRH LAYOUTU BUŇKY	18
4.1	První návrh	18
4.2	Druhý návrh	19
4.3	Třetí návrh	19
5	NÁVRH GRIPPERU	23
5.1	Určení těžiště a hmotnosti	23
5.2	Výběr chapadla	24
5.3	Návrh prstů chapadla	25
5.4	Návrh konstrukce gripperu	26
6	NÁVRH PŘÍPRAVKU NA SVAŘOVÁNÍ	27
6.1	Výběr komponent přípravku	27
6.2	Návrh konstrukce přípravku	30
7	NÁVRH OTOČNÉHO STOLU	32
7.1	Návrh nosné konstrukce otočného stolu	32
7.2	Výběr nakupovaného otočného stolu	32
7.3	Sestavení stolu	34
8	KONSTRUKCE RÁMU PRACOVNÍHO MÍSTA	35
9	KONSTRUKCE ZÁSOBNÍKU DÍLŮ	36
9.1	Výběr komponent zásobníku	36
9.2	Konstrukce zásobníku dílů	37
10	VÝBĚR SVAŘOVACÍCH KLEŠTÍ	39
10.1	Odporové svařování	39
10.2	Určení přítláčné síly a proudu	40
10.3	Volba kleští	41
11	VÝBĚR ROBOTŮ	42
11.1	Výběr svařovacích robotů	42
11.2	Výběr manipulačního robota	43
12	VOLBA DOPRAVNÍKU	45
13	FINÁLNÍ LAYOUT PRACOVNÍHO MÍSTA CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.	
14	VOLBA AUTOMATICKÉ VÝMĚNY ČEPIČEK SVAŘOVACÍCH KLEŠTÍ	46
15	SIMULACE V PROSTŘENÍ PROCESS SIMULATE	47
15.1	Rozbor procesu	47

15.2	Rozmístění komponent	47
15.3	Definice komponent.....	48
15.4	Sestavení kinematiky přípravku na svařování	49
15.5	Pose editor.....	50
15.6	Dráhy svařování	50
15.7	Časování operací v prostředí Sequence editor	52
16	RCS MODUL A TAKT BUŇKY	53
17	ANALÝZA A SNÍŽENÍ RIZIKA	55
17.1	Blokový diagram.....	55
17.2	Zdroje relevantních nebezpečí	56
17.3	Významná nebezpečí	57
17.4	Seznam významných nebezpečí	58
17.5	Snižování rizika	59
17.6	Použité bezpečnostní prvky	60
18	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	62
19	ZÁVĚR.....	65
20	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	66
21	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	69
21.1	Seznam tabulek	69
21.2	Seznam obrázků.....	69
22	SEZNAM PŘÍLOH	71

1 ÚVOD

Robotické pracoviště jsou v dnešní době neodmyslitelnou součástí automobilového průmyslu a jejich počet a využití neustále roste, protože jsou schopny nahradit složitou nebo stereotypní práci člověka a výrazně zvýšit produktivitu a kvalitu. Proces výroby tím získává nejen větší efektivitu a zlepšení pracovních podmínek zaměstnanců, ale také značné ekonomické úspory.

Dalším důvodem pro zavádění robotických pracovišť je opakovatelnost a přesnost výroby, která je logicky u člověka těžko dosažitelná, protože člověka, jakožto živého tvora, ovlivňuje spousta vnějších vlivů.

Životní cyklus každého pracoviště začíná jeho správným návrhem na základě požadavků zákazníka daného pracoviště. Jde zejména o dodržení produktivity (taktu), splnění požadavků na technologii, cenu a bezpečnost obsluhy.

Tato diplomová práce se zabývá problémem bodového svařování výztuhy sedadla z jednotlivých natvarovaných drátů. Tyto obsluha založí do přípravku, jenž přesně definuje jejich polohu, následně se pomocí otočného stolu dostanou do pracovního prostoru buňky, kde jsou roboticky svařeny a přesunuty na dopravník, který je dopraví ven z buňky připravené na další operace.

Ve 3. kapitole poté najdeme přesnou specifikaci zadání a požadavky na technologii, prostorové rozložení komponent buňky, požadovanou ergonomii a rozložení vzhledem k periférii buňky.

Dále práce pojednává o výběru vhodných robotů s postupem jejich volby a o samotném konstrukčním návrhu, volbě jednotlivých komponent a jejich kontrole v návaznosti na jejich simulaci v softwaru Proces Simulate. Práce se též zabývá volbou vhodných bezpečnostních komponent, které jsou neodmyslitelnou součástí každé robotické buňky.

V poslední části potom nalezneme vyhodnocení výsledků simulace s ohledem na požadavky zákazníka, technicko - ekonomické zhodnocení, které nám dává jistý přehled o návratnosti investice v závislosti na volbě komponent a celkovém návrhu buňky. Hlavním výstupem práce je odladěná aplikace v SW Process Simulate, která prokázala realizovatelnost aplikace v požadovaném taktu.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ A SYSTÉMOVÝ ROZBOR

Cílem této diplomové práce je konstrukční návrh, ale zejména simulace v prostředí softwaru Proces simulate, který nám dává obrovské možnosti, co se týká snížení časové náročnosti na realizaci pracovišť, optimalizaci a také celkové snížení nákladů. Je to jeden se softwarů umožňující realizaci digitální továrny.

Tento proces návrhu využívá offline programování, které se stává čím dál více využívaným postupem v návrhu robotických, ale jiných pracovišť. Automobilový průmysl si již bez těchto moderních metod návrhu nedovedeme představit, ale rozšiřuje se již i na další oblasti průmyslu.

Princip spočívá v tom, že konstruktér a offline programátor jsou v přímé součinnosti při návrhu. To v praxi znamená, že podle zadání si offline programátor v softwaru udělá hrubý návrh rozmístění požadovaných komponent a předá jej konstruktérovi, který následně rozpracuje a navrhne tyto komponenty, které předá zpět programátorovi. Tento proces se opakuje, dokud programátor není schopen najít optimální a bezkolizní simulaci.

Toto v dřívějších dobách bylo problematické, neboť konstruktér se musel spolehnout pouze na svoje zkušenosti a znalosti. Často se pak stávalo to, že bylo komponenty nutné přepracovat, protože nebylo možné najít řešení z hlediska dosahu robotů a jiných nečekaných problémů, které se v simulaci dají snadno podchytit a napravit dříve, než dojde k realizaci.

2.1 Zástupci softwarů pro offline programování a realizaci digitální továrny

- **Technomatix Process Simulate**

Program umožňující simulační řešení digitální továrny pro ověření výrobního procesu s využitím zejména robotů, ale i jiných výrobních strojů. Prostředí programátora je ve 3D rozhraní. Je též propojitelné s aplikací Process Designer a Teamcenter Manufacturing a tím synchronizovatelné s aktuálními metadaty.

Klíčové přínosy:

- Kontrola celé linky již v procesu návrhu
- Zkrácení návrhového času
- Podpora týmové spolupráce a správy dat
- Optimalizace layoutu a taktu linky
- Optimalizace drah robotů a jejich programů
- Standardizované automotive řešení

Umožňuje širokou škálu operací jako je Pick&Place, bodové, obloukové a laserové svařování, dále leštění, frézování, broušení, odjehlování, lepení, lakování a řezání laserem i vodním paprskem. Poté je možné nahrávat vytvořené programy do robotů a naopak program z robotu může být přímo načten do PS Robotics, kde může být libovolně upravován.

Tento software jsem měl k dispozici i já pro svou diplomovou práci i s jeho rozšířením Process simulate human. Je to jeden ze zástupců softwaru od firmy Siemens v této oblasti. [1]

- **Robot studio –**

Robot studio je nástrojem ke zvýšení ziskovosti daného robotického procesu tím, že umožňuje vykonávat úkoly jako je programování, školení a optimalizace bez přerušení výroby. To samozřejmě přináší spoustu výhod jako je rychlejší zavádění do výroby, snížení rizik, zvýšenou produktivitu, a rychlejší reakce na požadované změny v procesu

Robot studio běží na virtuálním řídicím systému od firmy ABB, který se chová přesně jako opravdový software řídicí skutečné roboty. Tím pádem poskytuje realistické simulace a zároveň robotické programy a konfigurační soubory. [2]

- **Delmia V5 Robotics-**

Software V5 Robotics umožňuje komplexní návrh a simulaci robotických pracovišť, čímž umožňuje jejich optimalizaci a offline programování v 3D prostředí, které sdílí stejnou V5 platformu jako Catia nebo Enovia. Velkou výhodou Delmie je, že využívá knihovnu zařízení, která mimo jiné obsahuje přes 700 přesných modelů robotů.

Všechny moduly Delmie jsou spolu kompatibilní a umožňují dobrou správu dat. To má za následek zvýšení rychlosti procesu návrhu ke zprovoznění. To nám pak zase šetří nemalé finanční prostředky. Počáteční vklad je sice veliký, ale s časem náklady výrazně klesají. [3]

Toto jsou zástupci nejznámějších softwarů pro realizaci digitálních továren a offline programování robotů, které se neustále zlepšují a na trh jsou stále uváděny nové.

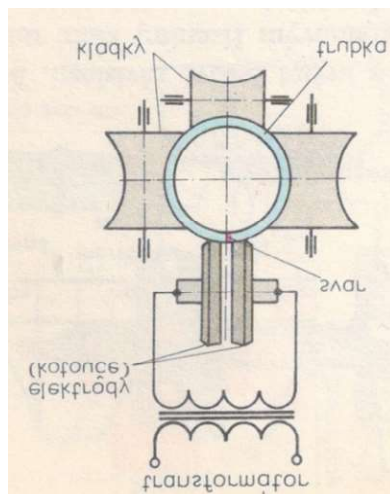
2.2 Odporové svařování

Elektrické odporové svařování je tlakové, to znamená, že pro vznik svaru působíme na stykové plochy tlakem, nebo tlakem a teplem. Fyzikální veličina důležitá pro tuto technologii svařování je elektrický odpor. Rozlišujeme dva základní typy, a to bez odtavení a s odtavením stykových ploch.

Podstatou odporového svařování je skutečnost, že při průchodu elektrického proudu vodičem se na základě jeho odporu generuje teplo.

Teplo potřebné pro svařování se tedy vytváří elektrickým proudem s využitím změny elektrického odporu ve svařované oblasti. Čím větší odpor materiálu vodiče, tím větší nárůst teploty vodiče. Elektrický proud se do svařovaných částí přivádí elektrodami, které mají velmi dobrou elektrickou vodivost (jsou vyrobeny ze speciálních slitin mědi). Svařované části jsou z oceli a mají tedy mnohem vyšší elektrický odpor, čímž dochází k ohřevu stykových ploch svařovaných částí. Elektrody zároveň přitlačují stykové plochy k sobě, viz obr. 1.

Vzhledem k nízkým hodnotám pracovního napětí (0,5 – 20 V) se musí použít vysokých proudů (až statisíce A) [4][5].



Obr. 1) Podstata odporového svařování[4]

Elektrické odporové svařování je velmi hojně používaná technologie k nerozebíratelnému spojení kovů. Používá se například při výrobě karoserií aut, řetězů a trubek, svařování různých součástí strojů a zařízení.

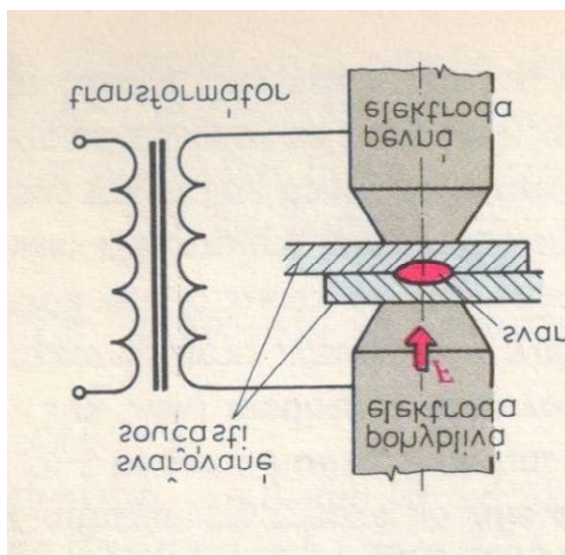
Elektrické odporové svářečky se skládají ze dvou základních funkčních částí: elektrické a mechanické. Elektrická část slouží k produkci vysokého proudu (snižovací transformátor). Mechanická část poskytuje upínací a přitlačnou funkci. Odporové svářečky pracují tak, že nejprve sevřou svařované součásti dosedacím tlakem a potom do nich přivedou svařovací proud. Po svaření se přeruší přívod svařovacího proudu a následně se zruší dosedací tlak.

Současné svařovací stroje jsou vybaveny řídicím systémem, které jsou řízeny počítačem pomocí výrobního programu. Tyto programy umožňují užívat svařovací výrobní cykly a slouží pro sériovou výrobu. Zejména mnohobodové svářečky pro automobilový průmysl jsou velmi rychlé a výkonné, protože na jeden pracovní zdvih zhotoví velký počet svarů.

Pro tuto technologii svařování se lidská práce používá jen zřídka v malých dílnách a všechny složitější operace jsou prováděny roboticky. [5]

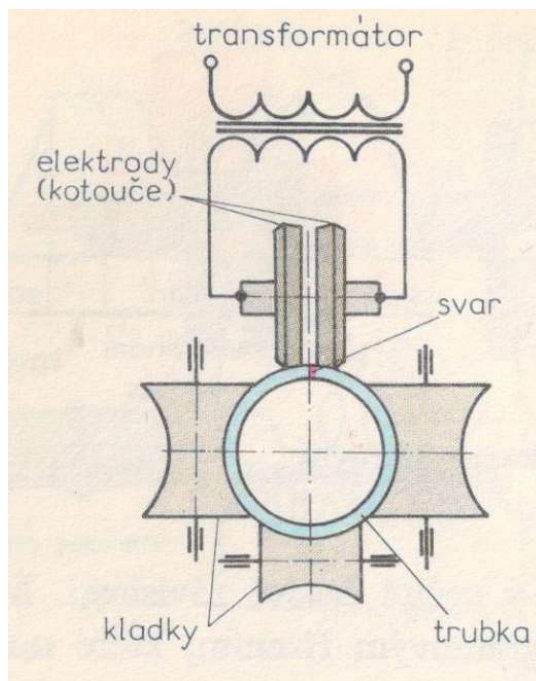
Typy elektrického odporového svařování

- a) Stykové - proces svařování probíhá buď s odtavením, nebo bez odtavení. Stykové plochy musí být hladké a kovově čisté. [4]
- b) Bodové - je to metoda pro spojování plechů, popřípadě drátů. Díly se překryjí přes sebe a sevřou mezi dvě elektrody, které mohou být chlazené a jsou vyrobeny z materiálu s velmi nízkým odporem. Po průchodu elektrického proudu se v tomto místě následkem vysokého elektrického přechodového odporu materiál nataví a vytvoří svar vizobr. 2. Svar tuhne a chladne pod tlakem, takže je struktura jemnozrná, bez staženin. Digitalizace a robotizace výrobního procesu umožňuje zejména u bodového svařování karoserií vysokou efektivitu. [4]



Obr. 2) Bodové svařování [4]

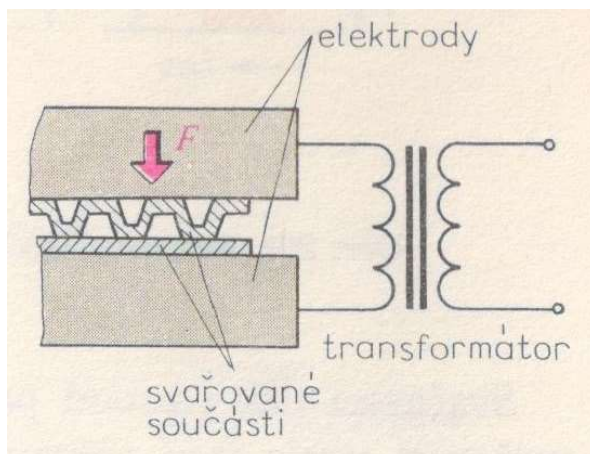
- c) Švové - metoda průběžného svařování plechů. Elektrody ve tvaru kotoučů jsou chlazené vodou a svařují nepřerušovaným střídavým proudem, přičemž za 1s vznikne 100 proudových impulzů, tj. 100 miniaturních svarů. Plechy větších tloušťek se svařují přerušovaným střídavým proudem. Spoje mohou být přeplátované nebo tupé viz obr. 3. [4]



Obr. 3) Švové odporové svařování [4]

- d) Výstupkové - produktivní metoda odporového svařování. Na plechu se před svařováním vylisují výstupky na místě budoucích svarů vhodného tvaru, na které působí největší svařovací proud a přitlačný tlak. Elektrody mají tvar desek, stroje, které provádí tento typ svařování, se nazývají svařovací lis. Elektrody ve tvaru

desektlačí na svařované díly tak, aby prolisy dolehly k sobě. Po průchodu svařovacího proudu se na výstupcích materiál nataví a spojí, vznikne svar, viz obr. 4. [4]



Obr. 4) Výstupkové odporové svařování[4]

3 SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Návrh technologie, prostorový návrh i návrh některých komponent vychází z potřeb a požadavků zákazníka, který předává kompletní zadání. Na základě tohoto zadání je možné provést komplexní návrh pracoviště pro vykonání požadovaného úkolu a s požadovanou přesností, taktem a kvalitou.

Vstupní požadavky jsou zejména:

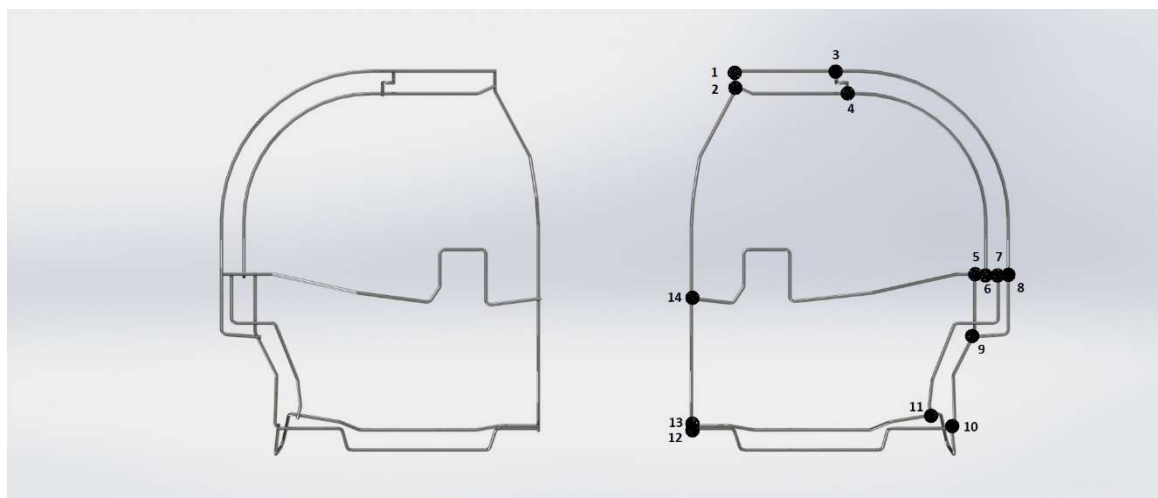
- Požadovaná geometrie výrobku
- Požadovaná přesnost výrobku
- Poloha svařovacích bodů
- Takt buňky
- Preferování výrobcí různých komponent
- Dostupné připojení ke zdrojům elektřiny tlakového vzduchu a jiným médiím
- Speciální požadavky na krytí aj.

