



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 SVAŘOVÁNÍ A MANIPULACI

DESIGN OF A ROBOTIC CELL FOR WELDING AND MANIPULATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Peter Lukačovič

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Pochylý

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Peter Lukačovič
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 svařování a manipulaci

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je návrh pracoviště s průmyslovými roboty pro svařování a manipulaci objektů. Práce se zabývá výběrem hlavních komponent a jejich umístění – návrh layoutu pracoviště, návrhem koncových efektorů a návrhem zabezpečení pracoviště – ochrany obsluhy.

Cíle diplomové práce:

1. Návrh koncepce pracoviště pro daný typ aplikace.
2. Návrh dílčích systémů (koncové efekty, 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

Účelom tejto diplomovej práce je návrh robotickej bunky pre bodové zváranie a následne manipuláciu s dielmi určenými pre automobilový priemysel. Bunka má pozostávať z otočného stolu ovládaného obsluhou linky a sústavou šesťosých robotov pre bodové zváranie a manipuláciu s predmetmi. Práca ďalej pojednáva o návrhu koncových efektorov všetkých robotov, návrhu otočného stolu s ohľadom na technológiu zvárania a rozmiestnenia jednotlivých zariadení pre dosiahnutie najvyššej možnej efektivity pracoviska. Výstupom práce je 3D model, simulácia pracovného postupu, zhodnotenie rýchlosti taktu výroby a pracovných podmienok operátora.

ABSTRACT

The purpose of this master's thesis is a design of the robotic cell for spot welding followed by manipulation with parts assigned for automotive industry. The cell should consist of a rotary table operated by a process operator and set of six-axis robots for spot welding and manipulation with parts. The thesis also describes the design of the end effectors of all robots, the design of rotary table with regard to welding technology and configuration of the cell to obtain maximal efficiency. The output of the thesis is 3D model, workflow simulation, evaluation of the production times and operator work conditions.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

robotizované pracovisko, robotické bodové zváranie, šesťosí robot, návrh robotického pracoviska, pick-and-place manipulácia, simulácia pracovného postupu,

KEYWORDS

Robotic cell, robotic spot welding, six-axis robot, design of robotic cell, pick-and-place manipulation, workflow simulation

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

LUKAČOVIČ, P. Návrh robotické buňky pro svařování a manipulaci. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 85 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Pochylý.

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce Ing. Alešovi Pochylému za metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri riešení diplomovej práce. Ďalej by som chcel poďakovať svojej rodine za podporu počas celej doby štúdia.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom , spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Aleše Pochylého a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dne 22.5.2018

.....

Lukačovič Peter

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVÁCIA.....	16
3	ZADANIE A POŽIADAVKY NA REALIZÁCIU	17
3.1	Základné informácie o procese	17
3.2	Vstupný priestor bunky.....	18
3.3	Priestor bodového zvarovania.....	18
3.4	Ostatné prvky robotického bunky.....	19
4	NÁVRHOVÝ LAYOUT PRACOVISKA.....	20
5	NÁVRH KOMPONENTOV BUNKY	23
5.1	Návrh konštrukcie a pohonu otočného stolu.....	24
5.2	Návrh nosného rámu otočného stolu a upínacích prvkov	26
5.3	Popis a kontrola tvaru bodovacích klieští pre robotické zvarovanie	30
5.4	Návrh koncového efektoru pre manipuláciu s produktami.....	32
5.4.1	Definícia fyzikálnych vlastností predmetu	33
5.4.2	Definícia vonkajších síl pôsobiacich na predmet	33
5.4.3	Návrh uchopovacieho elementu	34
5.4.4	Stanovenie minimálnej uchopovacej sily a kontrola vonkajších síl	34
5.4.5	Výber najvhodnejšieho uchopovacieho zariadenia	35
5.4.6	Zavedenie nutných úprav a kontrolné výpočty.....	35
5.5	Výber vhodného robota na bodové zvarovanie	36
5.6	Návrh gravitačného zásobníka.....	37
6	STANOVENIE FINÁLNEHO LAYOUTU BUNKY	39
7	NÁVRH BEZPEČNOSTNÝCH PRVKOV BUNKY	40
7.1	Analýza rizík a bezpečnostné opatrenia.....	43
7.2	Fyzické bariéry	49
7.3	Optická ochrana	50
7.3.1	Optické závory.....	50
7.3.2	Optické skenery	51
7.4	Výpočty bezpečnostnej zóny pracoviska.....	52
7.5	Ostatné bezpečnostné zariadenia	55
8	SIMULÁCIA VÝROBNÉHO PROCESU	56
8.1	Vloženie 3D modelov do virtuálnej zostavy a ich rozloženie	57
8.2	Definovanie kinematiky jednotlivých prvkov	58
8.3	Určenie polohy zvarovacích robotov pomocou Process Simulate.....	60
8.4	Kontrola dosahu bodovacích klieští.....	61
8.5	Definovanie procesu robotického bodového zvarovania, nastavenie polohy pri zvaraní a následná simulácia.....	62
8.6	Definovanie a simulácia robotického manipulácie.....	64
8.7	Definovanie a simulácia pohybov operátora	66
9	VYHODNOTENIE SIMULÁCIE.....	70
10	ZHODNOTENIE A DISKUSIA.....	73
11	ZÁVER.....	74

12	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	77
13	ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK	79
13.1	Zoznam tabuliek	79
13.2	Zoznam obrázkov	79
14	ZOZNAM PRÍLOH.....	83

1 ÚVOD

Robotizované pracoviská sú neoddeliteľnou súčasťou automobilového priemyslu a ich počet v procese výroby neustále rastie. Robotizované pracoviská postupne nahrádzajú jednotvárne a náročné činnosti človeka v procese výroby za účelom zlepšenia pracovných podmienok pracovníka a zefektívnenie výroby.

Životný cyklus každého robotizovaného pracoviska začína vhodným návrhom pracoviska podľa požiadaviek spomenutých v zadaní. Pracovisko musí spĺňať všetky požiadavky na technológiu, rýchlosť a bezpečnosť. Práve takýmto návrhom sa zaoberá táto diplomová práca.

Táto práca sa zaoberá problémom bodového zvarovania dvoch tvarovo rozličných plechových prvkov, ktoré sú obsluhou ukladané na otočný stôl a výsledné zvarencie sú následne automaticky ukladané na prepravnú paletu usporobnenú pre ďalšie technologické operácie.

V 3. kapitole diplomovej práce je podrobne popísané zadanie problému a požiadavky na realizáciu robotizovaného pracoviska. Ďalej sú v kapitole presne popísané zástavbové rozmery pracoviska, požadované zariadenia, požiadavky na ergonomickosť a rozloženie bunky s ohľadom na jej periférie, materiálový tok, servis a údržbu a okolie v rámci výrobnjej haly.

Práca ďalej pojednáva o samotnom návrhu pracoviska. V prvej časti diplomovej práce je určený návrhový layout pracoviska pre vymedzenie priestoru jednotlivých prvkov bunky a ich periférií. Následne je v práci popísaný návrh otočného stolu, priestoru pre obsluhu, voľba šesťosých robotov a ich rozloženie, voľba bodovacích klieští, návrh koncového efektoru pre manipuláciu s hotovými zvarencami a voľba vhodných bezpečnostných prvkov pre zaistenie bezpečného chodu strojného zariadenia. Po návrhu vyššie spomenutých prvkov je v práci popísaný celý pracovný postup bunky, ktorý je následne simulovaný pomocou softwaru Process Simulate od spoločnosti Siemens.

V posledných častiach práce sú vyhodnotené výsledky simulácie, ktoré sú následne porovnané s požiadavkami zákazníka, súhrn použitých nákladov na zaobstaranie robotizovaného pracoviska a odhad jeho návratnosti. Na záver sa pristupuje k zhodnoteniu všetkých výsledkov, zobrazeniu celej bunky a simulácie samotného výrobného procesu.

2 MOTIVÁCIA

Predaj automobilov po ekonomickej kríze v roku 2008 celosvetovo opäť rastie a tým rastú aj nároky na výrobcov a ich výrobné kapacity. Výrobcovia sú trhom nútení rozširovať a zefektívňovať svoju výrobu a v maximálnej možnej miere uspokojiť potreby trhu. V súčasnosti je hlavným prostriedkom na zefektívňovanie výroby prechod na „Priemysel 4.0“, čo so sebou prináša nutnosť začlenenia informačných technológií a automatizovaných, prípadne robotizovaných pracovísk do procesu výroby.

Robotizované pracoviská sú prostriedkom pre dosiahnutie vysokej spoľahlivosti, efektivity, presnosti výroby a krátkej doby taktov. Ich nespornou výhodou je vykonávanie prác, ktoré sú pre človeka fyzicky alebo ergonomicky náročné. Vhodným návrhom robotizovaného pracoviska dochádza k zníženiu nákladov na výrobu, skrátenie doby výroby a rýchlejšej návratnosti vynaložených prostriedkov.

Pre správne a efektívne navrhovanie robotických pracovísk sa v súčasnej dobe vo veľkej miere využívajú simulačné nástroje. Popredným simulačným softwarom pre simuláciu šesťosých robotov je program Process Simulate od spoločnosti Siemens. Process simulate je simulačný nástroj na navrhovanie, plánovanie a virtuálne uvádzanie do prevádzky ako robotizovaných, tak aj manuálnych pracovných staníc. Virtuálne prostredie umožňuje realistickú simuláciu priemyselných robotov a zautomatizovaných procesov, kontrolu ergonomickosti pracoviska, dosah obsluhy alebo viditeľnosť vykonávaného procesu. Pomocou Process Simulate je možné po nastavení trajektórií robota vytvárať off-line programy, ktoré sú následne načítané v riadiacom paneli robota a upravené do finálnej verzie na základe reálnych podmienok. [1]

Simulačný nástroj Process Simulate môže obsahovať množstvo rozširujúcich modulov pre simuláciu obsluhy, robotov a podobne. Pri návrhu robotizovaných pracovísk býva zvyčajne používaný RCS (Robot Controller Simulation) modul. Pomocou tohto modelu sú v simulácii procesu zahrnuté všetky mechanické i dynamické vlastnosti robota, a na ich základe je určená presná doba trvania procesu. Výsledky simulácie môžu byť následne použité pri ďalšom návrhu robotizovaného pracoviska.

3 ZADANIE A POŽIADAVKY NA REALIZÁCIU

Dispozičný návrh, výber použitých prvkov a ich periférií a následne aj bezpečnostných prvkov vychádza z potrieb a požiadaviek popísaných nižšie v zadaní. Na základe určenia vstupných požiadaviek je možné komplexne navrhnuť vhodné pracovisko pre vykonávanie požadovaných operácií s požadovanou spoľahlivosťou. Medzi vstupné požiadavky nielen na robotizované pracovisko patria informácie ako napríklad:

- požadovaná technológia
- geometria, materiál a hmotnosť predmetov, s ktorými sa bude manipulovať
- počet a poloha bodov, ktoré budú obrábané, prípadne dĺžka obrábanej trajektórie
- maximálny čas prípustný na operáciu (takt linky)
- minimálny čas bez obslužnej prevádzky na vstupe linky
- preferovaní výrobcovia jednotlivých zariadení
- pripojovacie body pre zdroj elektrickej energie, stlačeného vzduchu a ostatných obslužných médií
- špeciálne požiadavky prevádzky v nebezpečnom prostredí a na krytie zariadení

Po zadaní všetkých spomenutých požiadaviek, je možné pristúpiť k „hrubému“ návrhu pracoviska, ktorý obsahuje približné rozmery jednotlivých prvkov bunky a bude následne slúžiť ako podklad pre podrobný návrh bunky a jej simuláciu.

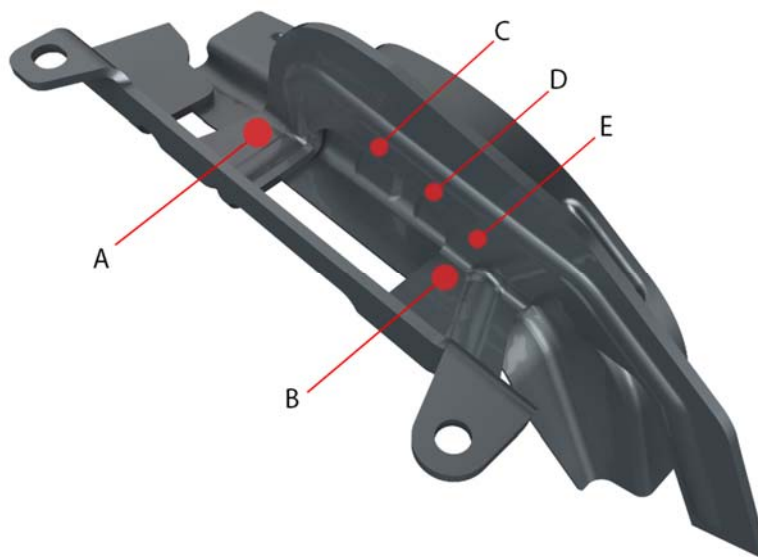
3.1 Základné informácie o procese

Na základe technického zadania problému a dodaného 3D modelu (viď obr. 1), boli špecifikované dve časti zvarenca z plechu o hrúbke 1 mm a 1,5 mm. Tieto časti prešli v predchádzajúcom kroku plošným tvarovaním do požadovaného tvaru a budú dopravované v 25 kusových súboroch z logistického skladu prostredníctvom plastových prepraviek.



Obr. 1) Polotovary určené na bodové zváranie

Úlohou robotizovaného pracoviska je pomocou technológie bodového zvárania spojiť tieto dve časti do jedného zvarenca a to na konkrétne definovaných piatich miestach vyznačených na obrázku 2. Priestor vyhradený pre robotickú bunku má rozmery 6500mm x 6000mm so striktno predpísaným miestom vstupu polotovarov a výstupu hotového produktu vzhľadom k organizačnej štruktúre podniku. Takt výrobnéj linky bol stanovený na dva pravé a dva ľavé kusy za dobu 48 sekúnd.



Obr. 2) Pozícia bodov pre zváranie

3.2 Vstupný priestor bunky

Na vstupe do zvärackej bunky sa musí nachádzať pracovisko výlučne určené pre obsluhu bunky. Pracovisko bude obsahovať dva gravitačné zásobníky pre zásobovanie bunky polotovarmi, otočný stôl s upínacími prvkami pre rýchle uloženie polotovarov a pracovný priestor pre pohyb obsluhy, ktorý bude vybavený nevyhnutnými bezpečnostnými prvkami podľa STN EN ISO 12100. Obsluha bude zakladať vždy dva pravé a dva ľavé kusy pre jeden zvärací cyklus.

Gravitačné zásobníky musia byť vyhotovené z modulárneho systému hliníkových alebo oceľových profilov pre jednoduchú manipuláciu a úpravu v prípade zmien v procese výroby. Poloha dopravníkov musí byť zvolená s ohľadom na jednoduchú a rýchlu manipuláciu s polotovarmi a zároveň ľahkú dostupnosť pre zásobovacie vozíky. Zásobníky musia byť usporiadané na uskladnenie plastových prepravných krabíc s rozmermi 297x198x147mm (D x Š x V). Kapacita každého z dopravníkov musí byť minimálne 30 prepravných krabíc.

V blízkosti bezpečnostnej zóny pracoviska sa musí nachádzať ovládací panel pre obsluhu. Na ovládacom paneli sa musia nachádzať ovládacie prvky bunky, potvrdzovacie tlačidlo uloženia polotovarov do upínacieho prípravku, resetovacie tlačidlo a tlačidlo na núdzové zastavenie celej bunky. Na ovládacom paneli (HMI) sa musí nachádzať dotykový displej pre užívateľské rozhranie pre obsluhu jednotlivých zariadení.

3.3 Priestor bodového zvárania

Bodové zváranie bude vykonávané automaticky pomocou šesťosého robota od spoločnosti KUKA. Robot určený na bodové zváranie bude osadený vhodnými zväracími kliešťami vybranými z poskytnutej knižnice modelov. Jeho poloha musí byť určená vhodne pre vykonávanie bodového zvárania, automatickú pravidelnú údržbu či plánované servisné operácie.

Prechod medzi vstupným a zváracím priestorom bunky bude sprostredkovaný elektricky otočným stolom, ktorý bude zároveň oddeľovať tieto dve sekcie. Otočný stôl musí mať dostatočnú plochu na uloženie všetkých polotovarov a zároveň umožniť manipuláciu všetkých efektorov v okolí zváraných predmetov. Pri výbere pohonu a komponentov otočného stolu je žiadúce zvoliť z produktov spoločnosti Tünkers Maschinenbau GmbH, vzhľadom na zariadenia už implementované v procese výroby. Pri výbere vhodného zariadenia je žiadaný zohľadniť možnosť prestavby pracoviska a otočného stolu na iný typ procesu alebo dielu.

Hotové zvarence budú automaticky podávané pomocou šesťosého robota na prepravnú paletu. Poloha robotov musí zaisťovať úplný dosah na všetky zvarené diely a prepravné palety. Na konci robotického ramena bude umiestnený vhodný pneumatiký efektor pre uchopenie a následnú manipuláciu hotových produktov.

3.4 Ostatné prvky robotickej bunky

Medzi ďalšie prvky nutné pre fungovanie bunky patria hlavné a podružné rozvádzače pre všetky elektrické zariadenia, frézovacia hlava na hrot bodovacích klieští, medzioperačné dopravníky a bezpečnostné oplotenie. Poloha dopravníkov pre manipulačné palety je daná materiálovým tokom v rámci výrobnéj linky. Všetky ostatné časti musia byť rozložené s ohľadom na ergonómiu bunky, jednoduchosť údržby a bezpečnosť pracovníkov.

4 NÁVRHOVÝ LAYOUT PRACOVISKA

Pre splnenie všetkých požiadaviek popísaných v kapitole 3, je nutné odhadnúť približné hodnoty jednotlivých rozmerov všetkých prvkov bunky. Ako prvé je vhodné na základe layoutu aktuálneho stavu priestoru pre robotickú linku určiť približné rozmery a polohu otočného stolu tak, aby uloženie stola bolo komfortné a bezpečné pre obsluhu.

Ako ďalší prvok je vhodné určiť polohu a typy šesťosých robotov. Robot zastáva najdôležitejšiu technologickú funkciu v rámci bunky a jeho poloha je zásadná pre ďalšie rozloženie zariadení v bunke. Typ, dosah a poloha robota musí byť určená na základe pozície jednotlivých bodov prechodu koncového efektoru. Ďalším dôležitým bodom pri výbere vhodného robota je jeho nosnosť. Robot musí byť schopný uniesť efektor a prípadne uchopené predmety pri zachovaní požadovanej dynamiky a presnosti.

Pri návrhu robota určeného na bodové zváranie je v tomto konkrétnom prípade najlimitujúcejším faktorom doba taktu. Pri nutnosti zvarenia 4 produktov je nutné vykonať spolu 20 bodových zvarov, čo definuje čas určený na manipuláciu k bodu zvaru a na samotný technologický úkon približne 2,4 sekundy. Vzhľadom na fyzikálne vlastnosti a hybnosť robota so zváracími kliešťami o hmotnosti približne 50 kg, nie je možné túto požiadavku uskutočniť. Z tohto dôvodu je nutné použiť v bunke dvoch robotov a tým zdvojnásobiť čas určený na jeden zvar na hodnotu 4,8 sekundy.

Na základe vyššie uvedených skutočností bude použitý robot od výrobcu KUKA z rady „KR QUANTEC extra“. Táto rada robotov je primárne určená na zváracie operácie a dosahuje ideálne hodnoty nosnosti a rozsahu pohybu. Podrobné porovnanie jednotlivých typov a spoločné technické hodnoty sú uvedené v tabuľke 1. Konkrétny typ motora bude definovaný po určení hmotnosti zváracích klieští, celkového rozloženia bunky a obstarávacích cien jednotlivých typov.

Tab 1) Odlišnosti robotov rady KR QUANTEC extra [2]

Typ	Maximálna nosnosť	Dosah	Hmotnosť
KR 210 R2700 extra	210 kg	2696 mm	1068 kg
KR 180 R2500 extra	180 kg	2496 mm	1059 kg
KR 150 R2700 extra	150 kg	2696 mm	1068 kg
KR 120 R2900 extra	120 kg	2896 mm	1084 kg
KR 90 R3100 extra	90 kg	3095 mm	1092 kg

Tab 2) Spoločné vlastnosti robotov rady KR QUANTEC extra [2]

Presnosť:	< ± 0,06 mm
Rozsah osi A1:	± 185°
Rozsah osi A2:	-5°/ -140°
Rozsah osi A3:	+155°/-120°
Rozsah osi A4:	± 350°
Rozsah osi A5:	± 125°
Rozsah osi A6:	± 350°

V prípade nedostatočnej agility zváracích robotov a nedosiahnutí požadovanej doby taktu, bude nutné použiť tretieho, manipulačného robota. Na základe 3D modelu popísaného v zadaní, bola zistená hmotnosť predmetu 225g. Odhadovaná celková hmotnosť bremena upevneného na robotovi (griffer + 4 zvarence) bude na úrovni 3kg, čo umožňuje zvoliť produkt z ľahkej série robotov. Vzhľadom na použitie dvoch robotov na technológiu bodového zvarania, zostáva už len limitovaný priestor pre uloženie tretieho robota na manipuláciu. Z tohto dôvodu je nevyhnutné, v prípade použitia tretieho robota, podviesť robota pod nosnú konštrukciu. Posledným, no rovnako dôležitým faktorom pri výbere robota, je jeho dosah. Robot musí byť schopný obslúžiť všetky štyri zvarené produkty a prepravné palety. Po zhodnotení všetkých faktorov vplývajúcich na výber robota bola zvolená rada robotov „KR CYBERTECH“. V prípade nutnosti bude konkrétny typ robota opäť určený až pri detailnom návrhu.

Tab 3) Odlišnosti robotov rady KR CYBERTECH [2]

Typ	Maximálne zaťaženie	Dosah	Hmotnosť
KR 8 R1620	8 kg	1620 mm	270 kg
KR 12 R1810	12 kg	1810 mm	264 kg
KR 16 R1610	16 kg	1610 mm	263 kg
KR 16 R2010	16 kg	2010 mm	270 kg
KR 20 R1810	20 kg	1810 mm	264 kg
KR 22 R1640	22 kg	1610 mm	263 kg

Tab 4) Spoločné vlastnosti robotov rady KR CYBERTECH [2]

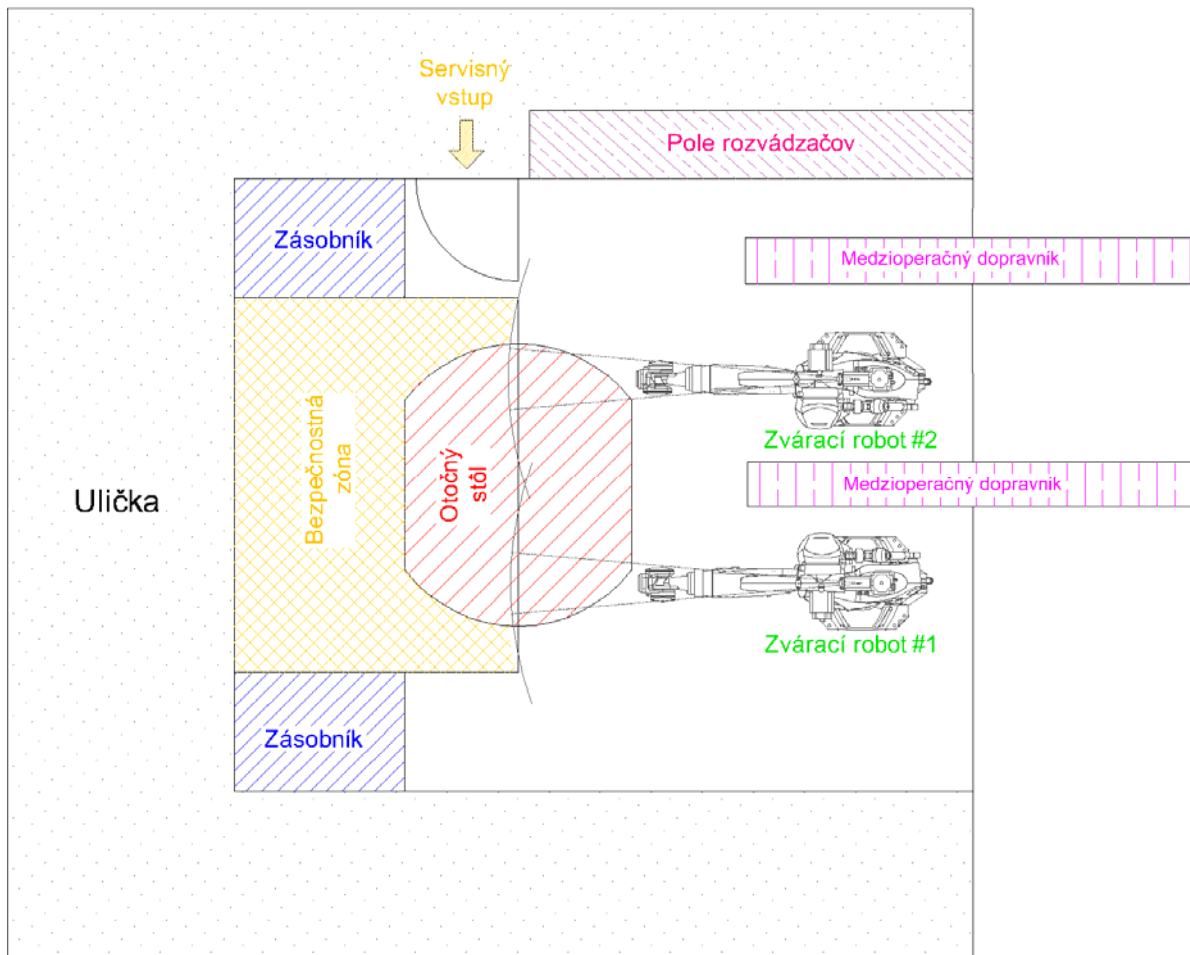
Presnosť:	< ± 0,04 mm
Rozsah osi A1:	± 185°
Rozsah osi A2:	+65° / -185°
Rozsah osi A3:	+172° / -142°
Rozsah osi A4:	± 350°
Rozsah osi A5:	± 130°
Rozsah osi A6:	± 350°

Významnú úlohu v procese navrhovania layoutu robotической bunky zohráva návrh pripojenia elektrickej energie, obslužných médií a riadiacich zariadení. Všetky rozvážacie skrine, ovládacie a bezpečnostné panely obslužných médií atď. musia byť rozložené s ohľadom na jednoduchý prístup a všetky vnútropodnikové a štátne technické normy.

Pri príprave návrhového layoutu boli stanovené hodnoty jednotlivých prvkov na základe predošlých skúseností a podobných aplikácií. V prípade gravitačných zásobníkov bol uvažovaný rozmer podstavy 1000x1600 mm. Pre otočný stôl s možnosťou upevnenia štyroch zvarencov pre robotické bodové zvaranie by mal byť priemer pohyblivej časti otočného stola približne 2500 mm. Veľkosť modulárneho výstupného dopravníka bola stanovená v zadaní na základe existujúceho stavu výrobnéj linky.

Po zvážení všetkých uvedených skutočností boli vypracované dve návrhové štúdie zohľadňujúce pracoviská s dvoma v resp. tromi šesťosými robotmi. Oba varianty sú detailnejšie popísané nižšie.

