



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 LINKY PRO SVAŘOVÁNÍ OCELOVÉHO RÁMU

DESIGN OF A ROBOTIC CELL FOR A STEEL FRAME WELDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Kysela

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Pochylý

BRNO 2021

Zadaní diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Martin Kysela**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Pochylý**
Akademický rok: 2020/21

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 linky pro svařování ocelového rámu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na návrh pracoviště s průmyslovými roboty pro svařování zadaného ocelového rámu stroje. Práce se zabývá výběrem hlavních komponentů a jejich umístěním – návrhem layoutu pracoviště a návrhem koncových efektorů/upínacích přípravků. V rámci návrhu pracoviště bude využit SW Siemens Process Simulate pro detailní simulaci výroby a ověření funkčnosti navrženého řešení ve virtuálním prostředí.

Cíle diplomové práce:

Specifikace zadání – rozbor zadané problematiky. Návrh možností řešení pro zadaný typ aplikace.
Konstrukční návrh dílčích částí pracoviště (koncové efekторы, přípravky, oplocení, krytování apod.)
Ověření funkčnosti řešení ve virtuálním prostředí – v SW Siemens Process Simulate.
Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené literatury:

- SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4.
- NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0.
- MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom tejto diplomovej práce je návrh linky pre robotické oblúkové zváranie oceľového rámu. Sú uvedené tri koncepčné návrhy riešenia a z nich zvolený najvhodnejší variant. Následne sú vypracované viaceré konštrukčné návrhy, ako návrh prípravku, oplotenia, zásobníkov materiálu a sú zvolené jednotlivé komponenty a zariadenia potrebné pre správne fungovanie výrobnéj bunky. Návrh je vypracovávaný s ohľadom na bezpečnosť obsluhy pracoviska. Výstupom je 3D model výrobnéj linky, jeho implementácia a sprevádzkovanie výrobného procesu v simulačnom programe Process Simulate, overenie funkčnosti a logiky programu výrobnéj bunky. Overíme zvárateľnosť zadaného dielu, zistíme výrobný takt, odstránime chyby, kolízie a v závere je vypracované technicko-ekonomické zhodnotenie.

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to design a cell for robotic arc welding of steel frame. Three possible solutions are provided and one of them is to be chosen to work out. Construction designs of fixture, machine guarding and material racks were created and devices and components required for cell functionality were chosen. All of that with regard to the safety of workplace operators. The result is 3D model of welding cell, its implementation and virtual commissioning in the simulation software Process simulate. We will verify the weldability of assigned part, find out the production cycle, eliminate error and lastly the technical and economic evaluation will be work out.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

robotické oblúkové zváranie, zváracia bunka, externé osi, otočný stôl, simulácia výrobného procesu, bezpečnosť pracoviska, prípravok

KEYWORDS

robotic arc welding, welding cell, external axis, positioner, manufacturing process simulation, workplace safety, fixture

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KYSELA, Martin. *Návrh robotické linky pro svařování ocelového rámu* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133153>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Aleš Pochylý.

POĎAKOVANIE

Týmto ďakujem vedúcemu diplomovej práce Ing. Alešovi Pochylému za odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovávaní diplomovej práce. Vďaka patrí taktiež mojim rodičom a blízkym za ich podporu počas štúdia.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

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

V Brně dne 20.05.2021

.....

Kysela Martin

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA	12
2.1	Simulačné a offline programovacie softvéry	12
2.1.1	Tecnomatix	12
2.1.2	Fanuc Roboguide	14
2.1.3	RobotStudio – ABB	14
2.1.4	Delmia V5.....	15
2.1.5	RoboDK.....	16
2.2	Robotizované zváranie.....	16
3	ŠPECIFIKÁCIA ZADANIA	18
3.1	Model oceľového rámu	18
3.2	Zvárací horák	19
4	KONCEPČNÉ NÁVRHY PRACOVISKA	20
4.1	Variant A.....	21
4.2	Variant B.....	22
4.3	Variant C.....	23
4.4	Výber výsledného variantu	24
4.4.1	Postupnosť obsluhy pracoviska C	24
5	NÁVRH A VÝBER KOMPONENTOV PRACOVISKA	25
5.1	Konštrukčný návrh prípravku	25
5.2	Návrh a výber komponentov prípravku	27
5.2.1	Manuálne upínače	27
5.2.2	Upínacie elementy	27
5.2.3	Snímania prítomnosti dielov v prípravku	28
5.3	Výber otočného stola	29
5.3.1	Konštrukčný návrh zásteny otočného stola	30
5.4	Konštrukčný návrh podstavy pracoviska	31
5.5	Konštrukčný návrh zásobníkov materiálu	32
5.6	Výber periférnych zariadení zväracieho robota.....	33
5.7	Výber robota pre zväraciu aplikáciu	35
6	BEZPEČNOSTNÉ PRVKY PRACOVISKA	37
6.1	Bezpečnostné oplotenie	37
6.2	Zabezpečenie vstupu do výrobnéj bunky.....	38
6.3	Bezpečnostné prvky pracovného priestoru obsluhy	38
6.3.1	Bezpečnostné svetelné závesy	38
6.3.2	Bezpečnostný laserový skener	40
6.3.3	Núdzové zastavenie	42
6.3.4	Signálna veža	42
7	SIMULAČNÝ MODEL V PROCESS SIMULATE	43
7.1	Definovanie a import komponentov	43
7.2	Definovanie kinematických štruktúr komponentov.....	44
7.3	Vytvorenie zväracích dráh	45
7.3.1	Polohovanie otočného stola	47
7.3.2	Kontrola kolízií.....	47

7.4	Line simulation mód	49
7.4.1	Materiálový tok a operácie	49
7.5	Logika programu a sprevádzkovanie bunky	51
7.5.1	Vstupné a výstupné signály	51
7.5.2	Princíp fungovania z hľadiska obsluhy	54
7.5.3	Robotický program	55
7.5.4	Servisný vstup do robotického pracoviska	57
7.6	Vyhodnotenie simulácie	58
8	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE	60
9	ZÁVER A DOPORUČENIE PRE PRAX	62
10	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	63
11	ZOZNAM SKRATIEK, OBRÁZKOV A TABULIEK	65
11.1	Zoznam tabuliek	65
11.2	Zoznam obrázkov	66
12	ZOZNAM PRÍLOH	68

1 ÚVOD

Robotické pracoviská sa vyznačujú vysokou presnosťou, rýchlou a kvalitou. S ich vývojom súvisí aj rozvoj podporných prostriedkov pre programovanie robotov. Vďaka pribúdajúcim možnostiam a rozvoju simulačných programov nie je potrebná fyzická dostupnosť pracoviska a je čoraz väčší záujem o vytváranie digitálnych dvojčiat strojov, využívania virtuálnej reality a overovania navrhovaných riešení v rôznych simulačných prostrediach za účelom optimalizácie výrobných procesov, overovaním funkčnosti a za účelom odstránenia chýb a nedostatkov skôr, ako bude stroj skonštruovaný alebo zavedený do prevádzky.

Implementácia týchto možností v spojení s priemyselnou automatizáciou výrobných procesov je neodmysliteľnou súčasťou trendov vo výrobe za účelom zvyšovania kvality výrobkov, odbúrania nebezpečnej alebo monotónnej ľudskej činnosti, zjednodušenia ľudskej práce, zvyšovania efektivity procesov, znižovania chybovosti, nákladov, zvyšovania stability výrobných procesov a množstva ďalších prínosov. Častým riešením robotických pracovísk je používanie kolaboratívnych alebo priemyselných robotov v spolupráci s manipulačnými a dopravnými zariadeniami a senzorickými systémami.

Hlavným cieľom tejto práce bude návrh linky pre robotické oblúkové zvaranie oceľového rámu. Budú uvedené tri koncepčné návrhy riešenia. Je dôležité poznamenať, že tvorba podobných návrhov je veľmi individuálna a nie je možné pokladať tieto návrhy za jediné a najvhodnejšie. Z koncepčných návrhov bude metódou na základe hodnotiacich parametrov zvolený najvhodnejší návrh a detailne spracovaný v nasledujúcich kapitolách. Dôležitou súčasťou bude taktiež bezpečnosť obsluhy robotической linky.

Výstupom bude 3D model výrobnéj linky, jeho implementácia a sprevádzkovanie všetkých výrobných procesov v simulačnom programe Process Simulate. Tu overíme celkovú funkčnosť, fungovanie logiky linky a bezpečnostných prvkov, overíme zvarateľnosť zadaného rámu, dosah priemyselného robota a zistíme výrobný takt. Pomocou simulácie môžeme taktiež odhaliť prípadné kolízie komponentov a strojov. Následne ich odstrániť úpravou konštrukčného návrhu, návrhu layoutu alebo úpravou dráh robota. V závere práce bude vyhotovené technicko-ekonomické zhodnotenie.

2 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

V súčasnej dobe nutnosť úspor a optimalizácie rozhoduje o konkurencieschopnosti podniku, a preto je simulovanie výrobných procesov jedným z najužitočnejších nástrojov, ktoré napomáhajú v krátkom čase za zlomok prostriedkov dosiahnuť požadované výsledky a to všetko bez rizika. Pri potrebe optimalizovať existujúce alebo projektované výrobné procesy sú často vynaložené nemalé finančné prostriedky, pretože je veľmi ťažké odhadnúť, či nám navrhované opatrenia prinesú žiadané výsledky. Tomu môžeme predísť použitím simulačných nástrojov a bezpečne tak overiť, ako dopad budú mať nami navrhované opatrenia. Simulačné nástroje nám pomáhajú validovať navrhnutý výrobný proces, výrobnú linku, tok materiálu, optimalizovať rýchlosti zariadení a tým znižovať výrobný čas.

Ďalšou v dnešnej dobe využívanou možnosťou je virtuálne sprevádzkovanie. V tejto fáze môžeme na virtuálnej kópii výrobného zariadenia tvoriť a verifikovať algoritmy jeho riadenia a logiky pripojením na PLC, a tak môžeme celý program vyladovať na simulovanej verzii bez zásahu do výroby alebo fyzickej realizácie výrobného systému. Odstraňovanie chýb v simulačnom prostredí tak prispieje k rýchlejšej validácii programu pri jeho použití v reálnej prevádzke.

2.1 Simulačné a offline programovacie softvéry

V súčasnosti existuje veľké množstvo spoločností, ktoré dodávajú softvérové riešenia pre tvorbu simulácií, digitálnej továrne, dvojčiat, virtuálnych prevádzok a offline programovanie. Z hľadiska konkurencie je preto neustála snaha o ich zlepšovanie a prinášanie nových možností. V nasledujúcej časti je uvedených niekoľko známych softvérov, ktoré by bolo možné použiť pre zadanie tejto práce.

2.1.1 Tecnomatix

Je komplexným portfóliom softvérov pre digitálne výrobné riešenia. Tie pomáhajú digitalizovať výrobu, pretransformovať nápady na skutočné produkty s cieľom maximalizovať efektivitu výroby a realizovať inovácie.

Robot Expert

Umožňuje jednoduchú tvorbu simulácie, optimalizácie a offline programovania robotických aplikácií s cieľom maximalizovať rýchlosť, flexibilitu a ovládanie týchto aplikácií. 3D prostredie umožňuje jednoduché optimalizovanie robotických dráh, skracovanie doby cyklu, energetickej náročnosti a simulovať kompletné výrobné bunky. Je vhodný hlavne pre zhotovovateľov výrobných liniek, offline a online programátorov.

Process Designer

Platforma pre digitalizáciu plánovania výrobného procesu v 3D prostredí. Je nástrojom pre plánovanie novej alebo zmenu už existujúcej výroby a rieši celkový dizajn pracoviska s cieľom overiť či bude možné výsledný produkt na danom pracovisku vyrobiť. Pomôže nám znížiť náklady odstránením zbytočných zmien a znížiť náročnosť zdĺhavého plánovania vo výrobe.

Plant Simulation

Služi na optimalizáciu a simuláciu výrobných a logistických systémov a ich procesov. Vďaka tomu vieme zoptimalizovať tok materiálu, využitie zdrojov a logistiky na všetkých úrovniach podniku. Prínosom je napríklad zvýšenie produktivity, overenie investície, zvýšenie priechodnosti výrobnéj linky a optimalizácia počtu pracovníkov.

Jack

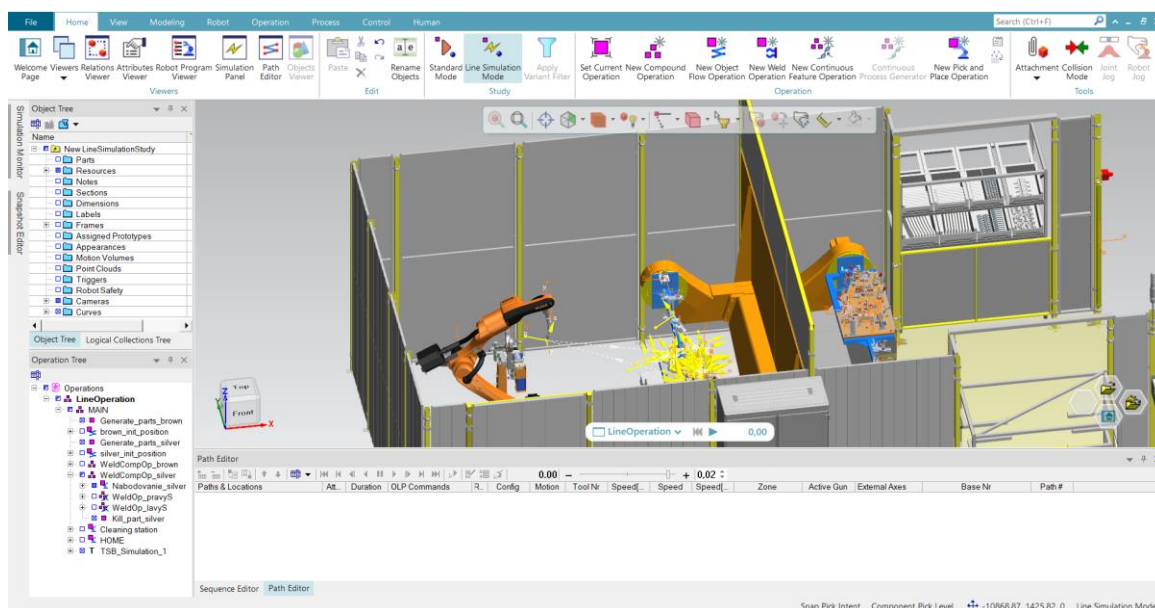
Platforma pre digitalizáciu pracovného prostredia vrátane ľudí. Môžeme detailne analyzovať jednotlivé pracovné úkony, a pripraviť tak pracovisko, ktoré bude mať najvhodnejšie podmienky pre prácu človeka z hľadiska ergonomie. Koordinácia kĺbov pre presné simulovanie človeka bola prevzatá zo štúdií NASA. Nástroj Jack nám pomôže upraviť existujúce pracoviská alebo s dizajnom nových pracovísk. Taktiež znížiť mieru rizika na pracovisku, zvýšenie efektívnosti a ergonomie, čo v konečnom dôsledku zodpovedá za zníženie nákladov.

RobCAD

Offline programovanie a overovanie návrhu robotických pracovísk sú hlavným princípom tohto digitálneho výrobného prostredia. Disponuje plnou integráciou základných technológií a procesov, ako napríklad bodové a oblúkové zvarovanie, rezanie laserom a vodným lúčom, vrtanie, nitovanie alebo ľudské operácie. Umožňuje tvorbu bunky v 3D prostredí a obsahuje nástroje pre navrhovanie a simuláciu výrobných zariadení.

Process Simulate

Nástroj pre plánovanie robotických alebo manuálnych výrobných systémov, či už jedného alebo viacerých produktov a virtuálnu validáciu výrobných procesov. Pomocou rôznych nástrojov ako overovanie dosahu, detekcia kolízií, verifikuje výrobný proces, čím nám pomáha urýchliť čas dodania produktu na trh. Podľa môjho názoru má process simulate prívetivé užívateľské prostredie, ktorého náhľad môžeme vidieť na obr. 1.