Po obdržení těchto parametrů lze přistoupit k přibližnému návrhu buňky a zkoušce dosahů robotů v závislosti na předpokládaném rozmístění a velikosti jednotlivých komponent v Process Simulate. Tento návrh poté slouží pro detailní konstrukci dílů. Následně se opět provede simulace s již hotovými komponenty, nebo proběhne další úprava.

3.1 Základní parametry

Byly zadány dva 3D modely zrcadlově převrácených dílů, které je nutné svařit na všech stykových plochách, viz obr. 5. Díl se skládá z 8 tvarovaných drátů, každý drát je dodáván v balení do skladu, kde už je na výrobcí, jakým způsobem bude dále postupovat, aby dosáhl cíle.

Podstatou je, že lidská práce bude použita pouze na založení drátů, které musí mít přesně stanovenou polohu dle výkresu, zbytek procesu probíhá automaticky.



Obr. 5) Dodaný 3D model s vyznačenými svařovacími body

3.2 Specifikace procesu

Zadání dále obsahuje požadavky na takt, který se musí vlézt do 120 sekund/ 1 díl. Prostor pro pracovníka musí být ergonomicky vyhovující a pracovník musí mít zásobník dílů co nejbližší zakládacímu přípravku tak, aby nebyl nadměrně přetěžován a stíhal zakládat. Dopravu do buňky zajistí otočný stůl, který se po založení dílů, odchodu pracovníka z nebezpečného prostoru a stlačení tlačítka automaticky otočí. Výjezd dílů již neprobíhá otočným stolem, ale je nutné jejich automatické vyložení z přípravku na dopravník, který je odveze k dalšímu zpracování, takže pracovník koná pouze práci zakládání.

3.3 Výběr komponent

Všechny roboty budou značky Kuka s ohledem na dostupnost RCS KUKA. Svařovací budou šestiosé, další dle výběru konstruktéra a simulanta. Jejich poloha musí být vhodně zvolena tak, aby svařování a pravidelná údržba mohla probíhat bez problémů. Svařování probíhá svařovacími kleštěmi vhodných parametrů. Je nutné zvolit bezpečnostní komponenty tak, aby odpovídali bezpečnostním normám a pohodlí obsluhy. Cena buňky nesmí přesáhnout hranici 10 000 000

3.4 Další požadavky

Návrh musí obsahovat i další komponenty potřebné pro správnost funkce jako jsou elektrické rozvaděče, pneumatické a jiné rozvaděče, bezpečnostní oplocení, mezioperační zásobníky atd. Všechny komponenty musí být vhodně rozmístěné tak, aby splňovaly ergonomické požadavky pro obsluhu, ale i pro servisní a jiné zásahy, případně pro výměnu poškozených komponent.

4 NÁVRH LAYOUTU BUŇKY

Správný návrh layoutu svařovací buňky je základní podmínkou správné funkce a splnění zadání s co možná nejnižšími náklady. Je tedy nutno důkladně promyslet a rozvrhnout rozmístění, typ a množství komponent tak, aby byly co nejlevnější, ale splnily zadání. Návrh layoutu zahrnuje především

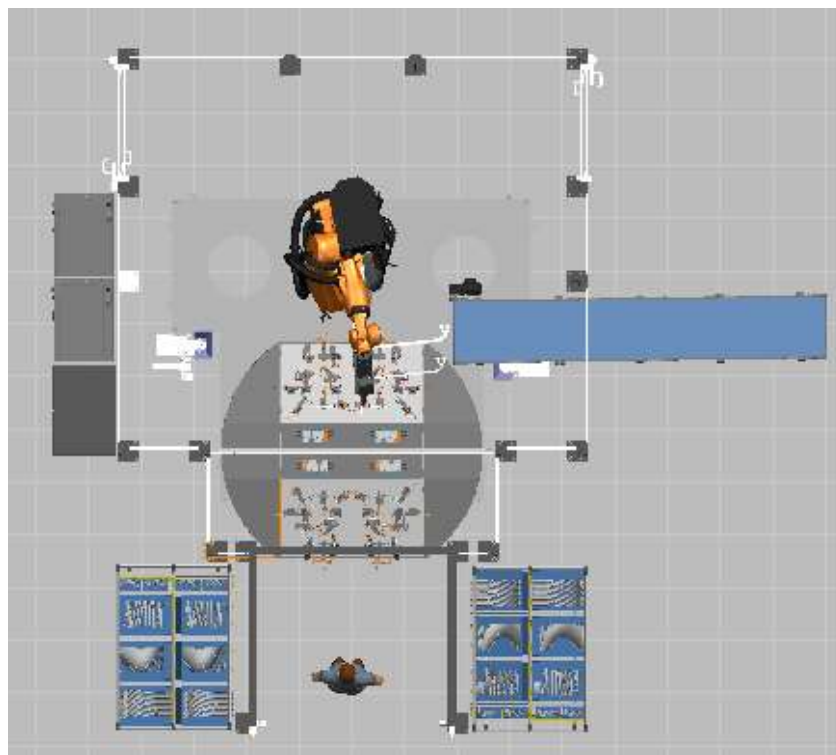
- Volbu komponent a jejich rozmístění
- Volba a poloha velikosti robotů
- Volba svářečky – tvar a velikost kleští
- Svařovací přípravek jako celek

4.1 První návrh

U layoutu číslo 1 jsem se snažil o co nejjednodušší pojetí buňky, kde svařuje pouze jeden robot a součástí svařovacích kleští je taky chapadlo, které svařený díl přemístí na dopravník, který je vyveze ven z buňky, viz obr 6.

Toto řešení se ovšem projevilo jako nedostatečné, jelikož nesplníme už základní požadavek a to takt buňky. Přes veškeré snahy se tento problém nepodařilo překonat.

Byly zde ovšem i jiné problémy, jelikož chapadlo na svařovacích kleštích by potřebovalo neúměrně velký průměr stolu tak, aby nenastávaly kolize, s čímž by se pojily další problémy a náklady.

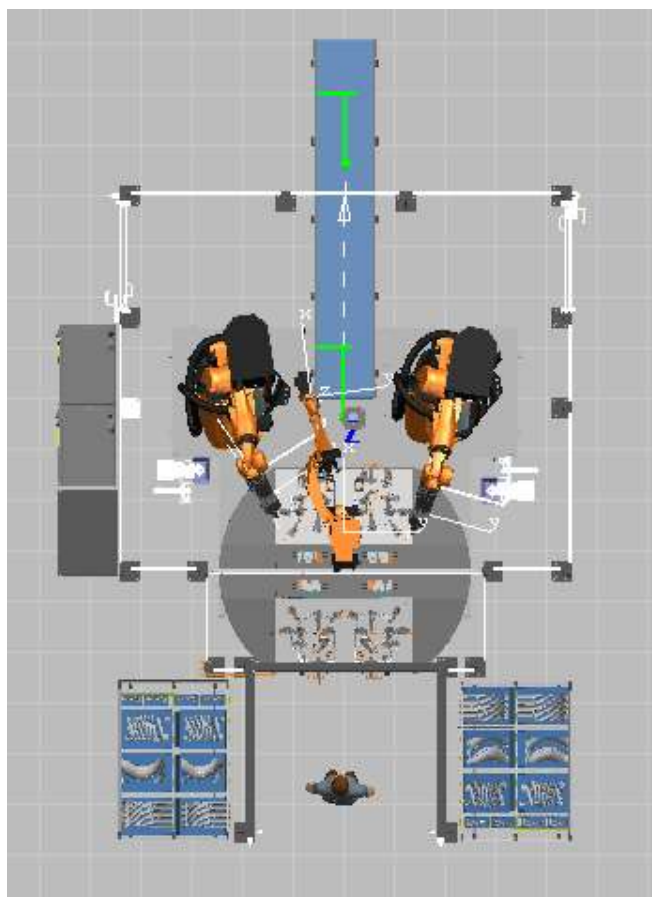


Obr. 6) Layout č.1

4.2 Druhý návrh

U layoutu číslo 2 je již použito dvou svařovacích robotů, z nichž každý má na starosti svaření jedné poloviny výztuhy. Pro manipulaci je použit robot postavený jako netopýr z důvodu umožnění přístupu svařovacích robotů k dílům. Dopravník je umístěn mezi svařovacími roboty kvůli nejbližšímu ukládacímu bodu pro manipulačního robota. Po stranách poté vidíme zařízení na automatickou výměnu čepiček svařovacích kleští, což nám umožňuje zvýšit produkci a minimalizovat servisní zásahy viz obr. 7.

Toto řešení ovšem skýtalo problém s manipulačním robotem, protože se záhy ukázalo, že most, na kterém by byl umístěn, by bylo nutno udělat vysoký kolem 4 metrů a manipulační robot by opět musel být veliký, a tím pádem drahý. Z hlediska taktu je již tato varianta realizovatelná.

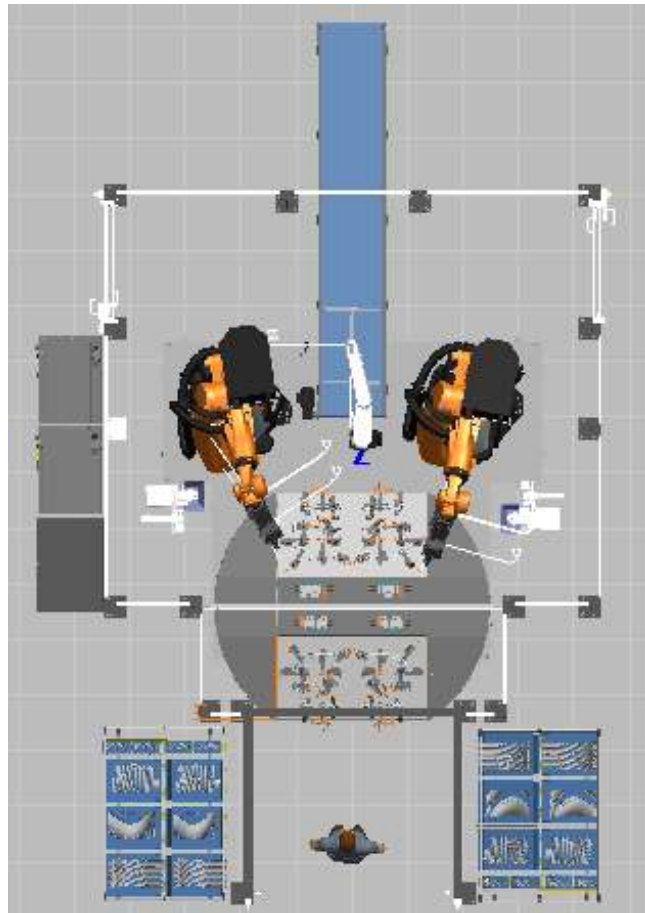


Obr. 7) Layout č.2

4.3 Třetí návrh

Třetí návrh se velice podobá layoutu č.2 se snahou odstranit jeho největší nedostatky, což byla zejména otázka manipulace se svařencem. Toto se podařilo vyřešit robotem Scara, který byl umístěn mezi oběma roboty, viz obr. 8.

Toto řešení bylo problémové, hlavně kvůli potřebnému prostoru pro svařovací roboty tak, aby nenastávaly kolize. Tento problém se v simulaci podařilo vyřešit pomocí funkce Smart place, která je popsána v kapitole č. 15.



Obr. 8) Layout č.3

Toto je výběr ze základních uvažovaných variant. Je samozřejmě možné vymyslet nespočet variant s různými úpravami, které však většinou probíhají v hlavě a konstruktér už dopředu dokáže posoudit, proč například tato varianta nemá smysl. V úvahu byla například ještě například varianta se dvěma svařovacími roboty a dvěma dopravníky bez manipulačního robota, tato varianta má ale obdobné problémy jako varianta č. 1 s výjimkou taktu atd.

Při konečné volbě layoutu je nutné si zvolit rozhodující parametry a jejich váhu, kterou hrají v našem výběru, viz tab. 1.

Tab 1) Výběr varianty podle váhy

Kritérium výběru	váha	Layout č.1	Layout č.2	Layout č.3
Takt buňky	8	3	1	1
Velikost zastavěné plochy	3	1	2	2
Počet robotů a jejich cena	2	1	2	2
Přístupnost a viditelnost do buňky	2	1	2	2
Prostor okolo buňky	1	1	2	2
Odhadní cena	3	1	3	2
	celkem	35	33	30

Jak je vidět v tabulce č. 1, i přes to, že ve většině parametrů vítězí layout 1, nám jako nejlepší layout vychází č. 3, jak jsem předpokládal, a to z důvodu velké váhy na takt buňky, který je základním požadavkem pro úspěšné splnění zadání.

5 POSTUP KONSTRUKČNÍHO NÁVRHU

Práce na návrhu robotické buňky probíhala současně jak na konstrukční části, tak na simulační části. Proto sled kapitol v této práci je pouze orientační a nemůže odrážet časový postup návrhu. V zásadě bylo potřeba navrhnout tyto části a komponenty

- Gripper na přemístění dílů
- Přípravek na svařování
- Otočný stůl
- Rám pracoviště
- Zásobník dílů
- Oplocení a bezpečnostní prvky

Dále bylo potřeba zvolit vhodné komponenty a to

- Svařovací roboty
- Manipulačního robota
- Automatickou výměnu čepiček
- Vhodné svařovací kleště
- Dopravník dílů

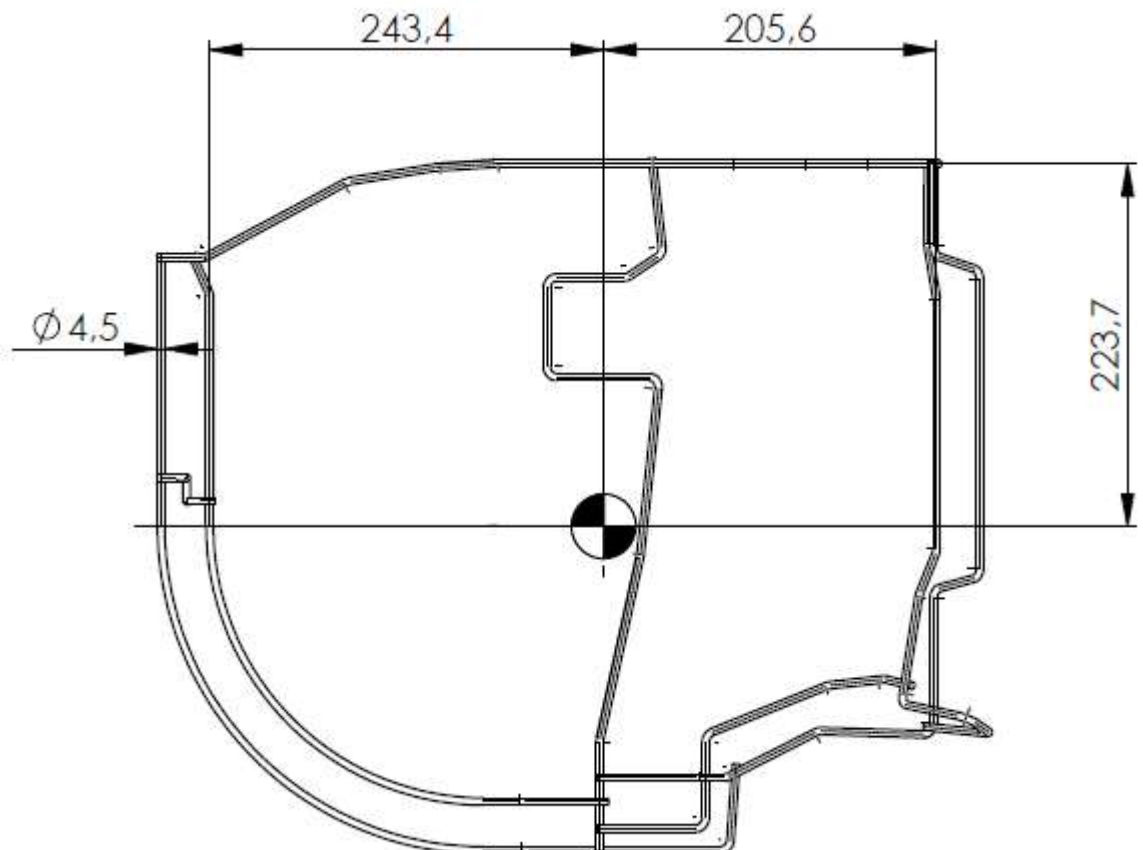
6 NÁVRH GRIPPERU

Při návrhu gripperu bylo nutno brát v úvahu jeho hmotnost, která je 481g, průměr drátů a poměrně složitý tvar svarku z hlediska možného držení dílu. Jako první se jevila varianta použití jednoho chapadla na díl, a to blízko těžiště, aby bylo dosaženo co nejmenších momentů působících na chapadlo, za cenu větší potřebné síly a větších prstů chapadla. Zde by bylo nutné zamezit rotaci dílů v chapadle. Z těchto důvodů byla varianta zavrhnuta.

Jako lepší varianta se jeví použití dvou malých chapadel na jeden díl, a to na přímce procházející těžištěm, kvůli eliminaci momentů působících na chapadla.

6.1 Určení těžiště a hmotnosti

Pro určení těžiště i hmotnosti byl použit CAD software Solid Works, který je podle namodelovaného dílu a definice materiálu (v tomto případě ocel) schopný přesně určovat zmíněné hodnoty. Hmotnost dílu je 481g. Kótované rozměry jsou důležité pro návrh konstrukce gripperu a je nutné díl chytat v tomto místě, protože osy drátů nejsou rovnoběžné, tudíž rozměr chapadla by se pro různé polohy měnil, viz obr. 9. Tato poloha je také nejvýhodnější, co se potřebné uchycovací síly týká.

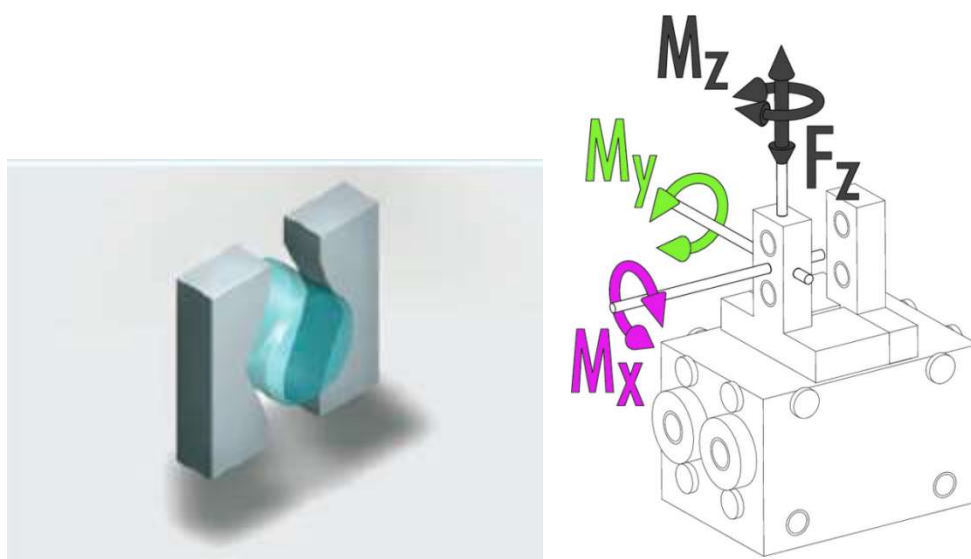


Obr. 9) Určení těžiště

6.2 Výběr chapadla

Rozhodujícími parametry pro výběr chapadla je zejména potřebná uchopovací síla, typ pohybu (rotační x lineární) typ pohonu, zdvih atd. V neposlední řadě je nutné hledět na cenu a hmotnost.