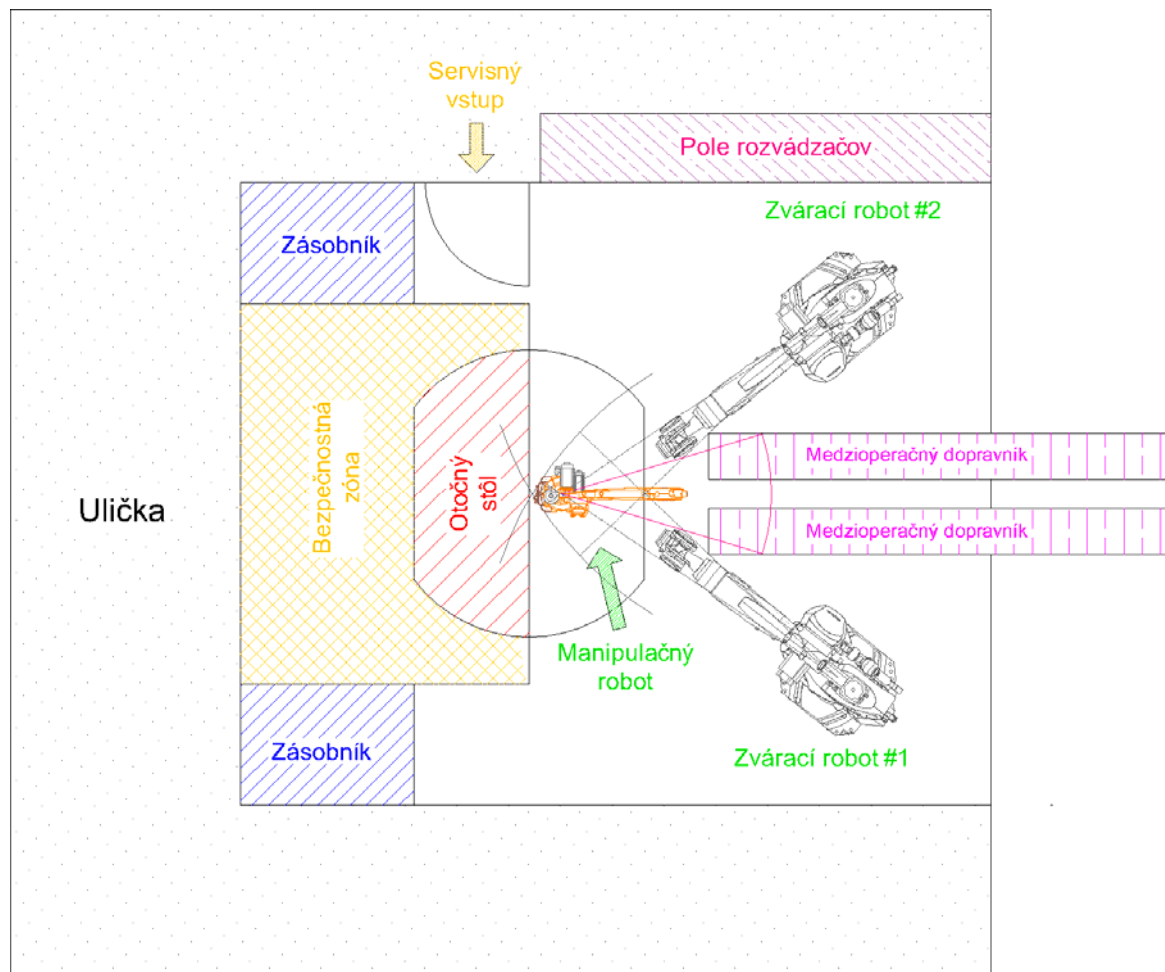
Variant A:



Obr. 3) Layout za použitia dvoch zváracích robotov.

Variant A zobrazuje rozloženie zariadení v bunke pri použití dvoch robotov. Roboty sú uložené tak, aby obslúžili celý pracovný priestor otočného stolu, no zároveň tak, aby zbytočne nepresahovali cez vertikálnu bariéru do bezpečnostnej zóny. V prípade krízovej situácie robot neohrozí obsluhu a nespôsobuje zbytočné bezpečnostné riziko. Ku každému robotovi je pridelený jeden modulárny dopravník, ktorý presúva hotové zvarence k ďalším procesom výroby. Dopravníky sú umiestnené vždy po pravej strane robota v smere materiálového toku tak, aby si nevstupovali do spoločného pracovného priestoru. Takto sa docielu plynulejšia optimalizácia procesu, eliminujú sa čakacie doby robotov a zjednoduší sa ich programovanie. Rozmery bezpečnostnej zóny budú bližšie určené podľa dobehu otočného stola podľa návrhu v kapitole 5. Zásobníky sú umiestnené po stranách bezpečnostnej zóny určenej pre obsluhu pracoviska. Dopĺňanie polotovarov zo strany zásobovacej uličky umožňuje kontinuálne zásobovať bunku polotovarmi.

Variant B:



Obr. 4) Layout za použitia dvoch zváracích a jedného manipulačného robota.

Variant B vychádza primárne z variantu A. Zmena spočíva v použití tretieho robota na manipulačné operácie s hotovými zvarencami. Manipulačný robot je zavesený na konštrukcii situovanej nad otočným stolom, odkiaľ má dostatočný dosah na jednotlivé dopravníky. Vo variante B sú dopravníky umiestnené medzi zváracími robotmi, čo umožní použitie jedného efektoru na manipulačnom robotovi.

Pre výber vhodného návrhového riešenia bol použitý software Process Simulate od spoločnosti Siemens. V simulačnom programe boli približne rozmiestnené všetky kľúčové body a zariadenia podľa návrhových layoutov. Po hrubom naplánovaní všetkých potrebných operácií bola spustená približná simulácia všetkých procesov. Z výsledkov simulácie podľa varianty A bol zistený približný hrubý čas taktu na úrovni 39 sekúnd, čo značilo 9 sekundovú rezervu v porovnaní s požadovaným taktom 48 sekúnd. Po simulovaní varianty B bola zistená doba taktu 35 sekúnd.

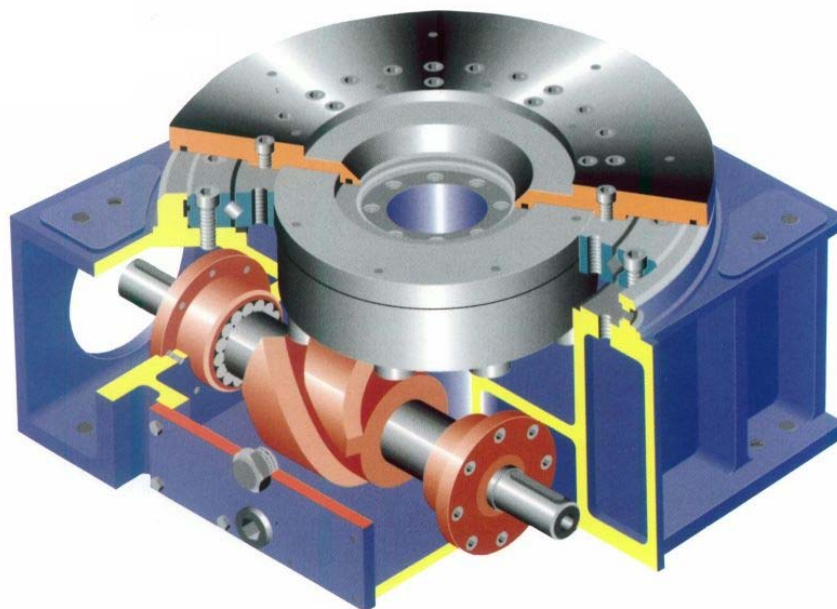
Po zhodnotení výsledkov simulácií a porovnaní ekonomických aspektov jednotlivých variant, bol zvolený variant A. Časová rezerva 9 sekúnd sa v tomto štádiu návrhu javí ako dostatočná a variant neobsahuje náklady spojené so zabezpečením tretieho manipulačného robota, ktoré sa pohybujú na úrovni 20 000 € - 25 000 € v závislosti od zložitosti efektoru a programu. Návrh komponentov bunky

4.1 Návrh konštrukcie a pohonu otočného stolu

Pri určovaní finálneho návrhu bunky je v tomto prípade optimálne začať pri navrhovaní otočného stolu. Otočný stôl tvorí technologický a zároveň bezpečnostný predel medzi pracovným priestorom obsluhy a automatickou časťou bunky. Z pohľadu obsluhy musí byť stôl navrhnutý na osem hodinovú nepretržitú smenu. Norma STN EN 614-1 zahŕňa požiadavky na vhodnú výšku pracovného stolu, dostatočné osvetlenie, odstránenie ostrých rohov a hrán a podobne. Z pohľadu bezpečnosti musí stôl chrániť obsluhu pred iskrami a lietajúcimi čiastočkami kovu z technologického procesu zvarovania, musí tvoriť fyzickú bariéru pred vstupom do pracovného priestoru robotov a nespôsobovať nadmerné riziko úrazu pri manipulácii a otáčaní.

Samotná zostava otočného stolu pozostáva z troch hlavných častí. Pohon otočného stolu, základová doska a bezpečnostná bariéra. Všetky tieto časti sú neoddeliteľnou súčasťou otočného stolu v danej bunke a všetky komponenty musia byť volené so zreteľom na funkciu stola.

Základným funkčnou jednotkou otočného stola je jeho pohon. V požiadavkách na robotizované pracovisko v kapitole 3.3 je uvedená spoločnosť Tünkers ako preferovaný dodávateľ elektrického pohonu stola. Pri výbere vhodného pohonu bolo možné vybrať zo širokej škály produktov, no za najvhodnejšiu bola zvolená rada Sopap TS. Všetky modely z rady otočných stolov TS disponujú výbornými dispozičnými vlastnosťami, výkonom a najmä presnosťou polohovania. O hlavný rotačný pohyb sa stará asynchrónny motor pripojený na valcovú vačkovú hriadeľ. Tá následne prostredníctvom kladiek otáča výstupným členom. Počet polôh otočného stolu je variabilný v rozmedzí 2 – 24 staníc v závislosti na tvare vačky a počte kladiek na výstupnom člene. [3]



Obr. 5) Priestorový rez otočným stolom Sopap TS

Všetky modely stolov rady TS sa líšia v rozmeroch, radiálnej a axiálnej nosnosti a v maximálnom klopnom momente. Vlastnosti jednotlivých modelov sú popísané v tabuľke 5.

Tab 5) Vlastnosti vybraných otočných stolov rady Sopap TS [3]

TS	Priemer taniera	Dĺžka skrine	Výška skrine	Vnútorňy priemer diery v stole	Radiálna nosnosť	Axiálna nosnosť	Klopňy moment
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>kN</i>	<i>kN</i>	<i>kNm</i>
200	160	200	130	26	2,5	7,5	0,25
300	215	270	170	31	3,5	10	0,3
400	250	320	180	51	5	15	1
500	320	410	260	60	10	21	1,8
580	400	490	300	65	20	30	3

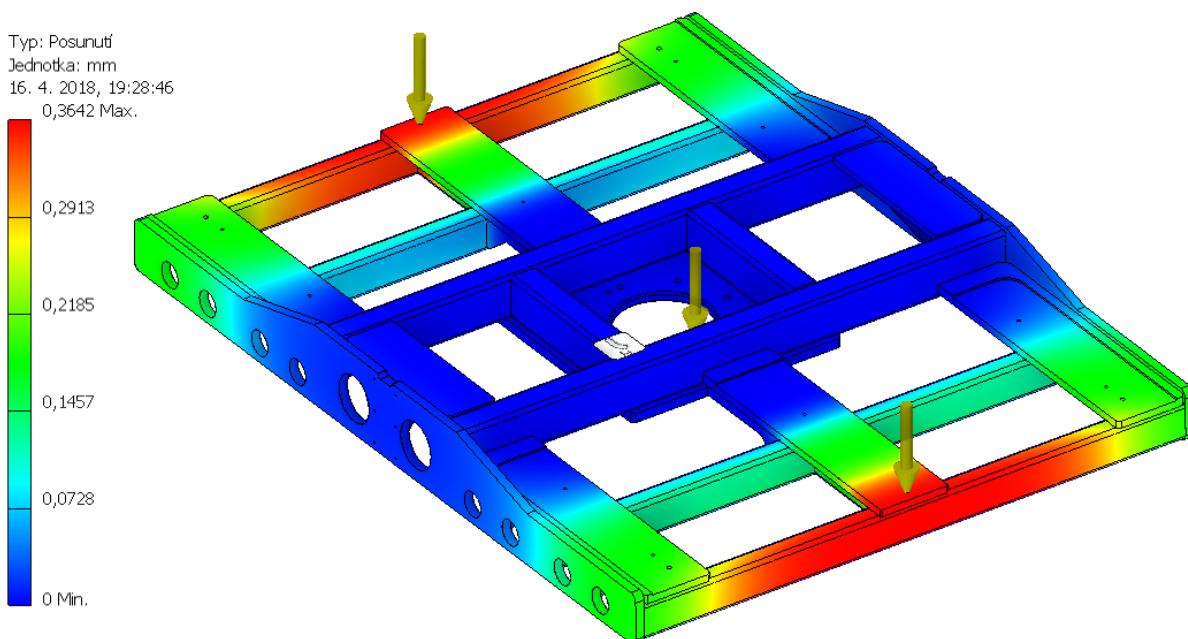
Vzhľadom na fakt, že stôl bude symetrický a hmotnosť produktov bude v porovnaní s ostatnou konštrukciou stola zanedbateľná, ako prvé kritérium bola zvolená axiálna nosnosť stola. Najmenší typ TS 200 ponúka axiálnu nosnosť 7,5 kN, čo je hodnota viac ako dostatočná na správnu funkciu otočného stola. Toto kritérium nevyklúčilo žiadne typy, a preto boli ako sekundárne kritérium zvolené rozmery skrine a priemer taniera. Rozmery skrine by mali zabezpečiť dostatočnú podporu proti naklápaniu stola bez použitia akýchkoľvek prídavných zariadení. V návrhovom layoute bol uvažovaný stôl s priemerom 2500 mm. Pre dostatočnú podporu takto veľkého priemeru je najmenší dostatočný rozmer skrine stola TS 500 s rozmermi podstavu 410x410 mm. Avšak priemer taniera 320 mm by mohol pri prevádzke na 3 zmeny vzhľadom na navrhovaný priemer stola spôsobovať nadmerné opotrebenie a častejšie servisné zákroky.

Po zvážení všetkých vyššie spomenutých faktov bol za vhodný otočný stôl zvolený stôl Sopap TS 580. Vybraný typ spĺňa všetky požiadavky na stabilitu, presnosť polohovania a nosnosť a zároveň poskytuje dostatočnú výkonovú rezervu pre prípad výroby ťažších dielov na rovnačkej linke.

4.2 Návrh nosného rámu otočného stolu a upínacích prvkov

Po výbere vhodného otočného stola je nutné navrhnuť vhodnú činnú časť stola. Jej primárnou úlohou je zabezpečiť podporu pre upínacie prvky, poskytnúť ložnú plochu pre prepravované predmety a v neposlednom rade ochrániť pracovníka pred nebezpečenstvami, spojeným s procesom bodového zvarovania. Pri návrhu konštrukcie činnej časti stola pre robotické procesy je nutné dbať na opakovateľnosť procesu a stálosť nosného rámu. Rám musí poskytovať dostatočnú odolnosť voči vibráciám, tepelným vplyvom a mechanickým poškodeniam spôsobených pri bežnej prevádzke. Na druhej strane je nutné dbať na čo najnižšiu hmotnosť rámu z dôvodu zachovania agility a krátkej doby otočenia zariadenia.

Pre dosiahnutie všetkých vyššie spomenutých vlastností bola hlavná konštrukcia navrhnutá primárne z oceľových uzavretých profilov obdĺžnikového tvaru a oceľových výpalkov. Pri výbere profilov sa brala do úvahy požiadavka zákazníka na možnosť neskoršej úpravy, a tak sa počítalo s maximálnym zaťažením stola 200 kg na každú stranu, i keď hmotnosť 4 produktov sa pohybuje na úrovni 1kg. Všetky profily boli pozvárané do rebrinového rámu a boli pridané spojovacie a spevňovacie prvky. Na spodnú stranu rebrinového rámu bola navrhnutá platňa pre jeho spojenie s otočným mechanizmom stolu. Prostredníctvom ôsmich skrutiek M16 a dvoch kolíkov je zabezpečená presná a stála pozícia medzi otočným mechanizmom a nosným rámom stola. Po namodelovaní rámu stola bola zistená hmotnosť 508 kg. Následne bola pomocou CAD softwaru vykonaná statická simulácia pre kontrolu voči medzným stavom pri symetrickom a nesymetrickom zaťažení. Zaťaženie 2000N, ktoré približne reprezentuje hmotnosť bremena 200 kg, bolo uvažované len na vrchné hrany krajných profilov na vyznačených miestach a pri simulácii bola uvažovaná gravitačná sila. Výsledky analýzy sú uvedené na obrázku 6.



Obr. 6) Statická analýza nosného rámu pri symetrickom zaťažení

Pri vyhodnocovaní statickej analýzy bol kontrolovaný bezpečnostný koeficient voči všetkým medzným stavom a najväčšie pretvorenie, ktoré by mohlo mať vplyv na opakovateľnosť procesu. Pri uvažovaní predpísaného zaťaženia bol zistený minimálny koeficient bezpečnosti na úrovni $K=5$, čo znamená značné predimenzovanie rámu a zariadenie bude poskytovať dostatočnú kapacitu v prípade použitia ťažkých zväracích prípravkov a zvarencov. Pri zaisťovaní správneho sieťovania modelu pre potreby analýzy bolo určené kritické miesto rámu, v ktorom sa koncentruje napätie. To sa nachádza v mieste zvaru medzi spojovacou platňou a stredovou podperou. Pri kontrole po zvarení bude na toto miesto kladený osobitý dôraz.

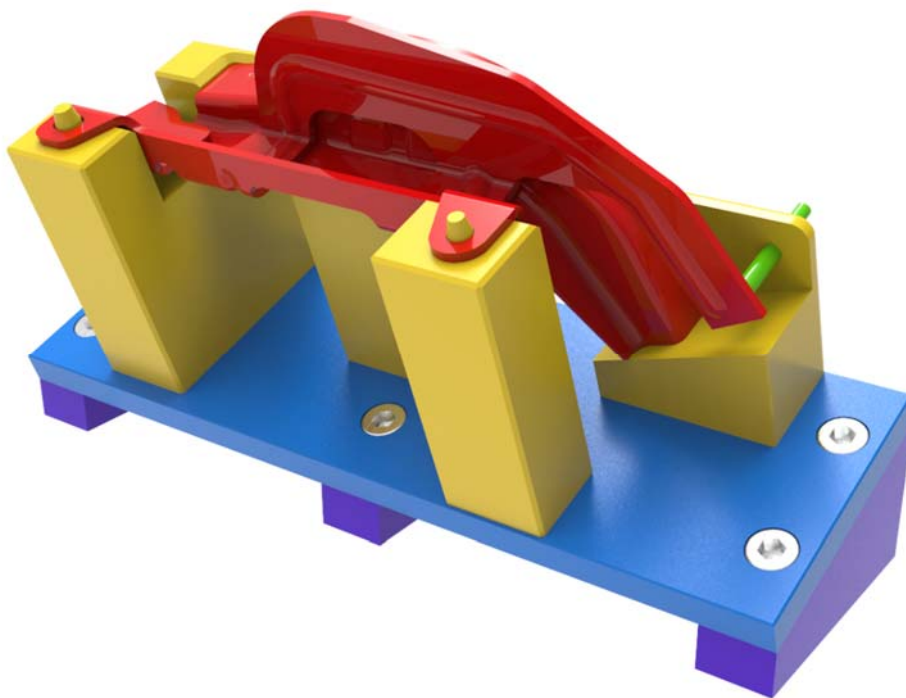
Ďalšou významnou časťou otočného stola je ložná plocha, ktorá tvorí podstavu pre všetky upínacie a pozičné členy. Hlavnou úlohou ložnej plochy je zabezpečiť priamy a stály tvar a čo najlepšiu odchýku rovinnosti. Pre tento účel bol zvolený hliníkový materiál EN AW 7019, komerčne nazývaný aj ako Unidal®. Tento materiál bol pôvodne vyvinutý pre letectvo, no v dnešnej dobe sa často využíva v automobilovom priemysle, ako sú napr. prepravné stoly, rôzne prípravky alebo referenčné platne. Tento materiál je bežne predávaný ako vysokopevnostná presná platňa, frézovaná z oboch strán na presný rozmer, ktorá vyniká vysokou mechanickou tuhosťou a rozmerovou stálosťou. V prípade potreby ďalšieho obrábania, ako sú napríklad vŕtanie, hrubovacie alebo dokončovacie operácie, je z dôvodu nízkeho vnútorného pnutia výrazne znížené riziko deformácie polotovaru. [4]

Pre účely robotizovaného pracoviska bola ako polotovar zvolená frézovaná platňa s rozmermi 1300 x 700 mm a s hrúbkou 40 mm opäť s ohľadom na možnosti neskorších úprav bunky. Do polotovaru boli navrhnuté diery pre upevnenie jednotlivých upínacích prípravkov a vyfrézované drážky pre presné uloženie platne na nosný rám stolu. Na záver boli zaoblené rohy platne a zrazené všetky ostré hrany. Výsledná hmotnosť platne je 117 kg.

V súbehu s návrhom základovej dosky bolo nutné navrhnuť upínacie prípravky. Pri návrhu prípravku bolo kľúčovým faktorom dosiahnutie jednoduchého prístupu bodovacích klieští k bodom zvaru. Nakoľko zvärané diely majú malé rozmery (cca 200 x 70 x 80 mm) bolo nevyhnutné vybrať len skupinu oporných bodov, ktoré boli následne pomocou prípravku podopreté. Oporné body boli vyberané so zreteľom na pracovný postup ukladania, ako aj na technologický proces bodového zvärania. V prvom stupni návrhu boli určené tri oporné body pre možnosť založenia prvého dielu zvarenca. Oporné body vymedzujú pohyb dielu v rovine XY a tým umožňujú jeho jednoznačné uloženie. Následne boli navrhnuté dva oporné body pre druhý diel zvarenca. Oporné body vychádzajú z polohy strediacich otvorov vytvorených v predošlých technologických operáciách. Na vrchnú stenu týchto oporných bodov boli navrhnuté pozičné kolíky vyrábané podľa normy DIN 6321 form B. Tieto kolíky zabezpečia stálu polohu druhého dielu pri procese zvärania.

Pri zväracích operáciách sa často využívajú rôzne pneumatické alebo elektrické svorky. Ich úlohou je zabezpečiť úplné dosadnutie zväraných dielov k prípravku a tak zabezpečiť vyššiu kvalitu zvarov. V tomto prípade svorky neboli použité. Toto rozhodnutie bolo urobené na základe viacerých problémov pri ich umiestňovaní. Pri použití pneumatických svoriek sa obmedzil manipulačný priestor pre pohyb bodovacích klieští, a tým sa výrazne zvyšovala zložitosť a časová náročnosť procesu zvärania. Druhým dôvodom bola možnosť absencie svoriek. Pri procese bodového zvärania dochádza k stlačeniu dvoch zväraných častí zväracími kliešťami proti sebe, čím sa obmedzí ich pohyb a kliešte splnia zároveň úlohu svoriek. V tomto konkrétnom prípade bolo toto riešenie obzvlášť výhodné.

Pri následnej kontrole procesu zvárania v programe Process Simulate bola zistená nutnosť naklonenia celého upínacieho prípravku o 20°. Touto úpravou sa dosiahol jednoduchší prístup zváracích klieští, možnosť uložiť prípravky na základovej doske bližšie k sebe, a to pri zachovaní pohodlného zakladania dielov obsluhou. Posledným navrhovaným elementom bol držiak indukčných snímačov, indikujúcich prítomnosť zváraných dielov. Poloha držiaku musela byť na mieste, kde nebudú brániť zakladaniu dielov do prípravku a zároveň budú v dostatočnej blízkosti, aby snímali jeho prítomnosť. Za vhodné miesto bol vybraný jeden z oporných bodov, ktorého tvar bol upravený pre upevnenie páru indukčných snímačov. Výsledný prípravok je zobrazený na obrázku 7 a jednotlivé časti sú farebne odlíšené.

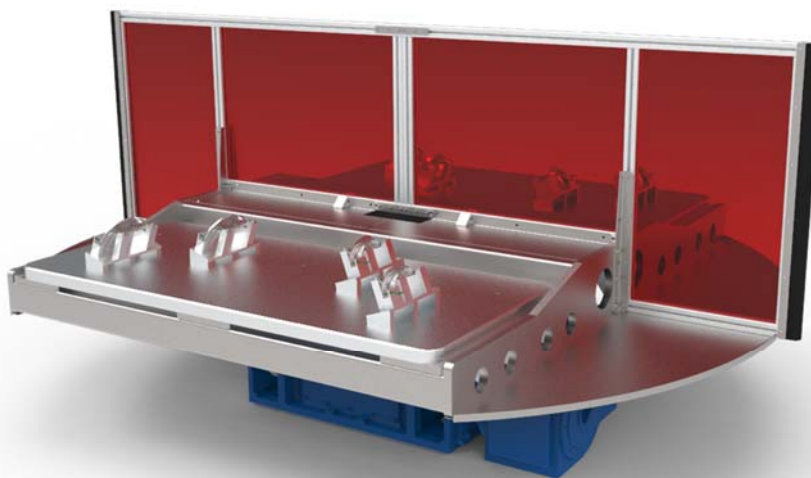


Obr. 7) Vizualizácia upínacieho prípravku

Poslednou hlavnou časťou otočného stolu je ochrana proti nebezpečenstvám vznikajúcim procesom bodového zvárania. Pre ochranu pracovníka pracujúceho v oblasti otočného stola v momente, keď je pracovný cyklus robota aktívny, musí byť pracovník chránený pred odlietajúcimi iskrami a kúskami kovu, pred splodinami vznikajúcimi pri zváraní, pred stykom pokožky s horúcim polotovarom a pred pohybom robota. Z tohto dôvodu boli na nosný rám pripevnené upínacie prvky pre hliníkové profily. Prostredníctvom systému hliníkových profilov bola navrhnutá zástena, ktorá vyplní zvyšnú časť priestoru medzi nosným rámom stola a ochranným oplotením bunky.

Ochranná zástena bola rozdelená do dvoch párov ochranných segmentov. Do každého zo segmentov bolo navrhnuté červené ochranné sklo, ktoré chráni zrak operátora pred ultrafialovým žiarením, no zároveň umožňuje vizuálne kontrolovať proces zvárania. Pri technológii bodového zvárania nie je operátor výroby vystavený pôsobeniu ultrafialového žiarenia, no sklo slúži v tomto prípade ako ochrana pred iskrením. Toto sklo bude chrániť operátora v prípade, že by sa technológia bodového zvárania v robotickej bunke zmenila na zváranie oblúkové.

Po vložení modelu zásteny do návrhovej zostavy robotickéj bunky bol zistený vznik strižnej hrany medzi hranami zásteny a ochranného oplotenia. Takéto nebezpečenstvo môže viesť k pomliaždeninám a iným poraneniam horných končatín operátora a bolo nutné pozmeniť dizajn zásteny. Šírka zásteny bola zredukovaná o 3 cm, čo viedlo k odstráneniu strižnej hrany, no vznikol priestor, cez ktorý mohli prenikať nebezpečné projektily vznikajúce pri zváraní. Pre vymedzenie tohto priestoru bola použitý gumený dilatačný prvok. Jeho pružné vlastnosti zamedzia prístupu nebezpečných projektilov a zároveň v prípade nebezpečenstva poranenia ruky poskytnú dostatočnú vôľu pre predchádzaniu zranenia.



Obr. 8) Návrh otočného stolu

Výsledný dizajn otočného stolu spĺňa všetky predpoklady zmienené v zadaní. Jeho kompozícia pozostáva z dielov, ktoré môžu byť jednoducho upravené pre použitie pri inom type zváraného dielu za použitia technológie bodového zvárania. Celková hmotnosť sa pohybuje približne na úrovni 500 kg. Zariadenie je kombináciou nakupovaných a vyrábaných dielov pre dosiahnutie najefektívnejšej varianty dodávky zariadení. Uprostred otočného stolu bol ponechaný otvor pre prívod obslužných médií. Prívod médií bude realizovaný káblovým a hadicovým vedením, pričom bude chránené ochranným návlekom voči mechanickému poškodeniu alebo voči poškodeniu prostredníctvom horúcich čiastočiek kovu tvorených pri bodovom zváraní. V prípade, že by sa takt bunky zvýšil, odporúča sa použiť otočný rozdeľovač médií pre zabezpečenie možnosti otáčania stolu o 360° a vyššiu ochranu prívodu médií. Bezpečnostné prvky zariadenia sú definované v kapitole 7, ktorá bližšie popisuje bezpečnostné zariadenia a nariadenia celej bunky.

4.3 Popis a kontrola tvaru bodovacích klieští pre robotické zváranie

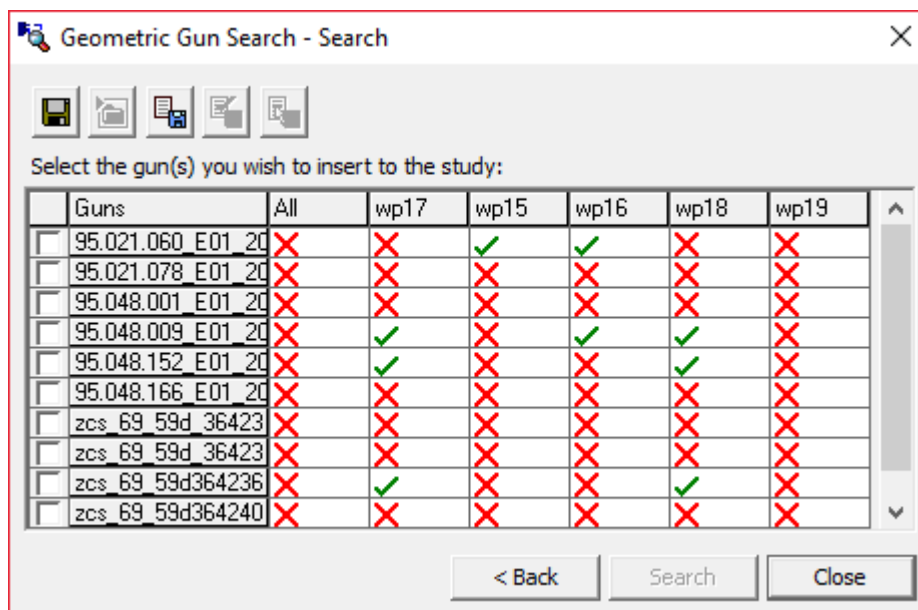
Jedným zo základných krokov pri navrhovaní bunky pre bodové zváranie je výber vhodných bodovacích klieští. Kliešte na bodovacie zváranie bývajú zvyčajne navrhované pre konkrétnu realizáciu. Existuje mnoho typov klieští, no najčastejšie používané sú typy priameho pôsobenia. Všeobecne známe ako kliešte typu „C“, kde je pracovný valec pripojený priamo k pohybujúcej sa elektróde a nožnicový typ známy aj ako typ „X“, kde je pracovný valec vzdialený od pohybujúcej sa elektródy, pričom sila pôsobí pomocou pákového mechanizmu. Kliešte typu C sú všeobecne najjednoduchšie, najlacnejšie a najčastejšie používané. V každom základnom type je mnoho variantov, ktoré sa týkajú tvaru a štýlu rámu a ramien a tiež funkcie, pre ktorú sú kliešte určené s ohľadom na zvárací prúd a tlak.