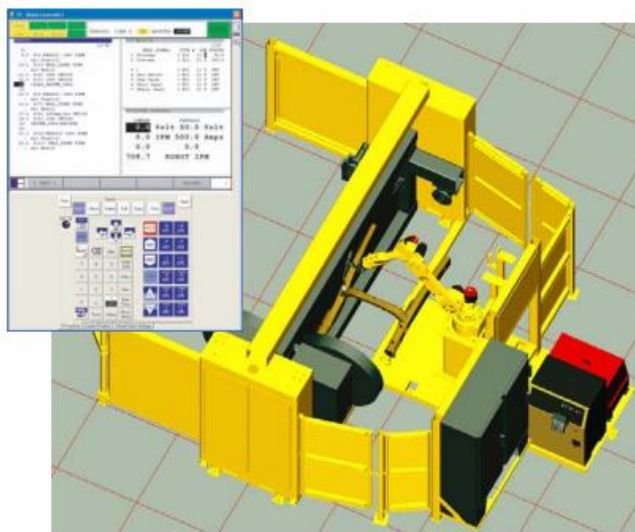


Obr. 1) Pracovné prostredie softvéru Process Simulate

2.1.2 Fanuc Roboguide

Fanuc Roboguide je softvér určený pre simuláciu a offline programovanie robotov FANUC. Jeho cieľom je taktiež minimalizovať čas potrebný na tvorenie nových nastavení robota a zaistiť minimálny vplyv na výrobu vďaka návrhu, testovaniu a modifikovaniu výrobných buniek offline. Na obr. 2 môžeme vidieť vzhľad virtuálneho pendantu. Softvér pracuje s virtuálnym riadiacim systémom, ktorý zodpovedá reálnemu riadiacemu systému, vďaka čomu je simulácia takmer totožná s reálnymi pohybmi robota. Má dostupné viaceré nástroje pre rôzne typy aplikácií ako napr.:

- HandlingPRO – pre manipulačné operácie
- PaintPRO – pre operácia nanášania farieb
- PalletPRO and PalletTool – pre paletizačné aplikácie
- WeldPRO – pre aplikácie oblúkového zvarovania



Obr. 2) Pracovné prostredie softvéru Fanuc Roboguide

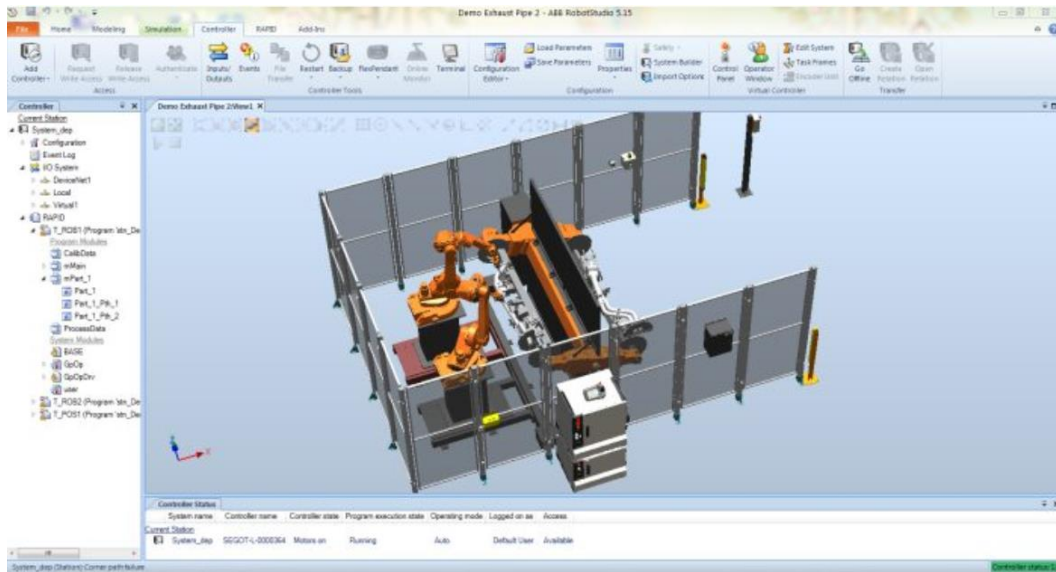
2.1.3 RobotStudio – ABB

RobotStudio (obr.3) umožňuje programovať robota prostredníctvom počítača bez nutnosti zastavenia výroby. Funguje na virtuálnom riadiacom systéme spoločnosti ABB s názvom ABB VirtualController, ktorý je presnou kópiou skutočného riadiaceho softvéru robotov ABB. Vďaka tomu umožňuje simulácie blízke realite s využitím reálnych robotických programov a konfigurácií identických s tými ktoré sa používajú vo výrobe. Z toho vyplýva, že pre programovanie robotov ABB sa tento softvér javí ako najlepšou možnosťou. Softvér disponuje rôznymi balíkmi funkcií a doplnkami pre rôznorodé aplikácie, pre kvalitnú offline simuláciou s minimom rizík, rýchlejším nástupom do výroby a maximalizáciou produktivity.

RobotStudio okrem iného aktuálne ponúka aj funkcie ako:

- Virtuálne stretnutia – pre zdieľanie digitálnych robotických riešení na virtuálnych mítingoch
- Digital Twin – digitálne dvojča pre simuláciu výrobného procesu v reálnom čase vo virtuálnom prostredí
- Virtuálne uvedenie do prevádzky – pre pripojenie k PLC a ďalším externým zariadeniam

- Rozšírená realita – využitie virtuálnej reality
- Simulácia polohy zastavenia – pre vizualizáciu a simuláciu optimálnej brzdných dráhy



Obr. 3) Pracovné prostredie softvéru RobotStudio

2.1.4 Delmia V5

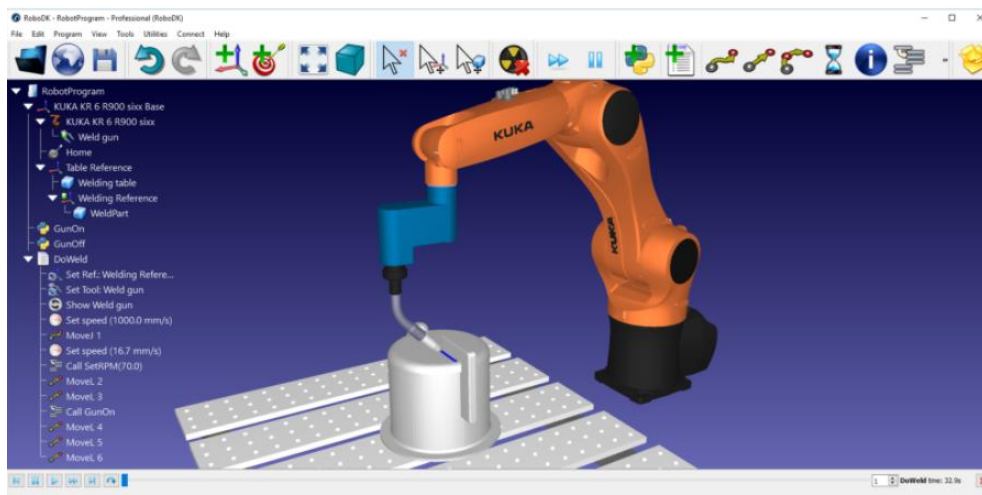
Je softvérovým riešením od spoločnosti Dassault System a slúži pre komplexnú simuláciu výrobných systémov a offline programovanie v 3D prostredí, ktoré môžeme vidieť na obr. 4. Obsahuje nástroje na prediktívne analýzy, programovanie a simulovanie priemyselných robotov, návrhy a plánovanie výrobných procesov, kontrolu a synchronizáciu výrobných operácií a taktiež nástroje pre simuláciu a overovanie obrábacích NC programov. Pracuje s knižnicou ktorá obsahuje približne 700 rôznych robotov a taktiež ponúka možnosť inštalácie virtuálneho riadiaceho systému od rôznych výrobcov robotov. Obsahuje aj nástroje pre analýzy ergonomie a bezpečnosti na pracovisku, bodové a oblúkové zvarovanie a nástroje pre virtuálne sprevádzkovanie. Delmia ponúka aj možnosť simulácie človeka podobne ako Process Simulate.



Obr. 4) Pracovné prostredie softvéru Delmia V5

2.1.5 RoboDK

Jedná sa o offline programovací a simulačný softvér pre priemyselné roboty. Nachádza využitie pre mnohé výrobné projekty vrátane frézovania, zvárania, manipulačných operácií, balenia a označovania, paletizácie, kalibrácie robotov a ďalších. Myšlienkou tohto softvéru je aby všeobecné využitie pre robotov rôznych výrobcov a je primárne určený pre offline programovanie. Softvér disponuje knižnicou s približne 500 robotmi. Náhľad softvéru môžeme vidieť na obr. 5.



Obr. 5) Pracovné prostredie softvéru RoboDK

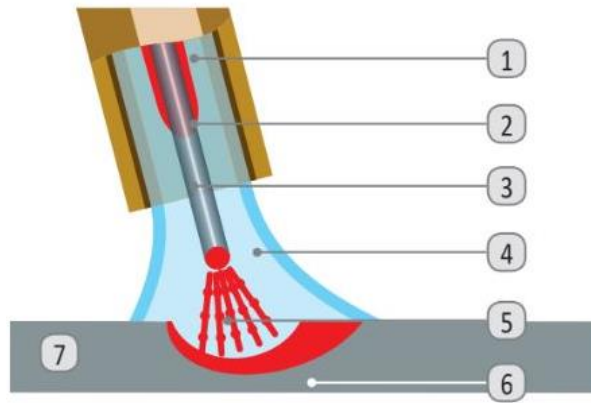
2.2 Robotizované zváranie

Je niekoľko typov zaužívaného robotizovaného zvárania a to:

- Jednodrôtové zváranie MIG/MAG
- Vysokorýchlostné zváranie MIG/MAG
- Zváranie TIG
- Zváranie plazmou
- Odporové bodové zváranie

V našej aplikácii zváracjej bunky bude použitá metóda jednodrôtového zvárania MIG/MAG. Metóda zvárania však nie je predmetom tejto práce preto bude len približená jej podstata v nasledujúcom odstavci.

Zváranie MIG/MAG je zváranie v ochrannej atmosfére inertného (MIG) alebo v ochrannej atmosfére aktívneho plynu (MAG), obr. 6. V súčasnosti je to najpoužívanejší spôsob zvárania a umožňuje mimoriadne vysoké rýchlosti zvárania. Používa sa pre ručné, mechanizované alebo robotické zváranie. Oblúk sa zapáli dotykom prídavného materiálu/zváracieho drôtu so zváraním dielom. Odtavená časť drôtu tak slúži ako prídavný materiál. Ochrana oblúku pred reaktívnym kyslíkom z okolia zabezpečuje ochranný plyn, ktorý prúdi plynovou hubicou a vytláča tak z prostredia zvaru kyslík. Metóda MAG slúži pre zváranie nelegovaných, nízkoalegovaných alebo vysokoalegovaných materiálov, a ako aktívny plyn sa používa čistý CO₂ alebo zmes plynov argón, CO₂, O₂ s ich rôznym zložením. Tieto plyny sú veľmi reaktívne na rozdiel od metódy MIG, pri ktorej sa používajú nereaktívne (inertné) plyny ako čistý argón, hélium alebo ich zmes. Metóda MIG je vhodná pre zváranie materiálov hliník, meď, titan alebo horčík.



Obr. 6) Zváranie MIG/MAG – 1. Hubica, 2. Kontaktná špička, 3. Drôt, 4. Ochranný plyn, 5. Oblúk, 6. Zvarový kúpeľ, 7. Zváraný materiál

Metóda MIG/MAG je veľmi obľúbená pre vysokú kvalitu zvaru pri pomerne nízkyh nákladoch. Medzi jej výhody môžeme zaradiť:

- Možnosť spájať rôzne druhy materiálov a hrúbok
- Cenová dostupnosť
- Vysoká efektívnosť zvarovania
- Zváranie vo všetkých pozíciách
- Menší prívod tepla
- Minimum odprskov a ostatkov strusky
- Vhodné pre robotické aplikácie

3 ŠPECIFIKÁCIA ZADANIA

Vytvoriť návrh kompletného robotizovaného pracoviska, jeho virtuálne overenie a sprevádzkovanie prostredníctvom simulačného programu. Zadanie v sebe spája prácu konštruktéra a simulačného inžiniera zároveň. Naplnenie cieľa a požiadaviek na pracovisko predstavuje niekoľko oblastí, ktorým je potrebné sa venovať. Pozostáva z:

- Konštrukčného návrhu prípravku, kapitola 4
- Konštrukčných návrhov ostatných prvkov pracoviska
- Výber komponentov pracoviska a periférnych zariadení robota
- Bezpečnostných opatrení, kapitola 5
- Importovania do prostredia Process Simulate, kapitola 6
- Sprevádzkovania linky v prostredí Process Simulate
- Predpokladaných investičných nákladov, kapitola 7

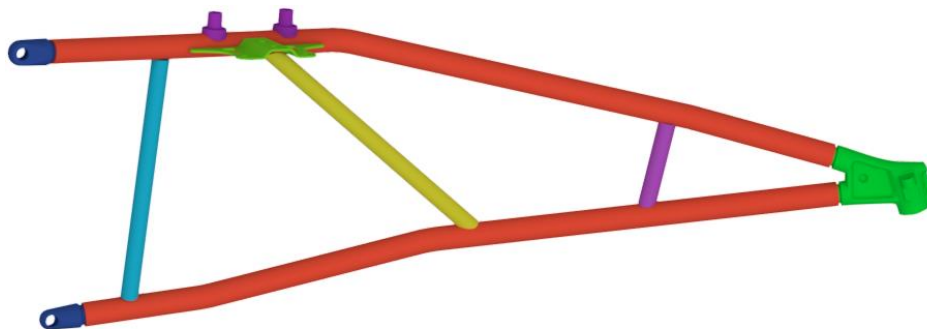
Rozdelenie pracovného priestoru na 2 časti, a to robotizovanú časť pracoviska a pracovný priestor obsluhy.

Požiadavky:

- Návrh prípravku
- Presný výrobný takt nie je daný
- Požadovaná geometria zvarového rámu
- Výška investície +/- 200 000€
- Kvalitné zvarové spoje
- Kompletné zvarenie roboticky
- Verifikácia v simulačnom prostredí

3.1 Model oceľového rámu

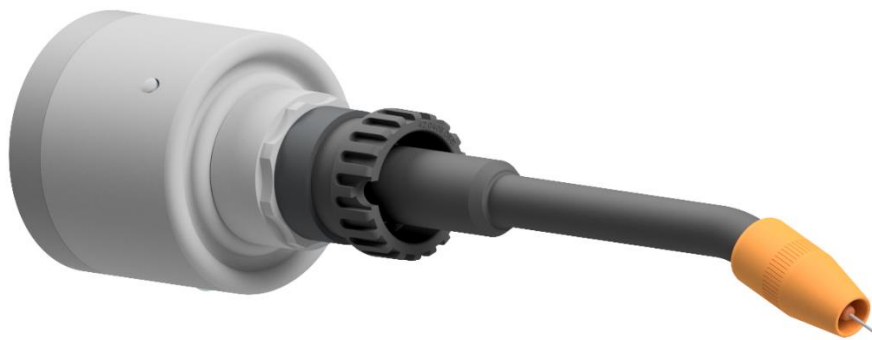
Zadaný bol 3D model oceľového rámu, ktorý je potrebné zvariť oblúkovým zvaraním vo všetkých styčných plochách po celom obvode. Model sa skladá z 11 častí, z čoho vyplýva 11 zvarových spojov vo všetkých styčných plochách jednotlivých dielov farebne vyznačených na obr. 1. Vo väčšine prípadov ide o rúry a preto je potrebné pre robota zabezpečiť prístup 360 stupňov okolo zvarového spoja. Horná a dolná hlavná časť rámu je viackrát ohýbaná a jednotlivé diely medzi sebou nezdieľajú spoločné roviny. Rám nepresahuje rozmery 900 x 300 mm.