Výpočet uchopovací síly– pro výběr správného chapadla je nutné určit, jak budou vypadat prsty na uchycení, to znamená jejich tvar a poloha vzhledem k chapadlu a na základě toho poté vypočítat jakou sílu a dovolené momenty na chapadlo budeme potřebovat. My jsme vycházeli z toho, jak bude díl založen v přípravku a z toho, že z hlediska úspory je nutné vybrat chapadlo co nejlevnější, proto jsme zvolili uchopení na spojnici těžiště, kde nebudou vznikat zbytečné momenty na chapadlo. Také je využito uchopení tvarovým prisma, viz obr. 10.



Obr. 10) Pozice dílu v prstech [6]

Směr pohybu nahoru (bereme v úvahu 2chapadla na díl)

$$Fa = \frac{m}{2} * (a + g) * \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} = 0,241 * 20 * 0,207 = 1\text{N} \quad (1)$$

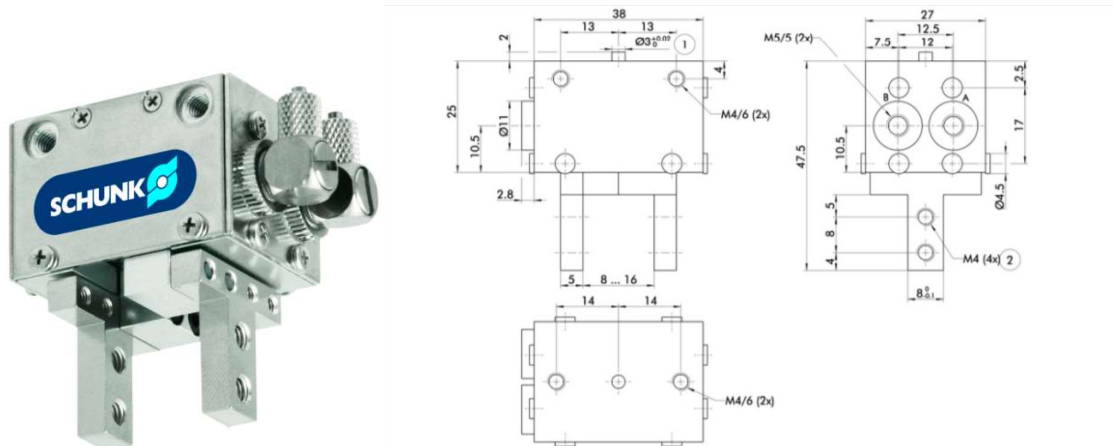
$$My = \frac{m}{2} * (a + g) * r = 0,241 * 20 * 0,048 = 0,231\text{Nm} \quad (2)$$

Směr pohybu do strany(bereme v úvahu 2chapidla na díl)

$$Fa = \frac{m}{2} * a = 0,241 * 10 = 2,4N \quad (3)$$

$$My = \frac{m}{2} * (\sqrt{a^2 + g^2}) * r = 0,241 * 14,1 * 0,055 = 0,18Nm \quad (4)$$

Na základě zhodnocení těchto parametrů bylo vybráno chapadlo, které s přehledem vyhovuje, ale je dostatečně velké na to, abychom na něj připojily naše prsty a to SCHUNK RH 905 viz obr. 11 a tab. 2.



Obr. 11) SCHUNK RH 905 [6]

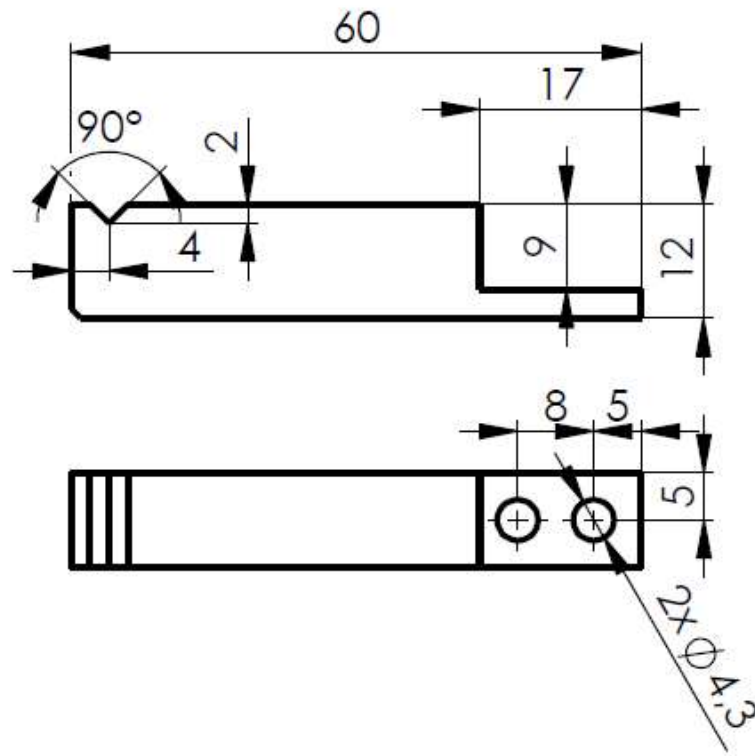
Tab 2) parametry SCHUNK RH 905[6]

Zavírací síla[N]	Zdvih na jednu čelist [mm]	Hmotnost[kg]	Doporučená hmotnost obrobku [kg]	Max. axiální síla Fz max. [N]	Mx, My, Mz [N*m]	Doba zavření [s]	Max. přípustná délka prstu [mm]
44	4	0,09	0,22	100	1	0,13	35

6.3 Návrh prstů chapadla

Návrh prstů většinou probíhá individuálně dle potřeb dílu, proto byl navržen prst, který bude vyhovovat rozměrovým podmínkám.

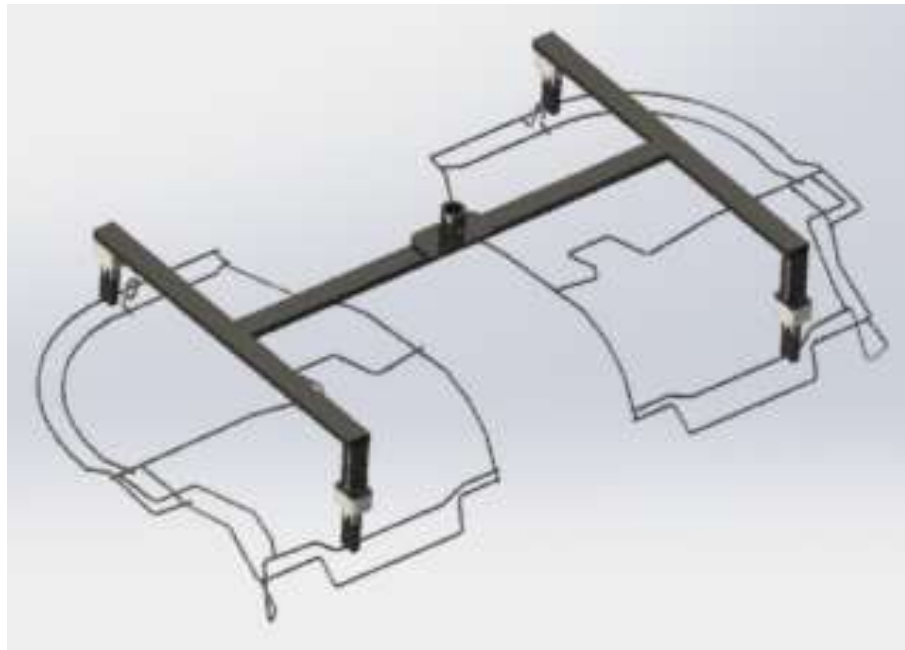
Při použití dvou chapadel ovšem přesáhneme doporučenou sílu na chapadlo. Tuto skutečnost jsme schopni eliminovat použitím částečně tvarového styku prstů s drátem (prizmatem), protože maximální axiální síla už nám toto zatížení umožňuje, viz obr. 12.



Obr. 12) Prst chapadla

6.4 Návrh konstrukce gripperu

Z důvodu efektivity bylo nejuhodnější navrhnout takový gripper, který by byl schopný uchopit oba díly a přenést je na dopravník současně. Konstrukce je sestavena z obdélníkových profilů a svařena, na konstrukci jsou potom upevněny šrouby čtyři chapadla RH 905, viz obr. 13, a následně je možné celé chapadlo pomocí šroubu přes přírubu namontovat na robota Kuka kr 10 Scara.



Obr. 13) gripper s díly

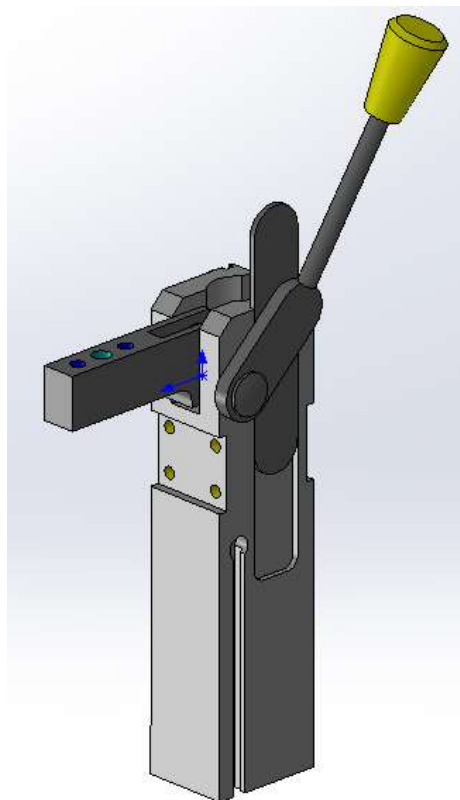
7 NÁVRH PŘÍPRAVKU NA SVAŘOVÁNÍ

Přípravek na svařování byl největší konstrukční problém z celé práce, neboť jeho návrh vychází z prostorově tvarovaných drátů, u kterých musíme docílit zajištění přesné pozice. Je také vhodné zajistit, že pokud nejsou všechny dráty na svém místě, proces se nemůže rozjet, což zajistíme nějakým typem snímače, který nám tuto informaci posílá. Dále je nutno brát v úvahu ergonomii přípravku pro pracovníka, který bude dráty do přípravku zakládat a prostor pro robotické svařovací kleště z hlediska dosahu ke svařovacím bodům. Přípravek samozřejmě nebyl navržen napoprvé, jak je zde uveden, ale bylo nutné několikrát přecházet mezi programem Process Simulate a konstrukčním programem SolidWorks, aby bylo možné doladit všechny nedostatky a zajistit bezkolizní dosahy, které zvláště u některých svařovacích bodů nebylo lehké zajistit.

Bylo rozhodnuto, že všechny upínky na přípravku budou pneumatické, ale bude je možno díky požitým ventilům 5/3 zavřít i ručně, a to kvůli zajištění přechodné pozice drátů pro pohodlí obsluhy. Po naskládání drátů pracovník odejde z nebezpečného prostoru a zmáčkne tlačítko, které zavře přípravek a po dokončení předchozí operace svařování se stůl automaticky otočí s prázdným otevřeným přípravkem a pracovník postup opakuje.

7.1 Výběr komponent přípravku

Pro upínky, které pracují rotačním pohybem, byl vybrán válec od firmy Tunkers pks 20.1 s madlem i bez něj viz obr. 14 a tab. 3, který vyhovuje z hlediska velikosti i momentu pro upnutí rohu. Dále byl vybrán přímočarý válec Univer M 100 viz obr. 15 a na upnutí háčku přímočarý válec Univer W 1000, viz obr.16.



Obr. 14) pks 20.1 varianta s madlem[7]

Tab 3) parametry pks 20.1[7]

Type	Clamping moment at 5 bar (Nm)	Holding torque max. (Nm)	Working pressure in oil-free air (bar)	Maximum pressure in oil-free air (bar)	Connection (G)	Opening and closing time (approx. sec.)	Weight (kg)
PKS 16.1	8	25	5	8	M5	1	0.3
PKS 20.1	15	54	5	8	G1/8	1	0.5
PKS 25.1	25	75	5	8	G1/8	1	0.8



Obr. 15) válec univer M 100[8]



Obr. 16) válec univer W 100[8]

Dále indukční snímač pro snímání stavu založení drátů, který musí být pod každým z vkládaných drátů, aby se nemohlo chybou pracovníka stát, že se proces spustí bez všech drátů. Pro tento účel nám postačí obyčejný snímač od firmy sick typu IME se snímací vzdáleností 4mm a s vnějším závitem M8, viz obr. 17.



Obr. 17) indukční snímač IME[9]

Dále je nutné zajistit, že při sepnutí budou opravdu všechny válce zavřené, proto je nezbytné buď použít snímače na každém válci pro informaci o jeho stavu, nebo použít ventilový terminál a získávat informaci přímo z něj. Já jsem zvolil variantu ventilového terminálu, který nám umožní jednoduché spínání ventilů a snadný rozvod tlakového vzduchu k válcům.

Další věc, kterou bylo nutno rozhodnout je, jaký typ ventilů zde použít. Pokud vezmeme v úvahu to, jakým způsobem pracují (musí být schopny se sami zavřít, otevřít i zůstat volné pro ruční přidržení) je jasné, že zde použijeme ventily 5/3 s odvětranou střední pozicí.

Zvolil jsem ventilový terminál Festo z řady VTUG s centrálním připojením přes konektor z PLC a vývody z boku, viz obr. 18. Festo poskytuje také konfigurator, který vám dovolí si navolit všechny komponenty, které chcete a obratem vám vygeneruje 3D model, což výrazně usnadní konstruování přípravku. Napájení tlakovým vzduchem jsem zvolil z obou stran, abychom se mohli spolehnout na dostatečně rychlé sepnutí všech válců připojené potom přes rychlospojky.



★ doporučené výrobky

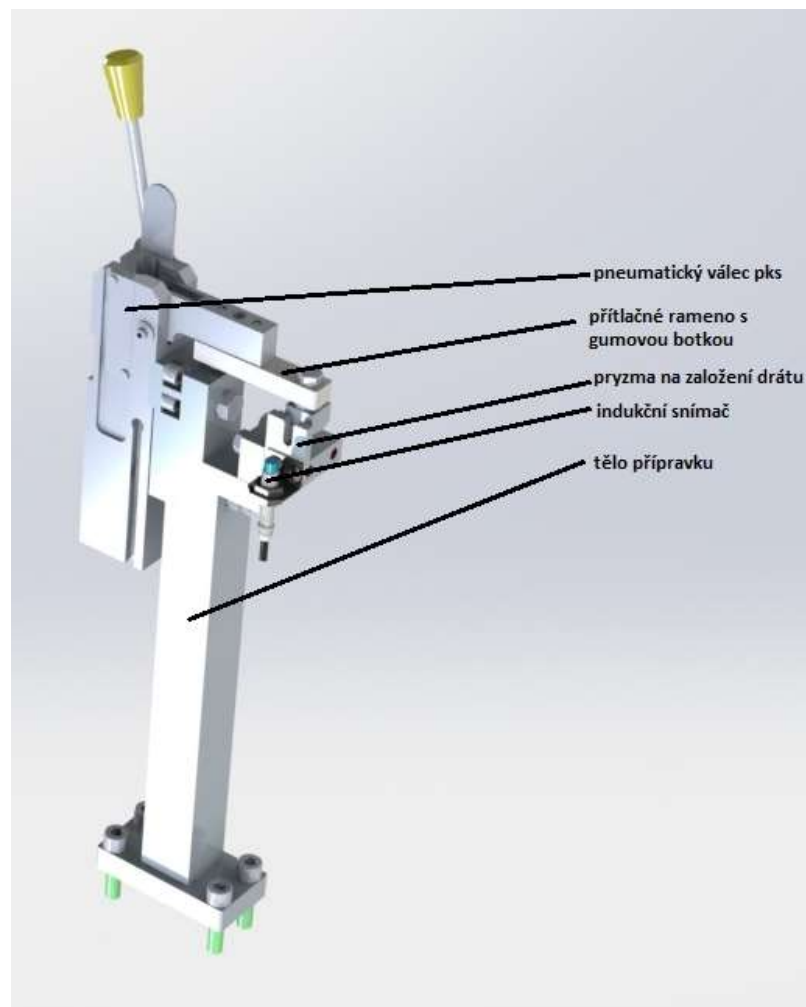
- z řady VG
- energeticky úsporné díky reverznímu provozu a cílenému snížení tlaku
- průtok 140 ... 1200 l/min
- šířka 10, 14, 18 mm
- připojení M5, M7, G 1/8, G 1/4
- nástrčné připojení 3, 4, 6, 8 mm
- vícepólový konektor, průmyslová síť, IO-Link, I-Port
- napětí 24 V DC
- tlak -0,9 ... 10 barů
- stupeň krytí IP40 / IP67
- ventily na připojovací desky s výstupy na tělese, ventily na připojovací desky
- kovová připojovací lišta

Obr. 18) Ventilový terminál VTUG[10]

7.2 Návrh konstrukce přípravku

Přípravek byl zkonstruován formou jedenácti upínek na každé straně spojených se základovou deskou pomocí kolíků a šroubů tak, aby byla zajištěna jejich přesná poloha, viz obr.20. Všechny upínky mají svá prizmatická nebo jiná lůžka, které vymezí přesnou polohu vkládaných drátů a pneumatické válce je poté přitlačí gumovými botkami po celou dobu svařovací operace, viz obr.19.

Upínky byly konstruovány z plných profilů řezaných laserovým paprskem, následně obrobeny na přesný rozměr, následně zakolíkované a sešroubovány (výkres viz Přílohy).



Obr. 19) Příklad jedné z upínek 16-2-ZRC1



Obr. 20) Přípravek na svařování

8 NÁVRH OTOČNÉHO STOLU

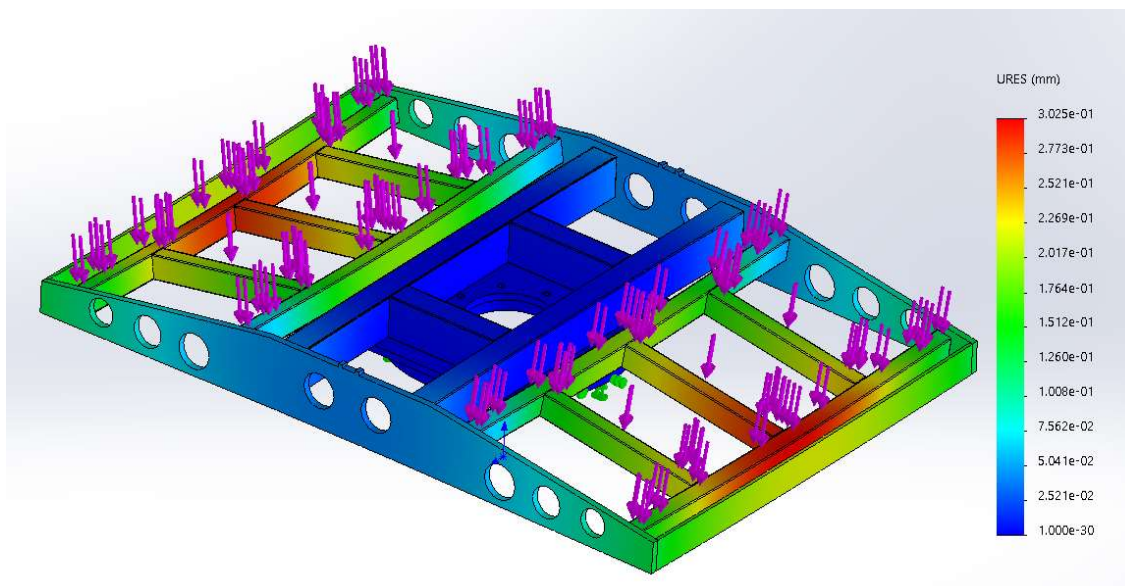
Otočný stůl slouží pro uchycení svařovacích přípravků a dopravení založených dílů do svařovací buňky. Důležité vlastnosti jsou přesnost polohování, nosnost, tuhost nosné konstrukce, rychlost a další.