Pneumatické kliešte sú zvyčajne vhodnejšie v prípade rýchlych cyklov a cyklov s jednotnou silou zovretia elektród. Hydraulické kliešte sa používajú tam, kde je obmedzený priestor na manipuláciu alebo je potrebné vyvinúť vysoké sily zovretia elektród. V súčasnej dobe sa čoraz viac používajú aj kliešte s elektrickým servo pohonom. Kombinujú v sebe výhody oboch vyššie spomenutých typov, no ich cena je vyššia v porovnaní s konvenčnými kliešťami.

Ďalšou možnosťou delenia bodovacích klieští pre robotické použitie je použitie integrovaných alebo externých transformátorov. V súčasnej dobe sa čoraz častejšie používajú kliešte s integrovaným transformátorom, čo ponúka kompaktnosť systému ako celku, jednoduchšiu údržbu, vyššiu efektivitu procesu zvárania a tým aj zníženie nákladov vo výrobe. Ich hlavnou nevýhodou sú väčšie rozmery v porovnaní s kliešťami s externým transformátorom. V prípade klieští s externým transformátorom, môže byť transformátor upevnený priamo na robotovi alebo upevnený v okolí robota ako samostatne stojace zariadenie.

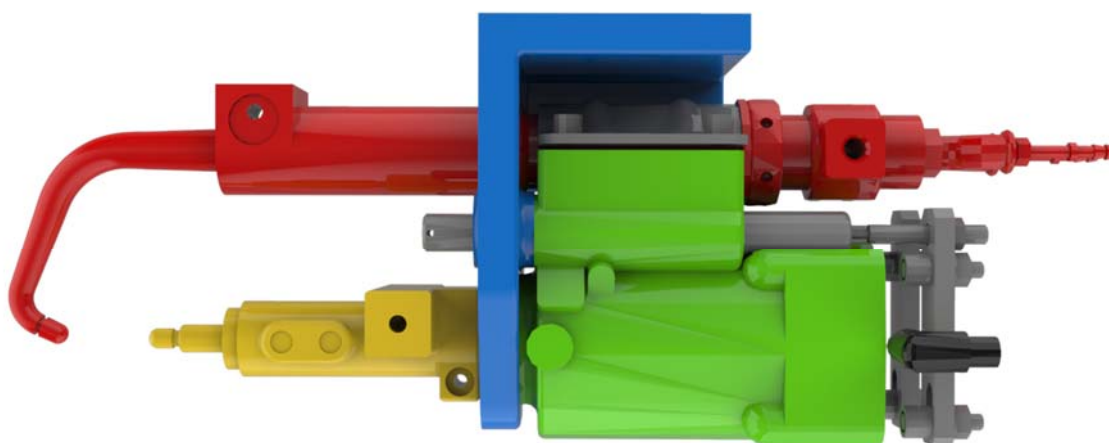
Pre potreby výberu bodovacích klieští pre robotickú bunku zo zadania, bola použitá knižnica modelov bodovacích klieští. Pri výbere vhodných klieští bolo žiadúce vybrať kliešte z tejto knižnice, no v prípade nevhodnosti žiadnych z poskytnutých modelov, bolo odporúčané využiť modularitu jednotlivých klieští a ich dizajn náležite upraviť pre potreby bunky. Za týmto účelom bol využitý software Process Simulate a jeho funkcia „Geometric Gun Search“. Táto funkcia obsahuje sprievodcu, ktorý uľahčí užívateľovi vybrať vhodné kliešte pre konkrétny proces zvárania. Užívateľ zvolí zdroj modelov klieští a software automaticky kontroluje prístup klieští k bodu zvaru a prípadnú kolíziu s okolitým prostredím. Po zadaní všetkých bodov zvaru, zdrojov modelov a ostatných nastavení, spustí software analýzu modelov. Výstupom analýzy je prehľadná tabuľka podľa obr. 9 s vyznačením dostupnosti bodov s ohľadom na geometriu zvolených bodovacích klieští a detekciu kolízií s ich okolím.

Takýmto spôsobom je efektívne, v priebehu niekoľkých sekúnd, prekontrolovaná celá knižnica modelov, ktorá obsahuje 33 rôznych modelov. Po vyhodnotení analýzy neboli nájdené žiadne kliešte vhodné pre daný typ operácie. Následne boli zváracie body zoskupené do dvoch skupín podľa prístupu zváracích klieští k zvaru. Body „A“ a „B“ podľa obr. 2 tvorili jednu skupinu s vertikálnym prístupom k zvaru a body „C“, „D“ a „E“ tvorili druhú skupinu s horizontálnym prístupom. Následne bola analýza zopakovaná a vyhodnotená podľa skupín bodov. Skupinu bodov C,D,E neboli schopné dosiahnuť žiadne z klieští v knižnici. Skupinu bodov A,B bolo možné dosiahnuť celkovo šiestimi modelmi klieští. Z užšieho výberu šiestich klieští boli vybrané len jedny, ktoré prešli následne drobnou zmenou dizajnu tak, aby s nimi bolo možné obslúžiť všetky miesta zvaru.



Obr. 9) Kontrola vhodnosti bodovacích klieští pomocou softwaru Process Simulate

Zvolené boli kliešte typu „C“ s pneumatickým pohonom a externým transformátorom upevneným na robotovi. Kliešte v pôvodnom stave neboli schopné dosiahnuť na bod zvaru z dvoch dôvodov. Prvým dôvodom bola kolízia pevného ramena s telesom zvarenca vzhľadom na jeho malé rozmery. Tento problém bol vyriešený tvarovaním pevnej elektródy do vhodného tvaru. Druhým problémom bol priemer špičky elektródy. Ten bol väčší ako samotný prelis na zvarenci, a preto nebolo možné dosiahnuť konzistentného spojenia medzi materiálom a elektródami. Za účelom odstránenia problému bol priemer špičky elektródy zmenšený na 6 mm.



Obr. 10) Bodovacie kliešte použité pri zváraní dielov

Výsledné kliešte pozostávajú zo štyroch hlavných častí zobrazených na obr. 10. Červenou farbou je vyznačená pevná medená elektróda, zelenou farbou pneumatický valec, ku ktorému je pripojená pohyblivá elektróda, vyznačená žltou farbou a držiaku v modrej farbe, ktorý spája všetky diely do jedného celku. Prostredníctvom bezpečnostnej príruby od firmy Schunk je následne efektor pripojený k príрубе robota. Vzhľadom na vykonané zmeny bolo nutné prepočítať všetky technologické výpočty, no za najdôležitejšie boli považované pevnostné výpočty pevnej elektródy a kontrola priemeru. Pri kontrole klieští a voľbe zváracích podmienok sa pracovalo najmä s tabuľkami od výrobcu, ktoré boli spracované na základe skúšok výrobcom. Podľa tabuliek bola stanovená sila zovretia pre zváranie plechov s celkovou hrúbkou 2,5mm približne 4,5 kN. Rovnako bol určený minimálny priemer špičky elektródy na úrovni 6 mm. Následne bola pevná elektróda podrobená pevnostnej analýze, podobne ako rám otočného stola. Výsledný priehyb bol 0,12 mm, čo vyhovuje pri kontrole voči všetkým medzným stavom a presnosť zariadenia pri zváraní zostáva zachovaná.

Po zaznamenaní zmien, následnej úprave modelu a kontrole softwarom Process Simulate bol návrh odoslaný výrobcovi klieští pre overenie vhodnosti návrhu a technologickosti bodovacích klieští. Návrh bol odsúhlasený na použitie pre danú technologickú operáciu.

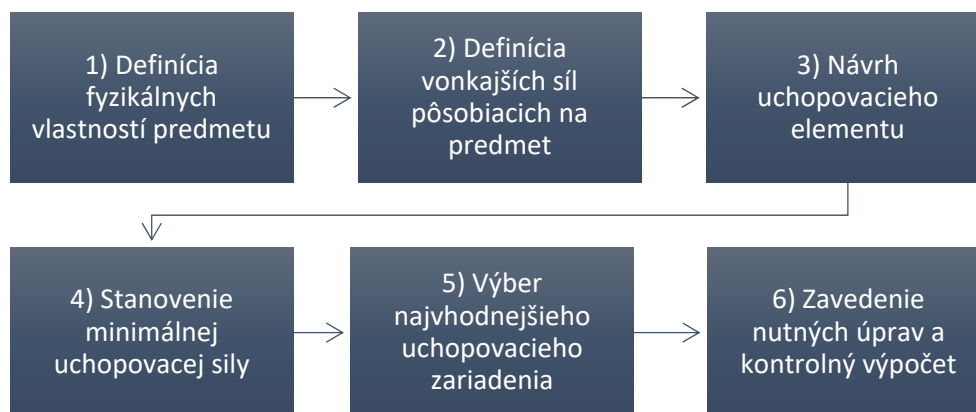
4.4 Návrh koncového efektora pre manipuláciu s produktami

Po voľbe varianty „A“ pre layout pracoviska v kapitole 4 bolo nutné navrhnuť viacúčelový efektor robota. Primárnu úlohu efektora (bodové zváranie) vykonávajú bodovacie kliešte. Jeho sekundárnou úlohou je prenášať hotové zvarence z otočného stola na príslušný dopravník pre transport k ďalšej operácii. Pri návrhu bolo nutné dbať na kompaktnosť, jednoduchosť a nízku hmotnosť celého efektora pre zachovanie agility celej sústavy.

V automobilovom priemysle a celkovo v automatizovaných linkách sa používajú na proces premiestňovania predmetov zariadenia známe ako mechanické „grippre“, čo v preklade z angličtiny znamená uchopovač. Mechanické uchopovače sa delia na dve hlavné skupiny. Pneumatické a elektrické. Pneumatické uchopovače sú v porovnaní s elektrickými spoľahlivejšie, ponúkajú širokú škálu veľkosti, rýchlejšie akčné časy, majú schopnosť produkovať podstatne väčšie sily, sú jednoduchšie na riadenie a obstarávacie náklady sú značne nižšie. Ich výhodou je taktiež možnosť pracovať v nebezpečných (výbušných) prostrediach. V prospech elektrických uchopovačov zas hovoria možnosti sledovania polohy v celom spektre pohybu prstov, kontroly uchopených dielov, variabilného nastavenia sily a rýchlosti zatvárania prstov pre rôzne operácie a vyššia efektívnosť v porovnaní s pneumatickými zariadeniami.

Po výbere vhodného média pre pohon uchopovača je nutné zvoliť vhodný mechanizmus uchopovania. Mechanizmy uchopovania sa delia podľa typu pohybu prstov na lineárne, rotačné alebo ich kombináciu v prípade komplikovanejších zariadení. Lineárne zariadenia reprezentujú paralelné grippre určené pre ploché predmety s dvomi rovnobežnými stenami a trojbodové grippre pre predmety valcového tvaru pričom prsty zostávajú paralelné počas celej doby pohybu. V prípade rotačných uchopovačov tvoria prsty zariadenia rotačný pohyb okolo osi otáčania.

Pri výbere vhodného uchopovacieho zariadenia je nutné poznať niekoľko faktorov ovplyvňujúcich jeho výber. Medzi najdôležitejšie faktory patria tvar a fyzikálne vlastnosti uchopovaného predmetu, jeho povrchová úprava, sily pôsobiace na predmet, trajektória pohybu a iné faktory ovplyvňujúce proces uchopenia. Pri výbere vhodného zariadenia sa postupovalo podľa diagramu na obr. 11.



Obr. 11) Vývojový diagram výberu uchopovacieho zariadenia

Postup výberu uchopovacieho zariadenia:

4.4.1 Definícia fyzikálnych vlastností predmetu

Fyzikálne vlastnosti predmetu vychádzajú z 3D modelu zvarenca popísaného v zadani diplomovej práce a sú prehľadne popísané v tab. 6.

Tab 6) Fyzikálne vlastnosti

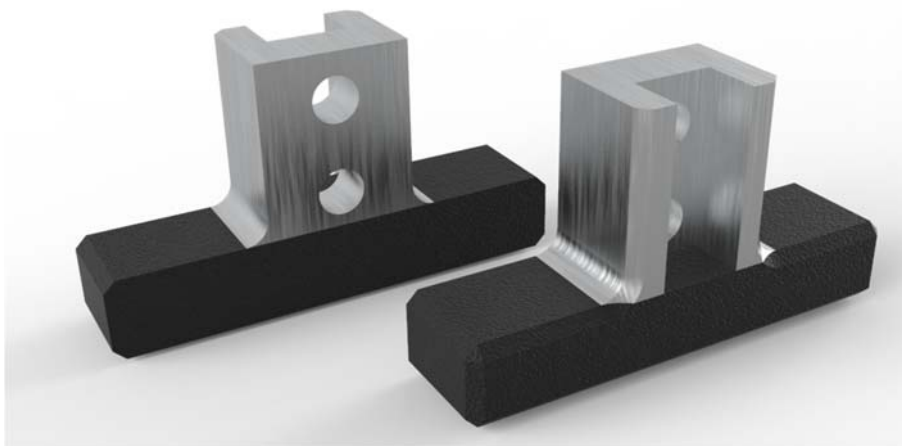
Objem	$2,858 \times 10^{-5} \text{ m}^3$	Hlavný moment zotrvačnosti M1	$8,103 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2$
Obsah	$0,035 \text{ m}^2$	Hlavný moment zotrvačnosti M2	$5,713 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2$
Hmotnosť	$0,225 \text{ kg}$	Hlavný moment zotrvačnosti M3	$5,748 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2$
Hustota	7860 kg.m^3		

4.4.2 Definícia vonkajších síl pôsobiacich na predmet

V prípade pohybu uchopeného predmetu robotom, vplývajú naň aj rôzne sily odvodené z trajektórie pohybu. Na základe trajektórie je následne možné určiť zrýchlenia pôsobiace v každom jej bode. V dátových listoch popisujúcich jednotlivých robotov avšak nájdeme len hodnoty zrýchlení jednotlivých osí. Pre určenie maximálneho momentu je možné použiť funkcie simulačného programu Process Simulate a jeho RCS modul pre daného robota. Po nasimulovaní jednotlivých trajektórií je možné vykresliť priebeh zrýchlení pôsobiacich na konkrétnu osu robota v priebehu celej simulácie a následne je možné určiť zrýchlenie TCP bodu. Pri návrhu sa uvažuje s lineárnou trajektóriou predmetu. Avšak takýto proces riešenia by bol v tomto stave návrhu zdĺhavý vzhľadom na neúplnú špecifikáciu všetkých komponentov, a preto sa bude uvažovať hodnota 12 m.s^{-2} , ktorá je používaná v praxi a výpočet bude overený simuláciou po namodelovaní celého pracoviska.

4.4.3 Návrh uchopovacieho elementu

Pri návrhu sa dbalo na dodržanie kľúčových vlastností celého efektoru robota pri zaistení všetkých bezpečnostných požiadaviek na uchopovacie zariadenie. Uchopovací člen bol navrhnutý pre dosiahnutie dostatočnej styčnej plochy medzi elementom a prenášaným dielom. Ako vhodný materiál bol opäť zvolený materiál EN AW 7019. Aj v tomto prípade sú jeho hlavnými výhodami nízka hmotnosť, rozmerová stálosť a odolnosť voči mechanickému poškodeniu. Povrch v oblasti styčnej plochy s prenášaným predmetom je navrhovaný ako pogumovaný z dôvodu zvýšenia adhézie a zníženia požadovanej sily zovretia. Ideový návrh je zobrazený na obr. 12 a ďalej bude upravený podľa potrieb procesu a výsledkov v bode 5.4.4.



Obr. 12) Ideový návrh uchopovacieho elementu

4.4.4 Stanovenie minimálnej uchopovacej sily a kontrola vonkajších síl

Pre výpočet uchopovacej sily je používaný jeden z najzákladnejších vzorcov fyziky, vzorec pre výpočet trecej sily, ktorý je doplnený o bezpečnostný koeficient pre zabezpečenie vhodnej výkonovej rezervy zariadenia.

Sila uchopenia v statickom stave

$$F_{GR} \geq \frac{m * g}{f} * s \quad (1)$$

$$F_{GR} \geq \frac{0,225 * 9,81}{0,85} * 2$$

$$F_{GR} \geq 5,518N$$

- F_{GR} – Sila uchopenia [N]
- m – Hmotnosť telesa [kg]
- g – Gravitačné zrýchlenie [$m \cdot s^{-2}$]
- f – Súčiniteľ šmykového trenia
- s – Bezpečnostný koeficient

Sila uchopenia pri zrýchlení 12 m.s⁻²

- Pre obsiahnutie najhoršej varianty sa uvažuje rovnaký smer zrýchlenia a gravitačného zrýchlenia

$$F_{GR} \geq \frac{m * (g + a)}{f} * s \quad (2)$$

$$F_{GR} \geq \frac{0,225 * (9,81 + 12)}{0,85} * 2$$

$$F_{GR} \geq 12,268N$$

Sila uchopenia pri krízovom zastavení robota

- Pri núdzovom zastavení robota vzniká až 20-30 násobné preťaženie, čo spôsobí nutnosť väčšej sily uchopenia

$$F_{GR} \geq \frac{m * g}{f} * s_{extrem} \quad (3)$$

$$F_{GR} \geq \frac{0,225 * 9,81}{0,85} * 25$$

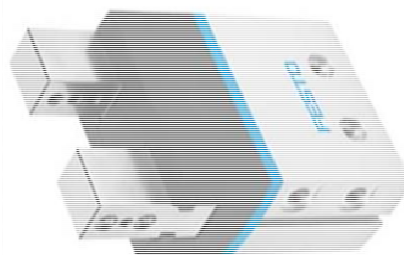
$$F_{GR} \geq 64,919N$$

4.4.5 Výber najvhodnejšieho uchopovacieho zariadenia

Na základe vypočítaných hodnôt v predošlom kroku je teraz možné vybrať vhodné uchopovacie zariadenie. Vybrané zariadenie by malo splňať minimálnu silu úchopu 65N a zároveň dosahovať čo najmenšie rozmery. Po zvážení všetkých skutočností popísaných vyššie bolo vybrané zariadenie DHPS 10 od spoločnosti Festo zobrazené na obr. 13. Jedná sa o pneumatické uchopovacie zariadenie s dvoma lineárne posuvnými prstami. Jeho maximálna sila úchopu pri zatváraní je 70 N, čo je podľa výpočtov dostatočná hodnota a toto zariadenie je vhodné na použitie uvažovaným spôsobom.

4.4.6 Zavedenie nutných úprav a kontrolné výpočty

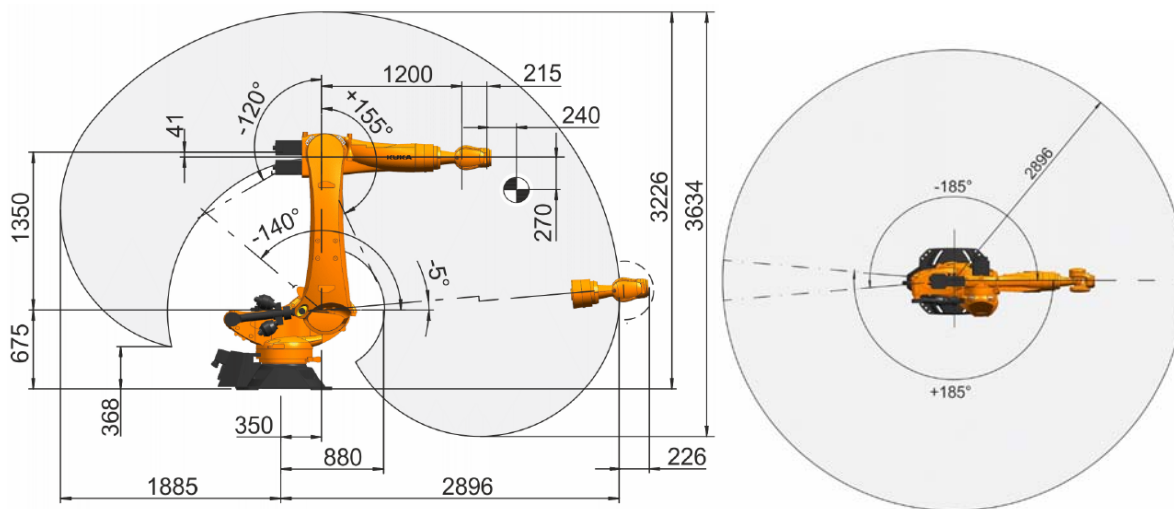
V tomto prípade bolo nájdené vhodné zariadenie a nebolo nutné zavádzať žiadne zmeny. Ak by nastala situácia nedostatočnej uchopovacej sily je možné upraviť niektoré premenné vstupujúce do výpočtu. Jedným z nich je možnosť zvýšenia súčiniteľa šmykového trenia. Ten je možné zvýšiť použitím iného materiálu alebo napríklad vrubovaním v oblasti styku uchopovacieho elementu a produktu. Ďalšou možnosťou je zvýšiť pracovný tlak uchopovacieho zariadenia, no v praxi sa to dá len ťažko dosiahnuť vzhľadom na bežne používaný tlak v priemyselných rozvodoch 6 Bar.



Obr. 13) Uchopovacie zariadenie Festo DHPS 10 – zdroj Festo [5]

4.5 Výber vhodného robota na bodové zváranie

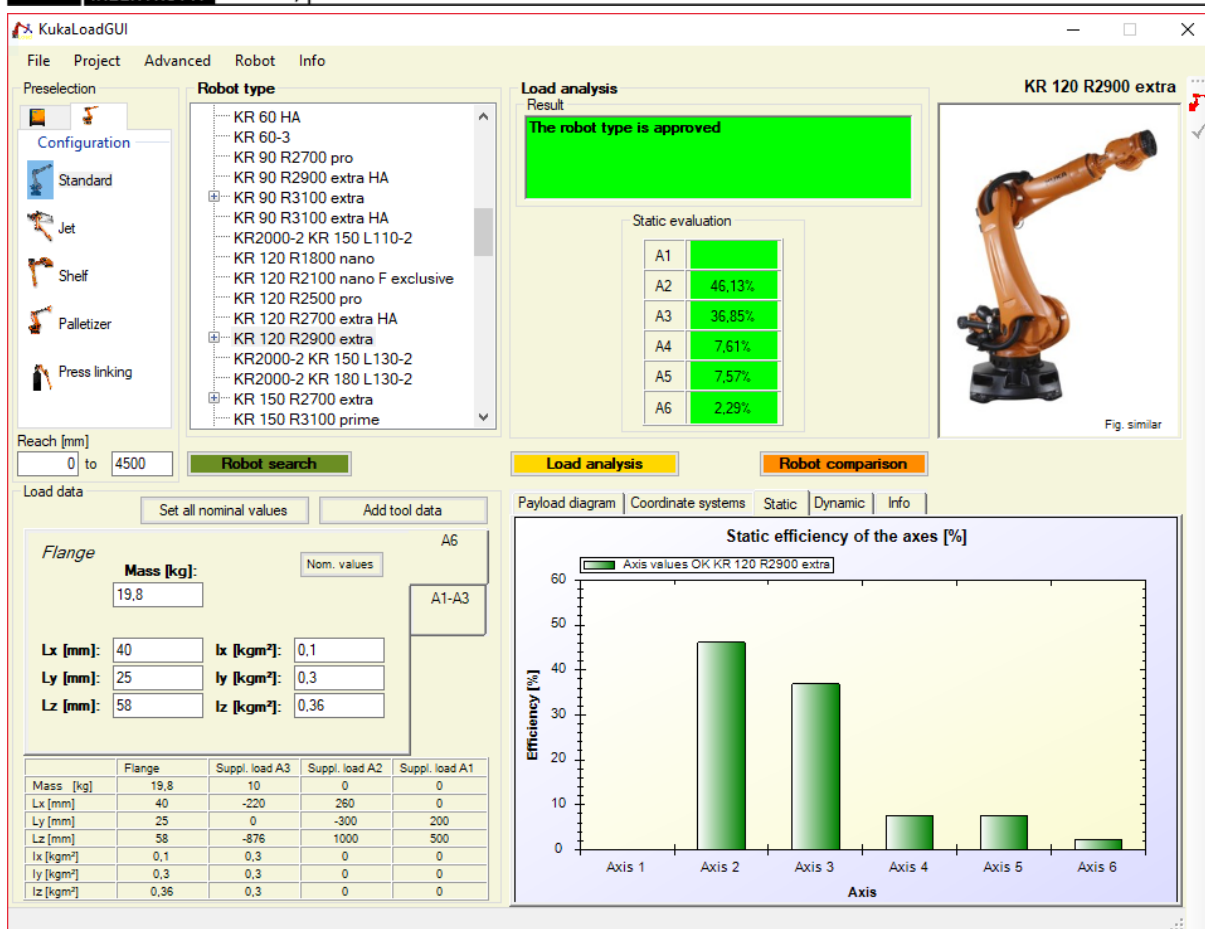
Po navrhnutí efektoru je možné pristúpiť k výberu vhodného robota. Ako bolo spomenuté v kapitole č. 4, robot bude vybraný z robotov rady KR QUANTEC extra od výrobcu Kuka. Jednotlivé modely sa od seba odlišujú nosnosťou, dosahom a cenou. Pomocou CAD softwaru bola odhadnutá hmotnosť celého efektoru na 19,8 kg vrátane dvoch kusov zvarencov. To značí možnosť voľby ľubovoľného zo spomínaných robotov. Ak by bol zvolený robot KR 90, disponoval by veľkou výkonovou rezervou, no v prípade použitia bodovacích klieští s integrovaným transformátorom, ktorých hmotnosť pohybuje na úrovni 80 kg by sa v budúcnosti mohlo jednať o limitujúci faktor. Vzhľadom na tento fakt bol za vhodný typ robota zvolený robot KUKA KR 120 R2900 extra.



Obr. 14) Pracovný priestor robota KR 120 R2900 extra [6]

Zvoleného robota je následne nutné skontrolovať vzhľadom na zaťaženie príruby. Pre tieto potreby disponuje spoločnosť KUKA softwarom Kuka Load. Tento software slúži ako nástroj na kontrolu zaťaženia robota, hľadanie vhodného robota pre dané zaťaženie, výpočet zaťaženia jednotlivých osí, vytváranie podrobných reportov a mnoho iného. Po zadaní základných vstupných údajov ako sú hmotnosť, vzdialenosť ťažiska alebo hodnoty klopných momentov pôsobiacich na prírubu robota, program navrhne vhodného robota alebo pri manuálnom zvolení robota zhodnotí jeho zaťaženie. V prípade preťaženia upozorní užívateľa na nadmerné zaťaženie a navrhne vhodného robota.

Pri zadaní konkrétnych hodnôt vyrátaných v predošlom návrhu efektoru do programu Kuka Load, systém vyhodnotil pre tento efektor ako dostatočného robota KUKA KR 60 pri zaťažení 84,86% na ose A2. Pri výbere vhodného robota určeného pre automobilový priemysel sa neodporúča prekročiť 85% zaťaženie jednotlivých osí pre zachovanie výkonnej rezervy pre prípadné úpravy a nepresnosti vo výpočtoch. V prípade manuálneho zadania robota KR 120 R2900 vychádza maximálne zaťaženie na osi A2 a to 46,13% tak, ako je to zobrazené na obr. 14. Na základe týchto výpočtov považujem robota za vhodného na plnenie predpokladanej činnosti.



Obr. 15) Výpočet zaťaženia robota pomocou softwaru Kuka Load 5.0

4.6 Návrh gravitačného zásobníka

Spádové zásobníky tvoria neoddeliteľnú súčasť procesov všade tam, kde je potrebné zásobovať proces rôznymi drobnými dielmi. Spádové zásobníky tvoria kovové, prípadne plastové konštrukčné prvky doplnené valivými elementami uloženými s určitým sklonom tak, aby bol zabezpečený pohyb prepravných boxov.

Spádové zásobníky napomáhajú k úspore času a miesta a poskytujú výbornú kontrolu nad skladovými zásobami. Významnou výhodou spádových zásobníkov je bezpečnosť prepravy jednotlivých skladovacích jednotiek. Jednotlivé valivé elementy v zásobníkoch sú brzdené, čo zabezpečuje rovnomerný a bezpečný pohyb prepravovaných dielov.