Obr. 7) Model oceľového rámu pre zvaranie

3.2 Zvárací horák

Použitý je zvárací horák Robacta pre zváranie MIG/MAG spoločnosti Fronius určený pre priamu montáž v osi príruby robota prostredníctvom montážnej medzipríruby. Zvárací systém je systém Push spoločnosti Fronius, ktorý je ideálny pre zváranie oceli oblúkovým zváraním v ochrannej atmosfére a vyznačuje sa jednoduchou manipuláciou a nízkymi nákladmi na údržbu. Tento systém zaisťuje konštantný priedav, vysokú kvalitu aj pri použití vyšších rýchlostí. Ako vyplýva z názvu „Push“ je pri tejto metóde zvárací drôt tlačný do horáku prostredníctvom systému TPS/i. Ďalšími potrebnými komponentami sú: zásobník drôtu, zdroj a podávač drôtu umiestnený na ramene robota. [1]



Obr. 8) Zvárací horák - Fronius [1]

4 KONCEPČNÉ NÁVRHY PRACOVISKA

Táto kapitola je venovaná navrhnutým variantom layoutu bunky, ich následnému rozboru a výberu najvhodnejšieho variantu podľa stanovených požiadaviek. Pri návrhu layoutu je dôležité brať v úvahu viaceré kritéria, napríklad:

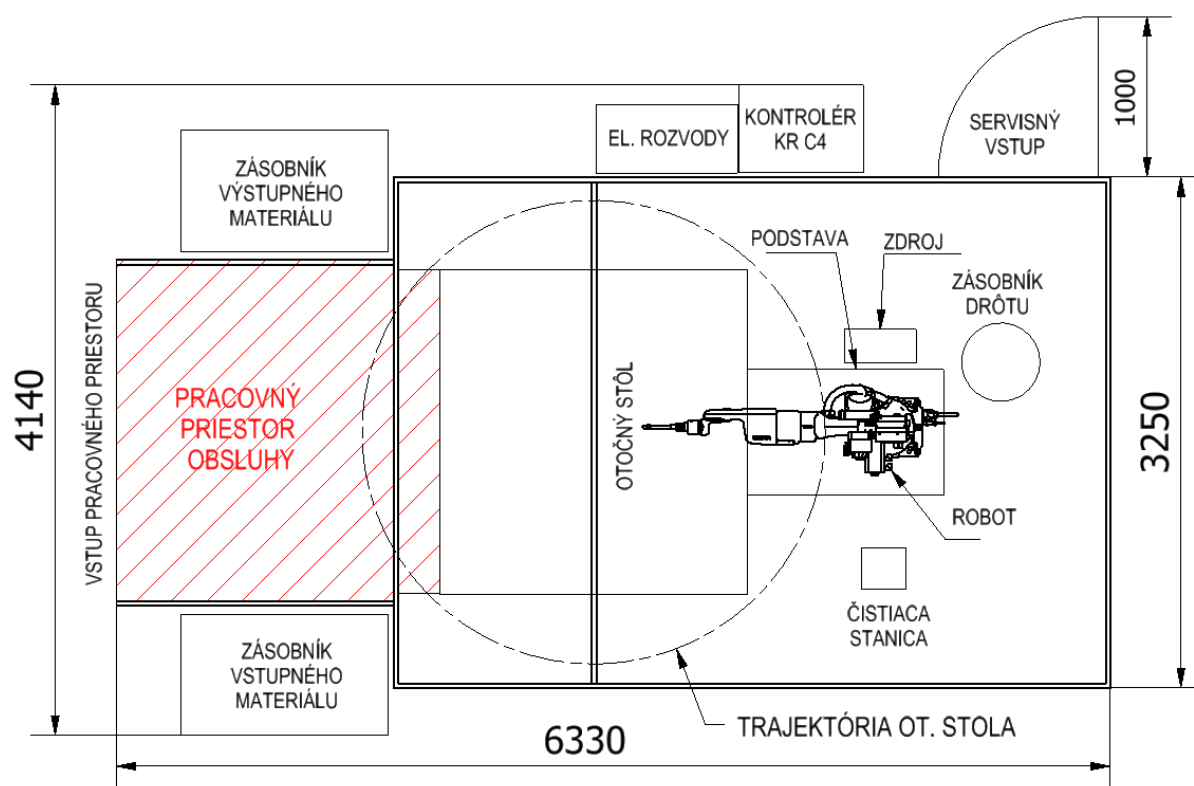
- Veľkosť zastavaného priestoru
- Polohu, typ a veľkosť robotov
- Výber vhodných komponentov, strojov, zariadení a ich umiestnenie
- Navrhovaný prípravok pre zváranie
- Výrobný takt pracoviska
- Umiestnenie zásobníkov vzhľadom na komfort obsluhy
- Umiestnenie elektrických zariadení

Na všetky tieto kritéria má však rozhodujúci vplyv cena a požiadavky zákazníka. Po vytvorení návrhov pri vypracovávaní reálnej zákazky je vhodné ich odkonzultovať so zákazníkom, aby sme zistili či spĺňa jeho požiadavky a vyhli sa tak prípadným nedorozumeniam alebo reklamáciám po realizácii projektu. Výstupná manipulovaná zostava vzhľadom na svoju veľmi malú hmotnosť nepredstavuje vysokú záťaž pre obsluhu, čo je spolu s požiadavkami na takt a cenu dôvodom, prečo vo všetkých nižšie uvedených variantoch návrhov zabezpečuje túto manipuláciu obsluha a nebolo uvažované použitie manipulačných zariadení.

4.1 Variant A

V tomto návrhu uvedenom na obr. 3 bola zámerom najmenšia zastavaná plocha s podmienkou, že bude celý zvarenec vyhotovený v jednom zváracom cykle. Z čoho vzhľadom na tvar zváraného rámu vyplýva, že je potrebné použiť dvoj alebo trojosý otočný stôl, ktorý by spolu s konštrukčným návrhom prípravku zabezpečil upnutie jednotlivých súčiastok a ich kompletné zvarenie z oboch strán. To by umožnilo použiť kratší otočný stôl, výrazne menší prípravok a tým zmenšiť zastavanú plochu a čiastočne znížiť predpokladané náklady na projekt.

Na druhej strane však nebolo žiadané použitie pneumatických upínacích prvkov, ktoré by uľahčili návrh takéhoto prípravku. Náklady na samotný prípravok by však ich použitie výrazne zvýšilo, oproti použitiu manuálnych upínacích prvkov. Vzhľadom na vyššie spomínané aspekty, celkový tvar rámu a veľmi malé rozmery niektorých upínaných súčiastok sa nepodarilo zhotoviť tento konštrukčný návrh, a preto boli vytvorené varianty B a C.

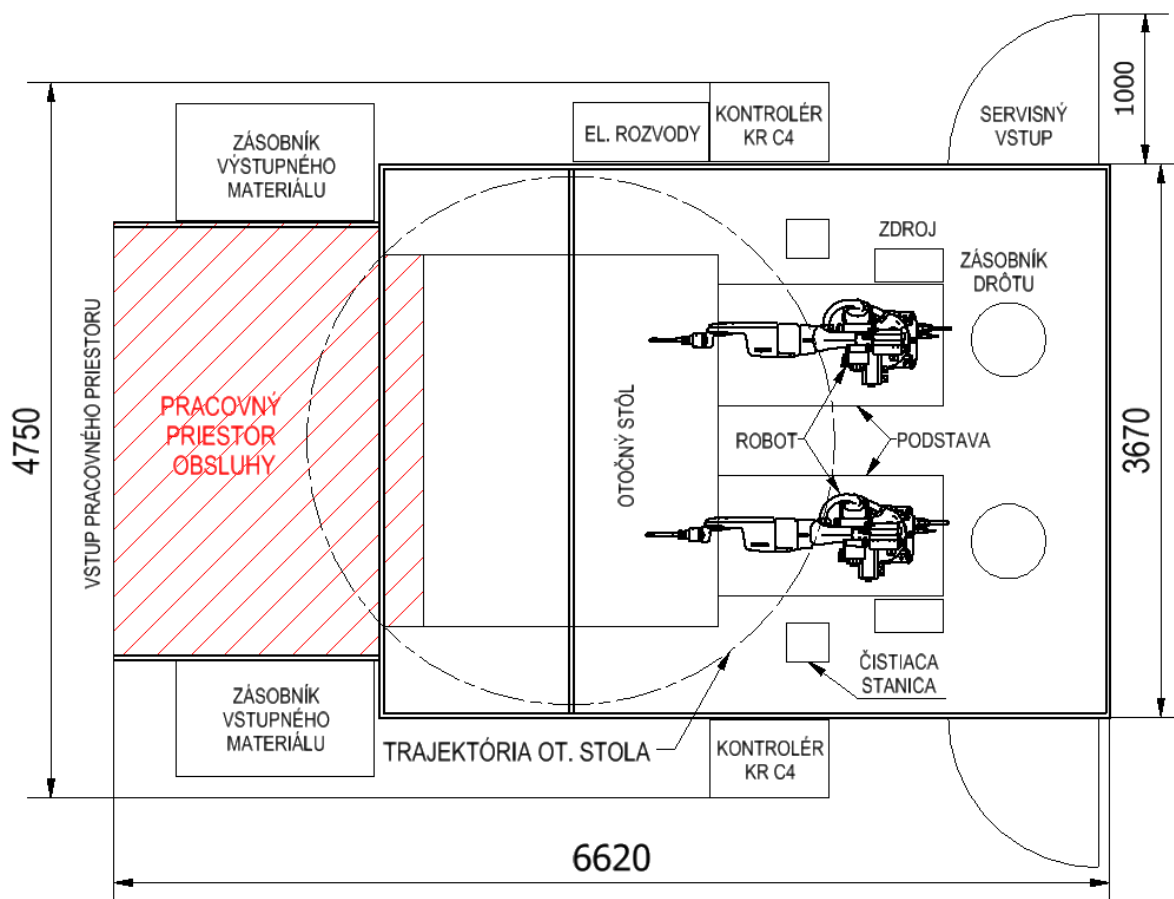


Obr. 9) Konceptný návrh bunky – variant A

4.2 Variant B

Za účelom zvýšenia produktivity sú vo variante B uvedenom na obr. 4 použité dva zvaracie roboty, z ktorých každý z nich obsluhuje jednu polovicu prípravku. V tomto prípade sa vykonávajú dve zvaracie operácie súbežne. Jeden robot zvara upnuté diely zvaraného rámu a druhý robot zvara už čiastočne zvaraný rám do jeho finálneho stavu, čím je vo svojej podstate splnená požiadavka na zvarenie celého rámu v jednom cykle. Oproti variantu C je z hľadiska produkcie tento návrh výrazne efektívnejší s len o cca 200 mm dlhším a 150 mm širším zastavaným priestorom. Nevýhodou tohto variantu sú však vysoké investičné náklady spojené s obstaraním druhého robota.

Toto riešenie by mohlo byť trochu problematické, kvôli možným kolíziám robotov a polohovaniu os A2,A3 otočného stola. Tie sú riadené ako externá os robota, čím by mohol vzniknúť problém medzi robotom ktorý ju neriadi a informáciami o polohe tejto osi. Dráhy zvarovania vzhľadom na potrebu natočenia prípravku by však boli pre oba roboty veľmi podobné z čoho plynie predpoklad, že by toto riešenie bolo dostačujúce a zabezpečilo požadovanú kvalitu zvarania.

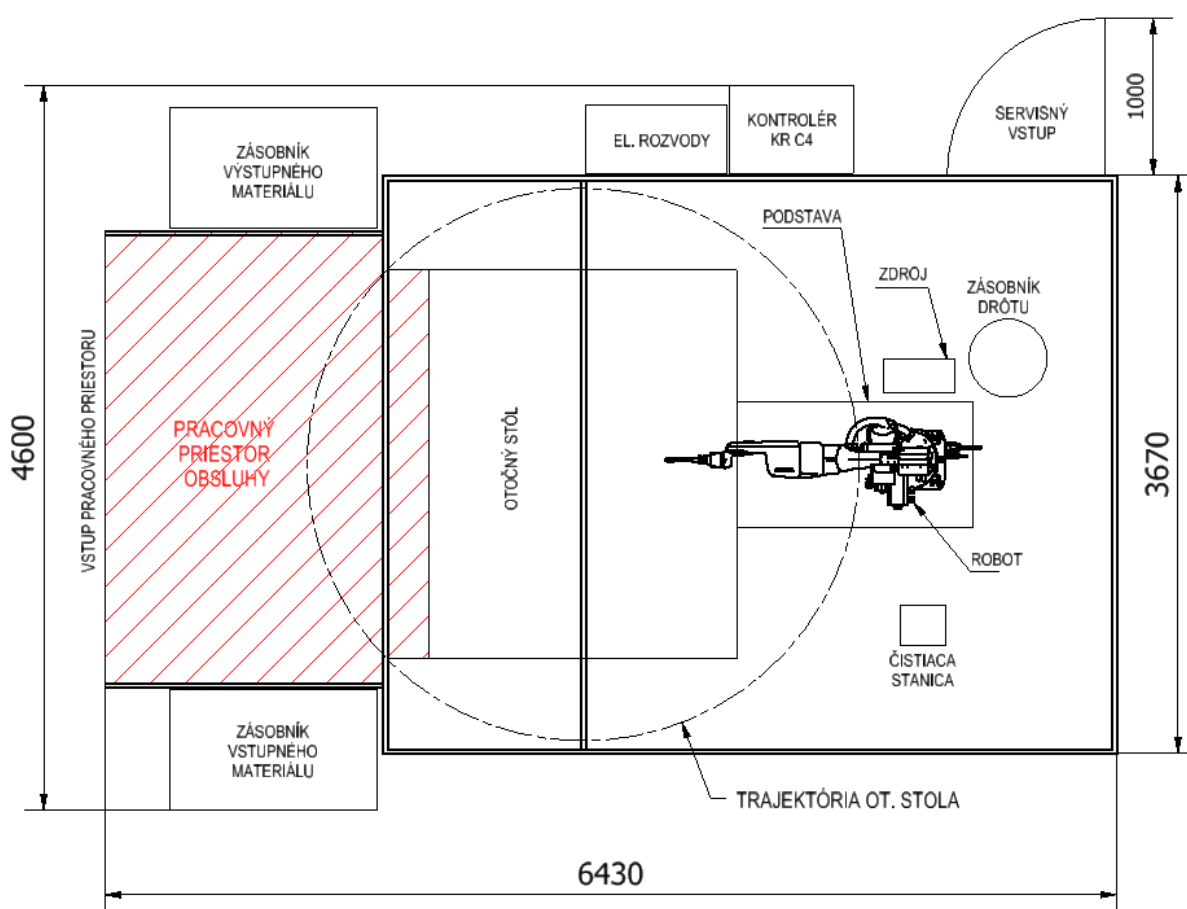


Obr. 10) Konceptný návrh bunky – variant B

4.3 Variant C

Variant C uvedený na obr. 5 je podobný variantu B, zmenou je len nahradenie dvoch robotov jedným, vrátane ich periférnych zariadení. V tomto variante bola snaha o výrazné zníženie nákladov voči variantu B a splnenie podmienky jedného hotového kusu na jeden cyklus.

Keďže nie je viacero možností kam umiestniť robota tak, aby mal požadovaný dosah, bola táto skutočnosť braná do úvahy už pri výbere otočného stola, konštrukčnom návrhu prípravku, podstavy a zásteny otočného stola. Nevýhodou tohto variantu je väčšia zastavaná plocha a vyššie náklady ako pri variante A. Zároveň však najlepšie spĺňa stanovené požiadavky. Tak ako v predchádzajúcich prípadoch, kontrolér robota je umiestnený čo najbližšie k servisnému vstupu a robotu. Jeho zastavenie v zákyte s oplatením nebolo navrhnuté, keďže priestor oplatenia priamo pri vstupe nebude inak využívaný. Vznikli by tým len zvýšené náklady na oplatenie.



Obr. 11) Konceptný návrh bunky – variant C

4.4 Výber výsledného variantu

Tab 1) Výber variantu podľa váhy hodnotiacich kritérií

Hodnotiaci parameter	Dôležitosť	Variant A	Variant B	Variant C
Predpokladané náklady	7	3	1	2
Výrobný takt	5	2	2	1
Zastavaná plocha	2	2	1	1
Konštrukcia prípravku	8	0	3	3
Prístupnosť pre obsluhu	4	3	3	3
Viditeľnosť do bunky	1	1	1	1
	spolu	48	56	58

Z tabuľky č. 1 vyplýva, že variant A vedie vo viacerých kritériách nad variantom C, no jeho výsledné hodnotenie je výrazne nižšie kvôli vysokej dôležitosti a vplyvu konštrukcie prípravku na celkový layout bunky. Ako je spomínané vyššie v kapitole 4.1 toto kritérium nebolo splnené, a preto vyhráva variant C.

4.4.1 Postupnosť obsluhy pracoviska C

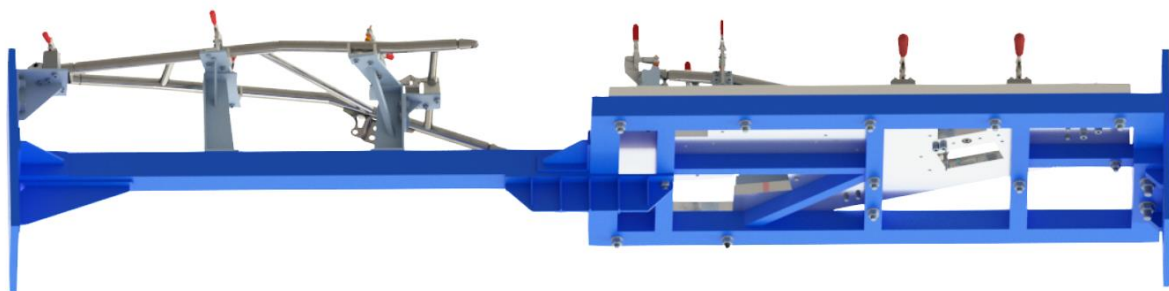
Obsluha vkročí do zabezpečeného priestoru a následne otvorí upínače na ľavej časti prípravku. Hotový zvarový rám odloží do výstupného zásobníku a vráti sa k ľavej časti prípravku, kde otvorí upínače a čiastočne zvarový rám vloží do pravej časti prípravku a zatvorí upínače. Následne začne zo vstupného zásobníku odoberať súčiastky a ukladať ich do správnej pozície v pravej časti prípravku. Po dokončení obsluha zatvorí upínače na pravej časti a opustí zabezpečený priestor. Mimo zabezpečeného priestoru spustí prostredníctvom HMI panelu ďalší pracovný cyklus. Stôl sa otočí o 180 stupňov a automaticky sa spustí robotický program počas ktorého sa práca obsluhy znova opakuje.