8.1 Návrh nosné konstrukce otočného stolu

Pro návrh nosné konstrukce otočného stolu je nutné zajistit dostatečnou tuhost tak, aby výsledná pozice svařovaných dílů byla v dovolené odchylce a byla zajištěna funkčnost. Návrh byl proveden v softwaru SolidWorks a výpočet tuhosti v také programu SolidWorks.

Konstrukce je navržena jako svarek z obdélníkových dutých profilů, do kterého se následně obrobí přesné kolíkové díry pro připojení přípravku na vaření a upnutí na otočný stůl. Hmotnost i s přípravkem a krytovací konstrukcí je potom 850kg.

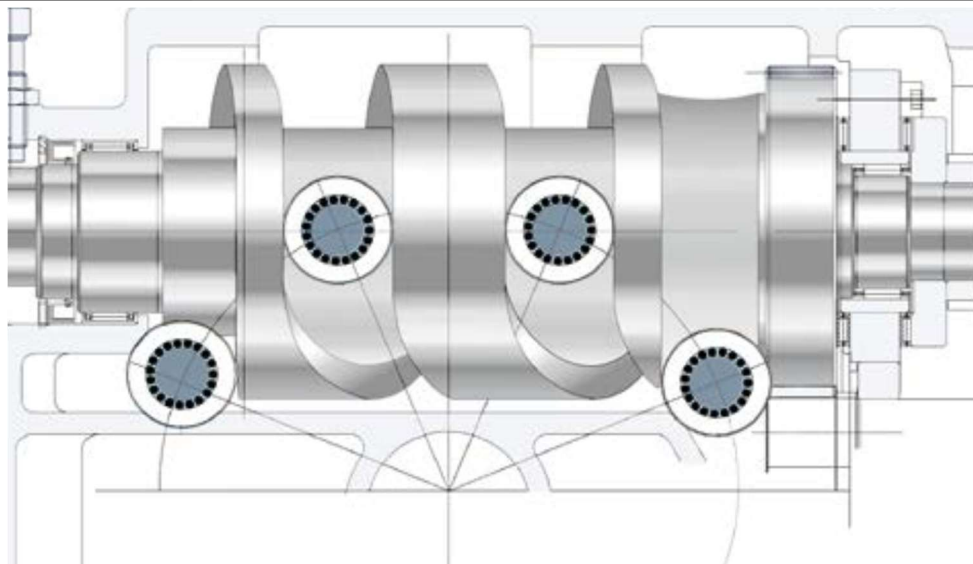
Výpočet nosné konstrukce vycházel z hmotnosti navrženého přípravku, dílu a upínací desky. Výsledná hodnota největšího průhybu 0,3mm je přijatelná. Výkres svařence a následného vrtání viz přílohy.



Obr. 21) zobrazení deformace rámu pod zatížením

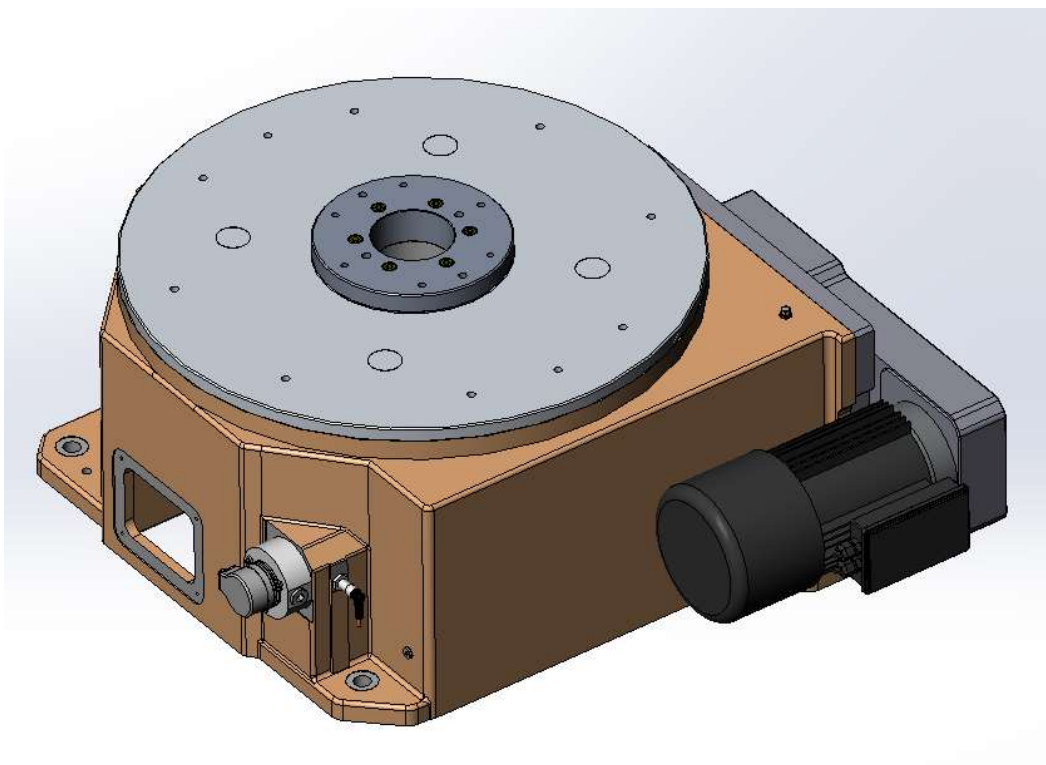
8.2 Výběr nakupovaného otočného stolu

Jak jsem již zmínil, bylo nutné vycházet s důležitých parametrů stroje a optimalizovat je pro naše použití. Z toho nám vyplývá, že použití plně programovatelného stolu je pro naše použití příliš drahé a složité, proto se zaměříme na stoly s pevným počtem poloh. Když vezmeme v úvahu, že jde pouze o založení drátů a otočení stolu do buňky, je zřejmé, že hledáme dvoupolohový stůl. Toto bývá řešeno pomocí speciální vačky a kladek ve stole, viz obr.22. Dále bylo nutné brát v úvahu průměr nosné konstrukce stolu a navolit vhodný stůl z hlediska stability a nosnosti.



Obr. 22) *Vačka zajišťující přesný počet poloh [11]*

Na základě požadavků byl ze široké škály nabízených stolů vybrán jako vhodný otočný stůl od firmy Weiss, série TC-CB o průměru upínací desky 700mm, viz obr. 23 a tab. 4.



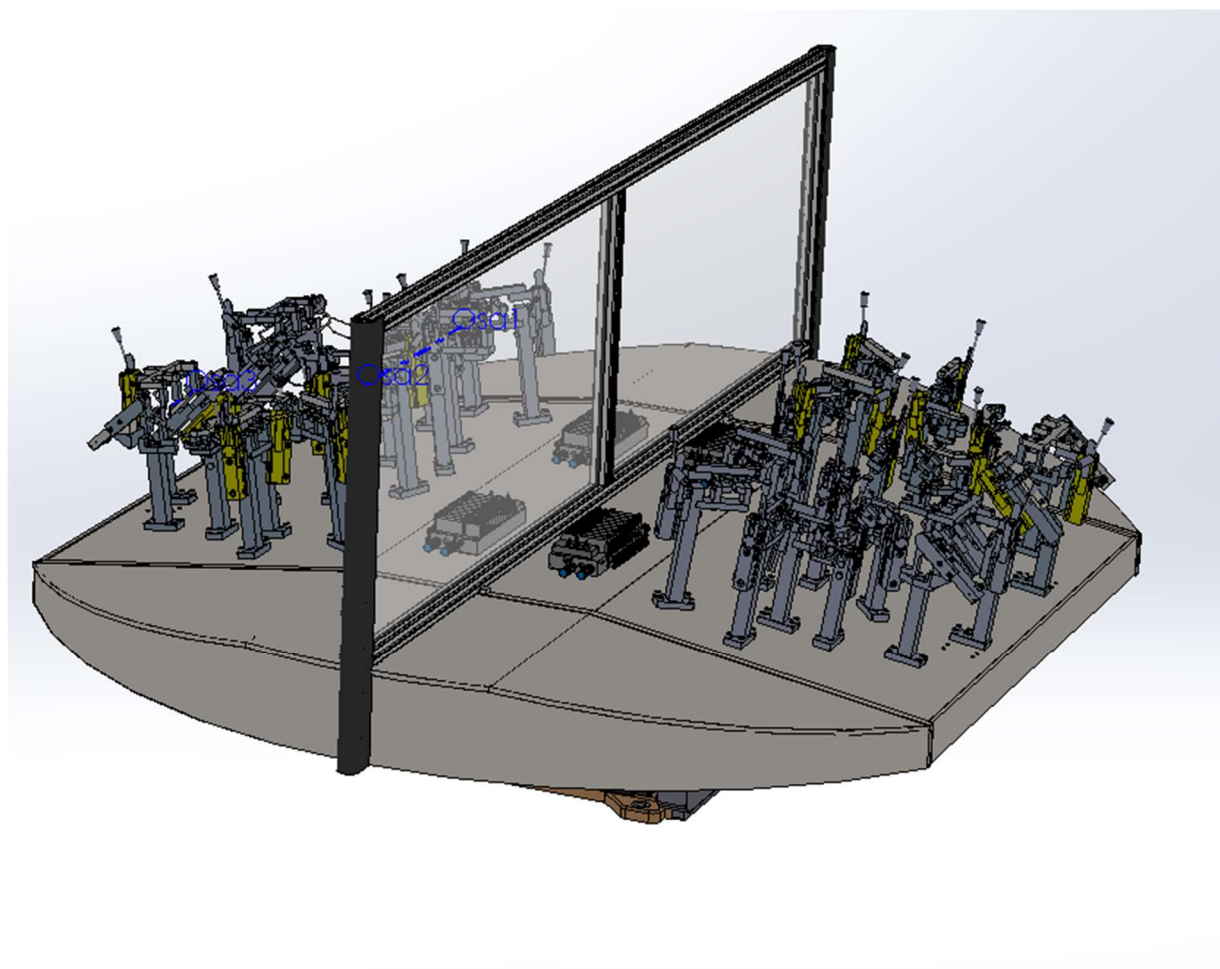
Obr. 23) Weiss TC-CB 700

Tab 4) hlavní dynamické parametry otočného stolu TC 700T [11]

Hmotnost [kg]	Dovolená axiální síla [N]	Dovolená radiální síla [N]	Kroutící moment [N.m]	Doporučený průměr stolu [mm]	Přesnost polohování [′′]
660	40 000	27 000	1400	3000	+ - 12

8.3 Sestavení stolu

Stůl bylo ještě potřeba osadit zástěnou z plexiskla, která slouží jako bezpečnostní oddělení mezi zakládacím prostorem a prostorem svařovací buňky. Pružnou gumou dosedá při otočení na protikus bezpečnostního oplocení. Dále bylo nutné zakrytovat, osadit komponenty a designově upravit celkový vzhled stolu, viz obr.24.

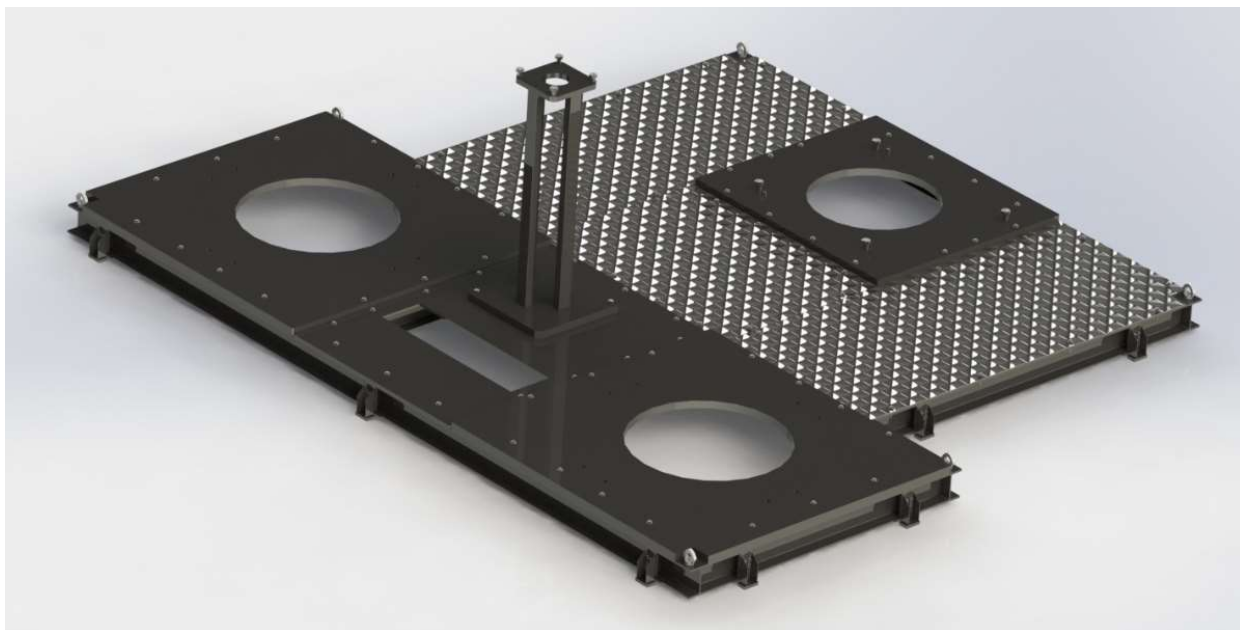


Obr. 24) Kompletní stůl

9 KONSTRUKCE RÁMU PRACOVISTĚ

Rám pracoviště slouží pro upevnění všech komponent buňky, pro které je nutné zajistit přesnou polohu, snadnou demontáž a montáž na jiném místě pro správný průběh procesu svařování. Dále musí zajistit stabilitu robotů a stolu tak aby se při procesu neobjevovaly vibrace a jiné nepříznivé situace. To znamená, že musí mít i dostatečnou hmotnost. Toto je možné provést samozřejmě i upevněním jednotlivých komponent přímo do podlahy, ale zde je problém s přesností a nesnadnou demontáží a přemístěním pracoviště. Do rámu nepatří například oplocení a zásobníky dílů. Rám musí být schopný eliminovat křivost podlahy. Z toho plyne, že musí mít nastavitelné nožky.

Konstrukce rámu – jako základní profil byl zvolen profil I-profil 114x100 ze kterého byl svařen rám, následně byly obrobena díry na šrouby a kolíky na základové desky a pedestal pro scara robota. Rám je také osazen stavitelnými nožkami pro vyrovnání nerovností podlahy, viz obr. 25. Výsledná váha je 1302 kg. Rám je na svoje místo dopraven bez základových desek a až na místě je smontován právě kvůli hmotnosti a manipulovatelnosti.



Obr. 25) Rám pracoviště s piedestalem pro Scara robota

10 KONSTRUKCE ZÁSOBNÍKU DÍLŮ

Zásobník dílů slouží ke snadnému a přehlednému přístupu k drátům, které obsluha zakládá do přípravku na svařování.

Musí splňovat ergonomické požadavky tak, aby pracovník nebyl nadměrně přetěžován a nemusel se při uchopování dílů nadměrně namáhat. Je také nutné zajistit, že zásobník bude mít dostatečnou kapacitu, aby plnění zásobníku mohlo probíhat v přijatelných intervalech a nebylo nutné nečekaně doplňovat bedny, což by způsobilo přestávku zakládání a tím způsobení ztrátových časů.

Zvolil jsem tedy variantu tu, že použiji co nejvíce nakupovaných dílů, aby náklady zůstaly co nejnižší při zachování výše specifikovaných požadavků.

Základní konstrukce se skládá z Pipe racking systém, od firmy G.S.ACE INDUSTRY, která poskytuje trubkový systém se širokou škálou stavebnicových komponent, ze které si poté konstruktér poskládá rám, který potřebuje.

Zásobník musí mít v řadě alespoň 2 bedny od každého dílu. To proto, aby bylo s dostatečným předstihem jasné, že je potřeba doplnit další bednu ze zadní strany.

10.1 Výběr komponent zásobníku

- G.S.ACE INDUSTRY Pipe racking systém více na [12]
- Válečková lišta, viz obr. 26 umožňuje bednám snadno přijíždět k pozici odebírání dílů



Obr. 26) Válečková lišta[13]

- Bedny různých velikostí, viz obr. 27 umožňují snadný úchop a zásobení dílů



Obr. 27) Plastové boxy[14]

- Kolečko LPA-TPA 50G-FI, viz obr. 28 od firmy Blickle, brzděné kvůli stabilitě zásobníku. Alespoň 2 kolečka by měly být brzděné.



Obr. 28) Brzděné kolečko[15]

10.2 Konstrukce zásobníku dílů

Jak můžeme vidět na obrázku, viz obr. 29, zásobník je zkonstruován tak, že obsluha má snadný přístup k dílům a je schopna dát včas vědět dalšímu pracovníkovi, že je potřeba doplnit bedny. Prázdné bedny odkládá na přistavený vozík, který si zásobář odveze po doplnění. Tento systém je velice jednoduchý, levný, ale velice účinný.



Obr. 29) Zásobník dílů

Tímto jsme ukončili výběr a konstrukci všech komponent nutných k realizaci požadovaného procesu a přejdeme k výběru dalších komponentm a to robotů, kleští a dopravníku.

11 VÝBĚR SVAŘOVACÍCH KLEŠTÍ

Při výběru svařovacích kleští je nutno brát v úvahu především jejich tvar, který přímo souvisí s tím, jestli poté budeme schopní dostat se s nimi do pozice, kterou pro svařování potřebujeme. Další parametry jsou síla servo pohonu, velikost, cena aj.

11.1 Odporové svařování

Velký význam při všech způsobech odporového svařování mají parametry svařování. Při bodovém odporovém svařování jsou to

- svařovací proud $I_S = 10^3$ až 10^5 A
- přítlačná síla $P_S = 500$ až $10\,000$ N
- svařovací čas $t_S = 0,04$ až 2 s

Při jiných metodách odporového svařování to mohou být jiné parametry svařování, např. při švovém odporovém svařování to může být rychlost svařování, příp. modulace (přerušování) svařovacího proudu.

Stejného množství tepla dodaného do svaru můžeme dosáhnout vysokým proudem a krátkým časem nebo nižším svařovacím proudem dodaným v delším čase. První kombinace parametrů svařování se nazývá tvrdým režimem a vyžaduje současně i vyšší přítlačnou sílu. Druhá kombinace se pak nazývá režimem měkkým a pracuje se s nižší přítlačnou silou.

Výhody měkkého režimu:

- nevyžaduje stroje velkého příkonu,
- umožňuje používat menší průřezy elektrických vodičů,
- je méně citlivý na odchylky odporové svařitelnosti svařovaných materiálů.