V zadaní problému boli definované vstupné parametre pre návrh spádového zásobníka. Zásobník má byť schopný poňať minimálne 30 prepravných jednotiek s rozmermi 297x198x147mm (D x Š x V), pričom každá z prepravných krabíc bude obsahovať 25 polotovarov určených pre bodové zváranie. Celková hmotnosť jednej prepravnej jednotky bude približne 3kg, čo udáva minimálnu nosnosť zásobníku vrátane bezpečnostného koeficientu na úrovni 100 kg. Ďalej je požadované, aby sa na zásobníku nachádzal aj priestor pre odkladanie prázdnych krabíc po použití všetkých polotovarov v procese výroby.

Na základe týchto požiadaviek bol zvolený modulárny systém gravitačných zásobníkov od spoločnosti G.S. ACE. Spoločnosť má široké portfólio, výbornú dostupnosť, lokálne zastúpenie a výrazné zastúpenie vo viacerých automobilkách. Modulárny systém umožňuje tvorbu rozličných systémov pre splnenie všetkých potrieb návrhu.

Návrh konkrétneho spádového zásobníka vychádzal z maximálnych možných rozmerov daných rozložením bunky. Po oboch stranách priestoru určeného na pohyb operátora pred otočným stolom vznikol priestor vhodný pre pozíciu zásobníka o veľkosti 1480 x 1060 mm. Vzhľadom na ergonomickosť pracoviska museli byť prepravky s polotovarmi uložené v rozmedzí 1000 – 1500 mm nad zemou, aby zbytočne nezaťažovali pracovníka. Po prvotnom rozvrhnutí prepraviek bolo zrejme, že prepravky budú musieť byť skladované v dvoch úrovniach po 15 kusov. Pre zabezpečenie lepšieho dosahu na polotovary, bol navrhnutý väčší sklon prvej prepravky o 16 stupňov. Takýto náklon prepravky umožní obsluhu jednoduchšie uchopenie predmetov a lepší prehľad o počte zostávajúcich kusov v prepravke.

Po použití všetkých polotovarov, je prepravka ďalej preložená na časť zásobníka určenú pre odvod prázdnych prepraviek. Tu sa prepravky postupne stohujú a sú pravidelne obmieňané za plné zásobovaním podniku. Na spodnej časti zásobníka sú umiestnené priemyselné kolieska s možnosťou zabrzdzenia, čo umožňuje flexibilitu zásobníka a jednoduchosť údržby pracoviska.



Obr. 16) Návrh spádového zásobníka

5 STANOVENIE FINÁLNEHO LAYOUTU BUNKY

Na základe návrhového layoutu „A“ popísaného v kapitole č. 4 bol vypracovaný finálny layout pracoviska. Návrh zohľadňuje detailné 3D spracovanie hlavných prvkov ako sú otočný stôl alebo bodovacie roboty, dopravníky, riadiace rozvádzače, podružné rozvádzače, gravitačné zásobníky a ochranné oplotenie. Všetky prvky zostavy boli umiestnené s ohľadom na minimalizáciu rizika spojeného s procesom robotického zvarovania, zvýšenia efektívnosti procesu a zlepšenie ergonómie pracoviska. V práci je ďalej spracovaná bezpečnosť robotizovaného pracoviska, jeho simulácia a celková analýza časovej náročnosti procesu.



Obr. 17) Finálny layout bunky

6 NÁVRH BEZPEČNOSTNÝCH PRVKOV BUNKY

Už od počiatku vzniku robotov boli ich hlavnými výhodami možnosť manipulácie s veľmi ťažkými bremenami a flexibilita v celom rozsahu pohybu. A práve tieto hlavné výhody predstavujú najväčšie nebezpečenstvo pre pracovníkov, ktorí pracujú v ich okolí. V súčasnosti sa roboty umiestňujú do oploteného pracovného priestoru, aby sa zabránilo zraneniam obsluhy. Oplotenie býva zväčša doplnené rôznymi bezpečnostnými prvkami ako sú svetelné závary, skenery, bezpečnostné blokovacie spínače a iné. Všetky zabezpečovacie prvky musia byť vybrané a zostavené na základe viacerých nariadení a noriem, ktoré sú popísané ďalej v práci.

Pre bezpečnosť strojných zariadení, ku ktorým patria aj robotizované pracoviská, je najvýznamnejším nariadením Smernica Európskeho Parlamentu a Rady 2006/42/ES zo 17. Mája 2006 o strojných zariadeniach a o zmene a doplnení smernice 95/16 ES. Tá sa vzťahuje na strojové zariadenia, vymeniteľné a prídavné zariadenia, bezpečnostné časti, zdvíhacie príslušenstvo, reťaze laná a záchytné pásy, odnímateľné zariadenia pre mechanický prenos a čiastočne skompletizované strojové zariadenia. [7]

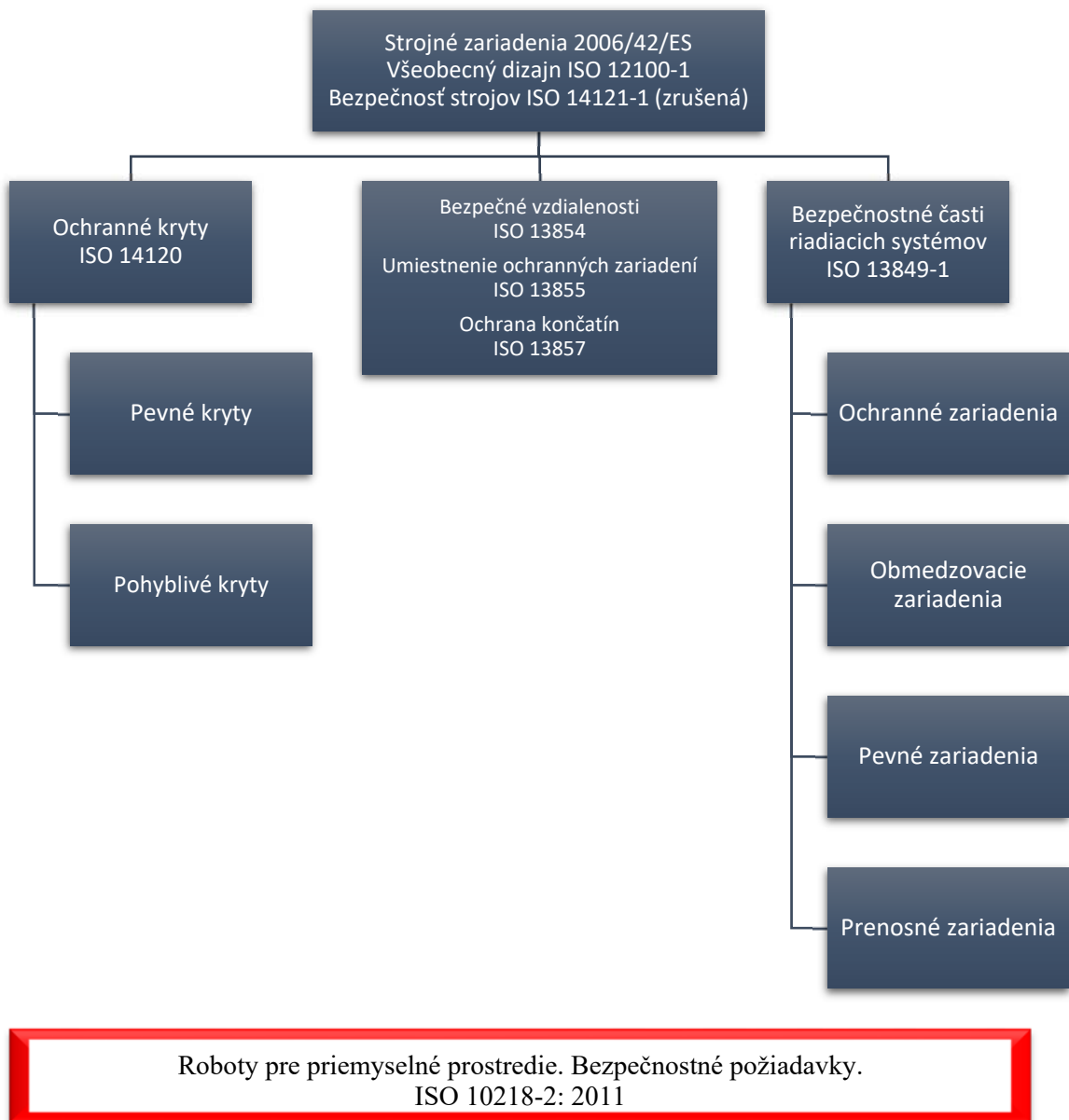
Ďalšou dôležitou normou pri návrhu je norma ISO 12100 „Bezpečnosť strojov. Všeobecné zásady konštruovania strojov. Posudzovanie a znižovanie rizika.“. Táto medzinárodná norma špecifikuje základnú terminológiu, zásady a metodiku pre dosiahnutie bezpečnosti pri konštrukcii strojného zariadenia. Špecifikuje zásady hodnotenia rizík a znižovania rizík, ktoré pomôžu projektantom pri dosahovaní tohto cieľa. Tieto zásady sú založené na vedomostiach a skúsenostiach s projektovaním, používaním, nehodami a rizikami spojenými so strojmi. V norme sú opísané postupy identifikácie nebezpečenstiev, odhadovania a hodnotenia rizík počas príslušných fáz životného cyklu stroja a postupy pre odstránenie nebezpečenstiev alebo zaistenia minimálneho rizika. V norme sa uvádzajú usmernenia týkajúce sa dokumentácie, hodnotenia rizík a znižovania rizík spojených so zariadením. [8]

Pri návrhu strojného zariadenia je nutné dbať aj na ďalšie normy popisujúce jednotlivé časti zariadenia ako je napr. norma STN EN 614-1 „Bezpečnosť strojov. Zásady ergonomického navrhovania“ alebo norma STN EN 60204-1 „Bezpečnosť strojných zariadení. Elektrické zariadenia strojov.“ Táto norma uvádza požiadavky a odporúčania týkajúce sa elektrického zariadenia strojov, ktoré sa zameriavajú na bezpečnosť osôb a majetku, dôslednosť riadenia a ľahkosť údržby.

V závislosti od účelu robotizovaného pracoviska, existuje široká škála bezpečnostných riešení. V tejto kapitole sú bližšie popísané základné bezpečnostné požiadavky na malé robotické bunky. Voľba najvhodnejšieho súboru bezpečnostných prvkov a zariadení záleží od konkrétnej činnosti robota, jeho pracovnej oblasti a existencie rizík spojených s funkciou zaradenia. Najvhodnejším súborom bezpečnostných prvkov je v princípe súbor, ktorý poskytuje maximálnu ochranu operátora pri minimálnom dopade na zariadenia alebo na výrobný proces.

Kľúčovú úlohu na poli bezpečnosti v robotizovaných bunkách zohrávajú bezpečnostné programovateľné logické jednotky (Safety PLC). Zhromažďujú vstupné dáta zo skenerov o prítomnosti osoby v pracovnom priestore robota s vysokou obnovovacou frekvenciou, ako aj vstupy z bezpečnostných zariadení ako sú e-stopy, ovládače, snímače, bezpečnostné spínače a podobne. Výstupy bezpečnostného PLC ovládajú napájanie robota, jeho servo pohony, ale aj všetky ostatné zariadenia v bunke.

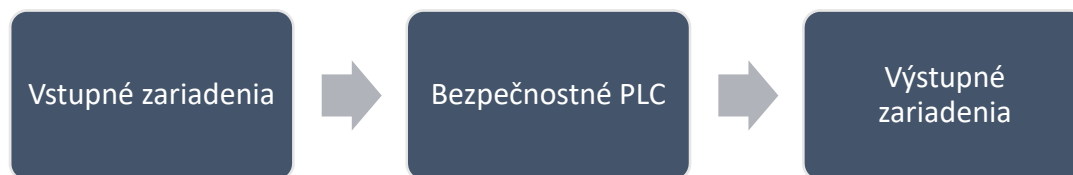
Hierarchické zobrazenie jednotlivých noriem a predpisov vplývajúcich na robotizované pracovisko je na obr 18.



Obr. 18) Základné normy a nariadenia pre robotizované pracovisko [7],[8]

Bezpečnostné zariadenia sa používajú pre zistenie vstupu do nebezpečného priestoru. Ak je zisťovanie prítomnosti osoby v nebezpečnom priestore zvolené ako hlavná metóda znižovania rizika, musí byť použitý kompletný systém bezpečnostných zariadení. Samostatné zariadenie neposkytuje očakávané zníženie rizika.

Takýto bezpečnostný systém sa väčšinou skladá z troch základných blokov. Na začiatku systému je vstupné zariadenie, ktoré sníma prístup k nebezpečenstvu, nasledované logickým zariadením PLC, ktoré spracúva signály zo vstupného zariadenia, kontroluje stav bezpečnostného systému a zapína alebo vypína výstupné zariadenia. Systém uzatvára výstupné zariadenie ktoré ovláda akčné členy zariadenia (napr. motor).



Obr. 19) Schéma jednoduchého bezpečnostného systému

Na trhu je k dispozícii mnoho zariadení na zistenie prítomnosti osoby, ktorá vstupuje do nebezpečného priestoru alebo sa v ňom už nachádza. Najvhodnejšia voľba pre konkrétne riešenie závisí od mnohých faktorov:

- Frekvencia vstupu do bezpečnostného priestoru
- Doba zastavenia nebezpečenstva
- Význam dokončenia cyklu operácie
- Prítomnosť pohyblivých predmetov, tekutín, hmly, výparov a iných substancií v kontrolovanom priestore

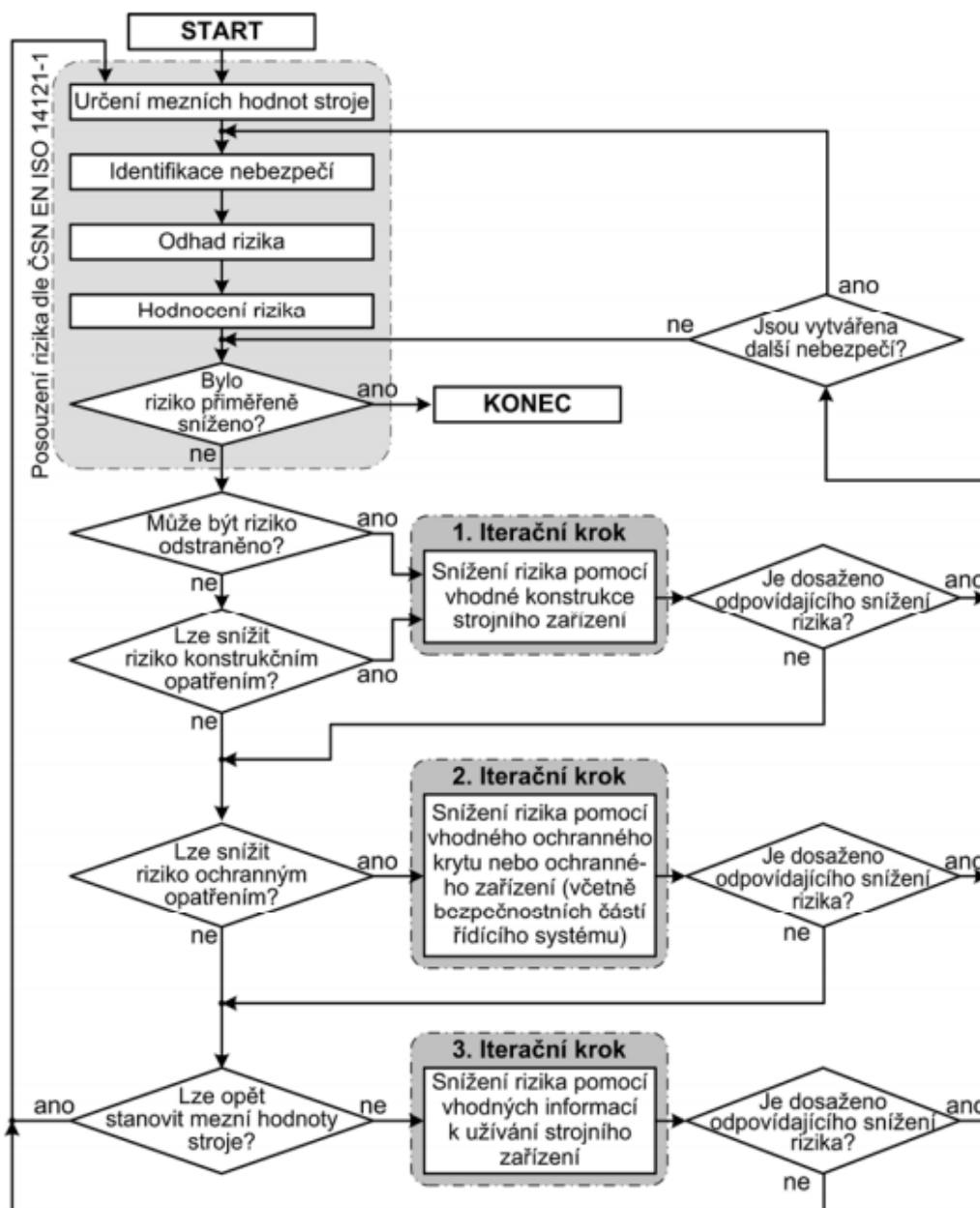
Najlepším výberom bezpečnostného opatrenia je zariadenie alebo systém, ktorý poskytuje maximálnu ochranu s minimálnymi prekážkami pre obsluhu stroja. Je nutné zvážiť všetky aspekty používania strojov, pretože prax ukazuje, že bezpečnostný systém náročný na obsluhu býva častokrát preklenutý alebo úplne odstránený.

Pri rozhodovaní o vlastnostiach bezpečnostnej zóny je nutné určiť, aké bezpečnostné funkcie sú nutné pre bezpečný chod zariadenia. V praxi sa využívajú najčastejšie nasledovné dva spôsoby:

- Vypnutie alebo odpojenie napájania, v momente, keď operátor vstúpi do bezpečnostnej zóny
- Zabráni zapnutiu alebo pripojeniu napájania, keď sa operátor nachádza v bezpečnostnej zóne

6.1 Analýza rizik a bezpečnostní opatření

Bezpečná prevádzka zariadenia je jedným z hlavných bodov návrhu zariadenia. Pre dosiahnutie vhodnej bezpečnosti zariadenia je nevyhnutné správne definovať všetky riziká spojené s jeho prevádzkou. Ako už bolo spomenuté, proces zisťovania rizík a metodika ich posudzovania je popísaná normou ISO 12100. Táto norma delí celý proces na časť analýzy rizík a trojkrokovej metódy redukcie rizika.



Obr. 20) Vývojový diagram managementu rizik [9]

Počiatok celého procesu znižovania rizík začína pri analýze rizík podľa STN EN 14121, ktorá bola neskôr nahradená komplexnejšou normou ISO EN 12100. Pri analýze rizík je nutné brať do úvahy, že pracovisko pozostáva z veľkého množstva samostatných zariadení, ktoré sú zdrojom ohrozenia a môžu byť príčinou škôd na majetku alebo zranení osôb pohybujúcich sa v bezprostrednej blízkosti stroja. Analýzu rizík a najmä jej prvé dva kroky „Určenie medzných hodnôt stroja“ a „Identifikácia rizík“ je nutné vykonať pre celý životný cyklus zariadenia. To zahŕňa jeho výrobu, prepravu a montáž, uvedenie do prevádzky, používanie a vyradenie z prevádzky (likvidáciu).

Riziká spojené so zariadením môžeme deliť na menšie podskupiny [8]:

- Mechanické riziká (Zachytenie, vťahnutie, zovretie, stlačenie, uviaznutie, atď.)
- Elektrické riziká (Kontakt so živými časťami stroja, statická elektrina, atď.)
- Tepelné riziká (Popálenie, explózia, radiácia zo zdrojov tepla, atď.)
- Zvukové riziká (Nadmerná hlučnosť zariadenia)
- Riziká spojené s vibráciami (Poranenie celého tela, najmä rúk, ramien a spodnej časti chrbta)
- Riziká spojené so žiarením (pôsobenie nízkych frekvencií, ultrafialového a infračerveného svetla, röntgenového žiarenia, atď.)
- Riziká spojené s materiálom (toxíny, prach, výpary, atď.)

Na základe identifikovaných rizík je možné im priradiť hodnotu, vyjadrujúcu mieru ich nebezpečenstva na základe pravdepodobnosti ich výskytu a závažnosti. Podľa hodnotenia rizika je následne rozhodnuté, či je riziko primerane nízke alebo musí byť znížené. V prípade vysokého rizika musia byť prijaté opatrenia, ktoré toto riziko znížia prípadne úplne eliminujú.

Podľa normy STN EN ISO 14121-1 sa hodnotenie rizík vykonáva na základe určenia závažnosti škody a pravdepodobnosti výskytu podľa nasledujúcich kritérií:

Závažnosť škody (úrazu) „S“:

- Žiadne nebezpečenstvo (S0)
- Ľahké poškodenie s prechodnými následkami (S1)
- Ťažké zranenie s trvalými následkami (S2)
- Smrť (S3)

Vystavenie osôb nebezpečenstvu „A“:

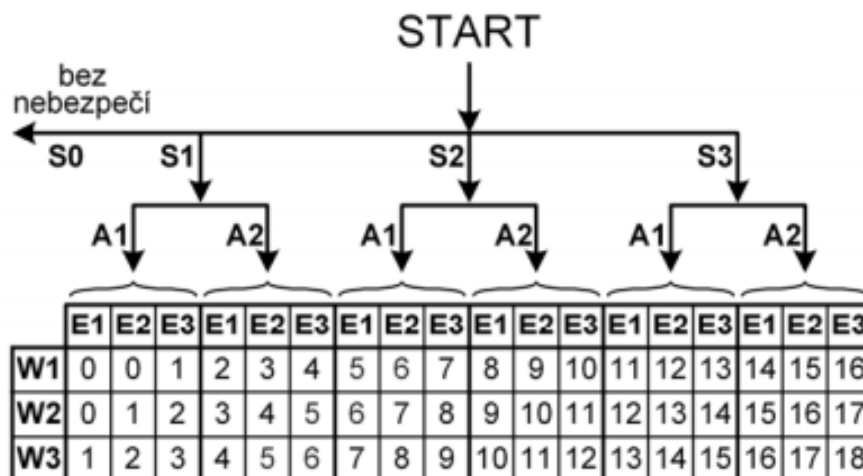
- Zriedka až častejšie (A1)
- Často až trvale (A2)

Možnosť vyvarovania sa škody (úrazu) „E“:

- Možné (E1)
- Možné za určitých okolností (E2)
- Sotva možné (E3)

Pravdepodobnosť výskytu škody „W“:

- Malá či nepravdepodobná (W1)
- Stredná (W2)
- Veľká (W3)



Obr. 21) Graf pre odhad rizík [9]

Na základe uvedeného grafu môže riziko spojené so zariadením nadobúdať hodnoty od 0 do 18. Pre posúdenie rizík je nutné určiť hranicu akceptovateľnosti rizika. Riziko s rozsahom hodnôt od 0 do 4 sa považuje za prijateľné riziko, v rozsahu od 5 do 6 sa jedná o riziko prijateľné po preverení a v rozsahu od 7 do 18 hovoríme o neakceptovateľnom riziku.

Ako príklad pri posudzovaní rizika bunky na bodové zváranie a manipuláciu bolo zvolené riziko pomliaždenia končatín obsluhy. Pri tomto riziku je možnosť smrteľného úrazu (S3) s častým až trvalým vystavením riziku (A2), s malou možnosťou vyvarovania sa škodám alebo úrazom (E3) a s vysokou mierou pravdepodobnosti výskytu (W2). Výsledné riziko bunky bez použitia opatrení bolo analyzované a evaluované podľa grafu na obr. 21 na hodnotu 15.

Po vyhodnotení a analýze príslušných rizík je nutné nevhodné riziká optimalizovať a redukovať. Redukcia prebieha podľa spomínanej normy STN EN ISO 12100, a to pomocou trojkrokovej metódy. Metóda pozostáva z:

Krok 1: Opatrenia zabudované v konštrukcii

Už pri návrhu bunky bolo cieľom dosiahnuť konštrukciu zariadenia, ktoré nebude vystavovať obsluhu nadmernému nebezpečenstvu. To zahŕňa elimináciu nebezpečných výčnelkov, zachovanie dobrej viditeľnosti, použitie vhodných materiálov a kvalitných komponentov, použitie diagnostického systému a pod.. Pri návrhu boli rovnako uvažované faktory ako sú veľkosť a dosah robota, jeho pozícia voči pracovnému priestoru obsluhy, rozmery otočného stola, jeho príslušenstvo a iné.

Krok 2: Zníženie rizika pomocou vhodného ochranného krytu alebo ochranného zariadenia

Prvý krok eliminácie rizika nebol vyhodnotený ako dostatočný, a preto bolo nutné použiť druhý krok metódy. Druhý krok zahŕňal implementáciu pevného oplatenia pracovného priestoru robota doplneného pohyblivým krytom (dverami) s blokovacím spínačom. Táto ochrana bude izolovať obsluhu od robota a odpojí napájanie robotov a ostatných zariadení v prípade otvorených dverí. Pracovný priestor obsluhy je chránený svetelnými závorami a laserovým skenerom vo vhodnej vzdialenosti od nebezpečenstva. Všetky tieto zariadenia boli ešte doplnené doplnkovými bezpečnostnými zariadeniami, ako sú núdzové vypínače. Všetky tieto bezpečnostné prvky, ich výber a určenie polohy sú popísané v nasledujúcich kapitolách.

Krok 3: Zníženie rizika pomocou vhodných informácií k užívaniu strojného zariadenia

Pre dosiahnutie minimálneho rizika boli použité zariadenia na svetelnú a zvukovú signalizáciu stavu bunky. Na jednotlivé zariadenia boli upevnené výstražné nápisy varujúce pred zvyškovým rizikom. Posledným krokom pre minimalizáciu rizika je príprava podrobného návodu na použitie a školenie, kde bude popísaný vhodný pracovný postup pri obsluhu a údržbe zariadenia. (Vypracovanie návrhu na obsluhu však nie je predmetom tejto diplomovej práce).

Komplexné riešenie bezpečnosti tak zložitého zariadenia, akým je robotizované pracovisko, vyžaduje vykonať analýzu rizík funkčnej bezpečnosti stroja. Táto analýza je súčasťou analýzy rizík konštrukcie stroja v zmysle normy STN EN ISO 13849-1. V prípade, že nie je možné zaistiť bezpečnosť zariadenia jeho vhodnou konštrukciou, konštruktér je nútený navrhnúť funkčnú bezpečnosť stroja (krok 2 redukcie rizík). Hodnotenie funkčnej bezpečnosti sa vykonáva pomocou určenia výkonnostných úrovní PL (*Performance level*). Tieto výkonnostné úrovne sú definované na základe pravdepodobnosti vzniku nebezpečnej poruchy za hodinu podľa tabuľky 7. [10]

Tab 7) Delenie výkonnostných úrovní

PL	Priemerná pravdepodobnosť výskytu nebezpečnej poruchy za hodinu
a	$\geq 10^{-5} < 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6} < 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6} < 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7} < 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8} < 10^{-7}$

Keďže vyžadovaná výkonnostná úroveň PL_r bunky nie je stanovená normou alebo iným technickým predpisom, musela byť stanovená pri hodnotení rizika. Pre určenie úrovne PL_r bol použitý graf na obr. 22. Diagram je rozdelený podobne ako diagram pre odhad rizík na viacero vetiev podľa:

Závažnosti zranenia

S1 - ľahké

S2 – závažné

Frekvencie alebo trvania ohrozenia

F1 – zriedka až málo časté a/alebo doba vystavenia je krátka

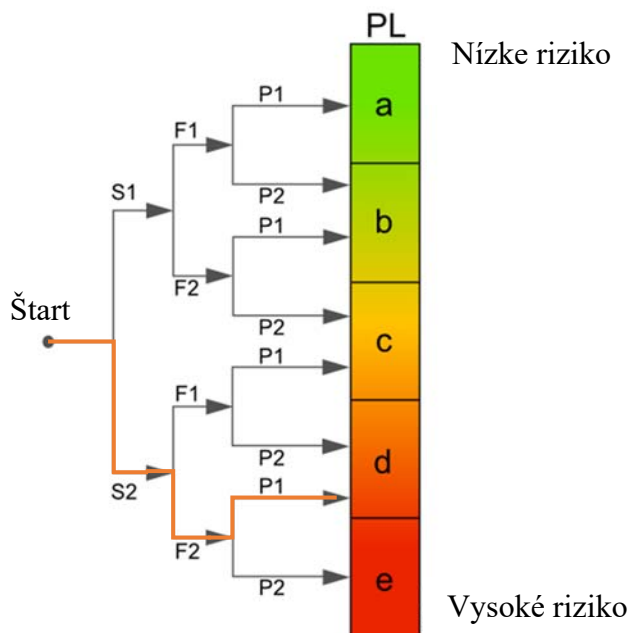
F2 – častá až nepretržitá a/alebo doba vystavenia je dlhá

Možnosť vylúčenia ohrozenia alebo jeho obmedzenia

P1 – možné za určitých podmienok

P2 – sotva možné

Výsledné určení PL_r je založené na hodnotách použitých pre odhad rizík. V prípade robotickej bunky hrozí vážne zranenie (S2) s častou dobou frekvencie ohrozenia (F2) a možnosťou vylúčenia ohrozenia (P1).