5 NÁVRH A VÝBER KOMPONENTOV PRACOVISKA

5.1 Konštrukčný návrh prípravku

Návrh prípravku bol časovo najnáročnejšou úlohou a bol vyhotovený na viacero pokusov. Pri návrhu prípravku a jeho nosnej konštrukcie je uvažované polohovanie okolo horizontálnej osi konštrukcie. Prvotná snaha bola o konštrukciu, ktorá by umožňovala vytvorenie všetkých zvarových spojov na upnutie rámu do jedného prípravku bez ďalšej manipulácie. Najväčším problémom bol tvar rámu, pretože jeho jednotlivé časti nezdediajú spoločnú rovinu, či už totožnú alebo rovnobežnú. To by výrazne uľahčilo návrh a teoreticky umožnilo použiť podobný koncept ako pri zváraní rámov bicyklov. Ďalším aspektom sú rozmery rámu, ktorého celková dĺžka nepresahuje jeden meter. Keď k tomu pridáme priestor, ktorý zaberú manuálne upínacie prvky a ich pomocné konštrukcie, ostane pomerne málo priestoru pre prístup zvaracieho robota. Prístup značne ovplyvňuje nosná konštrukcia prípravku spolu s tým, že niektoré zvary majú po obvode 360 stupňov. Aktuálna obdĺžniková konštrukcia pravej časti prípravku bola preto pri prvotnej konštrukcii nedostačujúca a bolo navrhnuté použitie podobného konceptu ako na ľavej časti prípravku. Problém však nastal v konečnej fáze pri návrhu časti prípravku pre plechovú súčiastku a dvoch valcových súčiastkách s upínaným priemerom iba 13 mm. Dôležité je myslieť pri návrhu aj na postupnosť a jednoduchosť zakladania súčiastok obsluhou. Spolu s týmto faktorom sa zdalo nereálne navrhnuť upínanie konštrukciu pre túto časť rámu a návrh bol prerobený do aktuálnej podoby. Výhodou pri návrhu bola veľmi nízka hmotnosť zváraného rámu, ktorá umožnila použitie menších konštrukčných a upínacích prvkov, čo výrazne znižovalo hmotnosť celej konštrukcie a zjednodušovalo tak postup pri návrhu. Vďaka tomu a celkovej malej dĺžke konštrukcie bolo zrejmé, že konštrukcia bude dostatočne nadimenzovaná.

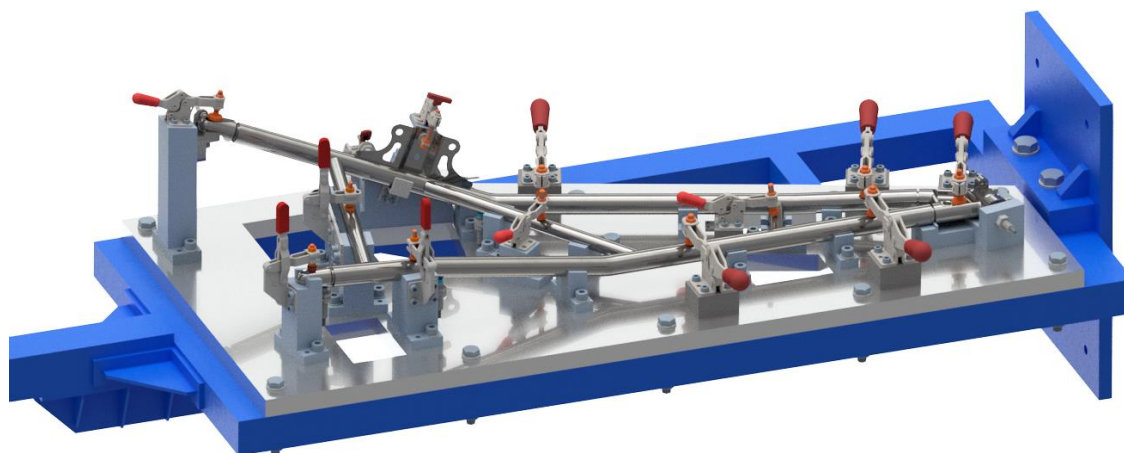
Výsledná konštrukcia (Obr. 6) prípravku sa skladá z dvoch častí pre upnutie, ktoré sú na spoločnej konštrukcii z joklových profilov. Jej konštrukciou je obdĺžnikový rám s viacerými preponami pre zvýšenie tuhosti. Celková hmotnosť zostavy prípravku bola vypočítaná softvérom Autodesk Inventor 2020 na 74 kg z čoho 26 kg sú montážne príruby.



Obr. 12) Zostava navrhnutého prípravku – pohľad na nosnú konštrukciu

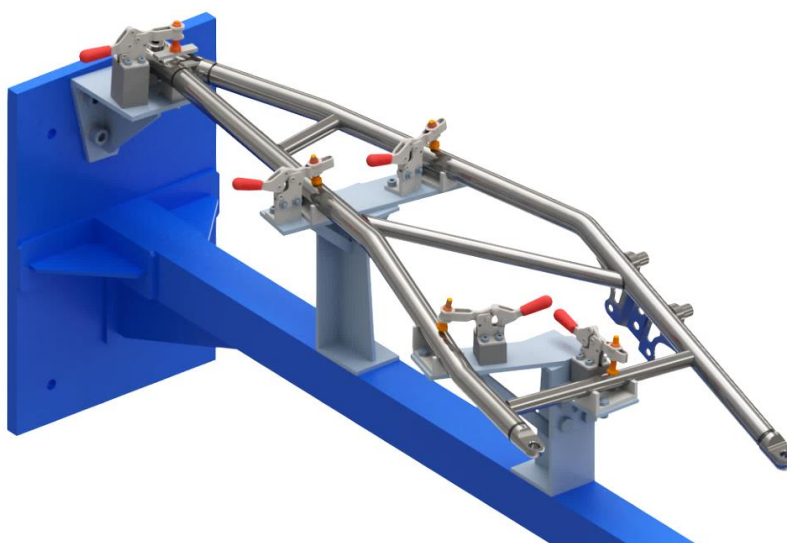
Pravá časť prípravku, ktorú môžeme vidieť na obrázku č. 7 je určená pre upnutie jednotlivých častí zváraného rámu a vytvorenie prvotných zvarových spojov. Je upevnená na obdĺžnikovom ráme, ktorý je v jeho pravej časti umiestnený medzi dve čeľuste príruby a stiahnutý predpätým skrutkovým spojom. Jednotlivé upínacie prvky sú upevnené na spoločnej hliníkovej doske hrúbky 20 mm, ktorá umožňuje jednoduchú montáž, dostatok priestoru pre skrutkové spoje a kolíky pre nastavenie presnej polohy.

V doske sú vyfrézované otvory pre prístup zvaracieho robota pri vytváraní bodových zvarov na začiatku zvárania, aby sa zamedzilo skrúteniu jednotlivých častí vplyvom pnutia a teplotných zmien.



Obr. 13) Prípravok pre upnutie v 1. fáze zvárania rámu

Ľavá časť prípravku, ktorú môžeme vidieť na obrázku č. 8 je určená pre už polovične zvarovaný rám, a preto bol návrh tejto konštrukcie výrazne jednoduchší. Spojenie s prírubou je vyhotovené pomocou L-kových podpier prizváraných na nosnom joklovom profile a následne priamo na prírubu. Ďalej boli na hlavnom nosnom profile navrhnuté prizvárané stojny, ktoré vyzdvihujú celý zvarenec do priestoru tak, aby bol zaistený dostatočný priestor pre prístup zvaracieho robota aj na miesta z predošlej operácie pre prípad, že by sa nenaplnili očakávané veľkosti hotových zvarov. Na týchto stojnách sú prizvárané oceľové platne s podperami, na nich priskrutkované tvarové súčiastky pre uloženie zvarenca a podstavy pre upínacie prvky. Pri tomto návrhu bola snaha o čo najlepšie využitie priestoru, aby bol dostačujúci prístup pre vyhotovenie kvalitných zvarových spojov. Spojenie oboch častí prípravku a ich nosných konštrukcií bolo vyhotovené taktiež prostredníctvom zvarových spojov a pomocou podpier pre zabezpečenie dostatočnej tuhosti spoja a tým vytvorenie jednej kompaktnej konštrukcie prenášajúcej zaťaženie do prírub.



Obr. 14) Prípravok pre upnutie v 2. fáze zvárania rámu

5.2 Návrh a výber komponentov prípravku

5.2.1 Manuálne upínače

Na základe požiadaviek boli zvolené manuálne upínacie prvky spoločností Destaco a Norelem, vid' obr. 9. V prípravku sú použité tri typy týchto upínačov a to vertikálne, horizontálne a priamočiare upínače. Vo väčšine prípadov sú použité horizontálne upínače, pretože ich páčka je v upnutom stave v horizontálnej polohe voči prípravku, čo je podstatné aby tieto páčky nezavadzali pri vytváraní zvaracích dráh a nespôsobili prípadné kolízie. V niektorých prípadoch sú však z praktického hľadiska kvôli montáži a konštrukcii použité vertikálne upínače, ktorých páčka je v upnutej polohe kolmo na dosku prípravku. Sú však v okrajových polohách kde nepredstavujú výraznú prekážku. Do týchto pozícií boli pre ich vyhovujúcejšie rozmery zvolené vertikálne upínače firmy Norelem s montážnou prírubou kolmo na prípravok. Výber rôznych typov upínačov bol čiastočne obmedzený potrebnými malými rozmermi.



Obr. 15) V Poradí zľava – priamočiary upínač Destaco 6001, horizontálny upínač Destaco 213, vertikálny upínač Norelem 05060

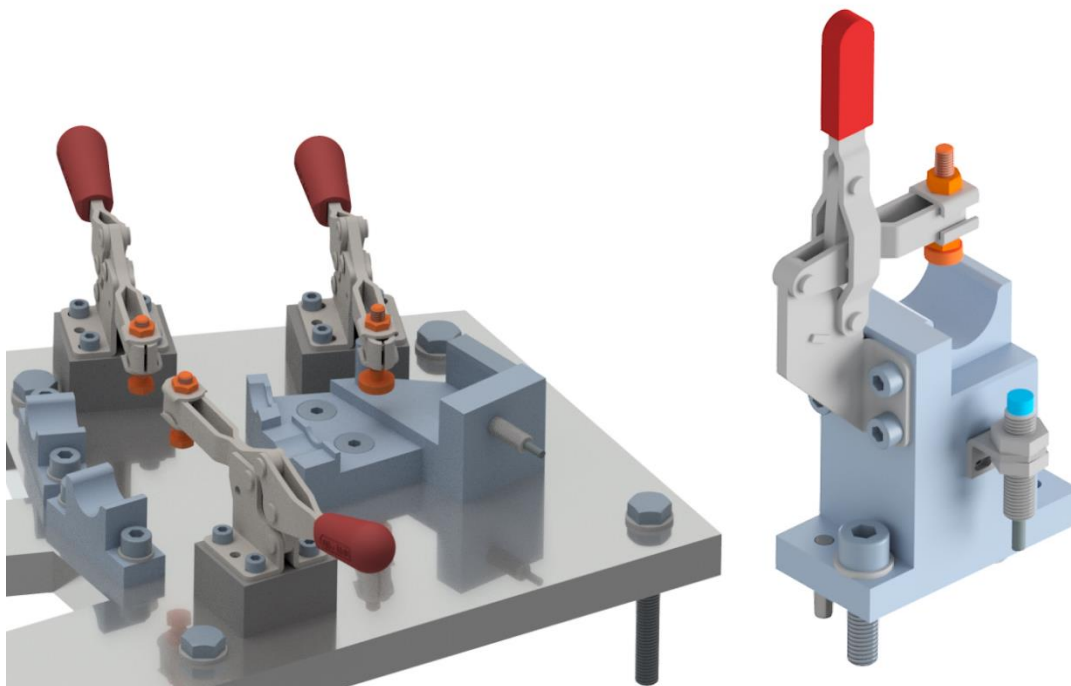
Výhodou manuálnych upínačov v porovnaní s pneumatickými je jednoznačne ich nízka cena a fakt, že nepotrebnú ďalšie komponenty a zariadenia pre svoju funkciu čo znižuje celkové náklady. Upínače sú použité bez neoprénových koncoviek aby nedochádzalo k ich poškodeniu vplyvom tepla.

5.2.2 Upínacie elementy

Upínací element tvorí tvarové uloženie pre jednotlivé súčiastky a telo s prírubou pre uchytenie do podkladovej hliníkovej dosky. Viaceré upínacie elementy (ďalej len - prípravok) majú spoločný základ ale všetky sa odlišujú vo vrchnej časti s tvarovým uložením, keďže v každej pozícii je telo zvarenca pod iným uhlom. Väčšie prípravky sú pre ušetrenie materiálu tvorené z dvoch alebo viacerých častí. Tie sú vzájomne spojené skrutkovými spojmi a ich poloha je zaistená presnými dierami a kolíkmi, čo zabezpečí aj ich väčšiu stabilitu. Následne je poloha každej príruby na hl. doske zaistená kolíkmi a celý prípravok je upevnený skrutkovými spojmi. Väčšina prípravkov stĺpovitého tvaru má však veľmi malé rozmery od 30 – 80 mm na výšku, preto sú všetky tieto prípravky pod 60 mm vyrobené obrobením z jedného kusu.

Materiál väčších prípravkov je vo väčšine prípadov hliník, okrem 8 rozmerovo veľmi malých (šírka 20 mm), ktoré sú vyrobené z ocele pre väčšiu pevnosť a tuhosť. Ďalšími prvkami

sú hliníkové podložky pod upínače, ktoré nie sú spojené s tvarovými prvkami. Podložky sú s podkladovou doskou spojené dvoma zapustenými skrutkami. [2]



Obr. 16) Upínacie elementy [2]

5.2.3 Snímania prítomnosti dielov v prípravku

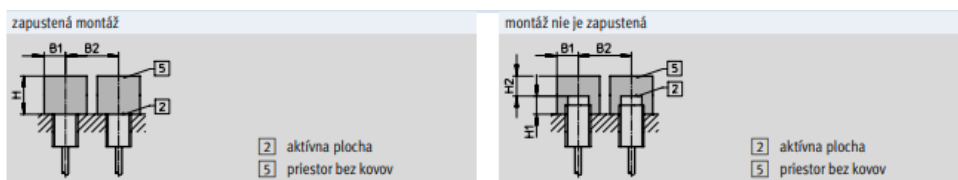
Pri zakladaní dielcov do prípravku môže dôjsť k neúmyselnej chybe obsluhy v podobe nezaloženého kusu a následná produkcia neúplných zvarencov - nepodarkov. Tento aspekt by z dlhodobého hľadiska zvyšoval náklady na výrobu, za ktoré by niesla zodpovednosť obsluha alebo konštruktér. V rámci znižovania nežiadúcich nákladov a zvyšovania komfortu obsluhy pri práci je možným riešením použitie snímačov polohy dielcov.

Keďže sa jedná o bezdotykové snímanie polohy kovových – elektricky vodivých objektov, je jasnou voľbou použitie indukčných snímačov [3]. Tie pracujú na princípe vzájomného pôsobenia medzi kovovými vodičmi a vysokofrekvenčným striedavým magnetickým poľom. Sú vhodné pre dlhodobé použitie a vyznačujú sa veľkou odolnosťou proti nepriaznivým okolitým pracovným podmienkam. V našom prípade voči prachu, teplotám a elektromagnetickému rušeniu.



Obr. 17) Vľavo – indukčný snímač Baluff, vpravo – indukčný snímač Festo [3]

Do prípravku boli preto implementované bezkontaktné indukčné snímače pre zapustenú (flush) aj nezapustenú montáž (non-flush) značky Festo a v niektorých zložitejších miestach boli použité snímače značky Balluff, pre ich výrazne vyššiu snímanú vzdialenosť pri skoro rovnakých rozmerových parametroch. Kritickým aspektom pri návrhu umiestnenia snímačov bolo dodržanie vzdialeností snímaného poľa od rušivých elementov – častí prípravku, vzhľadom na časté oblé a kruhové tvary častí zvarenca a tvarových uložení prípravku. [4]



Obr. 18) Zapustená montáž - vzdialenosť $B2 \geq 2 * D$, Nezapustená montáž $B2 \geq 3 * D$ [4]

Taktiež niektoré snímané diely a dispozičné priestory pre uloženie snímača sú veľmi malé, prečo museli byť použité snímače s veľmi malým priemerom - M5, kde snímaná vzdialenosť je výrazne závislá na veľkosti priemeru indukčného snímača. Pre jednoduchšie umiestnenia boli použité snímače o priemere M8.