Nevýhody měkkého režimu:

- vyžaduje delší strojové časy (nižší produktivita),
- vznikají větší deformace a napětí ve svarových spojích,
- je doprovázen hrubozrnnou (méně pevnou) strukturou,
- vyžaduje častější úpravu svařovacích elektrod.

Výhody tvrdého režimu:

- vyžaduje krátké strojní časy,
- krátkodobé působení svařovací teploty (rychlé chladnutí svaru) vede k jemnozrnné struktuře svarového kovu,
- c) dává minimální napětí a deformace,
- d) snižuje spotřebu elektrické energie a elektrod

Nevýhody tvrdého režimu:

- vyžaduje stroje velkých příkonů a silnějších konstrukcí (např. závěsné odporové stroje musí mít vyvažovače),
- vyžaduje dobrou energetickou situaci v podniku. [16]

11.2 Určení přitlačné síly a proudu

Určování přesných hodnot odporového svařování není předmětem této práce, proto je zde uveden pouze přibližný výpočet základních parametrů, které potřebujeme pro návrh kleští

Přítlačná síla vychází ze součinu kontaktní plochy elektrody a měrného tlaku. Vztah pro určení svařovací síly je úměrný k tloušťce drátu:

$$F_s = (1000 \cdot 2500) \cdot t \quad (5)$$

kde:

F_s - svařovací síla [N]

t – tloušťka svařovaných drátů [s]

při tloušťce drátu 4,5mm tedy cca 4500 – 11250N

Při výpočtu svařovacího proudu vycházíme ze základní proudové hustoty a z kontaktní plochy elektrody. Pro přibližný výpočet stačí použít vztah, který určuje svařovací proud v poměru k tloušťce svařovaného drátu t [mm].

$$I_s = 6500 \cdot t \text{ [A]} \quad (6)$$

kde:

I_s - svařovací proud [A]

t - tloušťka svařovaných drátů [s]

při tloušťce drátu 4,5mm tedy cca 29250A[17]

11.3 Volba kleští

Pokud vezmeme v úvahu přibližný výpočet kleští a jejich požadovaný tvar, který byl ověřován v prostředí Process Simulate, po zkoušení několika typů byly zvoleny jako nejlepší kleště Flexgun UL-C od firmy Centerline, viz obr. 30 a tab. 5. V zásadě kleště dělíme podle tvaru X a C.

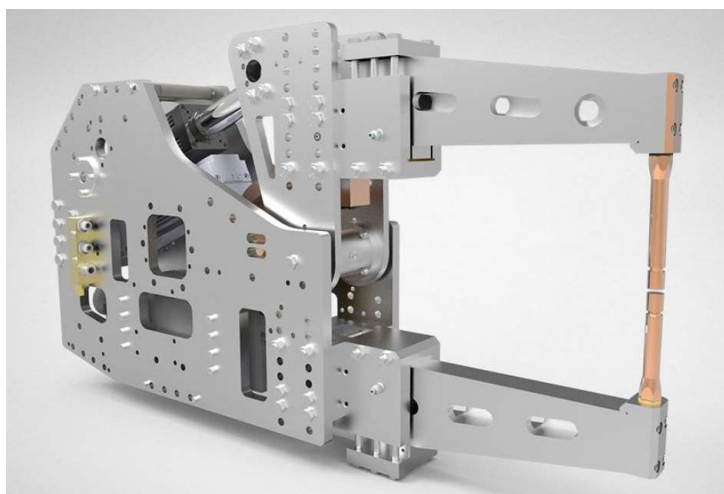


Obr. 30) Svařovací kleště Flexgun UL-C[18]

Tab 5) Základní Parametry Flexgun UL-C[18]

Typ kleští	Zdvih [mm]	Maximální síla [N]	Max výkon [kVA]
C-gun	23	8500	100

Fronius Deltacon – Zkoušené kleště X tvaru na většinu svarů nebyli schopny dosáhnout



Obr. 31) Fronius Deltacon X tvar[27]

12 VÝBĚR ROBOTŮ

Základní kritéria pro volbu robota jsou nosnost, dosah, cena, značka aj. Byl jsem omezen výběrem na roboty značky Kuka z toho důvodu, že jsem měl přístup k RCS modulu pro tyto roboty. Tento modul je schopný spočítat přesné časy operací tím, že do simulace zahrne přesné dynamické chování. Bez RCS modulu nelze získat přesný takt linky a taková simulace by měla pouze orientační vypovídací hodnotu..

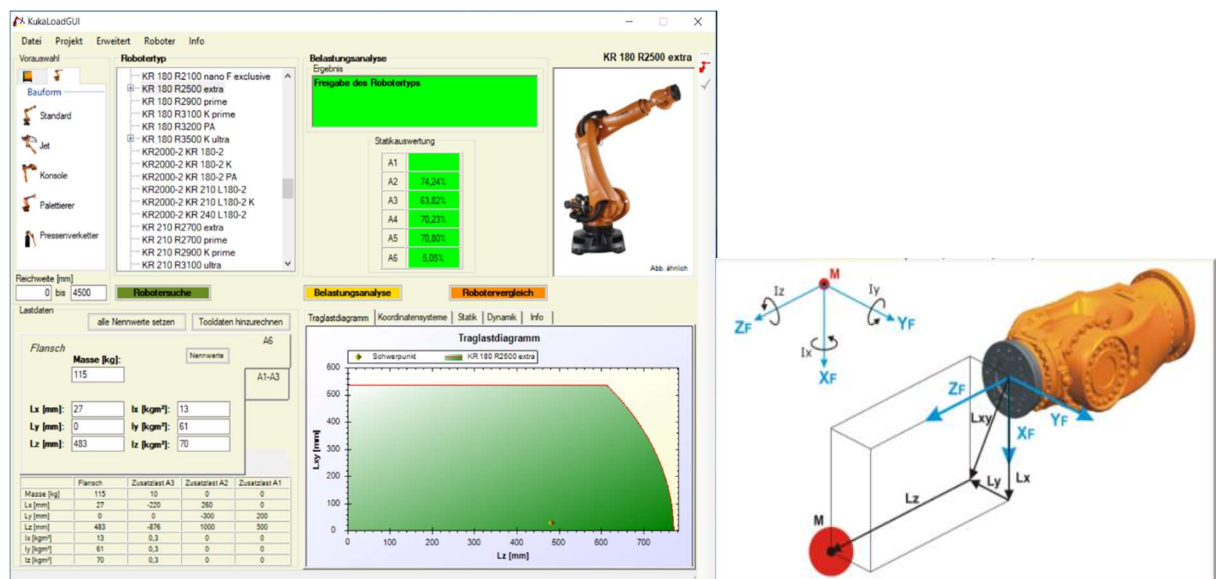
12.1 Výběr svařovacích robotů

Výběr začíná nejprve volbou robota podle nosnosti. Hmotnost svařovacích kleští již známe, proto jsme schopni pomocí softwaru Kuka-load spočítat, jestli nám robot ze statického i dynamického hlediska vyhoví.

Bylo vyzkoušeno několik robotů, které vyhověli například v Kuka-load, ale dosahem nevyhověli, nebo naopak. Nakonec vyhověl robot Kuka kr180 r2500 extra, viz obr. 32.

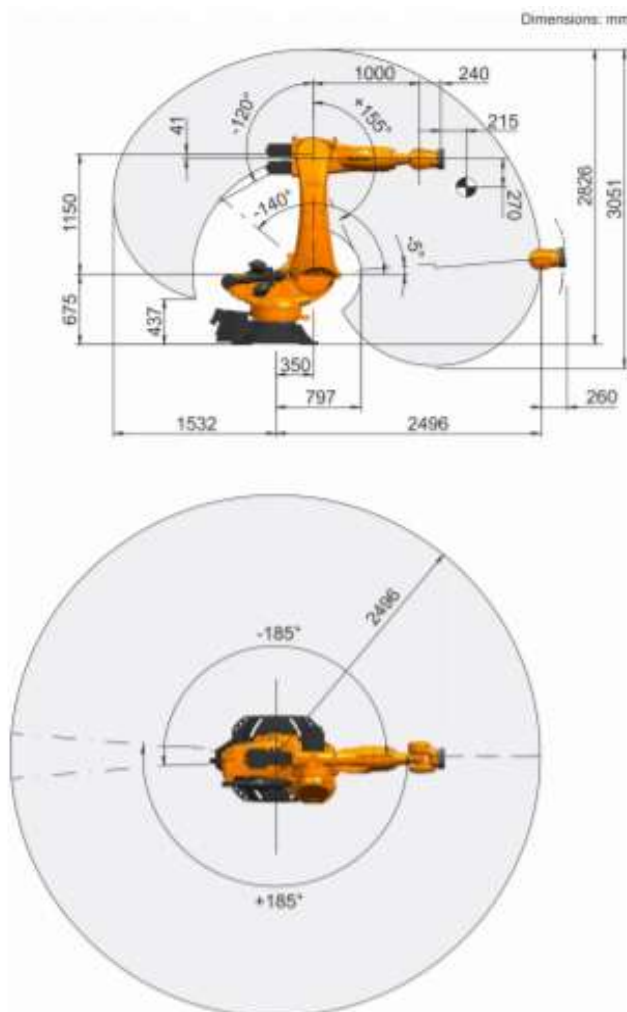
V softwaru se nadefinují parametry získané od výrobce kleští a získané ze SolidWorks (momenty setrvačnosti k bodu uchycení) a na základě toho se vypočítají zatížení jednotlivých os robota.

Doporučené zatížení je maximálně např. pro koncern VW/ŠKODA 85%. Z toho vyplývá, že robot Kuka kr180 r2500 extra vyhovuje i s rezervou viz obr. 31.



Obr. 32) Kuka-load

Poté bylo nutné se s robotem vrátit do Process Simulate a ověřit jeho dosah. I ten byl úspěšný, proto jsem se rozhodl použít tento.



Obr. 33) Workspace robota kuka kr180 r2500 extra[19]

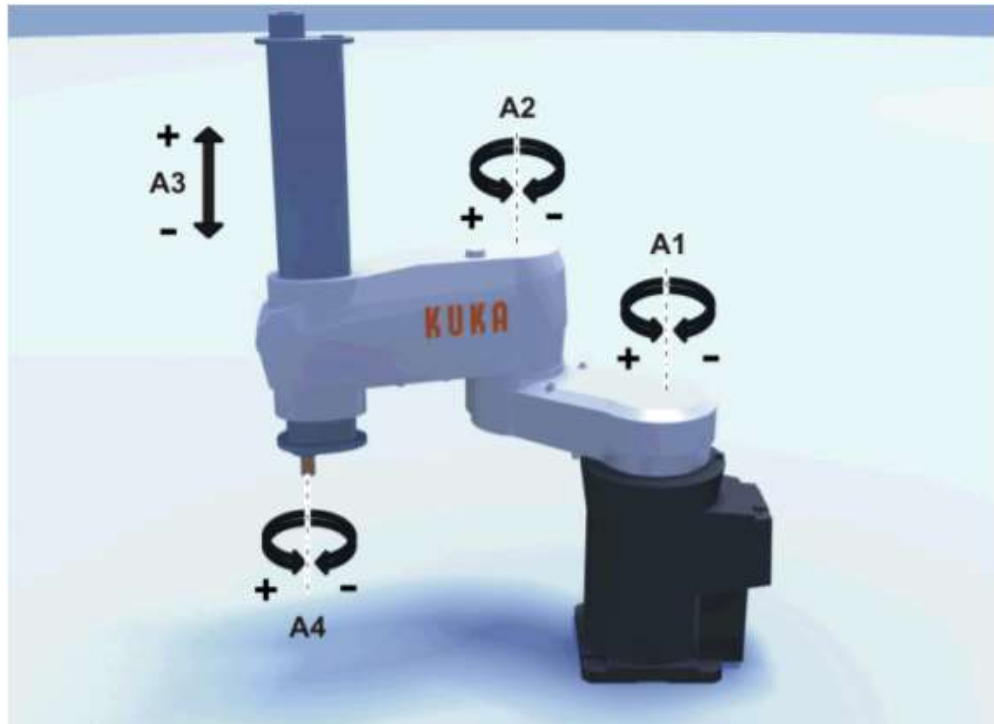
12.2 Výběr manipulačního robota

Bylo požadováno, aby obsluha zakládala díly a odebrání dílu bylo realizováno pomocí robota. Dopravníkem pak bude díl přemístěn z buňky na místo další operace. Bylo proto nutné vybrat robota i pro manipulaci. Znovu tedy musíme vycházet z nosnosti robota a jeho dosahu.

Prvním návrhem bylo, že manipulační operaci provede jeden ze svařovacích robotů a navržený gripper bude namontován přímo na svařovací kleště, což se ovšem záhy ukázalo jako nevhodné z několika důvodů. Například zde problém s velikostí a dosahem kleští ke svařovacím bodům.

Druhým nápadem bylo použít dalšího robota, umístěného jako netopýr, který už by nesl pouze gripper a při svařování by byl co nejvíce odklopen, aby nekolidoval s procesem svařování, ovšem po několika pokusech této simulace byl opět zavržen z důvodu potřeby velkého robota na samostatném mostovém rámu, který byl příliš vysoký a samotný robot nepřiměřeně drahý.

Poslední návrh spočíval v použití robota scara, který by byl umístěn mezi oběma roboty a pouze by se otáčel pro díl. Zde nastal problém s jeho umístěním, které bylo blízko svařovacím robotům, a tak nastávaly kolize. Pomocí funkce "smart place" v Process Simulate se však tento problém podařilo vyřešit a my tak dostáváme mnohem levnější a jednoduché řešení, protože na rozdíl od velké, drahé mostové konstrukce a robota použijeme robota levného na levném pedestalu. Nakonec tedy byl vybrán robot Kuka kr10 scara r850 z400 wp, viz obr. 33.



Obr. 34) Kuka kr10 scara r850 z400 osy[19]

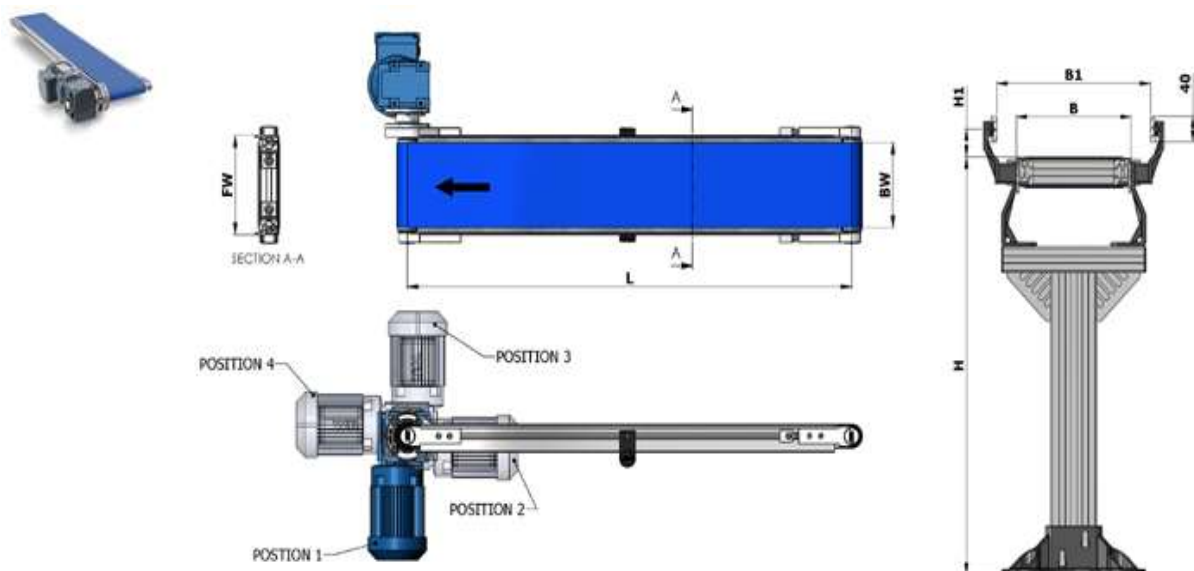
13 VOLBA DOPRAVNÍKU

Dopravník má za úkol přemístit svařený díl mimo pracoviště robotické buňky pro další zpracování. Požadavky na něj nejsou nikterak vysoké, jde zejména o správnou délku tak, aby se na něj vešly minimálně dva svařené díly v řadě mimo buňku.

V úvahu přicházel složitější dopravník, který by obsahoval hnízda na založení dílu robotem, nebo obyčejný pásový dopravník.

Nakonec jsem se z ekonomických důvodů rozhodl pro druhou variantu, která dostatečně splní požadovanou funkci. K dopravníku se dají připevnit bočnice, které zabrání spadnutí dílu na podlahu, neboť díl při odkládání robotem udělá mírný padavý pohyb díky jeho tvaru, což ale při použití bočnic nebude na závadu.

Ze široké nabídky jsem zvolil dopravník od firmy ASKMT, které poskytuje dobrou podporu a snadnou možnost konfigurace námi požadovaného dopravníku. Zvolil jsem pásový dopravník EBS 40-D1, viz obr. 34 o délce 3500mm šířce 600mm a výšce 850mm.



Obr. 35) Pásový dopravník EBS 40-D1[20]

14 VOLBA AUTOMATICKÉ VÝMĚNY ČEPIČEK SVAŘOVACÍCH KLEŠTÍ

Automatická výměna čepiček nám značně zrychlí proces a eliminuje nutný servisní zásah na minimum. Ve svařovacím programu se pouze navolí počet cyklů, po kterém robot zajede do výměníku, a čepičky jsou mu automaticky vyměněny. Byl vybrán model BWS 5700 od firmy Cappostar, viz obr. 36.



Obr. 36) Výměník čepiček Cappostar BWS 5700[21]

15 TVORBA SIMULAČNÍHO MODELU LINKY V PROSTŘENÍ PROCESS SIMULATE

Simulace v prostředí Process Simulate nám dává obrovské možnosti, které jsou v dnešní moderní době vyžadovány. Je to zejména rychlost návrhu, minimální čas přerušení výroby, snižování nákladů aj. V době kdy nebyly tyto možnosti offline programování, veškerá zodpovědnost za správnost konstrukce buňky byla na daném konstruktérovi, protože ten musel dle svých schopností a vědomostí navrhnout buňku tak, aby při programování robotů nedocházelo ke kolizím a byl splněn takt linky.

Toho je ovšem velice těžké dosáhnout, proto velice často docházelo k chybám, s tím spojeným opravám, a poté protahování času na buňce

Dnes, s našimi možnostmi, probíhá přímá komunikace s offline programátorem a konstruktérem, přičemž programátor dá základní informace o poloze všech komponent, jejich velikosti a funkci, konstruktér zkonstruuje návrh, programátor, pokud při simulaci narazí na problém, předá konstruktérovi další informace atd. Díl tedy může několikrát projít simulačním a konstrukčním programem do té doby, než plně vyhovuje. To zajišťuje mnohem nižší náklady na opravy.

Já jsem ve své práci zastával obě pozice, to znamená, že jsem buňku modeloval i simuloval současně. Měl jsem k dispozici modelovací software SolidWorks, který bohužel neumí vygenerovat model s příponou .jt, tudíž jsem musel hledat vhodný converter, který by byl levný a mohl jsem jej použít pro svou práci. Program Solid Edge se studentskou licenci toto splňuje. V Process Simulate jsem využíval standard mode. Další mód je tzv. line simulation mód, který není řízen časově, ale událostně, což se využívá zejména u komplikovanějších procesů, které by v sequence editoru byly jen těžko zvolitelné.