Obr. 22) Diagram určenia PL_r podľa ISO 13849-1

Na základe identifikácie nebezpečenstva a odhadu rizík bolo zistených 48 potenciálnych rizík. Pre vyhodnotenie analýzy rizík sa používajú rôzne formuláre na základe komplexnosti poskytnutých informácií. Formulár musí vždy obsahovať zdroj nebezpečia, identifikáciu, hodnotu rizika pred opatreniami, popis jednotlivých opatrení, hodnotu rizika po opatrení, popis zvyškových rizík a podpis zodpovednej osoby. Príklad formuláru s hodnotami pre analýzu rizík pomocou výkonových úrovní podľa ISO 13849-1 je zobrazený v tab. 8 a príklad odhadu rizika podľa ISO 12100 je zobrazený v tab. 9.

Tab 8) Analýza rizík podľa STN EN ISO 13849-1 [11]

Identif. číslo	Zdroj nebezpečenstva	Identifikácia nebezpečenstva	PL_r	Opatrenia na elimináciu rizika	Upozornenie na zvyškové riziko
8	Zakladanie dielov do prípravku otočného stola	Porezanie, Nebezpečenstvo poranenia na neopracovaných hranách polotovaru	b	Dodržiavať nariadenia BOZP. Používať pracovné ochranné prostriedky	BOZP školenie, pokyny v návode na použitie
				Všetky ostré hrany musia byť opracované	

Tab 9) Analýza rizík pomocou trojkrokovej metódy podľa STN EN ISO 12100 [9]

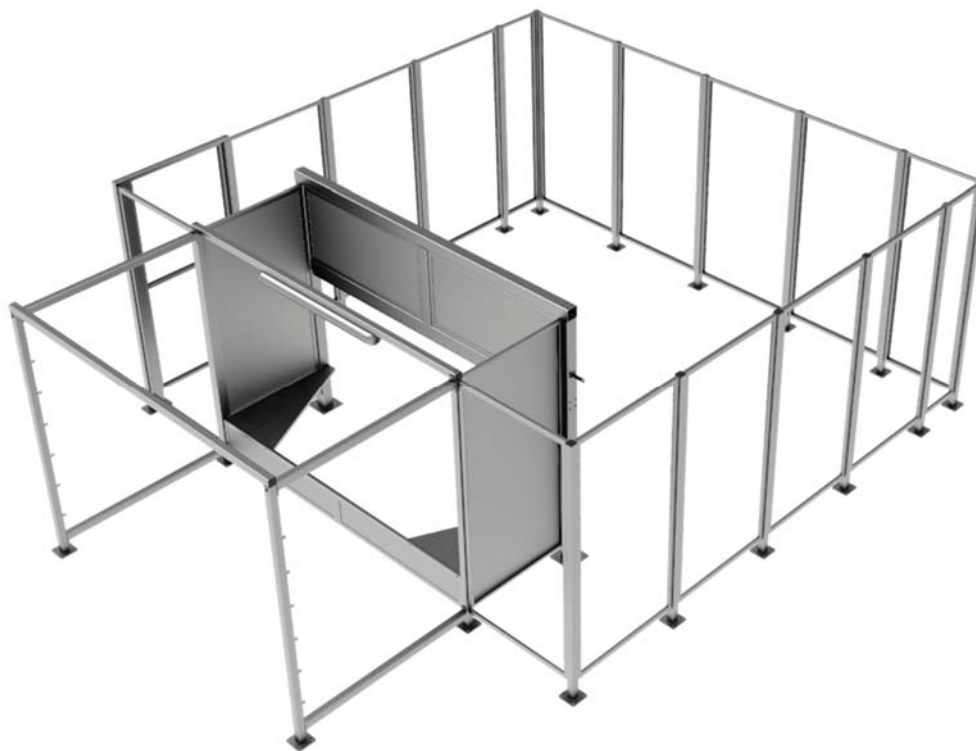
		ANALÝZA RIZÍK ROBOTIZOVANÉHO PRACOVISKA		Peter Lukačovič	
				14.3.2018	
Číslo nebezpečenstva	Identif. číslo	Označenie nebezpečenstva podľa STN EN ISO 14121-1:			
1.1	1	<i>1. Mechanické nebezpečenstvá</i>			
Nebezpečenstvo pomliaždenia					
Životná etapa stroja:	Prevádzka	Nebezpečný priestor:	Pracovný priestor robota		
Ohrozené osoby:	Obsluha stroja	Prevádzkový stav stroja:	Výroba		
Popis nebezpečnej situácie:	Hrozí pomliaždenie pracovníka pri zakladaní dielov do prípravku				
Počiatkové riziko	Závažnosť škody (úrazu):	S3 - Smrť	18		
	Vystavenie nebezpečenstvu:	A2 - Často až trvale			
	Možnosť vyvarovania sa škody:	E3 - sotva možné			
	Pravdepodobnosť výskytu škody:	W3 - Vysoká			
Krok 1: Opatrenia zabudované v konštrukcii (podľa STN EN ISO 12100-1)					
Popis opatrenia:	Umiestnenie robota do bezpečnej vzdialenosti od pracovného priestoru obsluhy				
Znížené riziko po opatrení	Závažnosť škody (úrazu):	S3 - Smrť	17		
	Vystavenie nebezpečenstvu:	A2 - Často až trvale			
	Možnosť vyvarovania sa škody:	E3 - Sotva možné			
	Pravdepodobnosť výskytu škody:	W2 - Stredná			
Krok 2: Bezpečnotná ochrana a doplnkové ochranné zariadenia (podľa STN EN ISO 12100-1)					
Popis opatrenia:	Okolo pracovného priestoru robota bolo umiestnené ochranné oplotenie, blokovací spínač, svetelné závory, laserový skener, núdzové tlačidlá				
Znížené riziko po opatrení	Závažnosť škody (úrazu):	S1 - Ľahké zranenie	5		
	Vystavenie nebezpečenstvu:	A2 - Často až trvale			
	Možnosť vyvarovania sa škody:	E3 - Sotva možné			
	Pravdepodobnosť výskytu škody:	W2 - Stredná			
Krok 3: Informácie pre používanie (podľa STN EN ISO 12100-1)					
Popis opatrenia:	Upozornenie v návode na použitie.				
Zvyškové riziko	Závažnosť škody (úrazu):	S1 - Ľahké zranenie	4		
	Vystavenie nebezpečenstvu:	A2 - Často až trvale			
	Možnosť vyvarovania sa škody:	E3 - Sotva možné			
	Pravdepodobnosť výskytu škody:	W1 - Malá			
Validácia:	Opatrenia sú dostatočné	Podpis:			

6.2 Fyzické bariéry

Ak robot vykonáva úlohu, ktorá nevyžaduje zásah operátora, najúčinnnejším bezpečnostným opatrením je pevná fyzická bariéra. Hlavnou úlohou pevných bariér a krytov je zabezpečiť bezpečnú vzdialenosť medzi operátorom a robotom, ale aj podobne ako u pohyblivých krytov ochrániť operátora pred lietajúcimi predmetmi a nevytvárať dodatočné nebezpečenstvo napríklad prítomnosťou ostrých hrán. Pevné bariéry môžu obsahovať otvory z dôvodu použitia pletiva ako výplne bariéry alebo v mieste stretu so zariadením ako je v prípade navrhovaného pracoviska medzioperačný dopravník. Pri výbere použitého materiálu sa musí venovať zvýšená pozornosť na faktory ako sú napr. chemické reakcie medzi reznými kvapalinami, priepustnosť ultrafialového žiarenia alebo starnutie materiálu. Tieto bezpečnostné bariéry a kryty musia byť upevnené bezpečnostným spojovacím materiálom, ktorý vyžaduje špeciálne náradie na ich demontáž.

Pohyblivé kryty sa využívajú v miestach, kde prístup k nebezpečenstvu nie je častý. Zvolené pohyblivé ochranné kryty môžu byť naprogramované do pozícií, kedy poskytujú adekvátnu ochranu pred odletujúcimi čiastočkami kovu, tekutinami, hmlami a inými typmi nebezpečenstva. Pohyblivé kryty môžu byť zablokované proti pohybu, aby sa zabránilo prístupu obsluhy k nebezpečenstvu počas prebiehajúceho pracovného cyklu. Príkladom pohyblivých krytov použitých v návrhu robotickej bunky sú vstupné dvere pre údržbu zariadení.

Pri návrhu fyzických bariér pre robotizované pracovisko bol použitý systém extrudovaných hliníkových profilov. Oplotenie dosahuje výšku 2000 mm a od úrovne podlahy je odsadené o 200 mm. V priestore otočného stola sú profilové rámy vyplnené pozinkovaným plechom pre ochranu pracovníka pred odletujúcimi čiastočkami kovu.



Obr. 23) Oplotenie pracoviska

6.3 Optická ochrana

Optické zariadenia na snímanie prítomnosti osôb, ako sú optické závory alebo skenery umožňujú rýchly a jednoduchý prístup do bezpečnostnej zóny a bývajú aplikované v miestach, kde obsluha často vchádza do bezpečnostnej zóny. Tieto zariadenia neposkytujú ochranu pred odletujúcimi čiastočkami kovu, hmlami či kvapalinami.



Obr. 24) a) Optický snímač b) Optická závera [12]

6.3.1 Optické závory

Optické závory sú fotoelektrické snímače prítomnosti osôb a cudzích predmetov špeciálne navrhnuté pre ochranu osôb pred úrazmi spojenými s nebezpečným pohybom zariadení. Závory poskytujú optimálnu ochranu operátora pri zachovaní produktivity procesu a sú ergonomickejším riešením v porovnaní s mechanickými krytmi. Použitie svetelných závor je vhodné v miestach, kde potrebuje personál častý a ľahký prístup k nebezpečným častiam zariadeniam, vzhľadom na nutnosť jeho zásahu do procesu výroby.

Optické závory pozostávajú z niekoľkých párov emitorov a prijímačov, ktoré vytvárajú lúče infračerveného žiarenia pred alebo v okolí bezpečnostnej zóny. Vysielač je synchronizovaný s prijímačom pomocou fotoelektrického zväzku. Aby sa eliminovala náchylnosť k nesprávne snímaniu z dôvodu okolitého svetla alebo interferencií s inými opto-elektrickými zariadeniami, LED diódy v emitore pulzujú v určitej frekvencii, pričom každá dióda je pulzovaná postupne, takže vysielač môže ovplyvniť len prijímač s ním spárovaný.

Ak je niektorý z lúčov prerušený vniknutím cudzieho predmetu alebo časti tela operátora do snímaného poľa, riadiaci obvod optickej závory zmení výstupný signál. Optické závory sú zväčša integrované do bezpečnostného systému ich pripojením k bezpečnostnému PLC. Bezpečnostné PLC spracováva zmenu signálu závory, pokyny na reset a stav zariadenia.

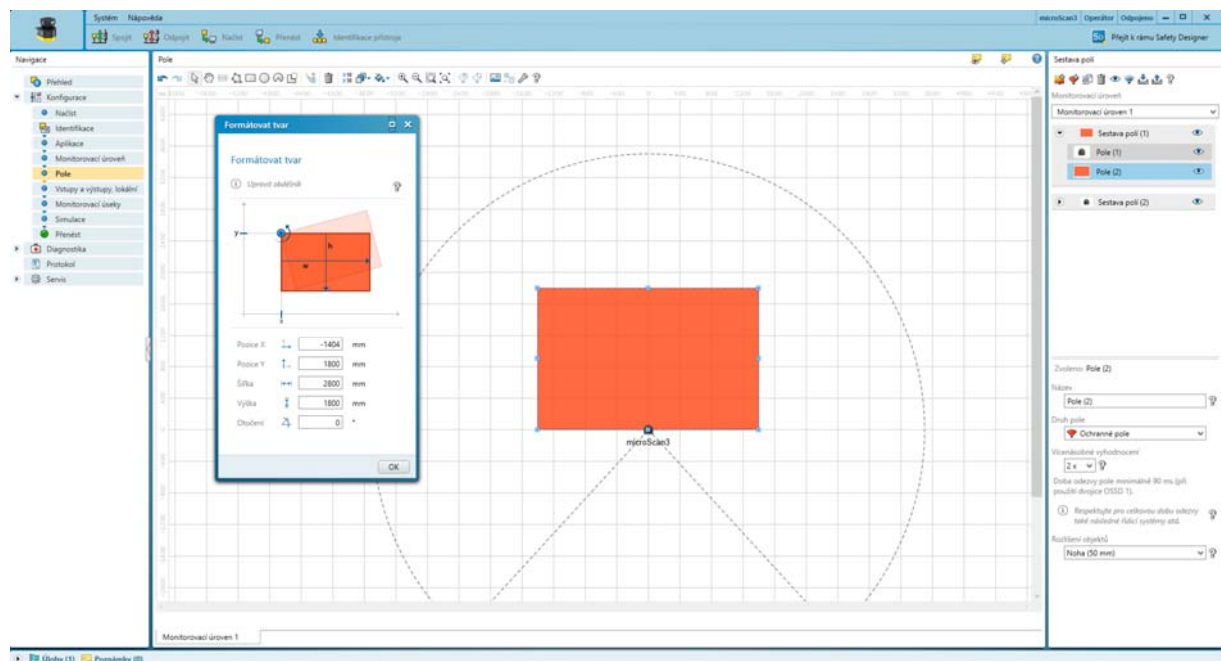
Jedným z najdôležitejších výberových kritérií pre optickú závoru je jej rozlíšenie. Rozlíšenie je teoretická minimálna veľkosť, ktorú musí mať objekt prechádzajúci snímaným poľom, aby bola optická závera pretnutá. Často používané sú rozlíšenia s hodnotou 14 mm pre detekciu prstov; 30 mm, ktoré sa používajú na detekciu ruky; a 50 mm, ktoré sa používajú na detekciu členku a dolných končatín operátora. Väčšie hodnoty sa používajú na detekciu celého tela. Rozlíšenie je jedným z faktorov, ktoré určujú, ako blízko k nebezpečenstvu je možné umiestniť optické závory.

6.3.2 Optické skenery

Bezpečnostné laserové skenery používajú rotujúce zrkadlo, ktoré odkláňa svetelné impulzy do oblúka a vytvára rovinu detekcie. Pozícia predmetu je určená podľa uhlu natočenia zrkadla. Pomocou merania doby odrazu lúča neviditeľného svetla od predmetu, je laser schopný určiť vzdialenosť medzi emitorm svetla a objektom. Pomocou merania vzdialenosti a určenia uhlu natočenia zrkadla, skener presne lokalizuje polohu objektu.

Laserové skenery môžu byť nastavené na dve bezpečnostné zóny. Výstražnú a bezpečnostnú zónu. Pri vstupe do výstražnej zóny je obsluha zariadenia upozornená na priblíženie sa k nebezpečnému priestoru, no zariadenie nie je zastavené. Vstúpenie do bezpečnostnej zóny znamená okamžité vypnutie zariadenia. V praxi sa často stretávame so 100% prekrytím týchto zón a tým sa zaistí redukcia len na jednu bezpečnostnú zónu. Rovnako tak je možné naprogramovať výstražnú zónu ako bezpečnostnú a zabezpečiť dve pracoviská obsluhujúce jeden stroj pomocou jedného skenera.

Tvar a veľkosť chráneného priestoru je konfigurovaná pomocou softwaru výrobcu a nahraná do skenera. Pre určenie dostatočnej veľkosti bezpečnostnej zóny musia byť použité výpočty determinujúce jej minimálnu veľkosť. Veľkou výhodou skenerov v porovnaní s optickými závorami je možnosť preprogramovania bezpečnostnej zóny.



Obr. 25) Príklad nastavenia bezpečnostnej zóny optického skenera

6.4 Výpočty bezpečnostnej zóny pracoviska

Úlohou bezpečnostných zariadení je eliminovať riziko spojené s pohybom zariadenia skôr ako naň operátor dosiahne. Výpočet bezpečnostných vzdialeností sa riadi podľa STN EN ISO 13855 Bezpečnosť strojov, umiestnenie ochranných zariadení so zreteľom na rýchlosť približujúcich sa častí ľudského tela z roku 2010. [13]

Pri určovaní a výpočte bezpečnej vzdialenosti, kde sú použité svetelné závory alebo plošné skenery, sa musí uvažovať aj so smerom vnikania operátora do bezpečnostnej zóny. Typy prístupu operátora do bezpečnostnej zóny delíme na:

- Normálny (Operátor prístupuje kolmo k rovine detekcie)
- Horizontálny (Operátor prístupuje rovnobežne s rovinou detekcie)
- Naklonený (Operátor prístupuje pod iným uhlom ako je definované v predošlých dvoch typoch)

Minimálna bezpečná vzdialenosť závisí od času potrebného na spracovanie príkazu zastavenia a od toho, ako ďaleko môže operátor preniknúť do bezpečnostnej zóny pred detekciou. Vzorec popisovaný v norme je:

$$S = K * T + C \quad (4)$$

Kde S je minimálna vzdialenosť medzi zónou nebezpečenstva a najbližším bodom detekcie, K je rýchlostná konštanta, T je čas zastavenia zariadenia a C je prídavný koeficient podľa druhu aplikácie.

Rýchlostná konštanta K závisí od jednotlivých pohybov operátora t.j. rýchlosti ruky, rýchlosť kráčania a dĺžky krokov. Hodnota týchto parametrov je založená na výskumoch, ktoré ukazujú, že pre rýchlosť ruky je nutné uvažovať hodnotu 1600 mm/s, zatiaľ čo telo operátora ostáva nehybné. V prípade pohybu tela alebo torza operátora je nutné reálne zhodnotiť rýchlosť ruky na základe posúdenia rizika. Rýchlosť ruky sa môže pohybovať až do rýchlosti 2500 mm/s.

Konštanta T vyjadruje celkový čas v sekundách od odoslania núdzového signálu až po úplné zastavenie nebezpečenstva. Celkový čas sa dá rozdeliť na niekoľko inkrementálnych častí (T_s , T_c a T_r) pre jednoduchšie určenie výslednej hodnoty. Konštanta T_s vyjadruje najdlhšiu dobu dobehu zariadenia, T_c je doba zastavenia riadiaceho systému a T_r je čas odozvy zabezpečovacieho zariadenia. Pri mechanických listoch sa používa ešte premenná T_{bm} , čo predstavuje dodatočnú dobu zastavenia, ktorú potrebuje kontrolný modul systému skôr ako zistí prekročenie limitov preťaženia.

Parameter C závisí od hĺbky preniknutia operátora do bezpečnostnej zóny pred reakciou systému. Jeho hodnota sa mení v závislosti od typu zariadenia a aplikácie a musí byť vždy väčšia ako nula. Pre bežný prístup k optickej závore alebo plošnému skeneru, ktorých rozlíšenie je menšie ako 40 mm platí podľa normy vzťah:

$$C = 8 * (\text{rozlíšenie} - 14\text{mm}) \quad (5)$$

Pri riešení bezpečnostnej otázky v prípade bunky pre robotické zváranie bol kladený najväčší dôraz na zabezpečenie priestoru pre obsluhu. Po zvážení všetkých rizikových faktorov, bolo zvolené riešenie s použitím jedného páru optickej závory a jedného plošného skeneru a následne určené rozmery bezpečnostnej zóny. Tie boli následne aplikované do návrhového layoutu.

Umiestnenie optickej závory bolo určené na základe návrhového layoutu vo zvislom zmysle a teda sa jedná o normálny prístup operátora do bezpečnostnej zóny na základe vyššie popísaného rozdelenia. Pre normálny prístup k optickým závorám s rozlíšením menším ako 40 mm je v norme ISO 13855 predpísaný vzorec popísaný nižšie. Minimálna vzdialenosť S môže byť 100 mm. Ak je vzdialenosť väčšia ako 500 mm, môže sa koeficient K znížiť na hodnotu 1600. Pri použití $K=1600$ je minimálna hodnota konštanty S 500 mm.

$$S = 2000 * T + 8(d - 14mm) \quad (6)$$

Za vhodnú optickú závoru bol zvolený produkt od spoločnosti Sick z rady deTec. Navrhnutá optická závora má výšku ochranného poľa 1500 mm, rozlíšenie $d=30$ mm, doba odozvy 75 ms a dosah 15 metrov. Doba odozvy bola ďalej určená na základe vypočítaných hodnôt alebo hodnôt deklarovaných výrobcom. Hodnota konštanty T_s bola stanovená dodávateľom otočného stolu, ktorý zohľadnil aj hmotnosť otáčaného bremena a rýchlosť otáčania, na úrovni 300 ms. Konštantu T_c je daná dodávateľom bezpečnostného PLC a ich hodnota je 100 ms. Preto výpočet bezpečnej vzdialenosti vyzerať nasledovne:

$$S = 2000 * (0,3 + 0,1 + 0,075) + 8 * (30 - 14) \quad (7)$$

$$S = 1078mm$$

Pri návrhovom layoute bola uvažovaná bezpečná vzdialenosť pre obsluhu 1500 mm. Na základe výpočtu je zrejmé, že prvotný návrh bol správny a navrhnutý rozmer môže byť použitý vo výslednom layoute pracoviska.

Pre úplné zabezpečenie bunky je použitie optických závor nevyhnutné avšak nie dostatočné. V prípade, že by pracovník zakladajúci produkty na otočný stôl stál v bezpečnostnej zóne a nastalo by náhodné stlačenie tlačidla pre potvrdenie operácie iným operátorom, pracovníkovi v bezpečnostnej zóne by hrozilo enormné riziko úrazu. Z tohto dôvodu je nutné ďalšie bezpečnostné zariadenie. V takejto situácii je možné zvoliť dva druhy riešenia:

- Zabezpečenie pomocou horizontálnej svetelnej závory
- Zabezpečenie pomocou laserového skeneru

Ako druhé zabezpečovacie zariadenie bol zvolený laserový skener rovnako od spoločnosti Sick z rady S300 mini standard. Ako bolo spomenuté vyššie, skenery majú možnosť programovania bezpečnostnej zóny a preto ponúkajú vyššiu využiteľnosť v tomto prípade. Skener má dosah 3 metre, snímací uhol 270° a dobu odozvy 80 ms. Skener bol umiestnený do osi pracoviska, tesne za čelnú hranu otočného stolu a 200 mm od úrovne podlahy. Z tohto miesta je možné pokryť celú bezpečnostnú zónu bez vzniku slepých bodov a kolízie s operátorom pri technologickom procese.

Vzorec pre výpočet bezpečnostnej zóny chránenej laserovým skenerom sa od vzorca pre výpočet zóny chránenej optickými závorami líši. Výpočet pre laserový skener uvažuje s vniknutím pracovníka do bezpečnostnej zóny prostredníctvom nohy. Z toho dôvodu sa uvažuje bezpečnostný koeficient C s hodnotou 1200 mm. V prípade, ak skenovaná rovina nie je totožná s rovinou podlahy, je možné uvažovať s redukovaním koeficientu podľa nasledujúceho vzorca:

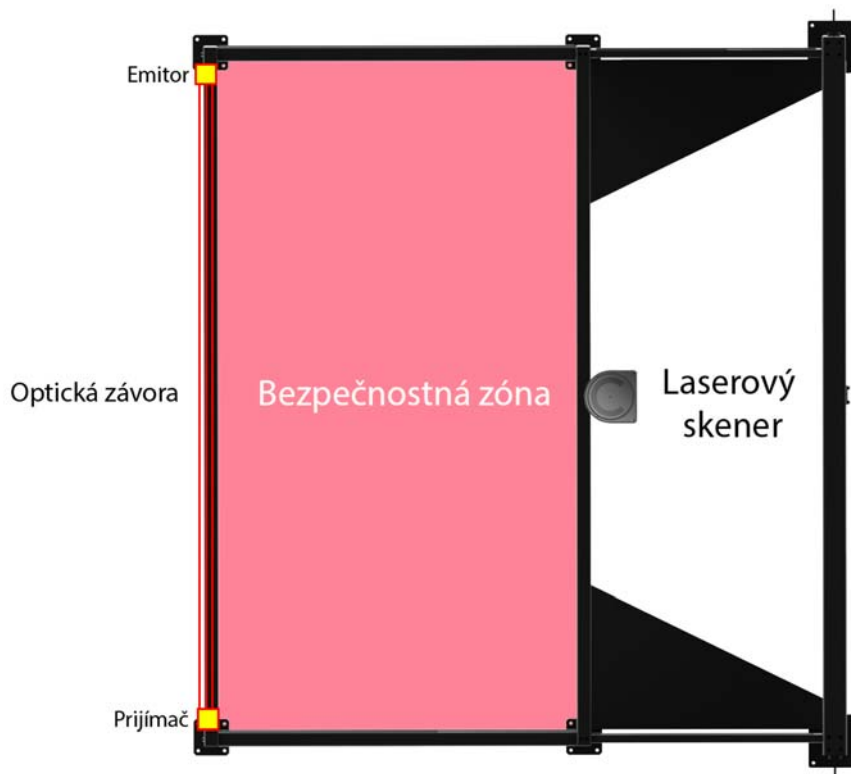
$$S = (1600 * T) + (1200 - 0,4H) \quad (8)$$

Po doplnení jednotlivých charakteristík skenera do vzorca, kde T má hodnoty odozvy otočného stolu a bezpečnostného PLC rovnaké ako v prípade optických závor a H je vzdialenosť medzi skenovanou rovinou a podlahou pracoviska, výsledný výpočet vyzerá nasledovne:

$$S = 1600 * (0,3 + 0,1 + 0,08) + (1200 - 0,4 * 200) \quad (9)$$

$$S = 1888mm$$

Z výsledku výpočtov je zrejmé, že samostatný laserový skener nie je zariadenie dostatočné pre zabezpečenie pracovného priestoru. Avšak v prípade kombinácie s optickými závorami tvoja sústavu bezpečnostných zariadení, ktoré umožnia dostatočné zníženie rizika pri obsluhu bunky.



Obr. 26) Umiestnenie optických bezpečnostných zariadení

6.5 Ostatné bezpečnostné zariadenia

Ak je prístup k zariadeniu zriedkavý, uprednostňujú sa pohyblivé (otvárateľné) kryty. Ochranné kryty musia byť osadené blokovacími zariadeniami, ktoré zabezpečujú, že vždy, keď nie sú kryty uzavreté, hlavné napájanie všetkých činných zariadení je odpojené. Pre tento účel sa používajú blokovacie spínače. Tieto spínače sú zapojené medzi riadenie zdroja napájania a výkonný člen. Zdroj energie blokovaného zariadenia býva zvyčajne elektrický, no môže byť aj pneumatický alebo hydraulický. Pri detekcii otvorenia (pohybu) krytu blokovací spínač inicializuje príkaz na izoláciu zdroja energie priamo alebo prostredníctvom stykača alebo ventilu.

Niektoré blokovacie spínače obsahujú aj uzamykacie mechanizmy, ktoré bývajú situované na vstupných dverách k zariadeniu. Tieto spínače uzamknú dvere a neumožnia ich, kým zariadenie nie je v bezpečnej polohe a odpojené od zdroja napájania. Takýto spínač bol použitý aj pre zabezpečenie navrhovaného pracoviska. Vstupné dvere do pracoviska boli zabezpečené bezpečnostným polohovacím spínačom od spoločnosti Schneider. Zvolená bola sústava prvkov XCS E a XCS 05. [14]



Obr. 27) Bezpečnostný polohovací spínač a dverová západka [14]

Zariadenia núdzového zastavenia sa považujú za doplnkové zabezpečovacie zariadenie no musia byť umiestnené na všetkých zariadeniach. Nie sú považované za primárne zabezpečovacie zariadenia, pretože nezabraňujú prístupu k nebezpečenstvu ani nezisťujú vystavenie obsluhy nebezpečenstvu. Obvyklý výskyt núdzového zariadenia je vo forme červeného tlačidla s hríbovým tvarom a žltým pozadím. Toto tlačidlo použije obsluha zariadenia v prípade núdze. Tlačidlá musia byť rozmiestnené v dostatočnom množstve okolo zariadenia tak, aby sa zabezpečilo, že v prípade núdze bude dostupný aspoň jeden.