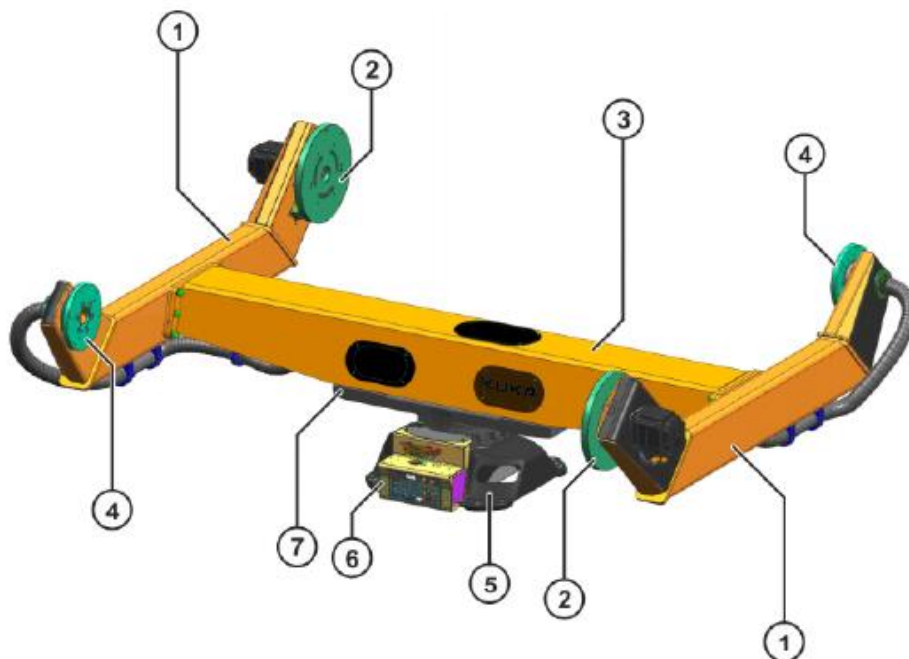
5.3 Výber otočného stola

Na základe spomínaných a nižšie uvedených kritérií bol zvolený 3 osí otočný stôl KUKA KP3-V2H250 R500 L2000 uvedený na obr. 13.

kde

H – nosnosť, R – polomer nástroja, L – vzdialenosť medzi prírubami os A2, A3

A1 – vertikálna, hlavná os, A2/A3 – horizontálna os



Obr. 19) 1. Priečnik, 2. Pohonná jednotka, 3 a 5 Hlavný nosník, 4. Hnaná jednotka 5. Základná podstava, 6. Rozvody

Osi sú riadené kontrolérom robota a definované ako jeho externá os. Poháňané jednotky týchto osí majú rozsah pohybu $\pm 185^\circ$. Spojenie je buď asynchrónne, kedy nie je spojenie medzi stolom a robotom alebo matematické, jednej alebo viacerých osí do kinematiky robotického systému. Hlavná os otáča stôl okolo vertikálnej osi, vďaka čomu je možné veľmi rýchla výmena po skončení pracovného cyklu. Táto metóda je výhodná pre oblúkové zvarovanie, pretože je tak možné znížiť vzdialenosť medzi koncovým efektorom a konkrétnym zvarom a zvýšiť kvalitu zvaru presným súbežným polohovaním, ktoré zabezpečí udržiavanie správneho uhla zvarovania. Ideálnym stavom je keď je vykonávaný zvar vodorovne so zemou a uhol trysky je kolmý na tento zvar. To však v našom prípade nie je pri každom zvare dosiahnuteľné.

Dve konštrukcie prípravku sú skrutkovými spojmi pripevnené o príruby rotačných jednotiek zvyšných dvoch horizontálnych osí. V osi A2 a A3 sú dve rotačné jednotky z čoho jedna je poháňaná servopohonom (pohonná – č.2) a druhá (hnaná – č.4) kopíruje tento pohyb prenášaním rotačného pohybu vzájomným spojením cez konštrukciu prípravku. Hnaná jednotka má v prírube otvor pre vedenie energií do a z prípravku k vertikálnej osi čím nedôjde k ich poškodeniu alebo skrúteniu zmenou polohy stola.

5.3.1 Konštrukčný návrh zásteny otočného stola

Navrhnutá zástena otočného stola na obr. 14 rozdeľuje robotizované pracovisko a pracovný priestor obsluhy a poskytuje ochranu obsluhu pred priemyselným robotom a aspektami zvaracieho procesu, ako ohrozenie zraku UV žiarením, odlet iskier a hluk.

Je zhotovená z joklových profilov 30 x 40 mm a ohýbaného tenkostenného oceľového plechu ktorý je pripevnený na otočný stôl a zabezpečuje pozíciu zásteny. V nižších častiach z vnútornej strany sú prizvárané oceľové platničky s dierami pre skrutky na pripevnenie. Krycie oplechovanie je z tenkostenného hliníkového plechu prinitovaného na konštrukciu. Šírka zásteny je stanovená predovšetkým diagonálnou vzdialenosťou servopohonov otočného stola na kružnici so stredom v ťažisku otočného stola. Aby nehrozilo riziko kolízie oplatenia s otočným stolom, zástena je o pár 10 mm dlhšia ako táto vzdialenosť. Hmotnosť je vypočítaná softvérom Autodesk Inventor 2020 na 74 kg.



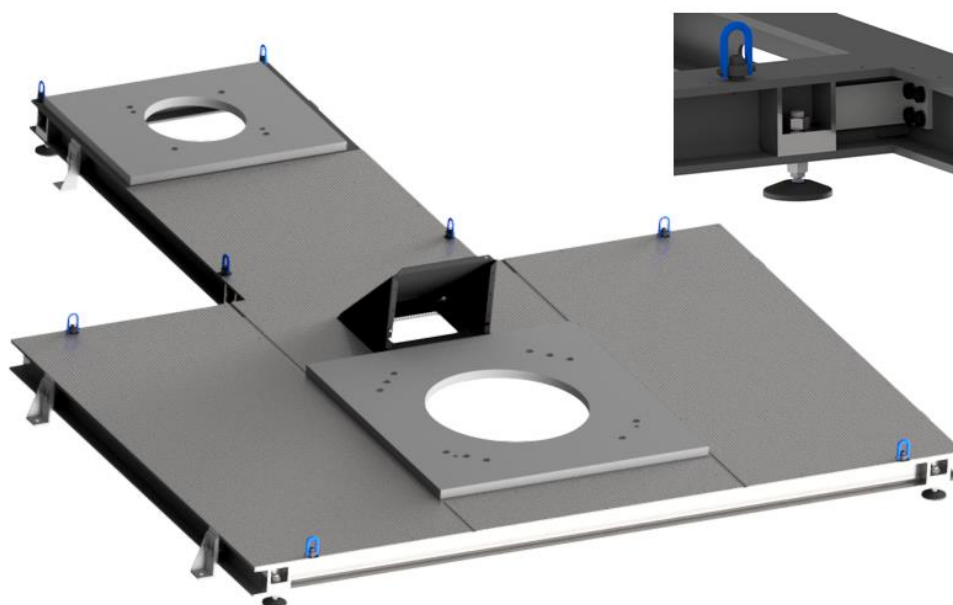
Obr. 20) Ochranná zástena otočného stola

5.4 Konštrukčný návrh podstavy pracoviska

Podstava pracoviska je navrhnutá ako zváraná rámová konštrukcia z oceľových nosníkov prierezu HEB (ďalej len H) o rozmere 100 x 100 x 6 mm. Oproti klasickým I profilom majú väčšiu šírku prírubby, čo je vyhovujúce z montážneho hľadiska pre skrutkové spoje a nastavovacie pätky. Slúži na upevnenie všetkých potrebných komponentov bunky, ich správne zaistenie a nastavenie vo vzájomne vodorovnej polohe, predovšetkým polohu robota voči otočnému stolu. Poskytuje zároveň aj možnosť jednoduchšieho presúvania celého pracoviska v prípade vykonávania zmien v rozložení buniek vo výrobnjej hale a podobne. Celá podstava sa skladá z dvoch obdĺžnikových častí na ktoré je rozdelená kvôli manipulačným a prepravným podmienkam. Montáž týchto dvoch dielov sa vykoná na pracovisku. Všetky H profily sú v mieste vzájomnej montáže zrezané do požadovaného tvaru pre dobrú tuhosť po zvarení a dostatočne veľkú plochu pre zváranie. V rohoch je profil zrezaný pod 45 stupňovým uhlom a v ostatných spojoch do tvarovej „zápustky“. Spoj medzi dvoma celkami je riešený L profilmi navarenými na H profil menšej časti podstavy a následne spojená predpätými skrutkovým spojmi s druhou časťou podstavy. [5]

Podstava je navrhnutá tak, aby poskytovala vďaka svojim rozmerom a hmotnosti dostatočnú odolnosť proti rozkmitaniu pri otáčaní stola. Pre ukotvenie robota a otočného stola sú na profily privarené ťažké oceľové platne hrúbky 30 mm, do ktorých sú vyvítané otvory pre priskrutkovanie oboch zariadení, a presné diery pre nastavenie polohy pomocou kolíkov. Zvyšná časť podstavy je z vrchnej strany opatrená pochôdnymi slzičkovými plechmi pre obsluhu, prinitovanými k rámovej konštrukcii.

Celá konštrukcia je postavená na 8 nastavovacích pätkách firmy Aluteckk pre vysoké zaťaženie. Pätky sú dobrým riešením pre nastavovanie podstavy do roviny. Pre správne zaistenie ich polohy a dostatočnú tuhosť sú poistené tvarovými vložkami navarenými medzi prírubby H profilu.



Obr. 21) Podstavná konštrukcia robotickéj zvárackej bunky [5]

Pre prípadnú potrebu ukotvenia podstavy do podlahy je po stranách navarených 6 oceľových platní hrúbky 6 mm, na ktoré sa pomocou dvoch skrutiek pripevnia profily s vyfrézovanými otvormi pre nastavenie výšky spoja a otvorom pre kotvenie do podkladu.

K otočnému stolu je navrhnutý ochranný kryt kabeláže z ohýbaného plechu priskrutkovaného k podkladovému plechu. Pod ním je otvor slúžiaci pre všetku kabeláž, vedúcu k otočnému stolu a opačne. Pre tento účel sú do H profilov medzi stolom a robotom vyfrézované otvory. Kabeláž je tak dobre chránená pred okolitými vplyvmi a vyvedená z podstavy za pracovný priestor robota. Pre prepravu a manipuláciu sú použité závesné oká so závitom. Rozmery 2 400 x 3 200 mm a hmotnosť podstavy vypočítaná softvérom Autodesk Inventor 2020 je 695 kg.

5.5 Konštrukčný návrh zásobníkov materiálu

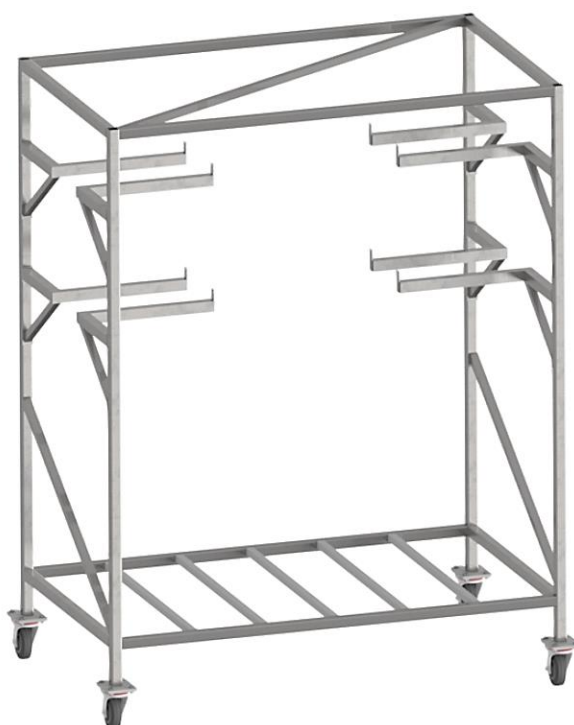
Neopomenuteľnou časťou je návrh a vhodné umiestnenie vstupných a výstupných zásobníkov materiálu, ktoré môžeme vidieť na obr. 16 a 17. Aby sme sa vyhli zbytočnému predlžovaniu manipulačných úkonov, je potrebné pri návrhu myslieť na ich bezproblémové používanie obsluhou. Vyberanie a zakladanie súčiastok musí byť jednoduché, prístupné, rýchle a poloha súčiastok musí byť vo výške vhodnej pre prácu obsluhy. Pri takto monotónnej činnosti je dôležité aby výška, v ktorej obsluha manipuluje bola komfortná. To sa môže pozitívne odraziť na kvalite vykonanej práce. Nie je žiadúce, aby sa musela obsluha krčiť alebo natáhať pri zakladaní alebo odoberaní súčiastok. To je jeden z dôvodov, prečo nie je využitá celá výška konštrukcie zásobníka na ich uskladnenie.

Dôležitým faktorom je aj celková nosnosť zásobníkov pri maximálnom naložení, čo má vplyv nie len na veľkosť konštrukcie, ale aj na manipulovateľnosť. Zásobníky sú preto navrhnuté tak aby bolo možné ich manuálne pristaviť alebo odobrať a nahradiť.



Obr. 22) Zásobník vstupného materiálu

Taktiež je možná ich preprava vysokozdvížným vozíkom, spodná konštrukcia je dostatočne tuhá pre tento účel. Počet kusov, ktoré treba v jednom cykle založiť nie je zanedbateľný, a preto sú v layoute bunky umiestnené najbližšie ako je možné k prípravku. Vonkajšia konštrukcia oboch zásobníkov je navrhnutá ako zváraná z joklových profilov. Pre manuálnu prepravu sú na spodkoch joklov privarené oceľové príruby pre upevnenie priemyselných koliesok s brzdou. Vstupný materiál je v zásobníku uložený v plastových boxoch rôznych veľkostí. Police zásobníka sú pod uhlom pre väčší komfort pri vyberaní materiálu. Zásobník výstupného materiálu je riešený ako „vešiak“, kde obsluha rýchlo a jednoducho zavesí hotový zvarový rám, bez potreby nastavovania jeho presnej polohy a môže pokračovať v práci. Zásobníky sú navrhnuté na 40 výrobných cyklov - dohromady 440 kusov vo vstupnom zásobníku, čo predstavuje časový fond 3 hodín bez výmeny.



Obr. 23) Zásobník výstupného materiálu

5.6 Výber periférnych zariadení zvaracieho robota

V priebehu zvaracieho cyklu podlieha najväčšiemu zaťaženiu zvarací horák, preto je nutné zabezpečiť jeho údržbu. Horák je počas zvarania vystavený pôsobeniu tepelného namáhania, v najhoršom prípade kolízii a zvaraciu rozstrek, počas ktorého sa na tryske zachytávajú horúce častice materiálu. Pre udržanie kvality a presnosti zvaru je potrebné pravidelné čistenie zvaracej trysky, zastrihávanie zvaracieho drôtu a v prípade potreby predefinovanie jeho TCP. Čistiaca stanica pri oblúkovom zvaraní zvyšuje mieru využitia, kvality a produktivity robotizovanej stanice. Skladá sa z čistiacej stanice horáka, anti-splatter spreja, kalibračného nástroja pre TCP a strihačky drôtu .

Riadiaci systém robota riadi čistiace procesy aby nedošlo k činnosti pokiaľ nie je zvarací horák v správnej pozícii. Na zabezpečenie vyššie spomenutých úkonov je zvolená čistiaca stanica TSC2013 na obr. 18 od firmy ABB. Ďalším dôležitým úkonom je podávanie drôtu. Pomocou podávača drôtu umiestneného na ramene robota je do zvaracieho horáku tlačný

zvárací drôt odvíjajúci sa z jeho zásobníka. Zásobník drôtu býva v podobe navinutého kotúča umiestneného v blízkosti robota, priamo na ňom alebo pomocou podávacích sudov.

V našom prípade bol zvolený veľkokapacitný podávací sud/zásobník zväracieho drôtu Standard Marathon Pac od firmy ESAB, obr. 18. Takýto typ zásobníka je vhodný pre robotizované MIG/MAG aplikácie, s potrebou konštantného podávania drôtu veľmi nízkeho trenia a s čo najväčším znížením prestopných časov pri výmene zásobníkov. Drôt v zásobníku je ukladaný technológiou obráteného navíjania, ktorá zaisťuje umrtnenie drôtu a jeho presný výstup zo zväracieho horáku do miesta zvaru. Zvolený zásobník má kapacitu 250 kg plného drôtu.

Výhody veľkokapacitného zásobníka :

- Zníženie doby odstávok
- Minimálna údržba a opotrebenie zariadenia
- Zníženie rizika nedokončených kusov alebo zmätkov
- Väčšia stabilita procesu
- Výrazné zníženie nákladov

Podľa údajov spoločnosti ESAB môže byť pre 250 kg MP v porovnaní s 18 kg cievkou úspora nákladov pre vysoko mechanizované prostredie (prevádzkové náklady 250 €/h) až 1 355€.