15.1 Rozbor procesu

Pro simulaci operace je nutné si ujasnit celý chod procesu tak, jak jde za sebou.

1. Pracovník založí díly do přípravku
2. Pracovník odejde z nebezpečného prostoru a zmáčkne tlačítko start, který započne operaci zavřením přípravku na vaření.
3. Otočný stůl dopraví díly do buňky
4. Roboty svařují a pracovník jde zakládat další díl
5. Pracovník dokončí zakládání, opět stlačí tlačítko start a počká, než robot Scara vezme díl a stůl se automaticky otočí, poté může vstoupit a zakládat další díl.

Tento Sled operací se vykonává stále dokola

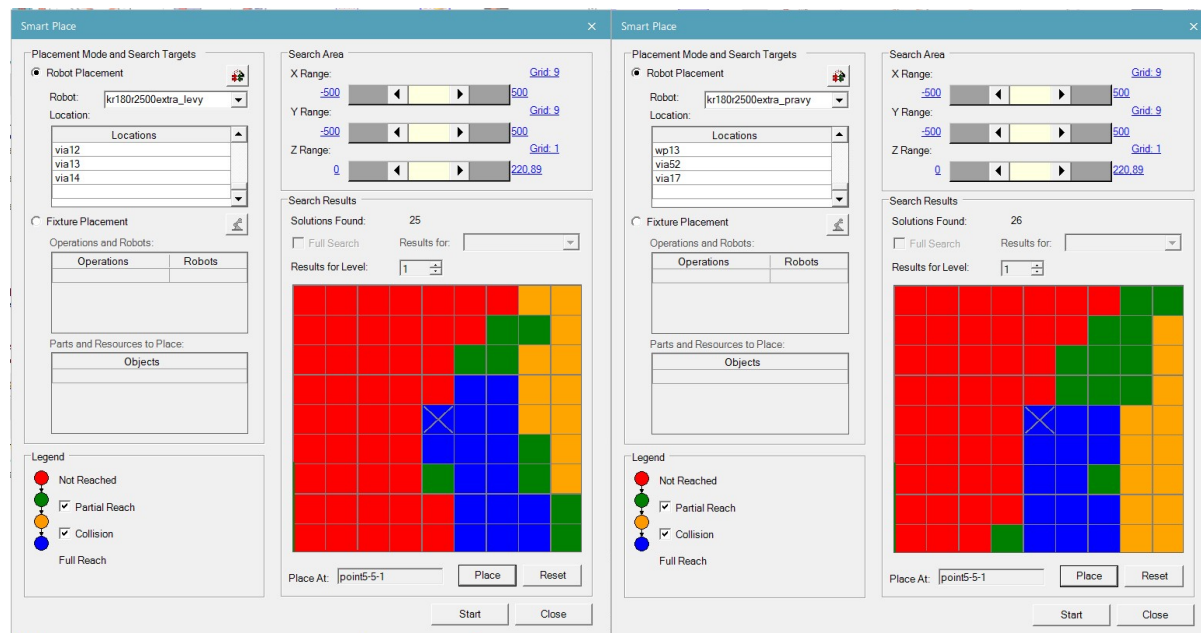
15.2 Rozmístění komponent

Při rozmístování komponent jsem vycházel z návrhu layoutu navrženého v kapitole č. 13, vlastně se dá říci, že tento návrh a rozmístění komponent probíhá současně, neboť je nutné podle průběžných výsledků simulace umístění upravovat tak, aby nedocházelo ke kolizím a optimalizoval se celkový chod buňky.

Process Simulate obsahuje nástroje, které nám umožňují efektivně zjistit, zda robot v dané pozici s navolenými body, do kterých má přijet, nemá kolize a také nám je schopný

zobrazit, kam je možné robota umístit, aby kolize nenastávaly. Toto nám ušetří spoustu práce manuální kontroly ve všech bodech. Nástroj pro takové umístění robotů se nazývá smart place a jako příklad jsem vložil obr. 37, který nám zobrazuje umístění svařovacích robotů.

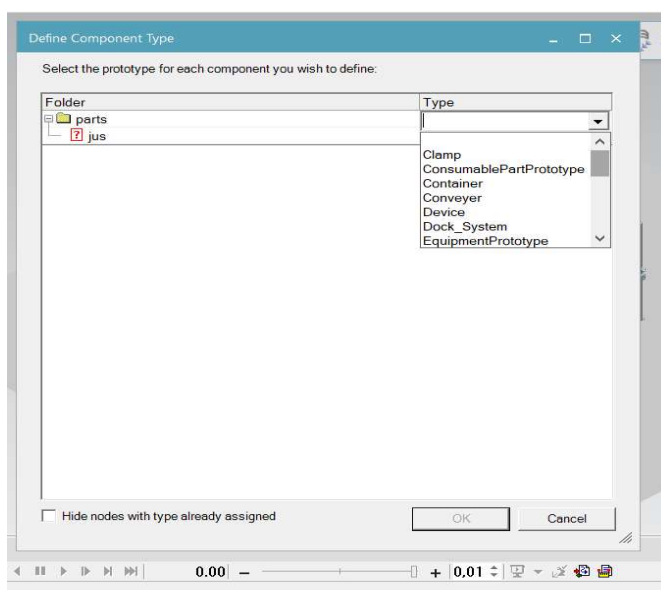
Jak je vidět, roboty jsou míštěné na hranici tak, abychom co nejvíce šetřili místo, ale zároveň nedocházelo ke kolizi. Obdobně bylo provedeno umístění manipulačního robota Scara.



Obr. 37) Smart place svařovacích robotů

15.3 Definice komponent

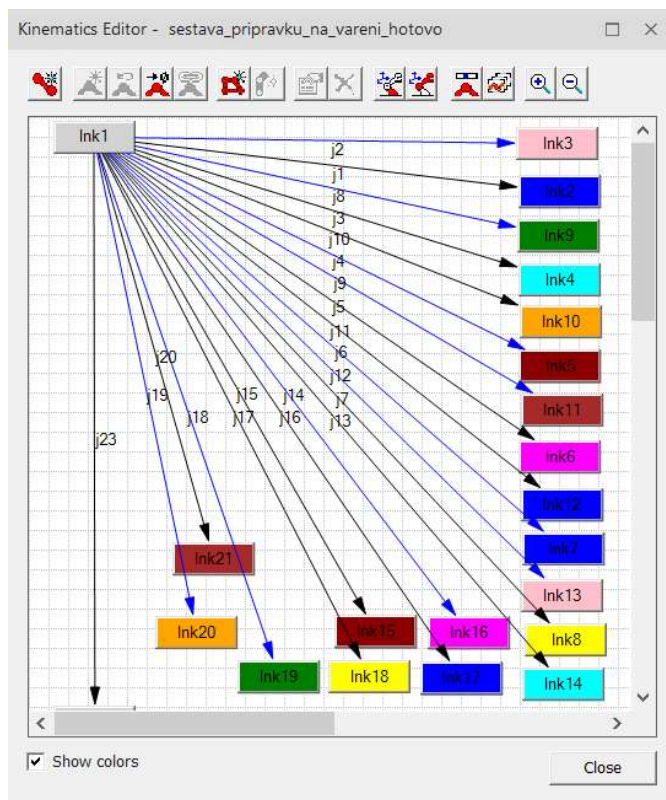
Každému dílu, který se vkládá do prostředí Process Simulate musí být zvolen typ pomocí příkazu „define component type“, viz obr. 38, který přiřadí dílu data, pomocí kterých lze poté definovat různé funkce, viz Obr. 38), základní rozdělení jsou parts a devices. Parts nemají příliš možností a nelze s nimi provádět tolik operací.



Obr. 38) Define component type

15.4 Sestavení kinematiky přípravku na svařování

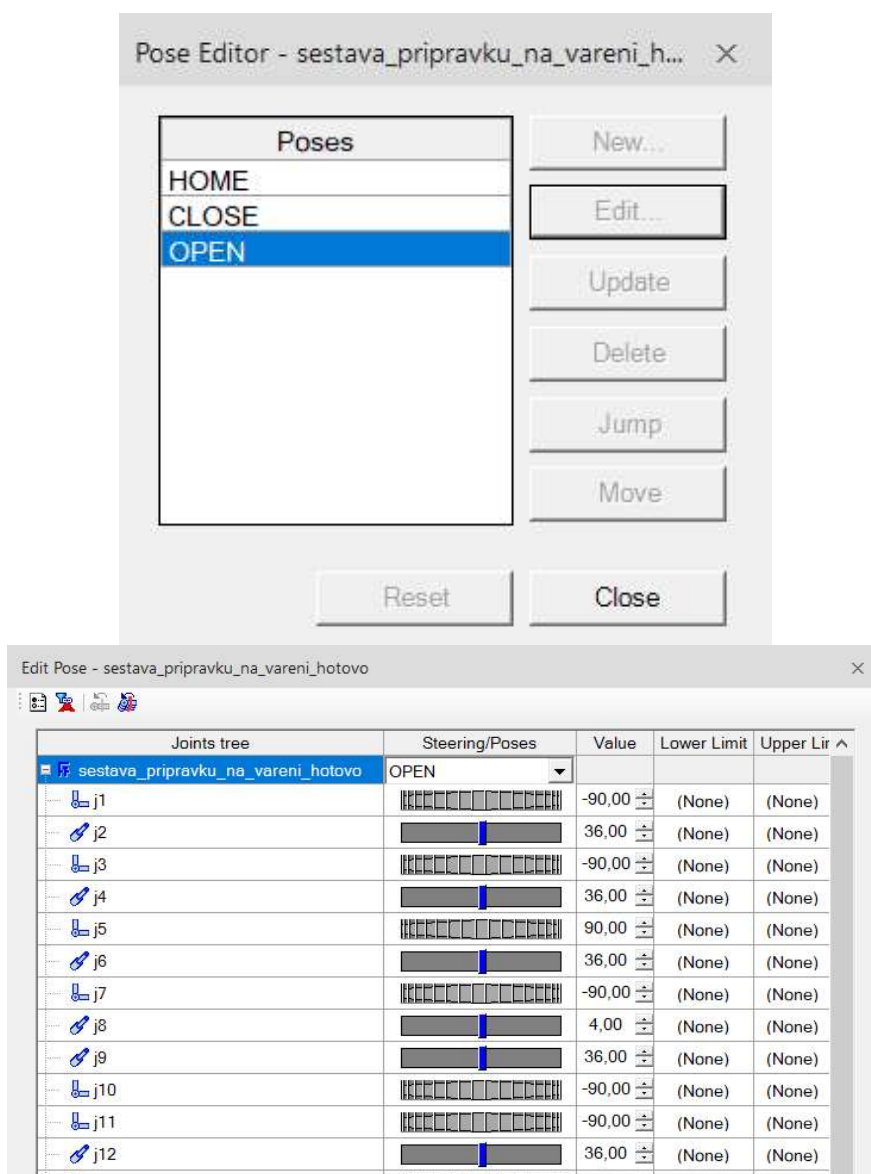
Pomocí funkce „kinematice editor“ si zvolíme, které části a jak se budou moci pohybovat. Šipky ukazují závislost jednotlivých částí závislých na operaci, kterou vykonáváme. Každý „ink“ má navoleny části, které se pohybují a přiřazen buď rotační, nebo lineární směr pohybu, viz obr. 39. Takto obdobně se nadefinují všechny „resources“, které používáme a konají nějakou funkci.



Obr. 39) Kinematice editor (přípravek navařeni)

15.5 Pose editor

Funkce „pose editor“ přímo navazuje na funkci „kinematics editor“ a umožňuje navolit jednotlivé pozice, které poté používáme v simulaci. Zde u přípravku na vaření navolíme pozici OPEN a CLOSE, viz obr. 40.



Obr. 40) Část tabulky pose editor

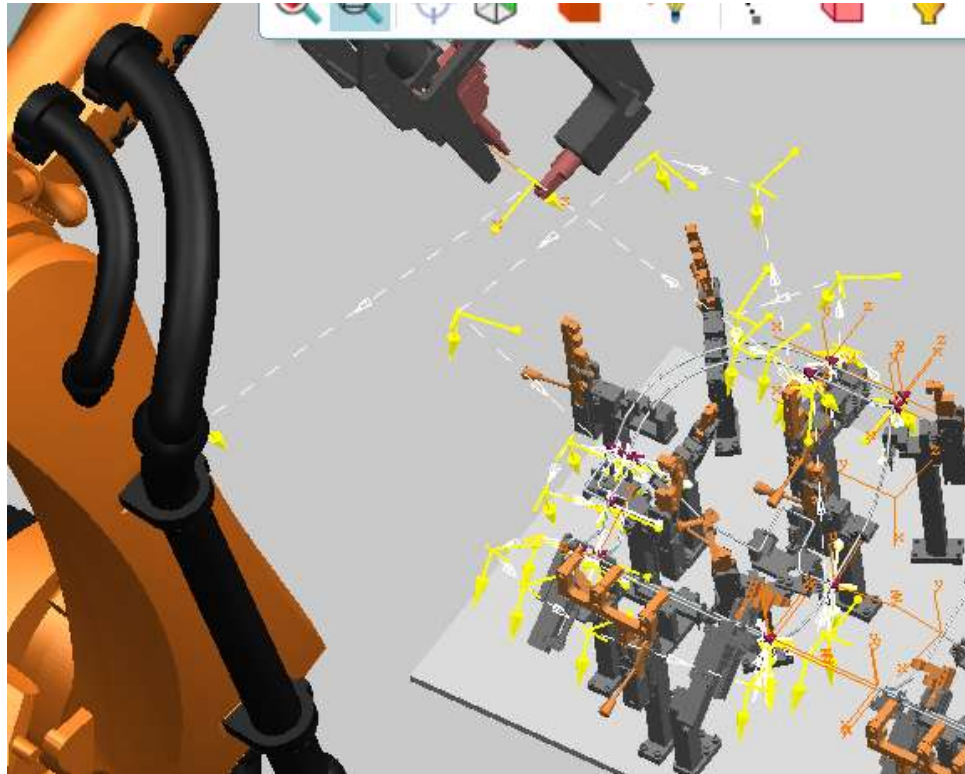
15.6 Dráhy svařování

Svařovací dráhy byly stěžejní částí této práce, protože nám ovlivní takt buňky, její plynulost a přesnost svaření. Čím lépe se nám je podaří odladit, tím méně bude mít práce programátor přímo u fyzické buňky. Jde zejména o optimalizaci drah z hlediska rychlosti operace a odstranění kolizí.

Svařovací dráhy i dráhy obecně se v Process Simulate volí v prostředí „path editoru“. Nejprve je nutno určit druh operace (v tomto případě „new weld operation“), poté se operace

dá upravovat v „path editoru“ tak, že volíme body do kterých má „tcp frame“ robota, který je navolen na špičce kleští, dojet. Dále se zde také určují všechny typy pohybu, rychlosti, styl aproximace bodů, doba svařování, a „OLP comandy“, které nám umožňují další podoperace, skrývání, vazby součástí v průběhu procesu a tak dále.

Rozdíl mezi „via point“ a „weld point“ je ten, že přes via point robot pouze projíždí, zatímco na „weld pointu“ vykonává svaření, jak můžeme vidět na obr. 41.



Path Editor										
0.00 — + 0.01										
Paths & Locations	Att...	Duration	OLP Commands	C...	Ex...	Motion	Zone	Base Nr	Tool Nr	Speed
wp10		3.15	# Weld # GunToState			LIN	fine	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	0.1 m/s
via5		0.00				PTP	C_DIS 10 mm	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	100 %
via6		0.76				LIN	C_DIS 10 mm	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	1 m/s
via7		0.62				PTP	C_DIS 10 mm	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	100 %
via8		0.00				PTP	C_DIS 10 mm	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	100 %
via9		0.86				PTP	C_DIS 10 mm	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	100 %
via78		0.55				PTP	C_DIS 10 mm	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	100 %
wp11		2.90	# Weld # GunToState			LIN	fine	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	0.1 m/s
via10		0.00				PTP	C_DIS 10 mm	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	100 %
wp12		2.60	# Weld # GunToState			LIN	fine	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	0.1 m/s
via11		0.36				PTP	C_DIS 10 mm	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	100 %
via79		0.61				PTP	C_DIS 10 mm	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	100 %
wp13		2.71	# Weld # GunToState			LIN	fine	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	0.1 m/s
via12		0.14				PTP	C_DIS 10 mm	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	100 %
via13		2.29				PTP	C_DIS 10 mm	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	100 %
via14		1.01				PTP	C_DIS 10 mm	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	100 %
via80		1.12				PTP	C_DIS 10 mm	0 - WorldFrame	3 (Fr) - kleste_lev	100 %

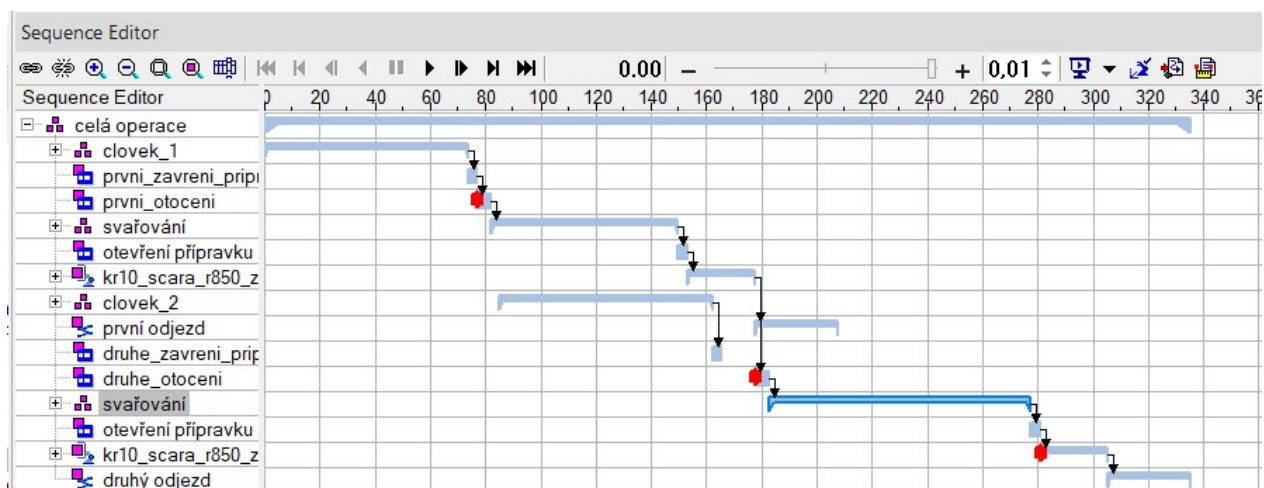
Obr. 41) Část definice pohybů v Path editoru

Pro přejezdy je použita aproximace a PTP pohyb, u příjezdu ke svařovacímu bodu je použit lineární pohyb s přesným dojezdem na bod svařování a tomu odpovídající rychlosti. Obdobně byly navoleny i ostatní operace.

15.7 Časování operací v prostředí Sequence editor

Sequence editor je vlastně Gantův diagram, který nám umožňuje přidat vazby mezi jednotlivými operacemi jak sériové tak paralelní. Je také možné volit různá zpoždění a předsazení operací od jiných. V „sequence editoru“ máme také možnost přidávat různé druhy událostí. Především je to skrývání a zobrazování dílů, jejich vazby na ostatní díly aj.