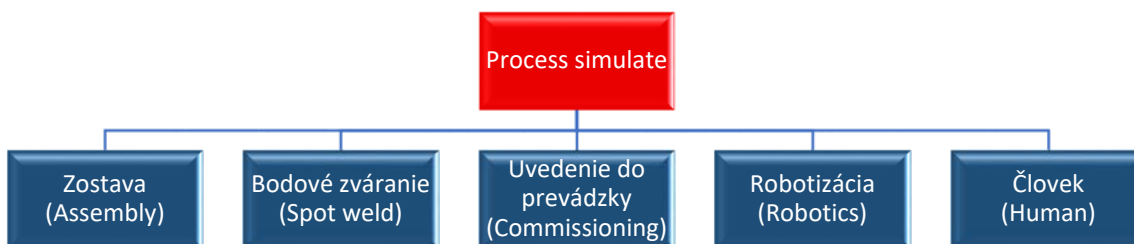


Obr. 28) Núdzové tlačidlo [14]

7 SIMULÁCIA VÝROBNÉHO PROCESU

Potreba efektivity práce v dnešných továrňach a výrobných podnikoch nebola nikdy vyššia. Zvyšujúce sa náklady na zariadenia a pracovnú silu a zvyšujúci sa dopyt po produktoch núti úspešné spoločnosti zohľadňovať a optimalizovať náklady spojené s časom, zariadením a investíciami. Továrnska simulácia je lacným a bezrizikovým spôsobom ako zabezpečiť aby podnik splňal výrobné ciele a kvalitatívne normy s čo najnižšími nákladmi. Simulácia celej továrne je vždy rozdelená na menšie podskupiny prípadne jednotlivé výrobné procesy. Simulácia výrobného procesu je posledný krok pred samotnou realizáciou. V tomto kroku sa overí správnosť všetkých navrhovaných prvkov, ak je to nutné, upraví sa ich rozmiestnenie, skontroluje sa dosah a ergonomickosť pracoviska a v neposlednom rade dĺžka taktu daného procesu. Na rozdiel od analýz a prognóz založených na tabuľkových procesoch predstavuje simulačný softvér rýchly a efektívny prostriedok na úpravu parametrov a opätovnú simuláciu, čím šetrí drahocenný čas a zrýchľuje návrh nielen procesu, ale aj celej továrne.

Jedným zo simulačných programov s popísanými funkciami je aj software Process Simulate od spoločnosti Siemens. Integrované prostredie pre validáciu výrobného procesu tohto softwaru umožňuje overenie rôznych častí výrobného procesu. Môžu sa simulovať montážne procesy, ľudské operácie, zváranie, manipulácia s predmetmi, kontinuálne procesy ako je laserové zváranie, lepenie a iné robotické procesy, ktoré môžu byť simulované v rovnakom prostredí. Simulácia napodobňuje realistické ľudské správanie, robotické riadiace jednotky a PLC logiku. Process Simulate umožňuje výrobným inžinierom určiť najefektívnejší postup montáže, zabezpečiť odstránenie kolízií a určiť najkratšiu dobu cyklu. Process Simulate disponuje možnosťou výberu najvhodnejšieho nástroja pre proces pomocou prehľadávania preddefinovanej knižnice nástrojov, vykonaním testov virtuálneho dosahu a následnou analýzou kolízií a simuláciou celého procesu. [15]

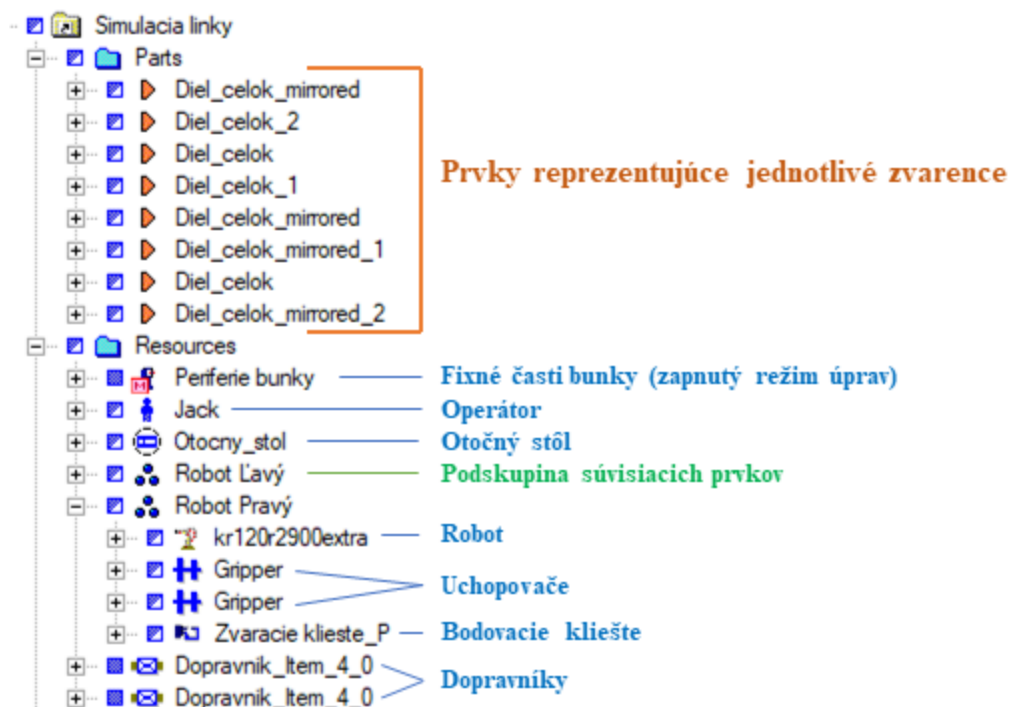


Obr. 29) Delenie modulov software Process Simulate

7.1 Vloženie 3D modelov do virtuálnej zostavy a ich rozloženie

Po navrhnutí jednotlivých komponentov podľa kapitoly 5 a po určení výsledného layoutu podľa kapitoly 6, boli vyexportované jednotlivé CAD modely vo formáte .JT a následne vložené do zostavy v software Process Simulate. JT formát 3D modelu je vyvinutý spoločnosťou Siemens PLM Software, ktorý bol vytvorený ako vysokovýkonný, kompaktný a trvalý formát ukladania údajov o produktoch. Súbor JT sa používajú na vizualizáciu produktov, spoluprácu a zdieľanie údajov. Pri importovaní modelov do programu Process Simulate sa zobrazí dialógové okno, kde musí užívateľ zadať druh vkladaneho modelu. Pri vkladaní môže byť model definovaný ako súčiastka pre výrobný proces, svorka, zásobník, dopravník, zvaracie kliešte, človek, robot, otočný stôl a mnoho iného. Na základe tejto definície sú následne pri simulácii optimalizované jednotlivé prvky. Po vložení všetkých modelov je zostavený strom modelu s príslušnými ikonkami vložených zariadení, ktorého príklad je zobrazený na obr. 30. Tieto modely je možné ďalej upravovať v prostredí Process Simulate pomocou kliknutia na ikonku „Set modeling scope“ v záložke „Modeling“. Po zapnutí tejto funkcie je možné jednotlivým komponentom upravovať geometriu, zrkadliť jej časť upravovať kinematiku alebo vkladať pomocné súradnicové systémy nazývané ako „frame“. Pomocou týchto súradnicových systémov je následne možné vytvoriť relácie medzi objektami pre potreby simulácie.

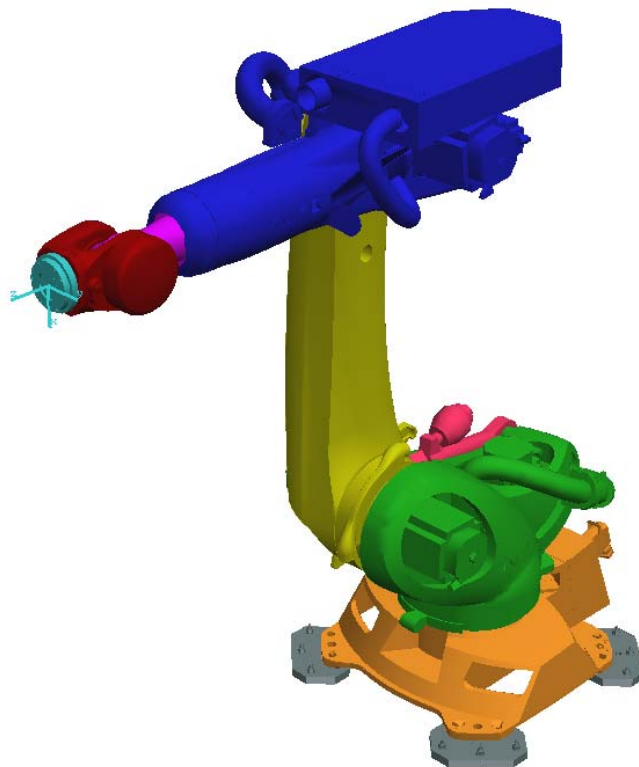
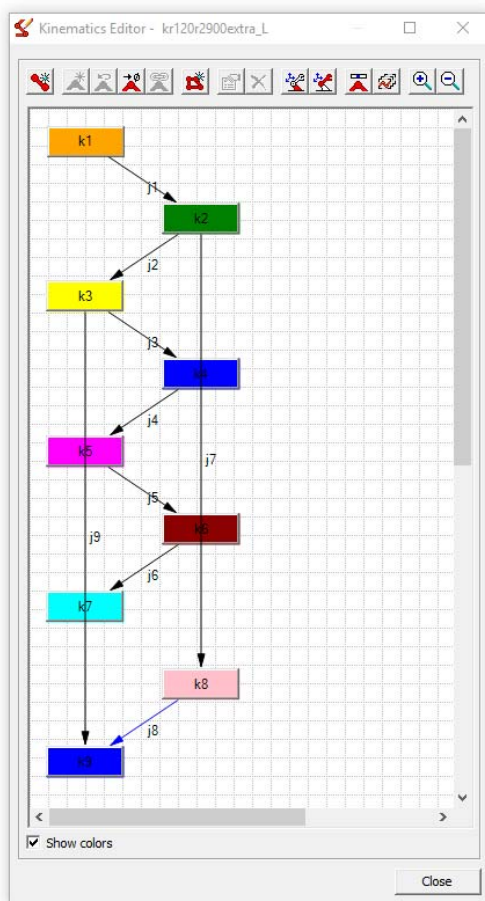
Všetky naimportované modely do prostredia Process Simulate majú zložku modelov s príponou .cojt. Táto zložka obsahuje .JT modelový súbor definujúci geometriu prvku, náhľadový obrázok vo formáte BMP, informácie o kinematickej štruktúre modelu a súbor obsahujúci informáciu ostatných mechanických a fyzikálnych vlastnostiach definovaných užívateľom vo formáte .xml.



Obr. 30) Strom modelu s popisom položiek

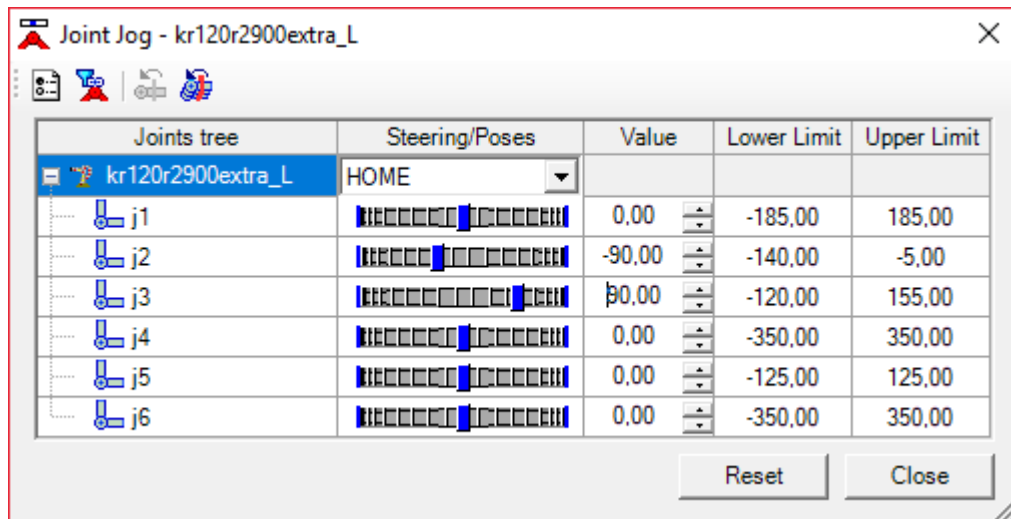
7.2 Definovanie kinematiky jednotlivých prvkov

Aby bolo možné simulovať jednotlivé prvky, po ich vložení do zostavy je nutné definovať ich kinematiku. Kompletné definovanie kinematiky prebieha vo viacerých krokoch. Základným krokom je definovanie jednotlivých pohybových skupín. V prípade jednoduchších zariadení, ako napríklad bodovacích klieští, je potrebné rozdeliť zariadenie len do dvoch kinematických skupín - pohyblivej a nepohyblivej. V prípade zložitejších zariadení, ako je napríklad šesťosí robot, je nutné definovať všetky pohybové skupiny. Pri zoskupení dielov do jednej pohybovej skupiny, je celej skupine priradená farba, ktorá je následne pre lepšiu orientáciu zobrazená aj na samotnom 3D modeli. Po určení jednotlivých skupín sa pristupuje k definovaniu väzieb medzi jednotlivými skupinami. Užívateľ postupne zadáva typ väzby, smer pohybu a limitné hodnoty pohybu. V prípade voľby typu väzby má užívateľ na výber z dvoch možností. Lineárnej a rotačnej väzby. Pri zvolení lineárnej väzby je smer pohybu určený priamkou, ktorá je definovaná dvoma ľubovoľnými bodmi. V prípade rotačnej väzby je rovnakým spôsobom definovaná os rotácie

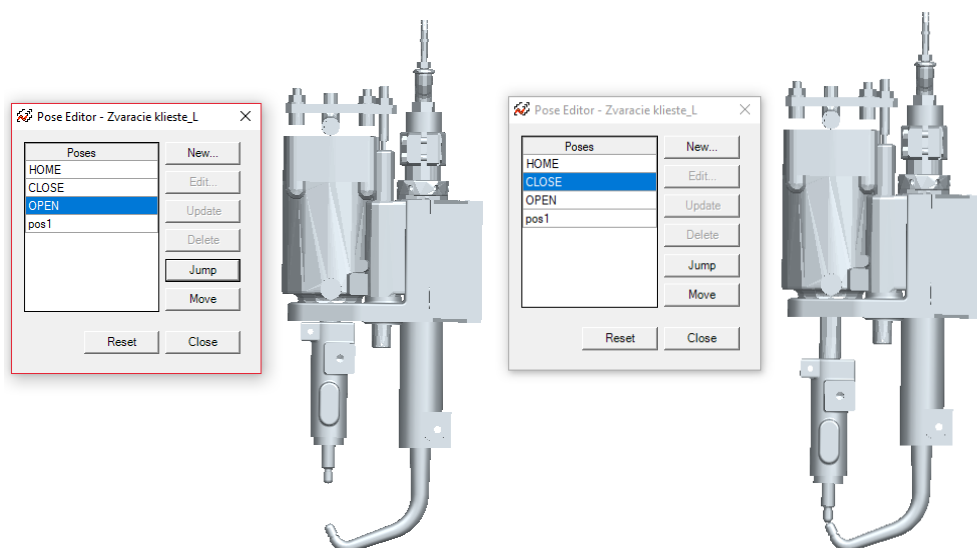


Obr. 31) Definovanie kinematiky šesťosého robota

Po nastavení kinematiky zariadenia sa odporúča skontrolovať si pohyblivosť kinematického systému pomocou funkcie „Joint jog“, kde má užívateľ možnosť pohybovať definovanými väzbami. V prípade nesprávneho definovania niektorej z pohybových skupín alebo väzieb je nutné opraviť kinematickú štruktúru zariadenia. Pre správne fungovanie simulácie sa vyžaduje taktiež definovanie kľúčových polôh zariadenia, ako je napríklad otvorená a zatvorená poloha bodovacích klieští, jednotlivé polohy otočného stola alebo uchopovača. Pre definovanie jednotlivých polôh slúži funkcia „Pose editor“, kde môže užívateľ spravovať jednotlivé polohy zariadenia.



Obr. 32) Manipulácia jednotlivými kinematickými väzbami

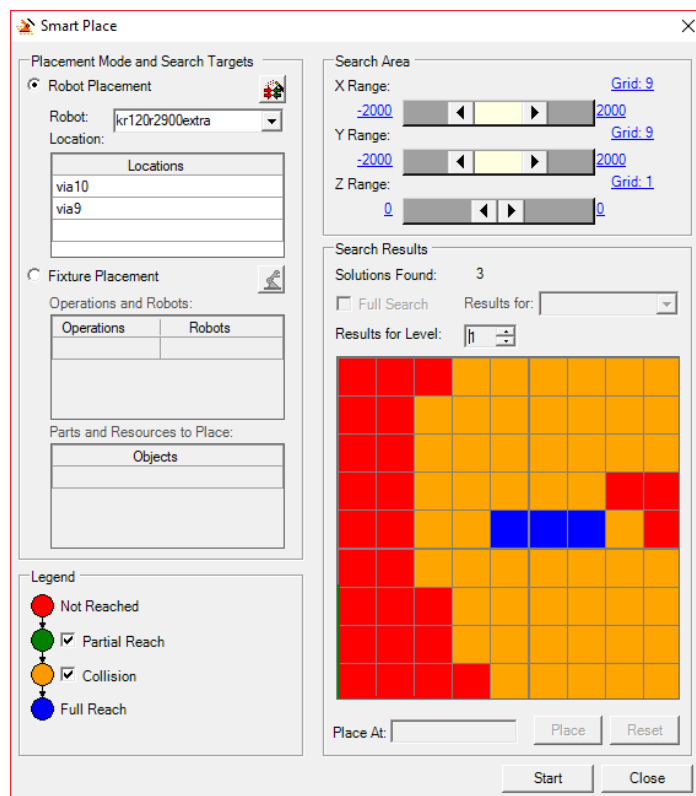


Obr. 33) Definovanie otvorenej a zatvorenej polohy bodovacích klieští

7.3 Určenie polohy zvrácačích robotov pomocou Process Simulate

Aj pri určovaní finálneho layoutu pracoviska zohral simulačný software Process Simulate významnú úlohu. Určenie vhodnej polohy robota je spravidla základný stavebný kameň pre správny chod bunky a optimalizáciu výrobného procesu. Pri určovaní vhodnej pozície pomocou 2D návrhu nemá inžinier dostatočnú predstavu o pohybe robota v priestore a to môže viesť k nesprávnemu určeniu polohy robota. V prípade návrhu pomocou 3D prostredia v CAD systéme takýto proces overovania dosahu môže trvať niekoľko násobne dlhšie ako v prípade použitia funkcie *Smart Place*.

Pre plnohodnotné určenie vhodnej pozície pre robota je nutné úplne definovať kinematiku a kľúčové body robota a jeho periférií. Následne je možné použiť funkciu *Smart Place*. Pre výpočet vhodnej pozície je nutné v dialógovom okne zvoliť robota, ktorého pozíciu je potrebné analyzovať a body, ktoré je potrebné obsiahnuť. Funkcia *Smart Place* umožňuje určiť nielen pozíciu robota, ale aj samotného procesu alebo obrábaného dielu. Ešte pred spustením simulácie je potrebné zadať prehľadávanú zónu. Zónu je možné definovať vo všetkých troch smeroch karteziánskeho súradnicového systému. Taktiež je možné nastaviť jemnosť delenia nastaveného rozsahu v jednotlivých osách. Po zvolení nutných parametrov simulácie má užívateľ možnosť výberu dostupnosti jednotlivých bodov. Simulácia štandardne zobrazuje pozíciu robota, odkiaľ robot nedosiahne na definovaný bod (vyznačené červenou farbou), alebo dosiahne úplne (vyznačené modrou farbou). Dodatočne si užívateľ môže dať vykresliť body, kde robot dosiahne na zadané body len čiastočne (vyznačené zelenou farbou) alebo na body dosiahne, no za cenu kolízie s iným predmetom (vyznačené oranžovou farbou). Výsledok analýzy je uvedený na obr. 34. V tomto konkrétnom prípade je možné robota umiestniť len do 3 simulovaných polí v definovanom priestore, bez toho aby musel byť layout bunky akokoľvek pozmenený.



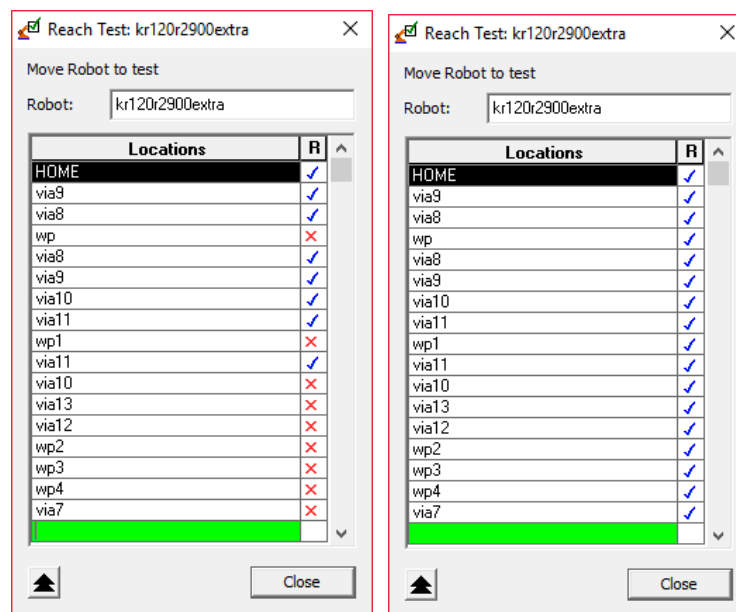
Obr. 34) Určenie pozície pomocou funkcie Smart Place

7.4 Kontrola dosahu bodovacích klieští

Po zvolení vhodných bodovacích klieští, úprave geometrie a nastavení kinematiky, boli kliešte pripravené k robotovi pomocou funkcie „Mount Tool“. Táto funkcia priradzuje užívateľom zvolený efektor k vybranému robotovi. Tým sa nadviaže kinematická schéma robota a modely sa pohybujú spoločne. Rovnakým spôsobom sa k robotovi pripoja všetky externé zariadenia ako sú napr. uchopovače, snímače, kompenzátory a pod.

Kinematiku robota je možné následne overiť s ohľadom na dosah všetkých bodov operácie. Jednotlivé body použité pre analýzu a následnú simuláciu vychádzajú primárne z technologického procesu. V tomto prípade sa jedná o päť bodov určených na bodové zváranie. K hlavným bodom boli pridané body prechodu, ktoré upresňujú konfiguráciu robota a aproximujú trajektóriu efektoru. Doplnkové body sa označujú ako body prechodu, v angličtine nazývané „Via“.

V priebehu prípravy na finálnu simuláciu môžu nastať situácie, kedy užívateľ pridá ďalšie kľúčové body a musí opätovne overiť dosah robota s efektorom. Pre tento účel nie je nutné opäť spustiť funkciu Geometric Gun Search popísanú v kapitole 8.4, no užívateľ môže využiť funkciu „Reach test“. Analýza dosahu efektoru vyžaduje voľbu robota a určenie bodov, ktorých dosah sa má overovať. Hlavný rozdiel funkcie *Reach Test* v porovnaní s *Geometric Gun Search* spočíva v spôsobe kontroly dosahu robota. Funkcia *Reach Test* kontroluje dosah referenčného bodu ako takého a nekontroluje problematiku prístupu k bodu a prípadných kolízií. Jej úlohou je zistiť možnosť dosahu robota na základe rozsahu jednotlivých osí. Výhodou toho spôsobu je rýchlosť analýzy a možnosť kontroly akokoľvek definovaného referenčného bodu a nie len bodovacích klieští. Príklad analýzy dosahu je zobrazený na obr 35.



Obr. 35) Dialógové okno funkcie Reach Test

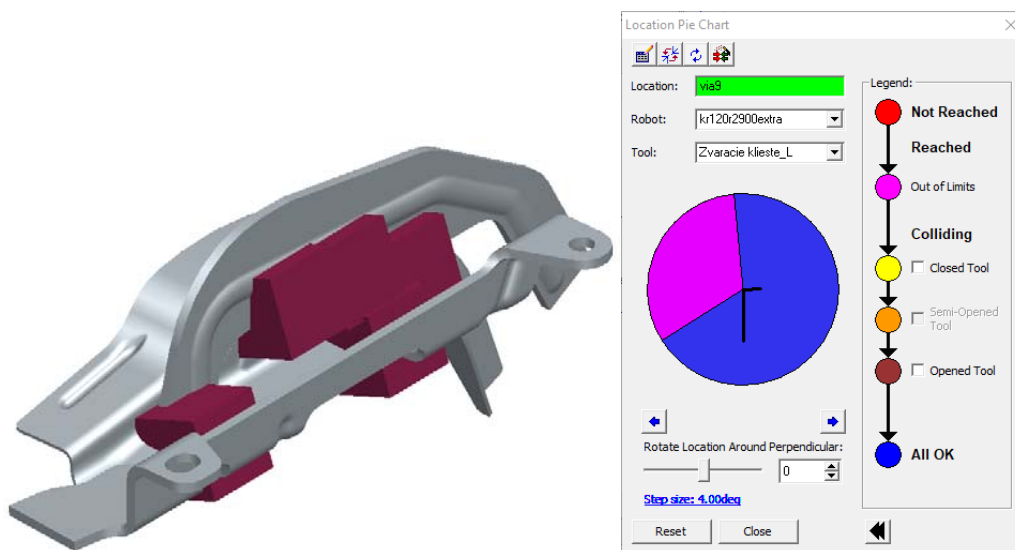
7.5 Definovanie procesu robotického bodového zvarania, nastavenie polohy pri zváraní a následná simulácia

Simulácia bodového zvarania v programe Process Simulate zohľadňuje mnoho faktorov bodového zvarania ako je napríklad poloha bodu, prístup k nemu, pohyb bodovacích klieští, doba zvaru alebo presun k ďalšiemu bodu. Pre správne fungovanie simulácie bodového zvarania musia byť definované „body zvaru“.

Body zvaru, na rozdiel od bodov prechodu sa líšia obsahom informácií. Bod zvaru obsahuje informáciu o technologickom cykle a pri vizualizácii procesu sa zobrazí animácia zatvorenia a následného otvorenia bodovacích klieští. Body zvaru je možné definovať zadaním súradníc, jednoduchým výberom ľubovoľného bodu zostavy, importom CSV súboru z CAD softwaru alebo automatickým generovaním. Po výbere jednotlivých bodov je nutné použiť funkciu „Project Weld Points“. Táto funkcia premietne jednotlivé body kolmo na povrch zvarenca a definuje nový súradnicový systém. Premietnuté body sú zobrazené kockou v mieste zvaru.

Premietnuté body sú pripravené na simuláciu samotného procesu. Proces zvarania je simulovaný v programe Process Simulate pomocou príkazu „Weld Operation“. Táto funkcia môže byť použitá pre bodové, ako aj pre oblúkové zváranie. Pre simuláciu procesu je nutné zvoliť robota vykonávaného operáciu, príslušné bodovacie kliešte a všetky premietnuté body. V prípade oblúkového zvarania sa zadáva zvarací horák namiesto bodovacích klieští a trajektória zvaru namiesto jednotlivých bodov zvaru. Po zadaní všetkých vstupných informácií je vygenerovaná simulácia bodového zvarania zadných bodov.

Prvotná simulácia procesu nezohľadňuje fyzické kontakty jednotlivých komponentov zostavy a tak je nutné jej priebeh upraviť. Software Process Simulate obsahuje množstvo nástrojov pre optimalizáciu procesu. V prípade zvaracích operácií je najzákladnejším nástrojom funkcia „Pie Chart“, čo v preklade z angličtiny znamená koláčový graf. Táto funkcia určuje vektor priblíženia klieští k bodom zvarania. Pri definovaní funkcie je nutné zvoliť analyzovaný bod, robota a kliešte. Funkcia následne zobrazí prostredníctvom koláčového grafu možnosť prístupu klieští k zvolenému bodu. Graf zobrazuje limity natočenia bodovacích klieští a kolízne pozície. Následne môže užívateľ meniť uhol natočenia klieští okolo osi „Z“ lokálneho súradnicového systému, prípadne invertovať jej smer.