Obr. 24) Vľavo – TSC2013 ABB, vpravo – Marathon Pac Esab

5.7 Výber robota pre zvariaciu aplikáciu

V rámci poskytnutej licencie pre softvér Process Simulate disponujeme virtuálnym kontrolérom pre roboty KUKA, a preto je potrebné vybrať robota z portfólia tejto spoločnosti. Virtuálny kontrolér je zhodný so skutočným kontrolérom robotov KUKA, čo umožňuje maximálnu presnosť simulácie vo virtuálnom prostredí a teoreticky poskytuje možnosť implementácie robotického programu vygenerovaného zo simulačného prostredia do reálneho prostredia.

Pri výbere robota je v prvom rade potrebné brať do úvahy jeho nosnosť, ktorá sa overuje pomocou softvéru KUKA Load, slúžiaceho na overenie únosnosti a vyťažiteľnosti jednotlivých osí konkrétneho robota alebo na nájdenie vhodného robota, podľa zadaných vstupných parametrov. Keďže v tejto aplikácii oblúkového zvarania robot nenesie na prírupe osi A6 žiadne výrazné zaťaženie od zvaracieho horáku, nie je potrebné voliť robota prioritne podľa zaťaženia. Hlavným aspektom bude jeho veľkosť, od ktorej sa odvíja cena a jeho dosah. Z použitého zvaracieho horáku s montážou priamo na prírubu vyplýva, že ako najvhodnejšie je použitie robota s priechodskou osou tzv. hollow wrist. Spoločnosť KUKA ponúka dve rady robotov typu hollow wrist pre zvaranie a to:

KR CYBERTECH ARC nano

(nosnosť 6 – 8 kg, max. dosah 1 440 – 1 840 mm)

KR CYBERTECH ARC

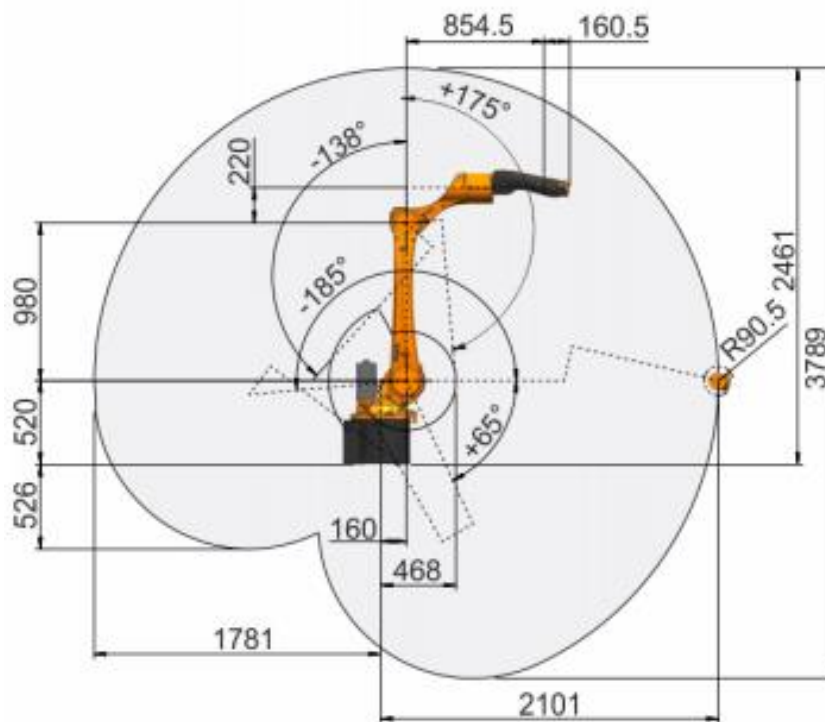
(nosnosť 8 kg, max. dosah 2 100 mm)

Keďže robot bude obsluhovať dva prípravky z jednej pozície, so šírkou približne 2 000mm a jeho pozícia na podstavnej konštrukcii a vzdialenosť od prípravku je daná priemerom deliaceho krytu otočného stola, môžeme pri danom rozložení zvoliť iba robota KR 8 R2100-2 arc HW z radu KR CYBERTECH ARC [6]. Robot je riadený kontrolérom KR C4.



Obr. 25) Robot KUKA KR 8 R2100-2 arc HW [6]

Vďaka použitiu 3-osého otočného stola a jeho polohovania rotačnej osi s prípravkom sa výrazne znižuje potrebný dosah robota. Dosiahnuteľnosť robota na všetky zvarané dráhy a pozície bola v simulačnom prostredí overená a zhodnotená ako vyhovujúca. V prípade nedostatočného dosahu robota by bolo možné použiť robota typu KR CYBERTECH s dlhším ramenom bez príruby typu hollow wrist a iný zvarací horák s mimobežnou osou voči osi príruby alebo navrhnuť montážny medzikus pre zvolený horák. Na obr. 20 môžeme vidieť dosah a rozmerové parametre robota.



Obr. 26) Pracovný priestor robota Kuka KR 8 R2100-2 arc HW

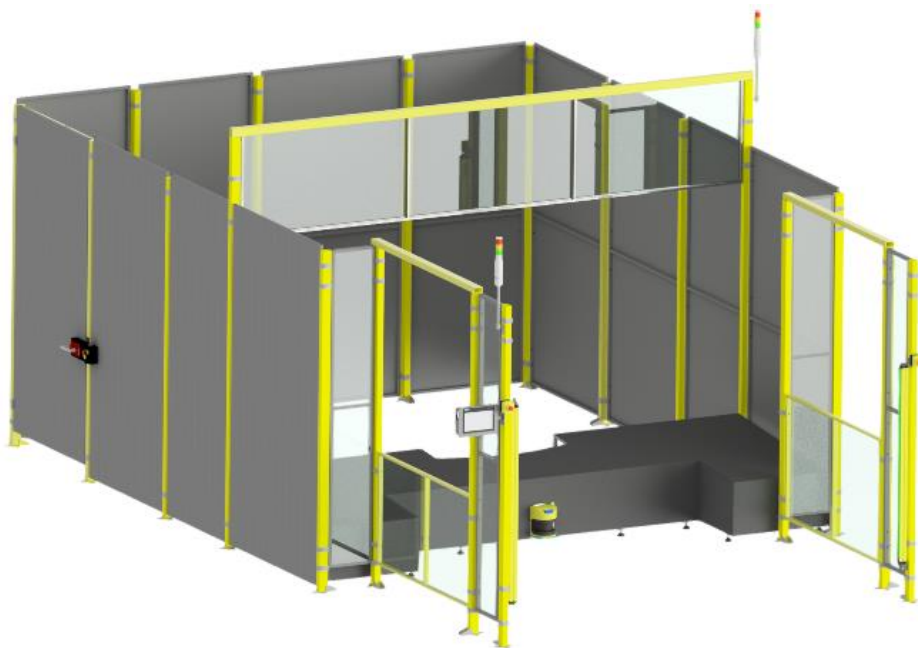
6 BEZPEČNOSTNÉ PRVKY PRACOVISKA

6.1 Bezpečnostné oplotenie

Robotizované pracovisko je od okolitého priestoru bezpečne izolované použitím bezpečnostného oplotenia od firmy TROAX. Vzďialenosť oplotenia od priemyselného robota je navrhnutá a vypočítaná podľa normy ČSN EN ISO 13857 v súlade s výškou oplotenia, ktorá je navrhnutá na 2 200 mm od podlahy a dosahom robota tak, aby nemohlo dôjsť k interakcii medzi robotom a človekom ponad/popod oplotenie. Minimálna horizontálna vzdialenosť od nebezpečnej zóny (S) je pri výške oplotenia 2 200 mm a výške nebezpečnej zóny od 2000 – 2600 mm stanovená na 400 mm. Podľa referenčnej tabuľky pre dosah dolných končatín je však pri výške od podlahy po ochrannú konštrukciu $H \leq 200$ mm stanovená bezpečná vzdialenosť na $S \geq 665$ mm. Vzďialenosť robota od oplotenia dostatočne presahuje túto min. hranicu čím je splnená požiadavka danej normy. Keďže nie je požadovaná viditeľnosť do robotizovanej časti bunky, použité oplotenie je z plných panelov UR SP s krytím z oceľového plechu.

Zároveň je tak zabezpečená ochrana zraku pracovníkov pred nebezpečným UV žiarením. Plné oplotenie taktiež poskytuje lepšiu ochranu okoliu proti hluku zvnútra robotizovanej bunky. Z týchto dôvodov nie je vhodné použiť panely s výplňou pletivom. Výška oplotenia oddeľujúca pracovný priestor operátora a robota v úrovni nad otočným stolom, je zdvihnutá na 2 700 mm aby spĺňala bezpečnostné požiadavky. [7]

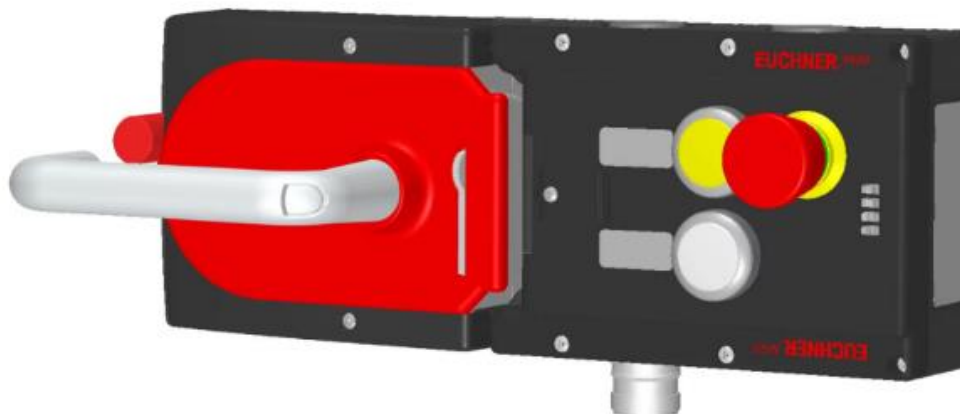
V oblasti kde obsluha zakladá diely do prípravku hrozilo riziko, vstupu a uviaznutia obsluhy v úzkom, nebezpečnom priestore dosahu otočného stola medzi prípravkom a rohom oplotenia. Preto bolo navrhnuté ochranné krytovanie, ktoré jednoznačne vymedzuje priestor pre obsluhu a zabráňuje vzniku tejto situácie. Vy krojenie oplechovania okolo rotačnej osi otočného stola je v dostatočnej vzdialenosti od prípravku tak, aby nehrozilo prípadne zapadnutie upusteného dielu zvarenca pod krytovanie, a prípadná snaha obsluhy o vstup medzi prípravok a otočný stôl.



Obr. 27) Bezpečnostné oplotenie výrobnjej bunky [7]

6.2 Zabezpečenie vstupu do výrobnjej bunky

Vstup do robotizovanej časti bunky je možný iba jedným servisným vstupom cez krídlové dvere v ľavej zadnej časti bunky a chránený bezpečnostným zámkom MGB-AR od firmy Euchner [8]. Dverový zámok je zamknutý pokiaľ je robot v prevádzke, nie je ukončený pracovný cyklus a robot uvedený do ručného režimu. Kým nie sú splnené stanovené podmienky, nie je možné vstúpiť do robotizovaného pracoviska. Zvolený zámok má implementované 3 tlačidlá, prvé tlačidlo – emergency stop, slúži na núdzové zastavenie a odpojenie bunky od napájania. Zvyšné 2 presvetlené tlačidlá sú programovateľné. Z vnútornej strany bunky je dverový systém vybavený vnútornou kľučkou, ktorá dvere okamžite otvorí aj keď sú dvere uzamknuté. To poskytuje spoľahlivú ochranu zamestnancom v akomkoľvek prípade núdze potreby opustiť pracovný priestor bunky. Toto riešenie spĺňa normu ČSN EN ISO 14119,viď príloha [22].



Obr. 28) Bezpečnostný zámok MGB-AR, Euchner [8]

6.3 Bezpečnostné prvky pracovného priestoru obsluhy

Pracovný priestor obsluhy môžeme rozdeliť z hľadiska rizika na dve oblasti. Prvá oblasť s najväčším rizikom je v bezprostrednej blízkosti otočného stola a v jeho dosahovej vzdialenosti pri otáčaní. Ochrana pracovného priestoru obsluhy pred robotizovaným pracoviskom je rozoberaná v kapitole 6.1. Na zabezpečenie ochrany obsluhy pred otočným stolom a konštrukciou prípravkov slúži druhá, výstražná oblasť, ktorá je vybavená viacerými typmi bezpečnostných zariadení a slúži na včasné detekovanie osôb vstupujúcich alebo nachádzajúcich sa v pracovnom priestore. V prvom rade sú použité optoelektronické bezpečnostné prvky:

6.3.1 Bezpečnostné svetelné závesy

Pre snímanie vstupu do pracovného priestoru vo vertikálnom smere je vo vzdialenosti v súlade s normou ČSN EN ISO 13855 na stĺpoch oplatenia pri vstupe nainštalovaný svetelný záves C4000 Standard od firmy SICK [9], ktorý slúži ako hlavné zabezpečenie pred neželaným vstupom iných osôb alebo obsluhy do pracovného priestoru. Ak senzor zaznamená vstup počas prebiehajúceho pracovného cyklu otočného stola, bude jeho pohyb okamžite zastavený odpojením od energie. Senzor je možné nastaviť aj na snímanie výstupu z pracovného priestoru a opätovné spustenie prevádzky. V našom prípade však bude opätovné spúšťanie stroja zabezpečené manuálne. Snímanie výstupu však bude pre zvýšenú bezpečnosť taktiež zaznamenávané.

Výpočet pre bezpečnostný svetelný záves SICK C4000 Standard

- Súčet časov potrebných pre zastavenie systému zariadenia

$$T = t_1 + t_2 + t_3 \quad (1)$$

$$T = 0,543 + 0,011 + 0,0012$$

$$T = 0,56 \text{ s}$$

Kde:

T = celková doba zastavenia systému zariadenia [s]

t₁ = čas zastavenia otočného stolu [s]

t₂ = doba odozvy svetelného závesu [s]

t₃ = doba odozvy bezpečnostného PLC [s]

Výška snímanej oblasti od zeme = 300 mm. Maximálna výška snímanej oblasti = 1500 mm.

- Minimálna bezpečná vzdialenosť detekčného priestoru od nebezpečného priestoru

$$S = (K * T) + C \quad (2)$$

$$C = 8 * (d - 14 \text{ mm}) \quad (3)$$

$$S = (K * T) + 8 * (40 - 14 \text{ mm})$$

$$S = (1600 \text{ mm/s} * 0,56 \text{ s}) + 8 * (40 - 14 \text{ mm})$$

$$S = 1104 \text{ mm}$$

Kde:

S = minimálna bezpečná vzdialenosť detekčného priestoru od nebezpečného priestoru [mm]

T = celková doba zastavenia systému zariadenia [s]

K = prístupová rýchlosť ľudského tela ($S \geq 500$ K = 1600 mm/s, $S < 500$ K = 2000 mm/s),

C = vzdialenosť daná rozlíšením optoelektrického ochranného zariadenia a ďalších faktorov

D = detekčná schopnosť senzoru zariadenia [mm]



Obr. 29) Svetelné závesy SICK C4000 Standard [9]

Pokiaľ osoba do pracovného priestoru vstúpi - senzor zaznamená vstup, alebo sa v ňom bude nachádzať - senzor nezaznamenal po vstupe výstup, nebude tak možné počas prebiehajúceho pracovného cyklu robota spustiť otočenie stola, ale zvärací proces v oddelenej časti bunky môže pokračovať.

6.3.2 Bezpečnostný laserový skener

Pre zvýšenie bezpečnosti a monitorovanie prítomnosti obsluhy v pracovnom priestore bude použitý laserový skener S3000 Standard od firmy SICK z obr. 24, umiestnený horizontálne pod ochranným krytom otočného stola s výškou detekčného priestoru 138 mm.

Keďže pre prioritnú ochranu obsluhy pred vstupom do nebezpečného priestoru slúži svetelný záves umiestnený v dostatočnej vzdialenosti S, čím chráni vstup do pracoviska, tak výsledná vzdialenosť S pre laserový skener nie je smerodajná pri návrhu layoutu, pretože tento skener slúži len na dodatočnú bezpečnostnú identifikáciu osôb v pracovnom priestore v momente, kedy je bezpečnosť zaistená vstupným svetelným závesom.