Můj výsledný Gantův diagram vidíme na obr. 42, přičemž červené tečky vyznačují nějakou událost. Uvádím zde pouze celkový diagram, ovšem některé operace mají ještě svůj pod diagram, který definuje sled jeho pod operací.



Obr. 42) Celkový Gantův diagram

Tento diagram nám tedy ukazuje celkový čas simulované části procesu, který je v mém případě 335s.

16 RCS MODUL A TAKT BUŇKY

RCS (Realistic Controller Simulation) modul nám umožňuje zahrnout fyzikální vlastnosti (zejména zrychlení a zpomalení) robotů do simulace a tím výrazně zpřesnit čas jednotlivých operací a tím i výsledného taktu buňky.

RCS modul není standardní část Process Simulate, ale je dostupná jako rozšíření. Bylo mi umožněno, využít licenci od VUT, byl jsem tedy pouze omezen na výběr robotů Kuka, pro který je tento RCS modul určen.

Takt buňky je doba, za jakou jednotlivé díly projdou procesem, tzn. po jaké době po sobě vyjíždějí na dopravníku ven z buňky.

Výsledný takt buňky po dokončení simulace byl 130,5s, který by nevyhověl parametru zadání, avšak po zapojení RCS modulu do simulace doba robotických operací poklesla o 16 vteřin, to znamená, že takt blízký se skutečnosti bude 114,5s. To je samozřejmě nezanedbatelná hodnota a ukazuje se, jaká výhoda je vlastnit tento modul.

Po této analýze jsem tedy dospěl k závěru, že požadovaný takt byl splněn.

17 FINÁLNÍ LAYOUT PRACOVIŠTĚ

Finální layout vycházel z návrhů layoutů popsaných v kapitole č. 5, kde byla vybrána varianta č. 3. Samozřejmě se jednalo o přibližný návrh a směr, kterým se při rozmístění a volbě komponent vydat.

Konečný layout je tedy ten, který nám vznikl konečnou simulací a odladěním všech potřebných procesů pro správnou funkci celého pracoviště dle zadání od zákazníka, viz obr. 35, výkres viz přílohy.



Obr. 43) Prostorový pohled na pracoviště

18 ANALÝZA A SNÍŽENÍ RIZIKA

Analýza rizik je důležitou součástí návrhu každé robotické buňky s cílem předejít zranění obsluhy, ale i škodám na majetku. Komponenty uvedené v této kapitole zamezují především přístup k nebezpečným místům svařovací buňky. Dále umožňuje zastavení pracovního procesu, pokud je nějaká zábrana překonána.

Provést kompletní analýzu a odstranění všech případných rizik z pozice konstruktéra a offline programátora není úplně možné a vyžaduje značné zkušenosti. Z tohoto důvodu se užívá systematický postup odhalování a snižování rizik tak, jak je uvedeno v této práci.

Pro tuto metodu byly použity tyto normy[22]:

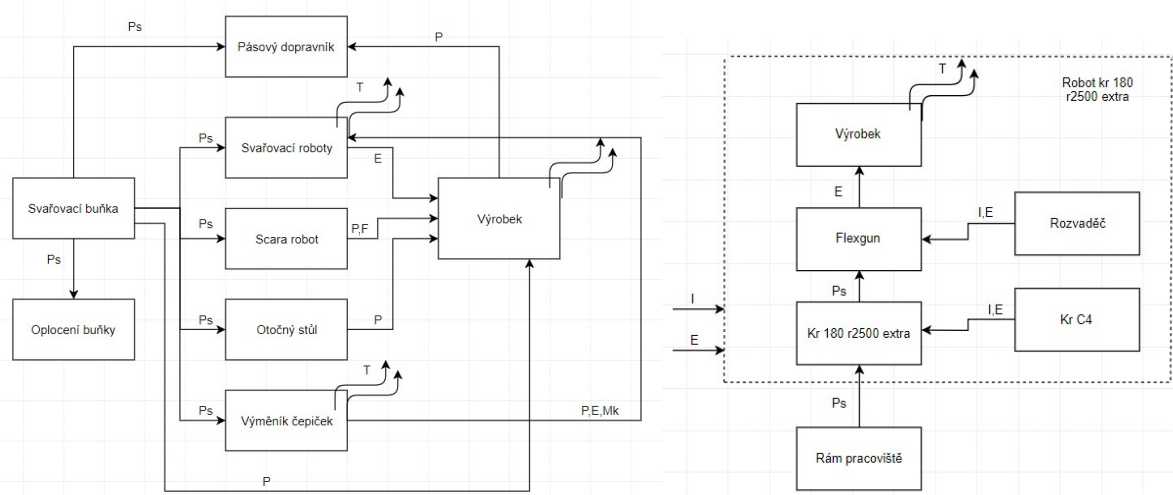
- ČSN EN ISO 10218 Roboty a robotická zařízení
- ČSN EN ISO 12100 (833001) Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika
- ČSN EN ISO 13857 (833212) Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami
- ČSN EN 349 A1 (833211) Bezpečnost strojních zařízení - Nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla
- ČSN EN ISO 14119 (833315) Bezpečnost strojních zařízení - Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty - Zásady pro konstrukci a volbu

18.1 Blokový diagram

Jako první je třeba si určit blokový diagram, který nám dává možnost vidět vztahy mezi jednotlivými komponenty a jejich vzájemným působením. Diagram je tvořen v digitální formě, která nám umožňuje skrývat, nebo naopak zobrazovat různé úrovně detailů.

Blokový diagram jsem zvolil víceúrovňový, což znamená, že první úroveň nám popisuje buňku jako celek a další úrovně tvoří jednotlivé podsystémy podle funkcí.

Úplný blokový diagram se poté nachází v přílohách, část z něj vidíme na obr 43.



Obr. 44) Část blokového diagramu svařovací buňky

18.2 Zdroje relevantních nebezpečí

Dalším krokem je určení zdrojů relevantního nebezpečí vycházející z blokového diagramu. Je zde uveden název komponenty, její poloha v systému, typ nebezpečí a jeho číslo ID., viz Tab 6. Z norem přicházejí v úvahu tato nebezpečí:

1. Mechanické nebezpečí
2. Elektrické nebezpečí
3. Tepelné nebezpečí
4. Nebezpečí hlukem
5. Nebezpečí vibracemi
6. Nebezpečí zářením
7. Nebezpečí vytvářené materiály a látkami
8. Ergonomická nebezpečí
9. Nebezpečí uklouznutí, zakopnutí a pádu

Celá tabulka se opět nachází v příloze

Tab 6) Část tabulky relevantních nebezpečí

Komponenta systému	Umístění v systému	Typ nebezpečí	ID. číslo
Pásový dopravní	Pracovní prostor buňky Okolní prostor buňky	Mechanická nebezpečí Elektrická nebezpečí	1,2
Robot Kuka kr180 r2500 extra	Pracovní prostor buňky	Mechanická nebezpečí Elektrická nebezpečí	1,2
Svařovací kleště Flexgun 2x	Pracovní prostor buňky Kuka kr180 r2500 extra	Mechanická nebezpečí Tepelná nebezpečí Nebezpečí způsobená zářením	1,3,6
Kr C4 2x	Okolí pracovní buňky	Elektrická nebezpečí Tepelná nebezpečí	2,3
Robot Kuka kr10 Scara r800 z400	Pracovní prostor buňky	Mechanická nebezpečí Elektrická nebezpečí	1,2
Kr C4 smallsize	Okolí pracovní buňky	Elektrická nebezpečí Tepelná nebezpečí	2,3
gripper	Pracovní prostor buňky Kuka kr10 Scara	Mechanická nebezpečí Nebezpečí způsobené poruchami v dodávce energií	1,11
Frézka na hroty	Pracovní prostor buňky	Mechanická nebezpečí Elektrická nebezpečí Tepelná nebezpečí Nebezpečí způsobená hlukem	1,2,3,4
Otočný stůl	Pracovní prostor buňky	Mechanická nebezpečí Elektrická nebezpečí	1,2

18.3 Významná nebezpečí

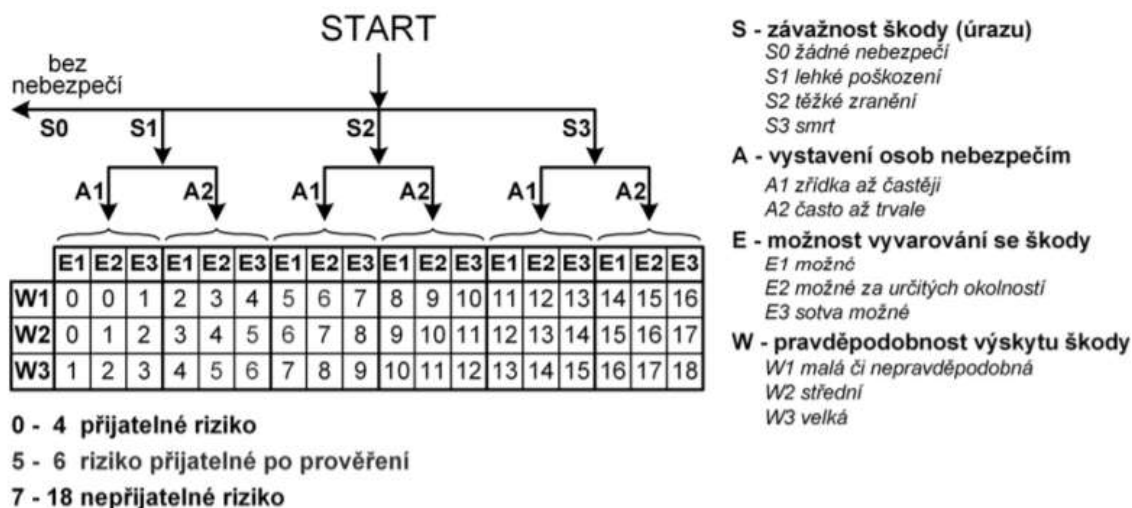
Při posuzování významných nebezpečí musíme posuzovat všechny životní cykly buňky, to znamená od dopravy buňky na své místo až po její konečnou demontáž. Toto posouzení vidíme v tab. 7.

Tab 7) Část tabulky významných nebezpečí

ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ				Robotické pracoviště pro bodové svařování
Poř. číslo	Fáze životního cyklu	Typ nebezpečí podle ČSN EN ISO 10218-1, 2012		Popis nebezpečné události
		Stručný popis	Id. číslo	
1	Doprava			
1.1	Nakládání, přeprava, zdvihání, vykládání	Stlačení, pořezání, odření, naražení	1.1-1, 1.2-1, 1.4-1, 1.5-1	Vlivem špatného uchycení při zvedání se mohou díly uvolnit a nastat neřízený pád na obsluhu, Naklonění nebo pád zařízení na obsluhu při ztrátě stability.
1.2	Balení, vybalení	Pořezání, propíchnutí nebo píchnutí, zakopnutí a pád	1.2-3, 1.6-1, 9.1	Pořezání, nebo píchnutí o ostré hrany, nebo o rozbalovací nástroj, úder vlivem nepozornosti o přesahující části,
2	Montáž a instalace, uvedení do provozu			
2.1	Montáž pracoviště	Stlačení, pořezání, odření, převržení, zakopnutí a pád	1.1-2, 1.2-4, 9.2	Pohyb dosud neupevněných částí, manipulace s náradím, přemísťování komponent jeřábem
2.2	Připojení do sítě (elektrická, tlakový vzduch)	zasažení elektrickým proudem, pískot v uších	2.1, 4.2-1	Neopatrné zacházení s vodičem během dopravy a následným připojením s dotykem se živými částmi vodiče. Neopatrné zacházení s přípojkou stlačeného vzduchu při porušení hadice.
2.3	Montáž ochranného oplocení	stlačení, naražení, převržení, zakopnutí a pád	1.1-3, 1.5-2 1.7	Při manipulaci s montovanými částmi. Pád nestabilního oplocení, které není dosud upevněno.
2.4	Nastavení přípravku	Stlačení, pískot v uších	1.1-4, 4.2-2	zkouška polohování otočného stolu a přípravku
2.5	umístění zásobníku dílů	stlačení, naražení, skřípnutí	1.1-5, 1.5-3, 1.3-1	Při neopatrné manipulaci a přisunutí zásobníku

18.4 Seznam významných nebezpečí

Tab. 8 obsahuje všechna nebezpečí vyplývající z tabulky významných nebezpečí konkretizovaně a přiřazením jejich vážnosti, četnosti, možnosti vyvarování se nebezpečí a pravděpodobnosti vzniku této události, viz obr. 44.



Obr. 45) Graf pro odhad rizika[22]

Tab 8) Část seznamu významných nebezpečí

Seznam významných nebezpečí		Z	V	M	P	Σ
označení	Název nebezpečí					
1	Mechanická nebezpečí					
1.1	Nebezpečí stlačením					
1.1-1	Nebezpečí stlačením při nakládání, přepravě a vykládání komponentů	S3	A2	E2	W2	16
1.1-2	Nebezpečí stlačením při montáži pracoviště	S2	A1	E2	W1	6
1.1-3	Nebezpečí stlačením při montáži oplocení	S1	A1	E2	W2	1
1.1-4	Nebezpečí stlačením přípravkem pro svařování	S2	A1	E2	W1	6
1.1-5	Nebezpečí stlačením při umísťování zásobníku dílů	S1	A1	E2	W2	1
1.1-6	Nebezpečí stlačením při zkoušení robotů	S3	A1	E2	W1	12
1.1-7	Nebezpečí stlačením při nastavování gripperu	S1	A1	E2	W2	1
1.1-8	Nebezpečí stlačením při nastavování funkčních částí buňky	S2	A1	E2	W1	6
1.1-9	Nebezpečí stlačením při úpravě programu robotů	S3	A1	E2	W1	12
1.1-10	Nebezpečí stlačením při opětovném seřizování	S2	A1	E2	W1	6
1.1-11	Nebezpečí stlačením při demontáži pracoviště komponentami	S2	A1	E2	W1	6
1.1-12	Nebezpečí stlačením při nakládání a přepravě komponentů	S2	A1	E1	W2	6
1.2	Nebezpečí pořezáním					
1.2-1	Nebezpečí pořezáním při nakládání, přepravě a vykládání stroje	S1	A1	E2	W2	1
1.2-3	Nebezpečí pořezáním při balení a vybalování	S2	A1	E1	W2	6
1.2-4	Nebezpečí pořezáním při montáži pracoviště	S1	A1	E2	W1	0

18.5 Snižování rizika

Snižování rizika, viz tab. 9, je nutné podle normy provádět alespoň u těch nebezpečí, které přesahují hodnotu sedm (v seznamu označeny červeně).

Snižování rizika probíhá ve třech krocích:

1. Opatření zabudovaná v konstrukci
2. Bezpečnostní opatření
3. Informace pro obsluhu

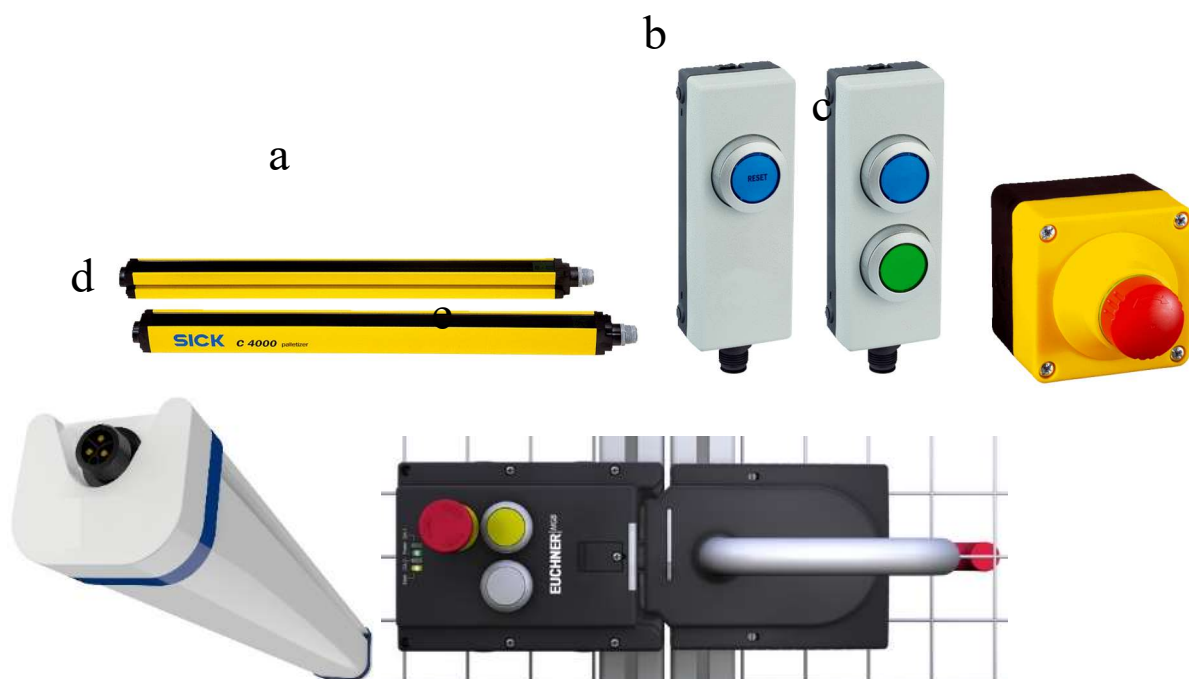
Tab 9) Jedna tabulka snížení rizika

VUT Brno, FSI UVSSR		FORMULÁŘ PRO SNÍŽENÍ RIZIKA Zpracoval: Bc. Vojtěch Kaňa		Svařovací buňka
Číslo nebezpečí (ČSN EN ISO 10218-1)	Id. číslo	Označení nebezpečí podle ČSN EN ISO 10218-1		
1.1	1	1. Mechanické nebezpečí		
		Nebezpečí stlačením při nakládání, přepravě a vykládání komponentů		
Životní etapa stroje:	Doprava	Nebezpečný prostor: nakládka		
Ohrožené osoby:	Přepravce	Provozní stav stroje: rozložený		
Popis nebezpečí Situační/události:	Při špatném uchycení dílů možný neřízený pád na obsluhu např. z jeřábu			
Počáteční riziko	Závažnost škody (úrazu):	S3 - smrt	Velikost rizika 16	
	Vystavení osob nebezpečí:	A2- často až trvale		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za jistých podmínek		
	Pravděpodobnost výskytu škody:	W2 - střední		
Krok 1: Opatření v konstrukci				
Popis opatření:	Všechny těžké díly musí mít přepravní oka a potřebné uchycovací body			
Snížení rizika po opatření	Závažnost škody (úrazu):	S3 - smrt	Velikost rizika 15	
	Vystavení osob nebezpečí:	A2- často až trvale		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2- možné		
	Pravděpodobnost výskytu škody:	W1 - malá		
Krok 2: Bezpečnostní ochranná opatření				
Popis opatření:	Osoby musí mít bezpečnostní obuv s kovovou špičkou, helmu a další ochranné pomůcky			
Snížení rizika po opatření	Závažnost škody (úrazu):	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 9	
	Vystavení osob nebezpečí:	A2- často až trvale		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 - možné		
	Pravděpodobnost výskytu škody:	W1 - malá		
Krok 3: Informace k použití				
Popis opatření:	Dodržování bezpečnostních předpisů			
Snížení rizika po opatření	Závažnost škody (úrazu):	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 5	
	Vystavení osob nebezpečí:	A1- zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 - možné		
	Pravděpodobnost výskytu škody:	W1 - malá		
VALIDACE:	Opatření je dostatečné	Dne:	12.4.2019	