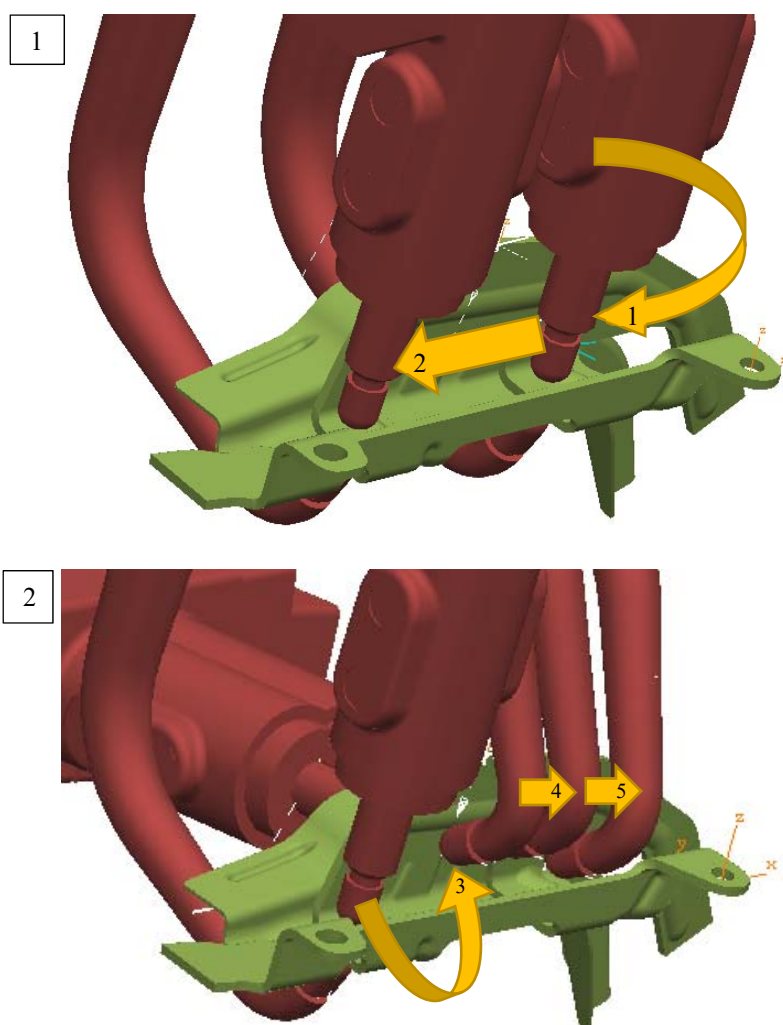


Obr. 36) a) Premietnuté body zvaru b) Dialógové okno funkcie Pie Chart

Process Simulate ďalej disponuje viacerými automatickými funkciami. Jednou z nich je „Automatic Approach Angle“. Je to funkcia založená na základe funkcie *Pie Chart* a automaticky definuje uhol priblíženia bodovacích klieští na základe rozloženia jednotlivých súčastí zostavy. V prípade nedosiahnutia úspešného výsledku analýzy a následného nastavenia pohybu je vedľa vybraného bodu zobrazený status ×. V takom prípade je možné použiť funkciu „Adjust Location Orientations to Full Reach“. Táto funkcia natočí súradnicový systém bodu tak, aby nedochádzalo ku kolíziám pri simulácii. V prípade, že obe spomenuté funkcie zlyhajú, bod je zadaný nesprávne, počiatok súradnicového systému sa nachádza v telese zvarenca a dochádza k neustálemu kontaktu medzi kliešťami a zvarenom. Bod musí byť predefinovaný a znovu analyzovaný.

Funkcia *Pie Chart* a ostatné spomenuté funkcie posudzujú kontakt klieští s okolím len v bode zvaru a preto je nutné simuláciu ďalej optimalizovať. Ďalšia optimalizácia spočíva v pridávaní bodov pred v resp. za bod zvaru, ktoré upravujú trajektóriu bodovacích klieští medzi jednotlivými bodmi zvaru.

Výsledná simulácia bodového zvarovania prechádza desiatimi rôznymi bodmi a jej predpokladaná doba trvania bez použitia RSC modulu je 15,41 sekúnd.



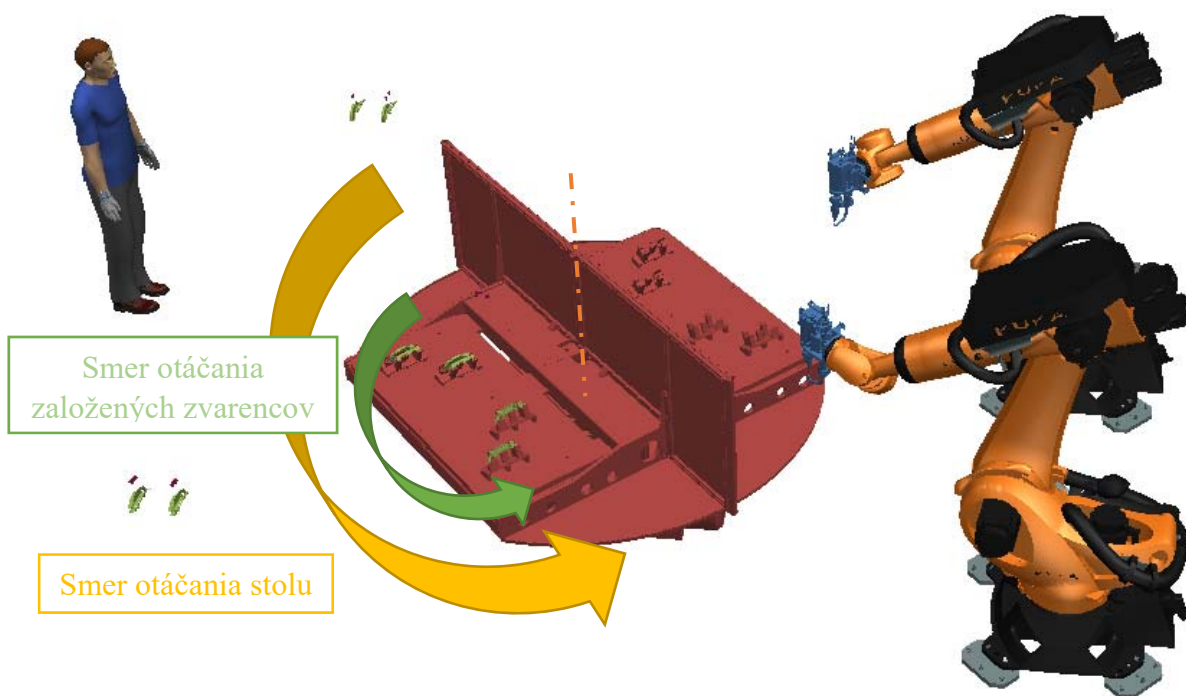
Obr. 37) Znáznornenie priebehu zvarania

7.6 Definovanie a simulácia robotickej manipulácie

Proces bodového zvárania je nasledovaný procesom manipulácie hotových zvarencov. Pre manipuláciu s predmetmi bolo upravené teleso bodovacích klieští tak, aby boli schopné uniesť gripper a zároveň prenášať predmet. Detailný postup návrhu je popísaný v kapitole 5.3. K telesu bodovacích klieští sú pripevnené dva gripper Festo DHPS 10, ktorých výber, výpočet a návrh je popísaný v kapitole 5.4. Tento proces je zautomatizovaný a je vykonávaný robotom, a preto boli aj tu využité funkcie softwaru Process Simulate.

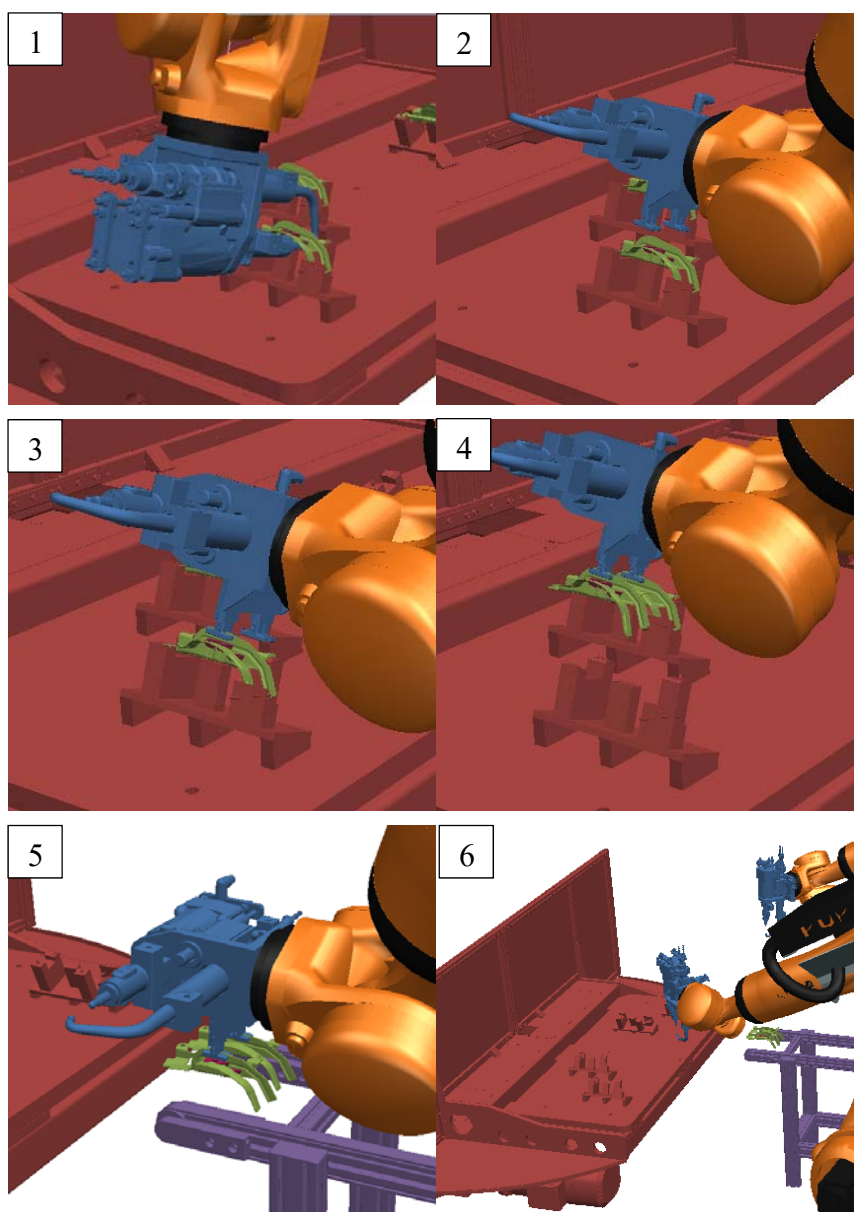
Na manipuláciu s predmetmi je možné využiť viacero postupov a funkcií. Najjednoduchším spôsobom je použitie funkcie „Attach“. Funkcia *Attach* zaväzbí dva diely zostavy v simulácii na základe aktuálnej polohy. V prípade lineárneho pohybu jednej časti smerovým vektorom \vec{v} , druhá časť relácie vykoná pohyb definovaný rovnakým vektorom. V prípade rotačného pohybu je os rotácie pre oba komponenty rovnaká. Takáto funkcia bola využitá pri otáčaní otočného stolu medzi priestorom operátora a priestorom bodového zvárania. Po otočení stola bola použitá funkcia „Detach“, ktorá má opačnú funkciu ako funkcia *Attach*. Slúži na odstránenie všetkých kinematických väzieb medzi dvoma časťami zostavy. Obe tieto funkcie môžu byť implementované do jednotlivých operácií pomocou OLP príkazov.

Ďalšou možnosťou presunu predmetov je využitie prvku z palety operácií nazývaného „Pick and Place Operation“. Táto funkcia umožní užívateľovi jednoducho definovať robota, gripper, uchopovaný prvok a počiatočnú a konečnú polohu prvku. Jedná sa o jednoduchú a rýchlu simuláciu pohybov robota vhodnú najmä pre Pick & Place operácie. Nakoľko vzniknutá operácia neumožňuje uchopenie dvoch predmetov súčasne, táto funkcia nebola použitá pre simuláciu procesu výroby zvarencov.



Obr. 38) Spoločné otáčanie zvarencov a otočného stolu spojených pomocou funkcie *Attach*

Tretou možnosťou presunu predmetov je vytvorenie súboru čiastkových operácií. Simulácia celkového procesu sa skladá z pohybových funkcií robota a z uchopovacích pohybov gripperu. Simulácia procesu manipulácie plynulo nadväzuje na proces bodového zvarovania. Bodovacie kliešte s grippermi sú natočené do správnej konfigurácie tak, aby nedošlo k vzájomnému kontaktu medzi robotmi alebo medzi robotom a perifériami bunky. Následne je efektor napoložovaný 50 mm nad zvarenec a zarovnaný s plochou dotyku. Po klesnutí efektora na úroveň dotyku je ukončená prvá čiastková operácia, ktorá je nasledovaná operáciou gripperu. V tomto kroku je definované uchopenie prvého hotového zvarenca. Definícia prebieha pomocou funkcie „*Gripper Operation*“. V dialógovom okne užívateľ zadáva referenčný gripper, uchopované predmety a štýl operácie (uchopenie / pustenie predmetu). Po uchopení prvého zvarenca je vykonaná operácia presunu a uchopenia druhého zvarenca obdobným spôsobom, ako to je popísané v prvej a druhej čiastkovej operácii. Po uchopení oboch zvarencov sú presunuté na príslušný dopravník, pomocou ktorého sú následne prepravené k ďalším operáciám. Roboti sú následne napoložované do dokovacej polohy.



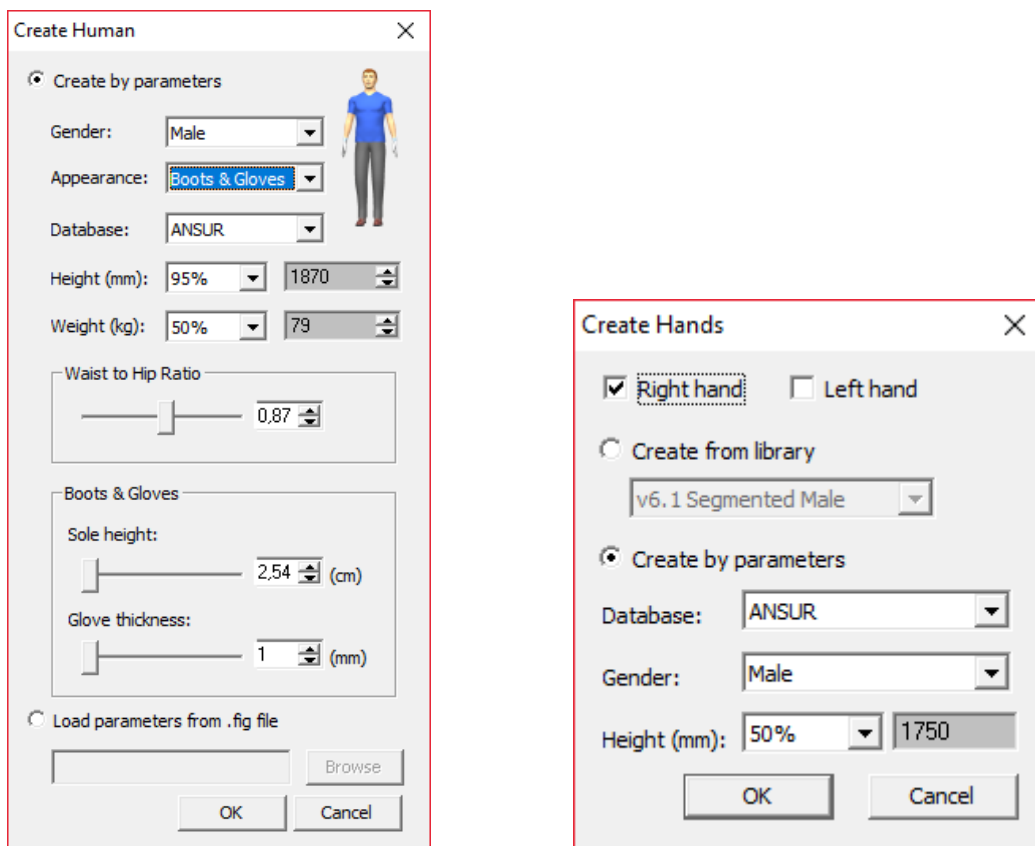
Obr. 39) Simulácia manipulácie s hotovými zvarencami

7.7 Definovanie a simulácia pohybov operátora

Process Simulate umožňuje používateľom overovať dizajn pracovných buniek, overovať dostupnosť požadovanej bezpečnosti jednotlivých častí zostavy. Modul ponúka rôzne funkcie pre analýzu a optimalizáciu ergonomie ľudskej činnosti, čím poskytuje ergonomický a bezpečný výrobný proces podľa priemyselných noriem. Pomocou nástroja simulácie ľudskej činnosti môže používateľ vykonávať realistickú simuláciu ľudských úloh a optimalizovať procesné časy výrobného cyklu podľa štandardov ergonomie. Pri simulácii ľudskej činnosti berie software do úvahy potrebné faktory ako napr. dosah ľudských rúk pri práci alebo rozsah zorného poľa.

Simulácia ľudských činností sa začína vložением osoby do prostredia bunky. Užívateľ má na výber z možnosti tvorby postavy na základe zadania jednotlivých hodnôt alebo načítať predpripravený model priemernej osoby. V prípade zadávania parametrov si užívateľ v prvých krokoch volí medzi pohlavím a vzhľadom osoby. Ďalej si užívateľ volí vhodnú knižnicu štandardizovaných osôb. Na výber sú knižnice ako napr. ANSUR, GERMAN, CANADIAN, KOREAN a iné. Jednotlivé voľby obsahujú vždy rozdielne základné hodnoty výšky a hmotnosti štandardnej osoby na základe lokalizácie.

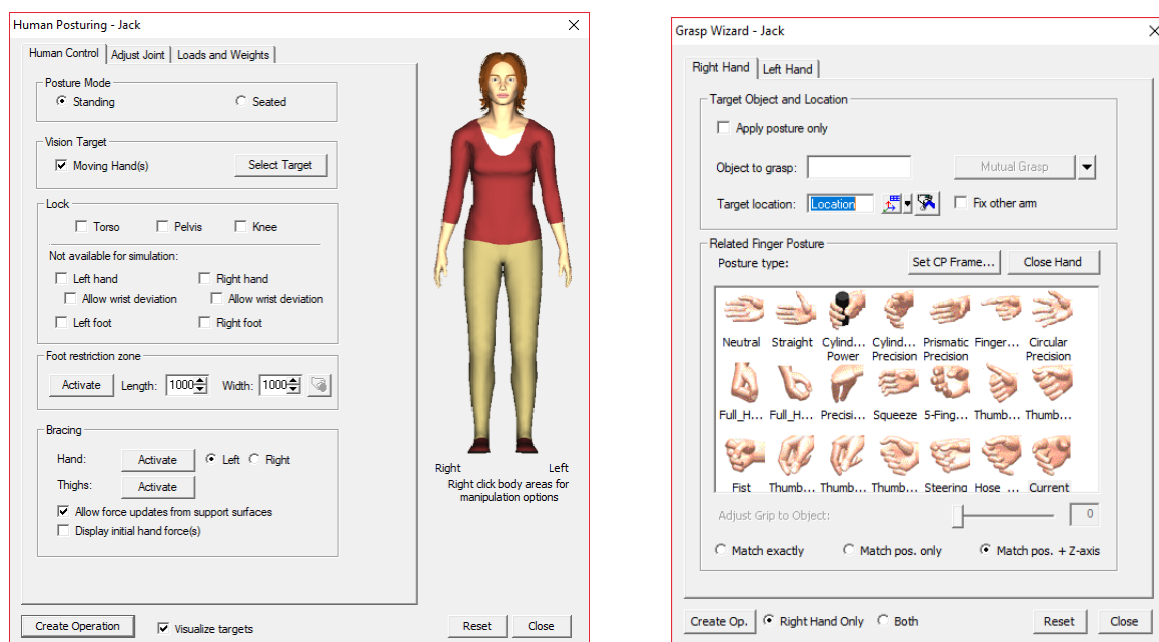
Okrem tvorby osoby je možné vytvoriť aj samotné ruky. V prípade tvorby rúk má užívateľ výber v porovnaní s tvorbou osoby obohatený o voľbu pravej alebo ľavej ruky. Ostatné možnosti sú totožné.



Obr. 40) a) Definícia osoby b) Definícia ruky

Po vložení osoby do zostavy je možné začať s upravením jednotlivých póz. Základnou pózou je vzpriamené držanie tela s pripaženými rukami k telu. Ďalej má užívateľ možnosť výberu pózy z rozsiahlej knižnice, ktorá pokrýva väčšinu z bežne vyskytujúcich sa póz v reálnom živote. Dostupné sú preddefinované pózy ako napr. prenášanie predmetov, šoférovanie, ležanie, kľáčanie, ukazovanie a mnoho iných. Po zvolení vhodnej pózy je možné vykonať dolad'ovacie pohyby pomocou funkcie „*Human Posturing*“. V zobrazenom okne je možné nastaviť pohľad simulovanej osoby, hýbať jednotlivými kĺbmi alebo pridávať zaťaženie. Všetky tieto nastavenia majú vplyv na výslednú simuláciu pohybov osoby a analýzu ergonomie procesu.

Ďalšou možnosťou je detailné nastavenie uchopenia predmetov. Funkcia „*Grasp Wizard*“ umožňuje nastaviť úchop jednotlivých predmetov. V dialógom okne definuje užívateľ uchopovaný predmet a následne si vyberie zo širokej možnosti nastavení. Má možnosť výberu medzi úchopom pomocou pravej alebo ľavej ruky, prípadne môže zvoliť aj obojručný úchop. Následne je možné zvoliť presnosť úchopu medzi pózou dokonale kopírujúcou tvar predmetu alebo len približnou polohou odsadenou od predmetu o zadanú vzdialenosť. Pózovanie rúk obsahuje, podobne ako pózovanie osoby, rozsiahlu knižnicu prednastavených póz, ktoré sa bežne vyskytujú v reálnom živote.

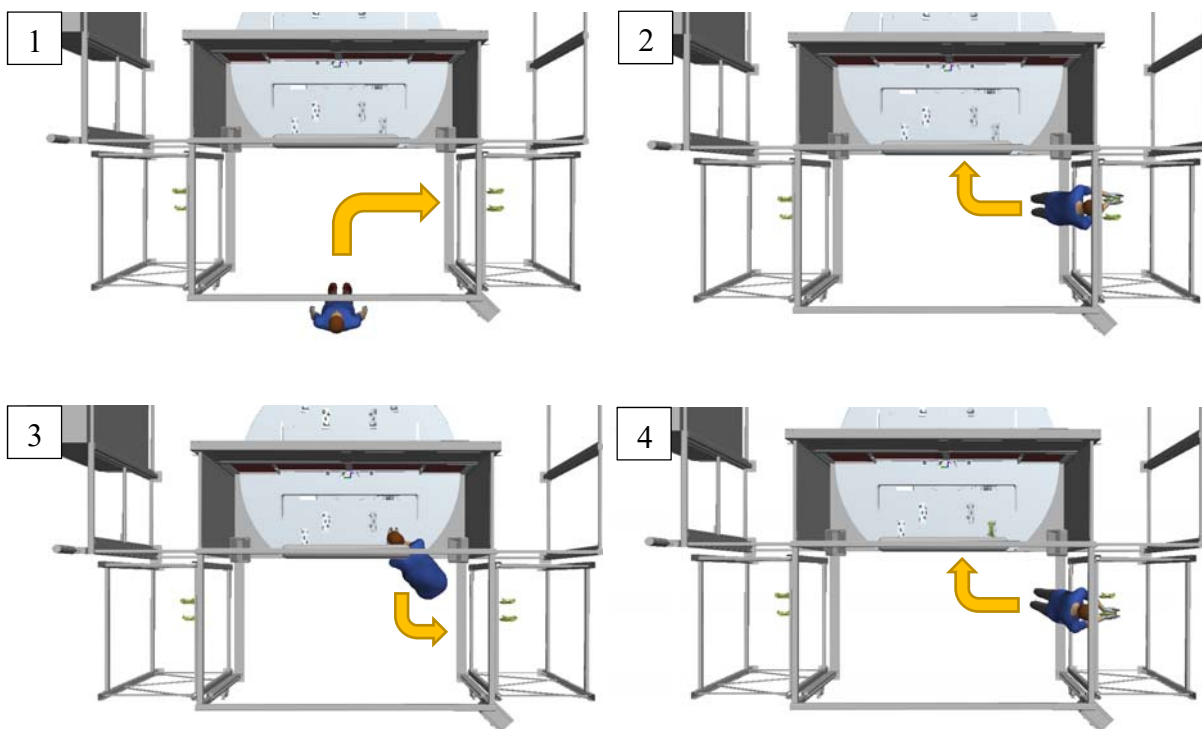


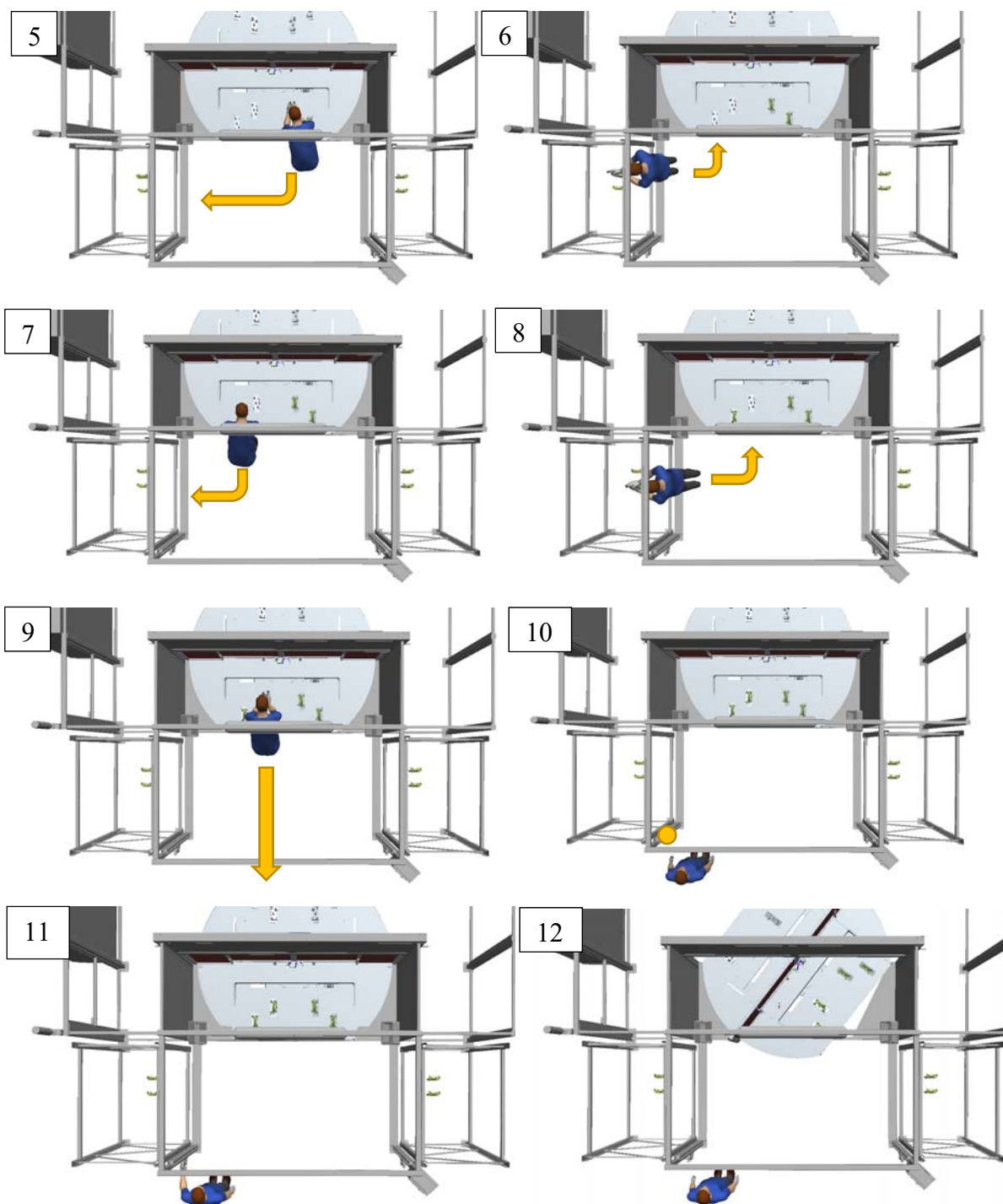
Obr. 41) Nastavenie pózy osoby a ruky

Najjednoduchšou možnosťou pri simulovaní ľudskej činnosti v programe Process Simulate je využitie funkcie „*Task Simulation Builder*“. Pomocou tejto funkcie je možné plynulo navrhnuť celý proces v niekoľkých jednoduchých krokoch. *Task Simulation Builder* umožňuje simulovať kráčanie, uchopovanie, ukladanie, státie, sedenie, tlačenie a iné činnosti, ktoré človek bežne vykonáva v priemysle. Jednotlivé činnosti sa zadávajú v chronologickom poradí a tak vytvárajú ucelenú činnosť pracovníka.

Simulácia ľudskej činnosti v prípade bunky bodového zvarovania pozostáva z desiatich čiastkových operácií. Simulácia sa začína vzpriameným postojom simulovanej osoby stojacej v bezprostrednej blízkosti od bezpečnostnej zóny. Prvou operáciou je uchopenie oboch častí zvarenca v mieste gravitačného zásobníka. Definovanie operácie uchopenia prostredníctvom funkcie *Task Simulation Builder* vyžaduje zadanie uchopovaného predmetu a výber pravej alebo ľavej ruky. Následne sa spustí sprievodca nastavením operácie, ktorý užívateľ a prevedie všetkými elementárnymi operáciami, ktoré sú nutné pre vykonanie daného celku. V prípade uchopenia dielov pre prvý zvarenec sa operácia rozdelila na tri elementárne operácie a to kráčanie, siahnutie a uchopenie. Sprievodca operáciami automaticky vygeneruje najkratšiu trasu od aktuálnej pozície osoby k požadovanej polohe. Túto polohu je následne možné editovať na ľubovoľnú pozíciu alebo pridať body prechodu pre presnejšiu aproximáciu trasy. Po definovaní operácie kráčania, sprievodca softwaru Process Simulate prevedie užívateľa nastavením úchopu predmetu. V tomto kroku je presne definované natočenie dlane a prstov jednotlivých rúk, pre realistickú simuláciu uchopenia predmetu.