Výpočet pre bezpečnostný laserový skener SICK S3000 Standard

- Súčet časov potrebných pre zastavenie systému zariadenia

$$T = t_1 + t_2 + t_3 \quad (4)$$

$$T = 0,543 + 0,06 + 0,0012$$

$$T = 0,61 \text{ s}$$

Kde:

T = celková doba zastavenia systému zariadenia [s]

t₁ = čas zastavenia otočného stola [s]

t₂ = doba odozvy svetelného závesu [s]

t₃ = doba odozvy bezpečnostného PLC [s]



Obr. 30) Vľavo – SICK S3000 Standard, vpravo – umiestnenie skeneru

- Minimálna bezpečná vzdialenosť detekčného priestoru od nebezpečného priestoru

$$C = 1\,200\text{ mm} - 0,4 * H \quad (5)$$

$$S = (K * T) + C \quad (6)$$

$$H = 138\text{ mm}$$

$$S = (1\,600 * 0,61) + (1\,200 - 0,4 * 138)$$

$$S = 2120,8\text{ mm}$$

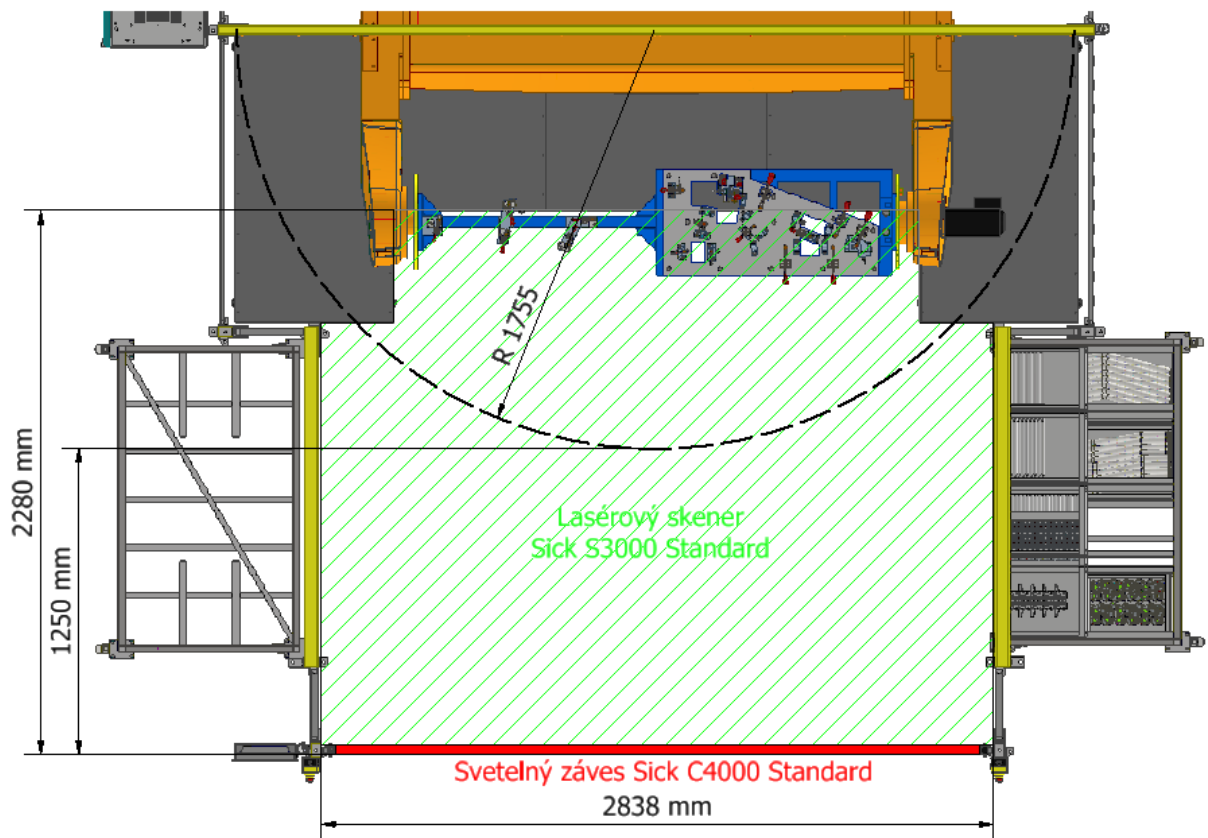
Kde:

S = minimálna bezpečná vzdialenosť detekčného priestoru od nebezpečného priestoru [mm]

K = prístupová rýchlosť ľudského tela (pre detekčný priestor rovnobežný so smerom priblíženia sa K = 1600 mm/s),

H = výška detekčného priestoru nad referenčnou rovinou, napríklad podlahou [mm]

Na nasledujúcom obr. 25 môžeme vidieť riešenie zabezpečenia pracovného priestoru obsluhy. Zelená zóna predstavuje oblasť ktorú zabezpečuje laserový skener a červená oblasť predstavuje zabezpečenie vstupu svetelnými závesmi.



Obr. 31) Pohľad na zabezpečený pracovný priestor

6.3.3 Núdzové zastavenie

Pred vstupom do zabezpečenej zóny pracovného priestoru budú na stĺpoch oplatenia umiestnené dve tlačidlá núdzového zastavenia ES21 od firmy SICK, každé na jednej strane tak aby bolo možné v prípade núdze kedykoľvek zastaviť výrobný proces, pohyby strojov a zároveň odpojiť bunku od energie. [10]

6.3.4 Signálna veža

V celej bunke budú dve signálne veže Modul-Signal 50 od firmy Auer , ktoré slúžia na zvýšenie bezpečnosti na výrobných linkách. Prvá bude umiestnená na ľavom stĺpe oplatenia pri vstupe do pracovného priestoru a druhá na stĺpe v blízkosti otočného stolu. Slúži na signalizovanie troch možných aktuálnych stavov a to: stanica je núdzovo zastavená (červená), stanica nepracuje - je v poruche (oranžová), stanica pracuje bez poruchy (zelená). [10]



Obr. 32) Vľavo - tlačidlo núdzového zastavenia, vpravo – signálna veža [10]

7 SIMULAČNÝ MODEL V PROCESS SIMULATE

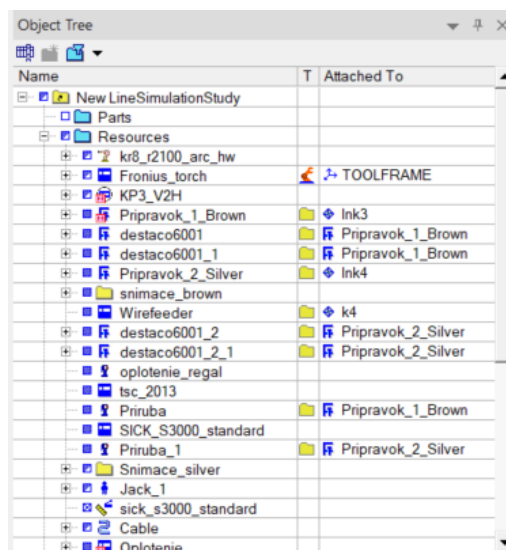
Process simulate nám umožňuje zdigitalizovať výrobný proces a jeho následné overenie v simulačnom prostredí. Vďaka tomu môžeme vopred overiť či nami navrhovaný výrobný koncept bude fungovať, odhaliť prípadné nedostatky a vyhnúť sa tak rôznym nežiadúcim nákladom pri realizácii. Spojením viacerých softvérov to môžeme posunúť aj na vyššiu úroveň a to na úroveň virtuálnej prevádzky. Cieľom virtuálnej prevádzky je vytvorenie a sprevádzkovanie digitálnych dvojčiat strojných zariadení v simulačnom prostredí. Tým je možné overiť funkčnosť zariadenia alebo výrobného procesu ešte pred jeho montážou a skutočnou prevádzkou. K tomu je možnosť ho vopred naprogramovať.

Pre našu aplikáciu je tento softvér veľmi užitočný pretože môžeme na základe overovania v simulačnom prostredí upravovať konštrukčné návrhy, predovšetkým návrh prípravku. Tým sa vyhneme nákladom vzniknutým v prípade, že by sme tieto chyby odstraňovali až pri realizácii a zavádzania do prevádzky.

Po vytvorení konštrukčným návrhov bolo potrebné importovať jednotlivé modely z CAD softvéru do softvéru Process Simulate vo formáte jt. Program Autodesk Inventor má možnosť uložiť modely v tomto formáte. Všimol som si však, že kvalita niektorých plôch importovaných modelov bola z nezisteného dôvodu značne zdeformovaná, čo sťažovalo prácu pri vytváraní frame-ov a dráh zvráacieho drôtu.

7.1 Definovanie a import komponentov

Prvým krokom pri zakladaní novej simulácie je import a definovanie jednotlivých komponentov. Pri každom komponente bolo potrebné najskôr definovať typ prostredníctvom menu *Home – Define Component*, kde zvolíme či sa jedná o *Parts* alebo *Resources (Gripper, Device, Fixture, Clamp, Positioner* a pod). V druhom kroku boli jednotlivé modely vložené do simulačného prostredia príkazom *Insert Component* a následne bolo potrebné komponenty umiestniť do požadovaných pozícií. K tomu je výhodné použiť vytváranie súradnicových systémov (Frame). Všetky vytvorené objekty simulácie sú prehľadne dostupné v *Object tree*, viď obr. 27.



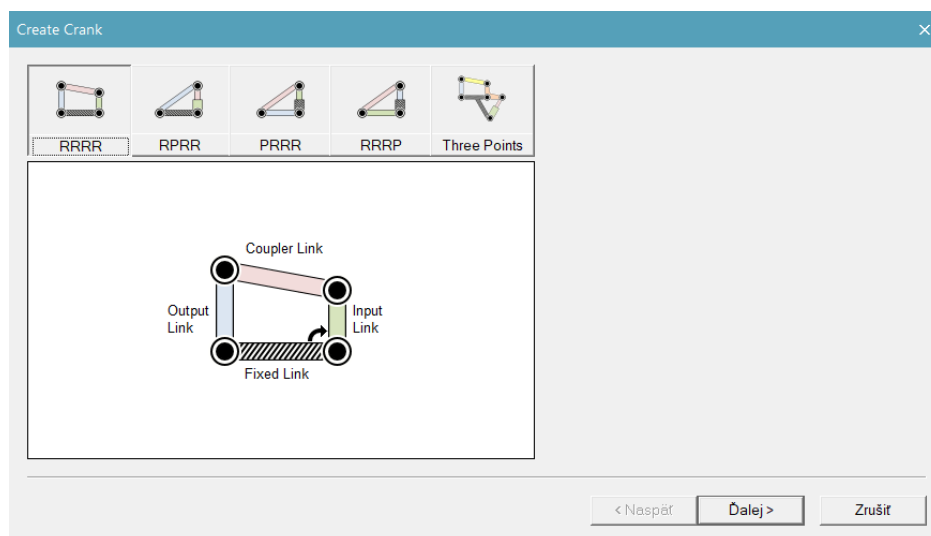
Obr. 33) Object tree

Aby frame patril k danému komponentu je potrebné ho vytvoriť v jeho rozmodelovanom stave, čím sa stane jeho súčasťou. Ďalšia možnosť je vytvoriť všeobecný frame a pripnúť príkazom *Attach* na konkrétny komponent. Pokiaľ chceme aby bol frame viditeľný a dostupný aj po ukončení rozmodelovaného stavu, je potrebné použiť funkciu *Set to be preserved*. Na presúvanie komponentu môžeme využiť príkazy *Relocate* alebo *Placement manipulator*.

7.2 Definovanie kinematických štruktúr komponentov

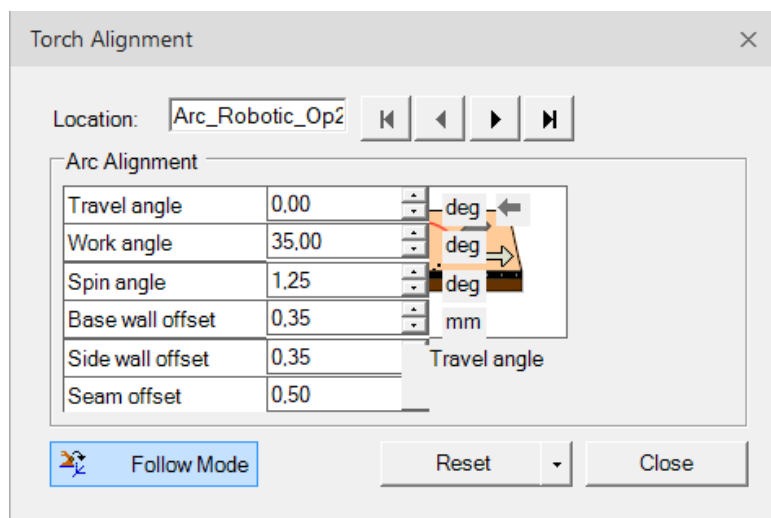
Pokiaľ vyžadujeme od komponentu aby vykonával nejaký určitý typ pohybu, musíme vedieť definovať jeho kinematiku pomocou nižšie spomenutých funkcií. Hlavným nástrojom pre definovanie kinematiky je *Kinematics editor*, ktorého využitie je veľmi rozsiahle. V jednoduchších prípadoch postačuje vytvoriť jednotlivé bunky s názvom *Ink*, kde v každej bunke označíme všetky telesá, ktorým chceme definovať rovnaký smer, typ, obmedzenia a rozsah pohybu. Týchto buniek môžeme vytvoriť ľubovoľné množstvo a spojiť ich jednoduchou závislosťou až po zložité matematické definície ich vzájomného vzťahu.

Pre uľahčenie tvorby kinematík môžeme použiť nástroj *Create Crank* (obr. 28). V našom prípade som nástroj použil pre kinematiku manuálnych upínačov so štyrmi rotačnými väzbami. Ako prvé si zvolíme z piatich možností podľa toho aké typy väzieb má teleso, ktoré chceme definovať. Pri správnom zadaní nám tento nástroj umožní rýchlo a jednoducho vytvoriť bunky a ich závislosti v *Kinematics editor*. Týmto spôsobom som v kinematike prípravku definoval všetky upínače aby fungovali ako jeden celok. Pre správnu funkciu som ich „fixed linky“ musel spojiť do spoločnej základne, na obr. 29 pod názvom *Base*. Ako posledné je však potrebné nastaviť v *Pose Editor* všetky požadované pozície a uložiť ich pod novou pozíciou. U nášho prípravku sú to pozície *CLAMPED* a *UNCLAMPED*.



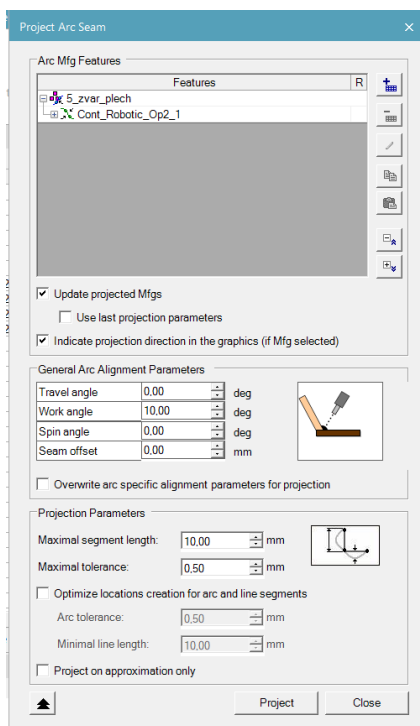
Obr. 34) Nástroj Create Crank

Torch Allignment je nástroj dostupný po vytvorení zvarových dráh (angl. *Seams*) pre ich následnú úpravu. Úpravu je možné vykonávať jednotlivu po bodoch alebo pomocou kopírovania orientácie z iných lokácií. Keďže väčšinou ide o nelineárne dráhy bolo vo finálnej fáze potrebné upravovať natočenie bodov jednotlivu.



Obr. 37) Torch Alignment – Úprava polohy a rotácie bodov zvarového spoja

Druhým spôsobom ako vytvoriť body zvarového spoja sú nástroje *Project Arc Seam* alebo *Project Continuous Mfg* (Mfg – manufacturing feature). Ako vyplýva z ich názvu, slúžia na projekciu bodov, čiže krivka na ktorej budú vytvorené musí byť vopred definovaná. Tento spôsob je o niečo časovo náročnejší, ale umožňuje spoločne upravovať polohu a rotáciu všetkých bodov ešte pred ich vytvorením. [11]



Obr. 38) Nástroj - Project Arc Seam [11]

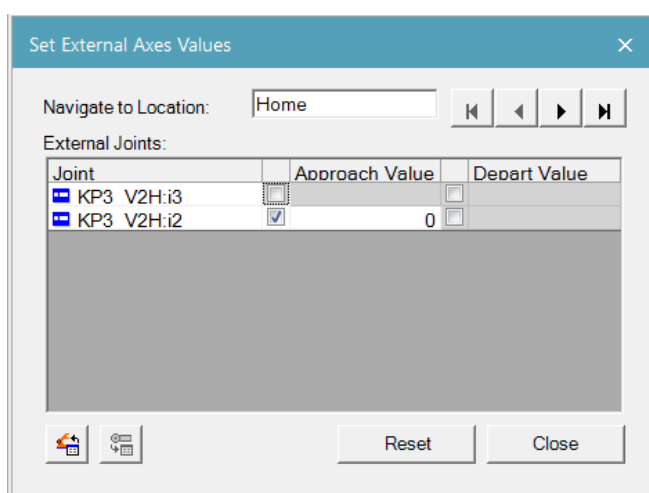
Postup vytvárania zvarových spojov bol nasledovný. Ako prvé som potreboval v rozmodelovanom stave modelu zvarenca vytvoriť krivky vystihujúce polohu zvarového spoja a následne použiť nástroj *Create Continuous Mfgs from Curves*. V treťom kroku som túto vytvorenú Mfg cez Mfg viewer použil pre vytvorenie operácie *New Continuous Feature Operation*, ktorá je vyžadovaná pre použitie vyššie spomenutého nástroja na projekciu zvarových spojov. Tento nástroj nám ponúka rôzne možnosti, ako napríklad definovanie plôch a orientácie bodov zvarového spoja, vďaka čomu ostane menej práce s ich jednotlivým manuálnym upravovaním.