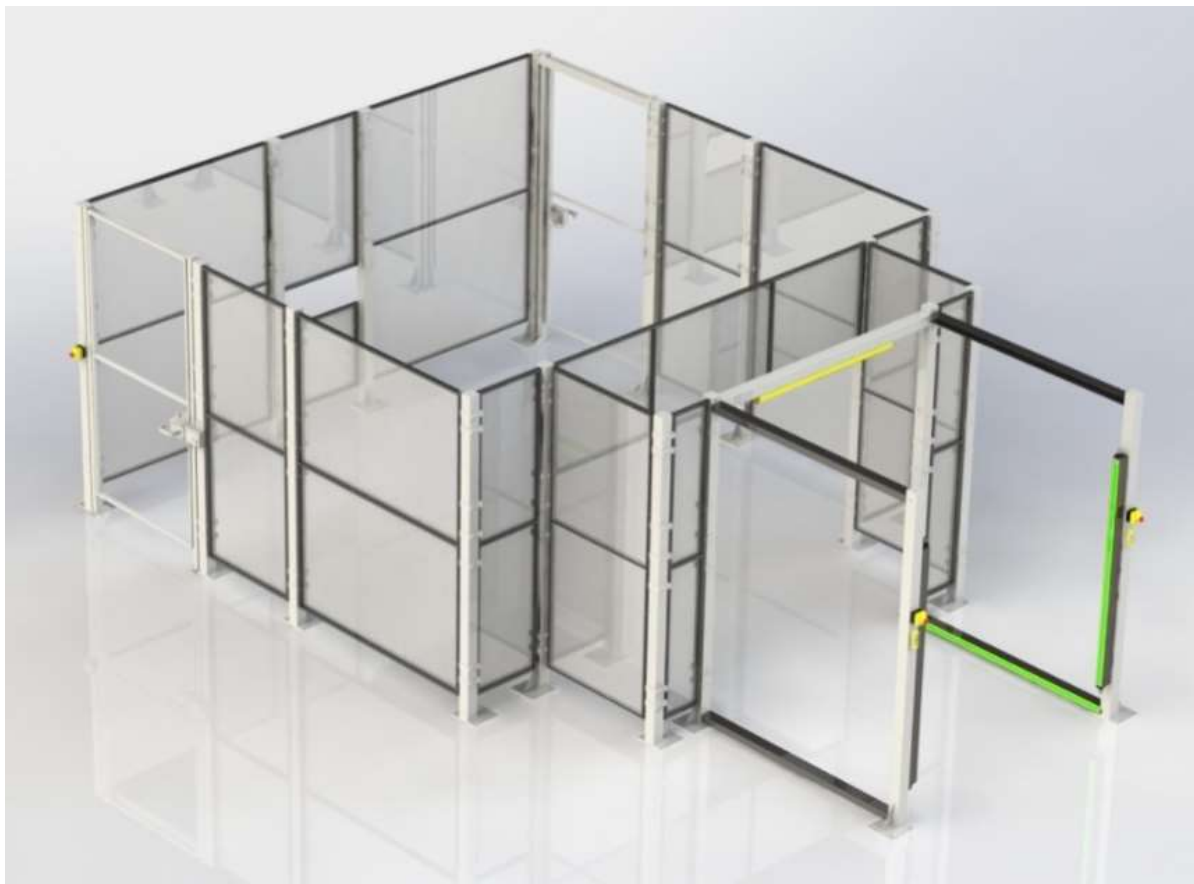
18.6 Použité bezpečnostní prvky

Bezpečnostní prvky jsou konstrukčním opatřením v procesu snižování rizik.

Je nutné zabránit nedovolenému přístupu do buňky během operace svařování, ale taktéž v přístupu obsluhy během dopravy založeného dílu do prostoru buňky otočným stolem. Tento úkol je vyřešen pomocí dvou optických závor, které snímají zakládací prostor během této operace a obsluha musí v tuto dobu být před buňkou, u spouštěcího tlačítka, v opačném případě dojde k zastavení procesu, viz obr. 45. Vstupu do buňky je zabráněno bezpečnostním oplocením s polykarbonátovou výplní a bezpečnostními zámky dle norem, viz obr. 46.



Obr. 46) Bezpečnostní prvky a) optická závora C 4000 b) spouštěcí tlačítka ER 12 c) bezpečnostní stop tlačítko ES 21 [23] d) lineární svítidlo tri-proof P [24] e) dveřní systém MGB-AR [25]



Obr. 47) Bezpečnostní oplocení troax[26]

19 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Technicko-ekonomické zhodnocení nám pojednává o nákladech na použitou technologii, jednotlivé nakupované a vyráběné díly. Dále zahrnuje veškeré náklady na pracovníky, kteří se na návrhu a realizaci buňky podílí, viz tab. 10, 11, 12.

Jednotlivé náklady je třeba brát s jistou rezervou, protože ne u všech položek se mi podařilo zjistit přesnou cenu, proto je u nich cena pouze odhadní.

Tab 10) Nakupované díly

Položka nákupu	Množství	Cena v Kč	Marže na prodej 8%
Kuka kr180 r2500 extra	2	3758000	4058640
Kuka kr10 scara r850 z400	1	190000	205200
Controler Kuka krc 4	2	220000	237600
Výměník hrotůCappostar BWS 5700	2	135000	145800
Svařovací kleště flexgun UL- C	2	250000	270000
Otočný stůl TC 700T	1	150000	162000
Pásový dopravník EBS 40	1	120000	129600
Elektro rozvaděč	1	250000	270000
Ventilový terminál VTUG	4	35000	37800
Pneumatický válec pks	18	23600	25488
Pneumatický krátkozvihový válec W	1	958	1034
Mikroválec série M	1	1066	1151
lineární svítidloTri-Proof P	1	1912	2065
Bezpečnostní prvky (optické závory, bezpečnostní zámek, spínací a nouzová tlačítka)	-	110000	118800
Uchopovací systém RH905	4	9000	9720
Bedny do zásobníku	40	10000	10800
Kolejničky do zásobníků	40	8440	9115
Kolečka zásobníků	8	3200	3456
Oplocení	1	205000	221400
celkem		4563176	5733909

Tab 11) Vyráběné díly

Varáběný díl	Množství	Cena v Kč	Marže na prodej 10%
Rám pracoviště	1	280000	308000
Konstrukce otočného strolu	1	210000	231000
Přípravek na vaření	2	380000	418000
Zásobníky dílů	2	130000	143000
Gripper	1	20000	22000
Netypické díly oplocení	3	13000	14300
celkem		1046000	1136300

Tab 12) Práce (odhad hodin)

Typ práce	Hodiny	Sazba Kč/hod	Cena celkem
Strojní konstrukce	240	1000	240000
Elektro konstrukce	60	1100	66000
Simulace	60	1200	72000
Montáž strojní	120	800	96000
Montáž elektro	50	800	40000
PLC programování	60	1200	72000
Robotik na místě	55	1000	55000
Navod k obsluze, dokumentace	80	800	64000
Dojezd pracovníků	800 km	12 Kč/km	9600
celkem	725	-	714600

Počítáme, že chceme zisk ze zakázky 18%. Z toho nám po sečtení nákladů s marží (7 584 809 Kč) a požadovaným ziskem vychází nabídková cena buňky 8 950 074 Kč.

Tato cena je pro nás důležitá, proto se jí při reálném návrhu věnuje značná pozornost, neboť pokud nabídku nadměrně nadhodnotíme, zákazník si náš produkt pravděpodobně nevybere. Naopak pokud se nám nepodaří správně odhadnout náklady a ve výsledku budou o mnoho vyšší, stane se, že na zakázce nevyděláme, nebo dokonce proděláme, a naše práce byla zbytečná. Pokud se tedy nejedná pouze o to udržet zákazníka. Nutno podotknout, že i takové zakázky se realizují.

Proto je nutné, aby nacenění dělal zkušený ekonom ve spolupráci s kolegy tak, aby odhadovaná cena byla co nejbližší reálné ceně.

Návratnost investice

Návratnost investice nám vyjadřuje dobu, po kterou pracoviště vydělává pouze na svou realizaci a od kdy nám začne vydělávat peníze.

Pokud tedy řekneme, že po odečtení nákladů na pracovníka nám svaření jednoho kusu vydělá 12 korun, tak při taktu 114,5s při třísměnném provozu (754 kusů denně) vydělá měsíčně při 5-ti denním pracovním týdnu 45.240 Kč/týdně. Roční zisk je potom tedy 2.533.440 Kč.

Návratnost tohoto pracoviště při nastavení zisku 12 korun na kus je tedy: $\frac{\text{náklady na buňku}}{\text{roční zisk}} = 3,5 \text{ roku}$.

Samozřejmě zákazník je schopen si zisk na jednu součást upravit tak, aby mu návratnost vycházela dle jeho představ.

20 ZÁVĚR

V této diplomové práci byl vytvořen koncept robotického pracoviště pro bodové svařování výztuhy sedadla.

Tato buňka obsahuje dva svařovací roboty, otočný stůl s přípravkem na vaření, manipulačního robota s gripprem, podstavec pracoviště, automatickou výměnu svařovacích čepiček, pásový dopravník pro dopravu dílů ven z buňky a zásobníky dílů.

S výjimkou těchto zásobníků je celá buňka oplocena bezpečnostním oplocením se dvěma vstupy do buňky a v oplocení jsou integrovány bezpečnostní prvky. Jelikož se jedná o svařovací buňku, je použita polykarbonátová výplň, která zamezuje průchodu škodlivého záření na pozorovatele a obsluhu. Bezpečnostní prvky zabraňují přístupu do buňky během procesu a k otáčejícímu se stolu po založení dílů. Dále byla provedena bezpečnostní analýza celé buňky, viz příloha.

Finální verze buňky je simulována v softwaru Process Simulate, který nám poté vygeneroval takt buňky. Požadovaný takt buňky byl 120 vteřin a výsledkem bylo 130,5 vteřiny. To by znamenalo, že zadání nebylo splněno. Poté byl ovšem zapojen RCS modul, který nám dává reálné vlastnosti robotů a takt snížil na 114,5 vteřiny, to znamená, že zadání bylo splněno.

21 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Tecnomatix. Axiom Tech [online]. Zlín, 2016 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25343-tecnomatix-process-simulate-robotics>
- [2] ABB [online]. Mannheim, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/>
- [3] *Digital Factory* [online]. Plzeň, 2011 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.digipod.zcu.cz/index.php/oblasti-nasazeni/robotika/delmia-v5-robotics>
- [4] HLUCHÝ, Miroslav, KOLOUCH, Jan, PAŇÁK, Rudolf. *Strojírenská technologie 2, Polotovary a jejich technologičnost, 1. díl. 2. vyd.* Praha: Scientia, spol. s r.o., 2001, str.158-220. ISBN 80-7183-244-8.
- [5] HLUCHÝ, Miroslav a kol. *Strojírenská technologie 2, Polotovary a jejich technologičnost, Základy obrábění. 1. vyd.* SNTL Praha, 1979, 404 s., ISBN není, č.5428, 04-221-79.
- [6] Uchopovací systémy. *Schunk* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/2754-0360110-rh-905/
- [7] *Kopta* [online]. Hradec Kralové, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.upinace.eu/inpage/pneumaticke-upinace/#>
- [8] *Univer* [online]. Milano, 2018 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.univer-group.com/en/cylinders/>
- [9] Indukční snímače. *Sick* [online]. Vršovice, 2019 [cit. 2019-5-11]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/detekcni-snimace/indukcni-snimace/ime/ime08-04npsz2k/p/p228414>
- [10] Ventilové terminály. *Festo* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_VTUG
- [11] Otočné stoly s pevným počtem poloh. *Stasto* [online]. Týnec nad Sázavou, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.stasto.cz/katalog/komponenty-pro-automatizaci-polohovaci-a-montazni-zarizeni-hlinikovy-profilovy/otocne-stoly-a-manipulatory/otocne-stoly-s-pevnym-poctem-poloh/serie-tc-cb-otocny-stul-s-pevnym-poctem-poloh.aspx>
- [12] G.S.ACE Industry [online]. Gyeonggi-do, 2015 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.gsace.com/?r=en&c=172/176/178>
- [13] Dopravníkové válečkové lišty. *Emporo* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://www.emporo.cz/valeckova-lista-delka-2-m-rovne-valecky/d-91102/?gclid=EAAlQobChMIvtKC1_r54AIVw-d3Ch13Vw3JEAYYASABEGl1rPD_BwE
- [14] Plastové boxy. *Vybavení firem CZ* [online]. Havířov-Šumbark, 2012 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.vybaveni-firem.cz/plastove-boxy-vyhodne-a3741>
- [15] Přístrojová kola a kladky. *Blickle* [online]. Brno, 2018 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.blickle.cz/v%C3%BDrobek/LPA-TPA-50G-FI-346619>
- [16] *Rockweld* [online]. Praha, 2013 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.rockweld.cz/odporove-svarovani/>

- [17] PLÍVA, Ladislav. *Odporové Svařování*. 3. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975. ISBN 04-219-75.
- [18] *Centerline* [online]. Windsor, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.cntrline.com/products/flexgun-ra>
- [19] *Kuka* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-quantec-extra>
- [20] *Easyconveyors* [online]. Valkenswaard, 2017 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://old.solidcomponents.com/company/Default.asp?SCCC=SCCNA46FH>
- [21] *Kapostar* [online]. Annaberg-Buchholz, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.brauersysteme.de/kapostar-english>
- [22] 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.
- [23] *Sick* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/search?text=blokovaci-zarizeni>
- [24] *Silring* [online]. Bratislava - Petržalka, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://silring.sk/led-priemyselne-osvetlenie/led-linearne-svietidlo-tri-proof-p/>
- [25] Bezpečnostní systémy. *Euchner* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/bezpecnostni-systemy/mgb-ar/>
- [26] *Troax* [online]. Kladno, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.troax.com/cz/ochrana-stroju/panely-sloupky#qt-related-product-index=0>
- [27] Robotizované svařování. *Fronius* [online]. Český Krumlov, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/vyrobky/robotizovan%C3%A9-sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD/odporov%C3%A9-bodov%C3%A9-sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD/deltacon/deltacon>

22 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

22.1 Seznam tabulek

TAB 1) VÝBĚR VARIANTY PODLE VÁHY	21
TAB 2) PARAMETRY SCHUNK RH 905[6]	25
TAB 3) PARAMETRY PKS 20.1[7].....	28
TAB 4) HLAVNÍ DYNAMICKÉ PARAMETRY OTOČNÉHO STOLU TC 700T	
TAB 5) ZÁKLADNÍ PARAMETRY FLEXGUN UL-C[18].....	41
TAB 6) ČÁST TABULKY RELEVANTNÍCH NEBEZPEČÍ	56
TAB 7) ČÁST TABULKY VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ.....	57
TAB 8) ČÁST SEZNAMU VÝZNAČNÝCH NEBEZPEČÍ.....	58
TAB 9) JEDNA TABULKA SNÍŽENÍ RIZIKA	59
TAB 10) NAKUPOVANÉ DÍLY.....	62
TAB 11) VYRÁBĚNÉ DÍLY	63
TAB 12) PRÁCE (ODHAD HODIN)	63

22.2 Seznam obrázků

OBR. 1) PODSTATA ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ[4]	13
OBR. 2) BODOVÉ SVAŘOVÁNÍ [4]	14
OBR. 3) ŠVOVÉ ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ [4]	14
OBR. 4) VÝSTUPKOVÉ ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ[4]	15
OBR. 5) DODANÝ 3D MODEL S VYZNAČENÝMI SVAŘOVANÝMI BODY ..	16
OBR. 6) LAYOUT Č.1	18
OBR. 7) LAYOUT Č.2	19
OBR. 8) LAYOUT Č.3	20
OBR. 9) URČENÍ TĚŽIŠTĚ	23
OBR. 10) POZICE DÍLU V PRSTECH [6].....	24
OBR. 11) SCHUNK RH 905 [6].....	25
OBR. 12) PRST CHAPADLA.....	26
OBR. 13) GRIPPER S DÍLY.....	26
OBR. 14) PKS 20.1 VARIANTA S MADLEM[7].....	27
OBR. 15) VÁLEC UNIVER M 100[8]	28
OBR. 16) VÁLEC UNIVER W 100[8]	28

OBR. 17) INDUKČNÍ SNÍMAČ IME[9]	29
OBR. 18) VENTILOVÝ TERMINÁL VTUG[10].....	29
OBR. 19) PŘÍKLAD JEDNÉ Z UPÍNEK 16-2-ZRC1	30
OBR. 20) PŘÍPRAVEK NA SVAŘOVÁNÍ.....	31
OBR. 21) ZOBRAZENÍ DEFORMACE RÁMU POD ZATÍŽENÍM	32
OBR. 22) VAČKA ZAJIŠŤUJÍCÍ PŘESNÝ POČET POLOH [11]	33
OBR. 23) WEISS TC-CB 700.....	33
OBR. 24) KOMPLETNÍ STŮL	34
OBR. 25) RÁM PRACOVNÍSTĚ S PIEDESTALEM PRO SCARA ROBOTA	35
OBR. 26) VÁLEČKOVÁ LIŠTA[13]	36
OBR. 27) PLASTOVÉ BOXY[14]	37
OBR. 28) BRŽDĚNÉ KOLEČKO[15]	37
OBR. 29) ZÁSOBNÍK DÍLŮ.....	38
OBR. 30) SVAŘOVACÍ KLEŠTĚ FLEXGUN UL-C[18].....	41
OBR. 31) KUKA-LOAD	42
OBR. 32) WORKSPACE ROBOTA KUKA KR180 R2500 EXTRA[19].....	43
OBR. 33) KUKA KR10 SCARA R850 Z400 OSY[19]	44
OBR. 34) PÁSOVÝ DOPRAVNÍK EBS 40-D1[20]	45
OBR. 35) PROSTOROVÝ POHLED NA PRACOVNÍSTĚ CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA	
OBR. 36) VÝMĚNÍK ČEPIČEK CAPPOSTAR BWS 5700[21].....	46
OBR. 37) SMART PLACE SVAŘOVACÍCH ROBOTŮ	48
OBR. 38) DEFINECOMPONENT TYPE	48
OBR. 39) KINEMATICE EDITOR (PŘÍPRAVEK NAVAŘENÍ)	49
OBR. 40) ČÁST TABULKY POSE EDITOR	50
OBR. 41) ČÁST DEFINICE POHYBŮ V PATH EDITORU	51
OBR. 42) CELKOVÝ GANTŮV DIAGRAM	52
OBR. 43) ČÁST BLOKOVÉHO DIAGRAMU SVAŘOVACÍ BUŇKY	55
OBR. 44) GRAF PRO ODHAD RIZIKA[22].....	58
OBR. 45) BEZPEČNOSTNÍ PRVKY A) OPTICKÁ ZÁVORA C 4000B) SPOUŠTĚCÍ TLAČÍTKA ER 12 C) BEZPEČNOSTNÍ STOP TLAČÍTKO ES 21 [23]D) LINEÁRNÍ SVÍTIDLO TRI-PROOF P [24] E) DVEŘNÍ SYSTÉM MGB-AR [25].....	60
OBR. 46) BEZPEČNOSTNÍ OPLOCENÍ TROAX[26].....	61

Atd.

23 SEZNAM PŘÍLOH

CD

Analýza a snížení rizik

Výkres layoutu buňky

Výkres jedné upínky

Výkres svařence rámu stolu

Výkres vrtání rámu stolu