Podobným spôsobom sa pripraví simulácia uloženia častí zvarenca na otočný stôl. Tento proces sa zopakuje pre všetky štyri produkty a následne je simulovaný odchod osoby z bezpečnostnej zóny. Po vykročení z bezpečnostnej zóny sa simulovaná osoba otočí a stlačí tlačidlo potvrdzujúce ukončenie práce. Následne čaká na otočenie stolu a vykoná proces zakladania polotovarov znovu.

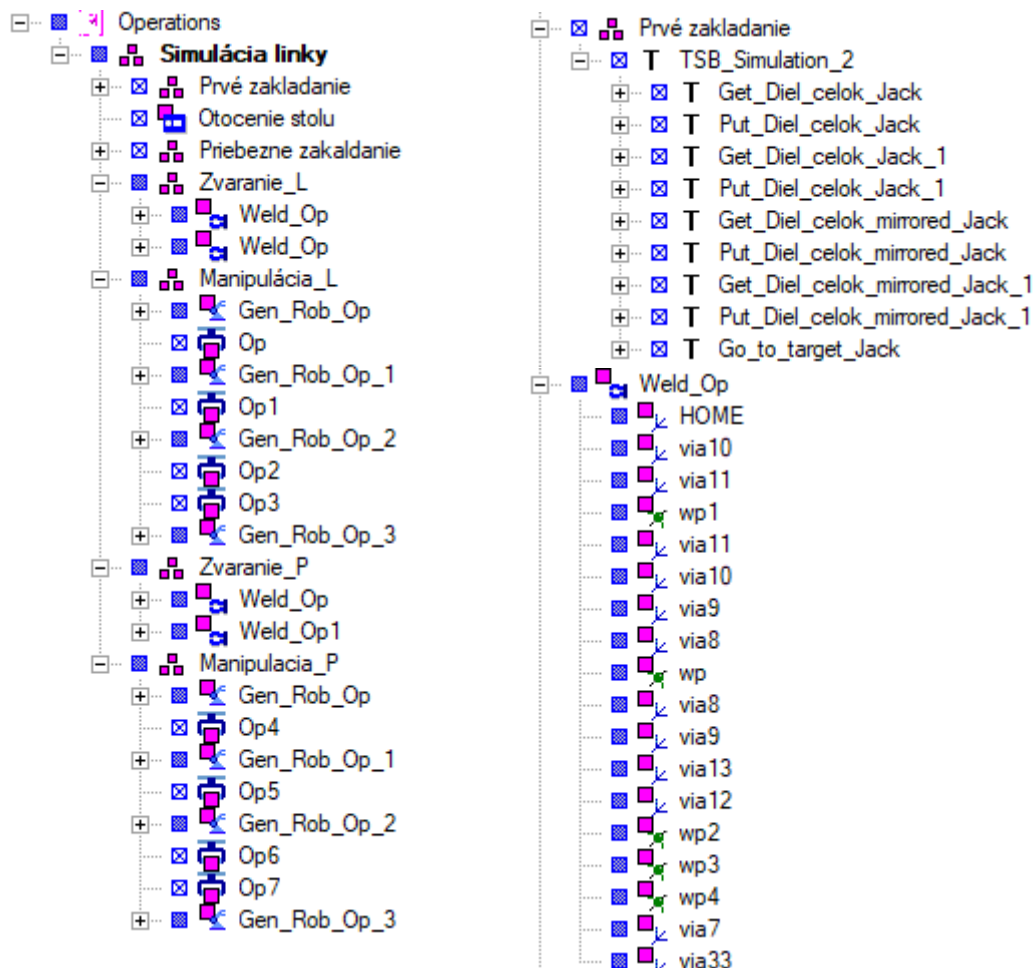




Obr. 42) Vizualizácia procesu zakladania polotovarov

8 VYHODNOTENIE SIMULÁCIE

Výsledná simulácia pracoviska sa skladá z dvoch operácií pracovníka, otočenia stola a zváracích a manipulačných operácií jednotlivých robotov. Simulácia linky začína založením polotovarov obsluhou na otočný stôl. Nasleduje otočenie stola a spustenie robotického bodového zvárania. Roboti zvárajú polotovary súčasne tak, aby svojim pohybom neobmedzovali alebo neohrozovali činnosť toho druhého. Po zavarení všetkých štyroch zvarencov sa efektor robota otočí do pozície vhodnej pre ich uchopenie pomocou pneumatických gripperov. Zvarence sú uchopované postupne. Po uchopení oboch zvarencov príslušným robotom, dochádza ich premiestneniu na pripravenú prepravnú paletu na príslušnom reťazovom dopravníku. Počas behu robotických operácií, obsluha zakladá na druhej strane otočného stola ďalšie polotovary. Strom jednotlivých operácií je zobrazený na obr 43. Tento proces sa ďalej opakuje až do prestávky pre operátora alebo konca zmeny.



Obr. 43) Strom operácií tvoriacich simuláciu bunky a niektoré ich detaily

Po príprave jednotlivých operácií a jej následnej simulácii je automaticky vytvorený Ganttov diagram. Diagram tvorí grafické znázornenie postupnosti naplánovaných činností v čase. Z diagramu je možné určiť trvanie čiastkových operácií, ich nadväznosť a vzťahy medzi nimi, čo môže byť neskôr využité pri optimalizácii výrobného procesu.

Optimalizácia procesov prebiehala v niekoľkých krokoch. Prvým krokom bolo pridanie dodatočných bodov prechodu robota k jednotlivým operáciám. V prípade zváracích operácií sa jedná o body v blízkosti bodov zvaru, ktoré umožnili lepšie popísať požadovanú trajektóriu robota, vyhnúť sa kolíziám a limitovať rýchlosť polohovania. V prípade manipulačných operácií mal tento krok identický účel.

V ďalšom kroku boli jednotlivým bodom pridelené hodnoty vyhladzovania krivky. V bodoch, kde bolo nutné dosiahnuť presnú polohu, ako sú napríklad body zvaru, uchopenia alebo polohovania bola v záložke *Path editor* nastavená hodnota vyhladzovania *fine*. To zaručí napolohovanie robota do daného bodu a súčasné zastavenie sa v ňom. Naopak bodom, ktorými robot iba prechádza a bližšie popisuje trajektóriu robota, boli pridelené rôzne hodnoty vyhladzovania. Hodnoty sa pohybovali v rozmedzí *C_DIS 20* až *C_DIS 50*. Táto optimalizácia výrazne zvýšila plynulosť pohybov robota a skrátila dobu operácie.

Posledný krok optimalizácie procesov spočíval v nastavení vhodných rýchlostí robota. V miestach voľného pohybu robota bol nastavený typ pohybu PTP so 100% rýchlosťou. Povolenie maximálnej rýchlosti robota umožní využitie potenciálu robota a skráti dobu operácie. Pri pohybe bodovacích klieští alebo gripperov v blízkosti zvarencov bol nastavený pohyb LIN s rýchlosťou pohybu na úrovni 80 mm/s. Znížená rýchlosť umožní presné polohovanie efektoru a minimalizuje škody v prípade kolízie počas výrobného procesu.

Prehľad nastavení jednotlivých bodov je najprehľadnejšie zobrazený v záložke *Path editor*. Detailné nastavenia prechodov body pre jednu zo zváracích operácií je zobrazený na obr.44. V tabuľke sú prehľadne zobrazené súradnice jednotlivých bodov, ich natočenie, doba trvania pohybu, typ pohybu, rýchlosť a hodnota vyhladzovania trajektórie. Všetky hodnoty s bielym pozadím je možné meniť priamo v tabuľke.

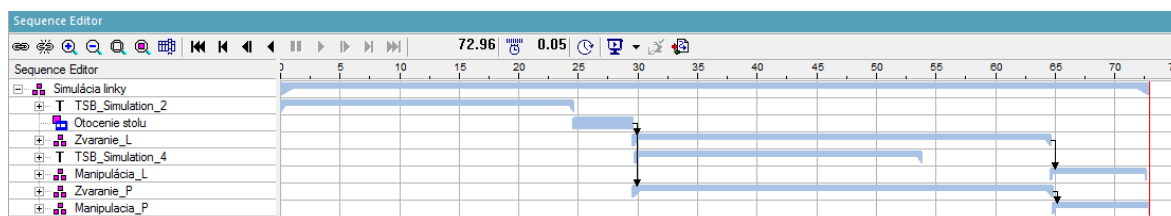
Paths & Locations	X	Y	Z	RX	RY	RZ	Duration	Robot	Motion	Speed	Zone
Zvaranie_L							36.85				
Weld_Op							17.77	kr120r290...			
HOME	1326.41	683.42	1147.54	-175.98	-1.29	143.25	0.00		PTP	100 %	C_DIS 50 ...
via10	1655.26	1886.54	833.40	177.96	0.42	-178.66	1.35		PTP	100 %	C_DIS 30 ...
via11	1655.57	1873.33	833.48	177.96	0.42	-178.66	0.13		PTP	100 %	C_DIS 20 ...
wp1	1655.87	1857.78	841.20	177.96	0.42	-178.66	2.03		LIN	0.08 m/s	fine
via11	1655.57	1873.33	833.48	177.96	0.42	-178.66	0.30		LIN	0.08 m/s	fine
via10	1654.81	1910.17	820.10	177.96	0.42	-178.66	0.22		PTP	100 %	C_DIS 20 ...
via9	1592.84	1905.53	828.41	177.96	0.42	-178.66	0.41		PTP	100 %	C_DIS 30 ...
via8	1593.59	1871.89	833.02	177.96	0.42	-178.66	0.21		PTP	100 %	C_DIS 20 ...
wp	1593.89	1856.34	840.74	177.96	0.42	-178.66	2.03		LIN	0.08 m/s	fine
via8	1593.59	1871.89	833.02	177.96	0.42	-178.66	0.30		LIN	0.08 m/s	fine
via9	1592.84	1905.53	828.41	177.96	0.42	-178.66	0.21		PTP	100 %	C_DIS 30 ...
via13	1628.78	1863.28	907.78	80.04	-0.42	1.34	2.73		PTP	100 %	C_DIS 30 ...
via12	1629.09	1865.29	859.01	80.04	-0.42	1.34	0.69		LIN	0.08 m/s	fine
wp2	1629.09	1865.29	859.01	80.04	-0.42	1.34	1.74		LIN	0.08 m/s	fine
wp3	1648.09	1865.73	858.15	80.04	-0.42	1.34	2.06		LIN	0.08 m/s	fine
wp4	1668.62	1866.22	849.31	79.86	7.58	1.34	2.10		LIN	0.08 m/s	fine
via7	1675.87	1866.34	903.82	79.86	7.58	1.34	0.77		LIN	0.08 m/s	fine
via33	1646.55	1802.84	1024.42	79.86	7.58	1.34	0.50		PTP	100 %	C_DIS 40 ...

Obr. 44) Definovanie bodov simulácie a ich optimalizácia

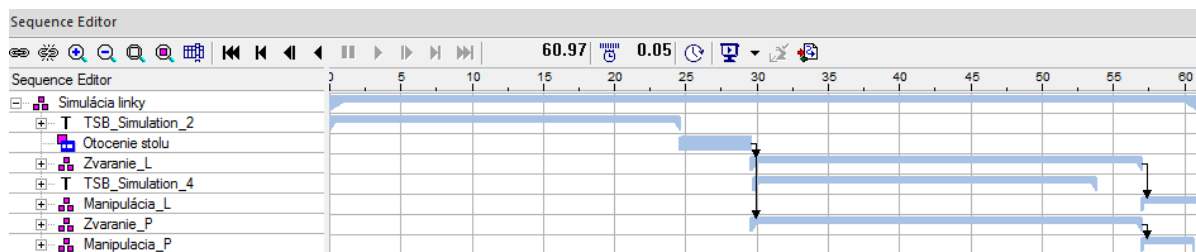
Pri finálnej simulácii bolo nevyhnutné použiť RCS modul pre robotov od spoločnosti KUKA. RCS modul definuje v prostredí softwaru Process Simulate jeho mechanické a fyzikálne vlastnosti, čo dáva simulácii požadovanú presnosť. Tabuľka 10 zobrazuje rozdiely v trvaní čiastkových operácií medzi simuláciou pri použití a bez použitia RCS modulu. Tabuľka 10 názorne zobrazuje rozdiely vzniknuté pri oboch simuláciách.

Tab 10) Porovnanie trvania operácií s a bez RCS modulu

Operácia	Bez RCS modulu	S RCS modulom
Prvé zakladanie	24,60 sek	24,60 sek
Priebežné zakladanie	24,07 sek	24,07 sek
Zváranie_L	34,48 sek	24,79 sek
Zváranie_P	34,91 sek	24,63 sek
Manipulácia_L	8,31 sek	6,58 sek
Manipulácia_P	8,45 sek	6,48 sek
Otočenie stolu	5,00 sek	5,00 sek
Maximálna doba operácie	72,96 sek	60,97 sek



Obr. 45) Ganttov diagram simulácie bez použitia RCS modulu



Obr. 46) Ganttov diagram s použitím RCS modulu

Z tabuľky 10 a z ganttových diagramov je zrejmy približne 12 sekundový rozdiel v simulácii. Celková dĺžka operácií v prípade spustenia linky, t.j. pri uvažovaní prvého zakladania polotovarov operátorom, kedy roboty čakajú na polotovary je simulovaný na 60,97 sekundy. Pri určení dĺžky jedného taktu robotov je doba trvania operácií vrátane otočenia stolu simulovaná na 36,37 sekundy. Navrhovaná doba zakladania polotovarov sa pohybuje v rozmedzí 24 – 25 sekúnd, čo dáva operátorovi približne 11 sekundovú časovú rezervu v porovnaní s dĺžkou taktu robotov. Výsledný čas operácií v realite by mal byť takmer totožný s výsledkami simulácie s RCS modulom generovanej softwarom Process Simulate.

9 ZHODNOTENIE A DISKUSIA

Pre potreby návrhu a simulácie robotizovanej bunky pre zváranie a manipuláciu bol využitý software Process Simulate od spoločnosti Siemens. Tento simulačný software poskytol množstvo funkcií, ktoré uľahčili návrh pracoviska, zrýchlili proces výberu vhodných komponentov, zjednodušili kontrolu kolízií pri pohyboch robota a dokázal vyčíslit' presnú hodnotu procesu vykonávaného nielen obsluhou, ale aj robotmi.

Medzi najužitočnejšie funkcie patrí výber vhodných bodovacích klieští. V prípade použitia CAD softwaru by proces výberu vhodných klieští mohol trvať niekoľko dní. Pomocou tejto funkcie prebehla analýza v priebehu niekoľkých sekúnd.

Ďalšou veľkou výhodou softwaru Process Simulate je možnosť vytvoriť program pre šesťosého robota aj bez hlbších znalostí programovacieho jazyka. Vytváranie operácií robota bolo veľmi intuitívne a rýchle. Automatické funkcie návrhu dráhy koncového efektoru častokrát dávali neuspokojivý výsledok vzhľadom na kolízie s okolím robota, no pridaním bodov prechodu bolo jednoduché optimalizovať pohyby robota.

Simulácia pohybov operátora tvorila samostatnú časť simulácie bunky. Simulovanie pohybov operátora pomocou funkcie *Task Simulation Builder* umožnila rýchle programovanie základných pohybov pracovníka. Pri simulovaní bolo jednoducho možné meniť polohu pracovníka pri uchopovaní alebo ukladaní predmetov. Rovnako tak kladne hodnotím možnosť zobrazenia zorného uhla zvoleného pracovníka. Táto funkcia dáva konštruktérovi a technologovi lepší prehľad o potrebách pracovníka pre efektívne vykonávanie technologického procesu alebo údržby zariadenia.

Z pohľadu virtuálneho uvádzania do prevádzky predstavuje software Process Simulate efektívny nástroj pre overenie si vhodnosti návrhu, prípadné úpravy a optimalizáciu jak z pohľadu výroby, ako aj z pohľadu inštalácie a prevádzky zariadenia. Pri včasnom odhalení nedostatkov návrhu môže virtuálne uvádzanie do prevádzky ušetriť veľké finančné prostriedky.

Významnú časť diplomovej práce zastáva kapitola o bezpečnosti strojného zariadenia. Práca popisuje vplyv bezpečnostných predpisov pri navrhovaní robotických pracovísk. Po analýze rizík spojených s používaním navrhovaného zariadenia, boli prijaté opatrenia na minimalizáciu rizík podľa normy STN EN ISO 12100. Výsledný návrh zariadenia bol zhodnotený ako bezpečný a vhodný na postúpenie k realizácii.

10 ZÁVER

Diplomová práca podrobne popisuje návrh robotickej bunky pre zváranie a manipuláciu pomocou CAD softvéru a softvéru Process Simulate od spoločnosti Tecnomatix. V práci je popísaný bežný postup navrhovania robotizovaných pracovísk, začínajúci výberom vhodných komponentov a určením návrhového layoutu až po optimalizáciu jednotlivých ľudských alebo robotických operácií.

Pri návrhu pracoviska bolo postupované podľa normy STN EN ISO 12100 „Bezpečnosť strojov. Všeobecné zásady konštruovania strojov. Posudzovanie a znižovanie rizika.“. Práca popisuje všetky konštrukčné prvky bunky ako sú otočný stôl, gravitačný zásobník, bodovacie kliešte a pod. a ich význam pre správny chod celého strojného zariadenia. Po návrhu všetkých častí bunky bola spracovaná analýza rizík a boli prijaté opatrenia pre minimalizovanie vzniknutého rizika. Minimalizácia rizika bola dosiahnutá pevným krytovaním, pohyblivým krytovaním, svetelnými závorami, laserovými skenermi a inými bezpečnostnými zariadeniami bližšie popísaným v kapitole 7.

Ďalej je táto diplomová práca zameraná na využitie rôznych funkcií softwaru Process Simulate v celom rozsahu návrhu pracoviska. Všetky použité funkcie sú dôkladne vysvetlené a názorne popísané. Pre účely návrhu zváracej robotickej bunky boli najužitočnejšie najmä funkcie *Geometric Gun Search* a *Smart place*. Použitie funkcie *Geometric Gun Search* uľahčilo výber vhodných bodovacích klieští a skrátilo dobu potrebnú na ich výber z niekoľkých hodín na minimum (menej ako 5 minút). Následné použitie funkcie *Smart place* umožnilo efektívne zvoliť najoptimálnejšiu polohu robotov vzhľadom na vybrané bodovacie kliešte a miesta zvaru.

Po nasimulovaní pohybov operátora pomocou funkcie *Task Simulation Builder* bola simulácia podrobne analyzovaná a vyhodnotená s nasledujúcimi výsledkami. Pri prvom zakladaní po reštarte linky bol čas simulovaných operácií určený na 60,97 sekundy. Počas bežnej prevádzky bunky je doba taktu 36,37 sekundy. Bežnou prevádzkou sa rozumie simultánne zakladanie polotovarov operátorom na jednej strane otočného stola a bodové zváranie dielov robotmi na druhej strane stola.

Na základe výsledných hodnôt simulácie bolo skonštatované splnenie všetkých bodov zadania popísaných v kapitole 3. Bunka nepresahuje maximálne povolené rozmery, boli zvolené produkty od predpísaných výrobcov, pracovisko spĺňa požiadavky na technologické postupy a zariadenie ako celok sa považuje za bezpečné. Navrhnuté robotické pracovisko nespĺňa požiadavky maximálnej efektívnosti a ekonomickosti, no na základe požiadaviek pomenovaných v zadaní, bunka poskytuje dostatočnú výkonovú rezervu aj pre niekoľkonásobne ťažšie a objemnejšie predmety vyrábané rovnakým technologickým postupom.

11 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] *Process Simulate* [online]. [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <http://www.sova.sk/sk/produkty/tecnomatix/process-simulate>
- [2] *Prehľad typov šesťosých robotov KUKA* [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka_typenuebersicht_de.pdf
- [3] *Otočné stoly Sopap TS* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.uzimex.cz/Vyrobce/Sopap/Jednoose-s-otocnym-pohybem/Stoly-TS.html>
- [4] *Špecifikácia materiálu UNIDAL®* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://gleich.de/cz/produkty/unidal/>
- [5] *Paralelné uchopovače Festo* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/sk_sk/products_010804
- [6] *Industrial robotics high payloads* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka_pb_hohe_tl_en.pdf
- [7] SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY 2006/42/ES: o strojových zariadeniach a o zmene a doplnení smernice 95/16/ES (prepracované znenie). Štrasburg, 2006.
- [8] STN EN ISO 12100: Bezpečnosť strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika. 2011.
- [9] *MANAGEMENT TECHNICKÝCH RIZIK U VÝROBNÍCH STROJŮ*. Brno, 2010. Teze habilitační práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. Petr BLECHA, Ph.D.
- [10] HANKO, Dušan. Manažment rizika pri konštruovaní strojových zariadení. Piešťany, 2010. Dostupné z: http://www.unms.sk/swift_data/source/dokumenty/skusobnictvo/odborne_seminare/interpretacia_smernice_ep_a_rady_2006_42_es_o_strojovych_zar/Ing.%20Hanko,%20Manazment%20rizika,%20Piestany,%202010.pdf
- [11] STN EN ISO 13849-1: Bezpečnosť strojov. Bezpečnostné časti riadiacich systémov. Časť 1: Všeobecné zásady navrhovania (ISO 13849-1: 2015). 2016.
- [12] *SICK* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.sick.com/ag/en/>
- [13] STN EN ISO 13855. Bezpečnosť strojov. Umiestnenie ochranných zariadení so zreteľom na rýchlosť približujúcich sa častí ľudského tela (ISO 13855: 2010). 2010.
- [14] *Schneider electric* [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <https://www.schneider-electric.sk/sk/>
- [15] Technomatix. *Plm Automation Siemens* [online]. [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/tecnomatix/#lightview%26url=/en_us/Images/7457_tcm1023-80351.pdf%26title=Process%20Simulate%26description=Process%20Simulate%20Fact%20Sheet%26docType=pdf

12 ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK

12.1 Zoznam tabuliek

TAB 1) ODLIŠNOSTI ROBOTOV RADY KR QUANTEC EXTRA [2].....	20
TAB 2) SPOLOČNÉ VLASTNOSTI ROBOTOV RADY KR QUANTEC EXTRA [2]	20
TAB 3) ODLIŠNOSTI ROBOTOV RADY KR CYBERTECH [2]	21
TAB 4) SPOLOČNÉ VLASTNOSTI ROBOTOV RADY KR CYBERTECH [2]	21
TAB 5) VLASTNOSTI VYBRANÝCH OTOČNÝCH STOLOV RADY SOPAP TS [3].....	25
TAB 6) FYZIKÁLNE VLASTNOSTI.....	33
TAB 7) DELENIE VÝKONNOSTNÝCH ÚROVNÍ	46
TAB 8) ANALÝZA RIZÍK PODĽA STN EN ISO 13849-1 [11]	47
TAB 9) ANALÝZA RIZÍK POMOCOU TROJKROKOVEJ METÓDY PODĽA STN EN ISO 12100 [9]	48
TAB 10) POROVNANIE TRVANIA OPERÁCIÍ S A BEZ RCS MODULU.....	72

12.2 Zoznam obrázkov

OBR. 1) POLOTOVARY URČENÉ NA BODOVÉ ZVÁRANIE	17
OBR. 2) POZÍCIA BODOV PRE ZVÁRANIE	18
OBR. 3) LAYOUT ZA POUŽITIA DVOCH ZVÁRACÍCH ROBOTOV.....	22
OBR. 4) LAYOUT ZA POUŽITIA DVOCH ZVÁRACÍCH A JEDNÉHO MANIPULAČNÉHO ROBOTA.	23
OBR. 5) PRIESTOROVÝ REZ OTOČNÝM STOLOM SOPAP TS.....	24
OBR. 6) STATICKÁ ANALÝZA NOSNÉHO RÁMU PRI SYMETRICKOM ZAŤAŽENÍ	26
OBR. 7) VIZUALIZÁCIA UPÍNACIEHO PRÍPRAVKU	28
OBR. 8) NÁVRH OTOČNÉHO STOLU	29
OBR. 9) KONTROLA VHODNOSTI BODOVACÍCH KLIESTÍ POMOCOU SOFTWARE PROCESS SIMULATE	31
OBR. 10) BODOVACIE KLIESTE POUŽITÉ PRI ZVÁRANÍ DIELOV	31
OBR. 11) VÝVOJOVÝ DIAGRAM VÝBERU UCHOPOVACIEHO ZARIADENIA	33
OBR. 12) IDEOVÝ NÁVRH UCHOPOVACIEHO ELEMENTU	34
OBR. 13) UCHOPOVACIE ZARIADENIE FESTO DHPS 10 – ZDROJ FESTO [5]	35

OBR. 14) PRACOVNÝ PRIESTOR ROBOTY KR 120 R2900 EXTRA [6]	36
OBR. 15) VÝPOČET ZAŤAŽENIA ROBOTY POMOCOU SOFTWARU KUKA LOAD 5.0	37
OBR. 16) NÁVRH SPÁDOVÉHO ZÁSOBNÍKA	38
OBR. 17) FINÁLNY LAYOUT BUNKY.....	39
OBR. 18) ZÁKLADNÉ NORMY A NARIADENIA PRE ROBOTIZOVANÉ PRACOVISKO [7],[8]	41
OBR. 19) SCHÉMA JEDNODUCHÉHO BEZPEČNOSTNÉHO SYSTÉMU	42
OBR. 20) VÝVOJOVÝ DIAGRAM MANAGEMENTU RIZÍK [9]	43
OBR. 21) GRAF PRE ODHAD RIZÍK [9].....	45
OBR. 22) DIAGRAM URČENIA PL_R PODĽA ISO 13849-1.....	47
OBR. 23) OPLOTENIE PRACOVISKA.....	49
OBR. 24) A) OPTICKÝ SNÍMAČ B) OPTICKÁ ZÁVORA [12].....	50
OBR. 25) PRÍKLAD NASTAVENIA BEZPEČNOSTNEJ ZÓNY OPTICKÉHO SKENERA	51
OBR. 26) UMIESTNENIE OPTICKÝCH BEZPEČNOSTNÝCH ZARIADENÍ... 54	
OBR. 27) BEZPEČNOSTNÝ POLOHOVACÍ SPÍNAČ A DVEROVÁ ZÁPADKA [14]	55
OBR. 28) NÚDZOVÉ TLAČIDLO [14]	55
OBR. 29) DELENIE MODULOV SOFTWARE PROCESS SIMULATE	56
OBR. 30) STROM MODELU S POPISOM POLOŽIEK	57
OBR. 31) DEFINOVANIE KINEMATIKY ŠESŤSÉHO ROBOTY	58
OBR. 32) MANIPULÁCIA JEDNOTLIVÝMI KINEMATICKÝMI VÄZBAMI.. 59	
OBR. 33) DEFINOVANIE OTVORENEJ A ZATVORENEJ POLOHY BODOVACÍCH KLIEŠŤÍ	59
OBR. 34) URČENIE POZÍCIE POMOCOU FUNKCIE SMART PLACE	60
OBR. 35) DIALÓGOVÉ OKNO FUNKCIE REACH TEST	61
OBR. 36) A) PREMIETNUTÉ BODY ZVARU B) DIALÓGOVÉ OKNO FUNKCIE PIE CHART	62
OBR. 37) ZNÁZORNENIE PRIEBEHU ZVÁRANIA	63
OBR. 38) SPOLOČNÉ OTÁČANIE ZVARENCOV A OTOČNÉHO STOLU SPOJENÝCH POMOCOU FUNKCIE <i>ATTACH</i>	64
OBR. 39) SIMULÁCIA MANIPULÁCIE S HOTOVÝMI ZVARENCAMI.....	65
OBR. 40) A) DEFINÍCIA OSOBY B) DEFINÍCIA RUKY.....	66
OBR. 41) NASTAVENIE PÓZY OSOBY A RUKY	67
OBR. 42) VIZUALIZÁCIA PROCESU ZAKLADANIA POLOTOVAROV	69
OBR. 43) STROM OPERÁCIÍ TVORIACICH SIMULÁCIU BUNKY A NIEKTORÉ ICH DETAILS	70

OBR. 44)DEFINOVANIE BODOV SIMULÁCIE A ICH OPTIMALIZÁCIA	71
OBR. 45)GANTTOV DIAGRAM SIMULÁCIE BEZ POUŽITIA RCS MODULU	72
OBR. 46)GANTTOV DIAGRAM S POUŽITÍM RCS MODULU	72

13 ZOZNAM PRÍLOH

CD

3D model bunky vo formáte .JT

PRÍLOHY