Po vyhotovení jednotlivých zvarov bolo potrebné použitím *via* lokácií určiť príjazd/odjazd robota zo začiatkovej alebo koncovkej pozície zvaru, nájazdové body a dráhy nad otočný stôl a k prípravku. Definovať rýchlosti zvarovania pre kvalitný zvar a rýchlosti pre všetky ostatné dráhy tak, aby nedochádzalo ku kolíziám. Pre zvarové spoje som použil vo väčšine prípadov lineárny pohyb definovaný pre roboty KUKA ako LIN spolu s jeho aproximáciou nastavovaním zón – „Zone“. Pre tento účel som musel vytvoriť na dráhe zvarového spoja dostatok bodov a vo väčšine prípadov ich po jednom manuálne upravovať prostredníctvom nástroja *Torch Alignment*.

7.3.1 Polohovanie otočného stola

Osi A2 a A3 otočného stola je potrebné definovať v *Robot Setup* ako *External Joints*. Následne je možné použiť funkciu automatického vypočítania správnej polohy s názvom *Arc Continuous Positioning*, ktorá ale neumožňuje polohovanie pre 3 – osé otočné stoly. Za týmto účelom by bolo potrebné stôl rozdeliť na dva modely, samostatne ich importovať a definovať ich kinematiku.

Druhou možnosťou je použiť nástroj *Set External Axes Values*, kde manuálne definujeme natočenia polohovača pre jednotlivé body a môžeme využiť aj funkciu *Follow Mode*, kde pri každom prepísaní polohy sa presunie robot aj stôl do tejto pozície. Polohovanie osí som začal vytvárať týmto spôsobom a následne som pri ňom aj zotrval. [12]



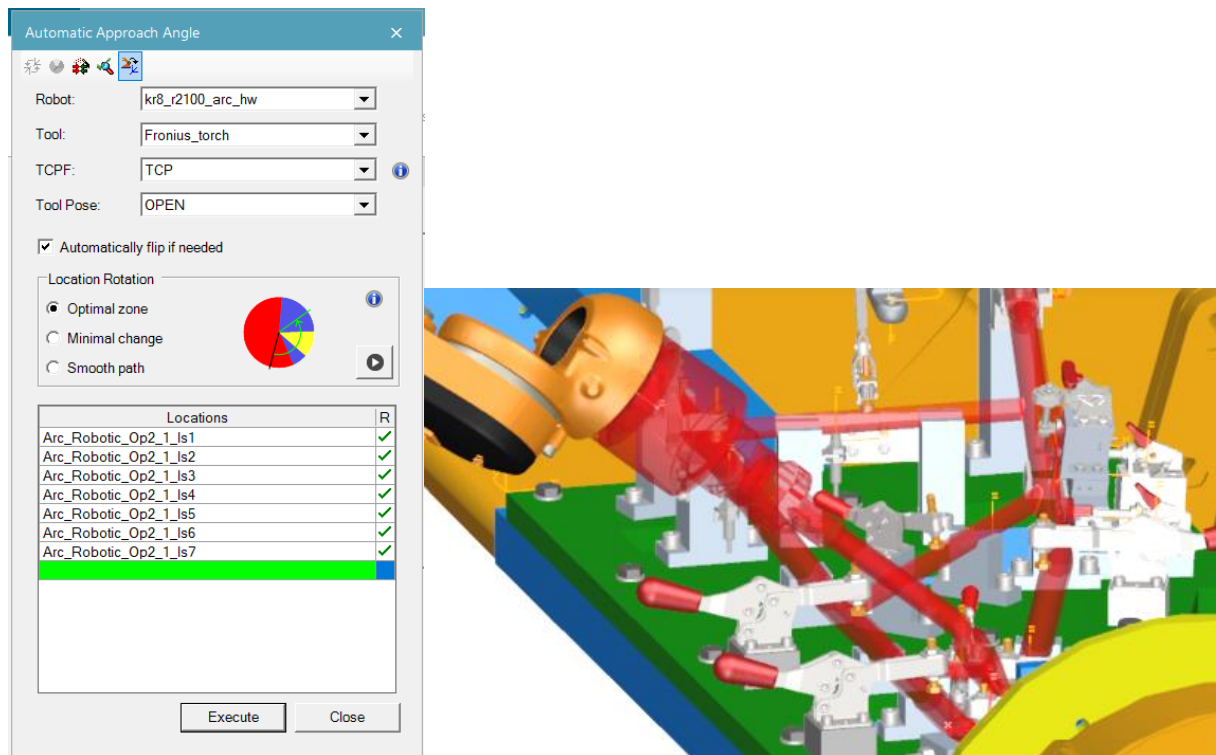
Obr. 39) Nastavovanie polohy externých os robota [12]

7.3.2 Kontrola kolízií

Na kontrolu dosiahnuteľnosti bodov zvarového spoja je možné použiť nástroj *Automatic Approach Angle* (obr.34), ktorý automaticky vyhodnotí, či robot do daného bodu dosiahne a či sa v tomto bode nenachádza v kolízií. Ďalším hlavným nástrojom na vyladovanie dráh

a odstraňovanie kolíznych stavov je *Collision Set*. V hlavných nastaveniach PS môžeme definovať hodnoty pre kolízne stavy, povolené vniknutie pri kolízii, vzdialenosť pre near-miss, zastavenie simulácie alebo zvukové oznámenie pri kolízii a pod. V našom prípade bola samozrejme hodnota povolenej kolízie nastavená na 0 mm a pri kolíznom stave nastavené zastavenie simulácie a zvýraznenie predmetov tejto kolízie červeným zafarbením, vid' obr. 32.

Aby sme mohli vykonávať kontrolu, je potrebné prehrávať simuláciu so zapnutým nástroj *Collision mode* a v nástroji *Collision viewer* definovať, medzi ktorými telesami chceme tento stav sledovať. Potom môžeme prechádzať všetky dráhy, kontrolovať kolízne stavy a jednotlivé operácie tak, aby sme ich odstránili.



Obr. 40) Vľavo – automatická kontrola bodov, vpravo – zaznamenanie kolízie počas simulácie

7.4 Line simulation mód

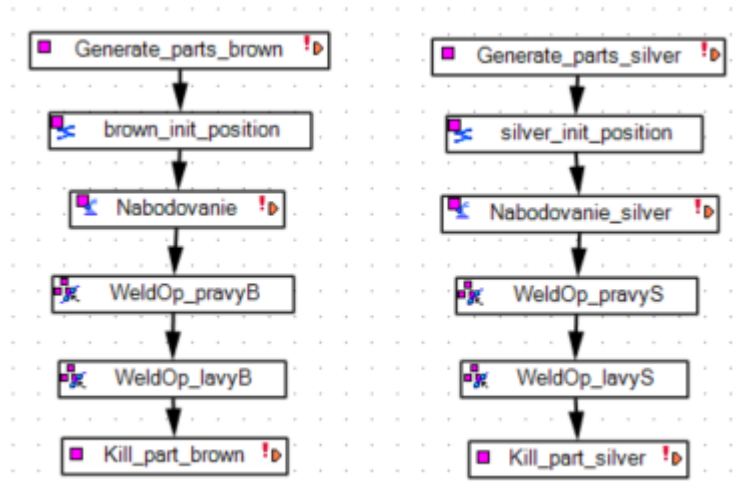
Po importovaní modelov zariadení, vytvorení zvracích operácií v Standard móde bolo potrebné vytvoriť fungujúcu logiku bunky v Line simulation móde, ktorý pracuje ako udalostne riadená simulácia. V tomto móde neexistujú súčiastky tzv. „parts“, ale sú nahradené zjaveniami tzv. „appearances“ a taktiež nie je podporovaná funkcia manipulácie človeka tzv. „jack“ s jednotlivými appearances. Z toho dôvodu nie je možné vytvoriť simuláciu zakladania a odoberania súčiastok.

7.4.1 Materiálový tok a operácie

Aby sme mohli pracovať so súčiastkami, musíme pre ich začiatkové a koncové pozície vytvoriť operácie *Object Flow Operation*, kde sa jednotlivé súčiastky stanú produktom tejto operácie na danej pozícii. Môžeme to urobiť pomocou *Parts* v standard móde alebo si ich môžeme vygenerovať z iných operácií, ktorými tieto súčiastky prechádzajú. A to pomocou funkcie *Generate appearances*, dostať ich na požadovanú pozíciu a tu následne vytvoriť spomenutý typ operácie. Pokiaľ chceme aby súčiastka z daného miesta pokračovala materiálovým tokom, je potrebné pri vytváraní operácie zadať iba jej začiatkovú pozíciu bez koncovkej pozície. Tá bude vytvorená opätovne na koncovom mieste materiálového toku danej súčiastky, aby udávala pokiaľ má súčiastka dôjsť.

Appearances je potrebné vygenerovať, čo môže byť vykonané manuálne alebo použitím *Non-Sim Operation* umiestnenej pred operáciu s počiatočnou pozíciou materiálu a ich následným prepojením v *Sequence editor* pomocou *Transitions*. Táto operácia sa nijak neprejavuje v simulácii, ale umožňuje nám napríklad vytvárať podmienky pre ostatné operácie. Využil som ich pre manuálne generovanie súčiastok v nakladacej pozícii otočného stola, ako náhradu za simuláciu človeka. Aby *Non-Sim* operáciu bolo možné takto využiť v *Transition* je potrebné definovať signál (podmienku), ktorý spustí túto udalosť.

Súčiastka musí taktiež po ukončení cyklu zmiznúť alebo sa premiestniť z finálnej pozície, na čo sú taktiež využité *Non-Sim* operácie, ktoré do daného bodu materiálového toku nesú informáciu o tom, že tok súčiastky bol ukončený, pretože ich produktom už nie je žiadna *Appearance*. Materiálový tok všetkých operácií, ktorými musí súčiastka prejsť aby absolvovala svoj životný cyklus je definovaný na obr. 35.



Obr. 41) Materiálový tok

Pre generovanie súčiastok boli vytvorené dva signály z tab. 2 a ako podmienka použitá nástupná hrana týchto signálov RE. Pre ukončenie životného cyklu súčiastok boli použité signály otvorenia upínačov jednotlivých prípravkov, ako reprezentácia odobratia súčiastok obsluhou. V tab. 2. môžeme vidieť operácie, ktoré som využil a ich popis. Jednotlivé prípravky boli pre orientáciu rozlíšené farebne a podľa toho pomenované na *Prípravok_1_Brown* a *Prípravok_2_Silver* a podľa priradenia k nim nesú tieto prípony aj prislúchajúce operácie.

Tab 2) Názvy a popis operácií

číslo	Názov	Popis
-	Generate_parts_brown	- spustí operáciu počiatočnej pozície po splnení podmienky
-	Generate_parts_silver	- spustí operáciu počiatočnej pozície po splnení podmienky
-	Brown_init_position	- uchováva počiatočnú pozíciu súčiastok
-	Silver_init_position	- uchováva počiatočnú pozíciu súčiastok
- 10 20 30	WeldCompOp_brown	- združená operácia všetkých operácií zvárania v jednom cykle <ul style="list-style-type: none"> • Nabodovanie • WeldOp_pravyB • WeldOp_lavyB
- 50 60 70	WeldCompOp_silver	- združená operácia všetkých operácií zvárania v jednom cykle <ul style="list-style-type: none"> • Nabodovanie_silver • WeldOp_pravyS • WeldOp_lavyS
-	Kill_part_brown	- ukončenie životného cyklu súčiastok
-	Kill_part_silver	- ukončenie životného cyklu súčiastok
40	Cleaning_station	- spustí operáciu čistenia zváracieho horáku

Pretože operácie typu *Continuous*, ktoré sú použité v našom prípade nie je možné priradiť k žiadnemu komponentu typu *Resources*, ale iba ku komponentom typu *Parts* v Standard móde. Bolo veľmi dôležité dbať na to, aby všetky lokácie týchto operácií ostali v presnom mieste, kde sa budú vykonávať. Po otvorení LS módu, *Parts* zmiznú a operácie sa „prilepia“ k ich reprezentáciám – *Appearances*, až po ich vygenerovaní, čo znamenalo, že s následným otočením stola sa presunuli všetky body operácie na nesprávnu stranu otočného stola. Preto som potreboval všetky *Parts* a k nim priradené operácie ponechať na strane robota pomocou *Detachment* – „odlepenia“ súčiastok od prípravku. Týmto krokom som zadefinoval ich počiatočnú a koncovú pozíciu pre zváracie operácie a zároveň zabezpečil, aby sa „prilepili“ k súčiastkám až keď dosiahnu túto pozíciu. Vďaka tomu je možné otáčať stôl bez zmeny polohy bodov operácií.

Operácie som musel kvôli kooperácií medzi robotom a externými osami otočného stola rozdeliť na dva samostatné cykly (združené operácie) so samostatnými *Parts*. Keďže nie je možné vyššie spomenuté operácie priradiť k *Resources*, tak nie je možné použiť pre tie isté *Parts*, pre oba cykly rovnaké operácie s použitím variabilného materiálového toku.

7.5 Logika programu a sprevádzkovanie bunky

Process simulate poskytuje viaceré možnosti práce s logikou programu. V mojej práci som pre základné funkcie zariadení, napríklad pre zmenu polohy použil ich vytvorenie pomocou *Create LB logic and sensors* s následnou úpravou ich logických blokov pomocou *Edit Logic Resource*. Pre riadenie programu a vytvorenie logických operácií je po vytvorení signálov zariadení možné prepojiť PS s PLC alebo použiť interné nástroje PS. Zvolil som druhú možnosť a vytvoril riadenie použitím nástroja *Modules Viewer*, v ktorom môžeme vytvárať jednotlivé moduly a používať ich v logických operáciách. Použité signály sú v tab. 3, 4, 5.

7.5.1 Vstupné a výstupné signály

Každý modul obsahuje *Result signal* a *Expression / Called module*, čiže výsledný signál a jeho stav/hodnotu alebo podmienku pre jeho spustenie. V jednom module ich môže byť použitých viacero. Ďalej nám tento nástroj poskytuje možnosť používať podmienky IF, ELSEIF, ale neumožňuje použitie iných podmienok ako WHILE, FOR a pod. Tieto podmienky je možné definovať so signálmi bez ich uloženia do modulu, no výsledný signál volaný touto podmienkou nie, a preto som použil množstvo modulov, z ktorých viaceré sú reprezentáciou jedného signálu a jeho hodnoty. Z tohto dôvodu nie je potrebné v práci uvádzať všetky moduly a hlavný program *Main* preto pre orientáciu obsahuje 4 podprogramy (moduly) a to:

- PRÍPRAVOK
- POSITIONER
- ROBOT_PROGRAMS
- E_STOP&ENTRANCE

Tab 3) Výstupné signály

Názov	Dátový typ	Popis
KP3_V2H_rmtp_front2operator	Bool	Otoč stôl do pozície 1
KP3_V2H_rmtp_front2robot	Bool	Otoč stôl do pozície 2
KP3_V2H_rmtp_J1_f2operator	Bool	Otoč osu stola J1 do pozície 1
KP3_V2H_rmtp_J1_f2robot	Bool	Otoč osu stola J1 do pozície 2
Door_CLOSE	Bool	Signál reprezentuje zásah obsluhy – zatvorenie servisného vstupu
Door_OPEN	Bool	Signál reprezentuje zásah obsluhy – otvorenie servisného vstupu
kr8_r2100_arc_hw_startProgram	Bool	Robot - spustí program
kr8_r2100_arc_hw_programNumber	Byte	Robot – číslo operácie
kr8_r2100_arc_hw_emergencyStop	Bool	Robot – núdzové zastavenie
kr8_r2100_arc_hw_programPause	Bool	Robot – pauza programu
WARNING_MissingPart_S	Bool	Display signal –nezaložená súčiastka
WARNING_MissingPart_B	Bool	Display signal –nezaložená súčiastka
ERROR_PartLoosed	Bool	D.s. - diel vypadol počas operácie
CELL_READY	Bool	Bunka pripravená pre štart
FAULT	Bool	Signalizuje núdzové zastavenie

Tab 4) Vstupné signály

Názov	Dátový typ	Popis
KP3_V2H_at_front2operator	Bool	Stôl na pozícií 1
KP3_V2H_at_front2robot	Bool	Stôl na pozícií 2
KP3_V2H_J1_at_f2operator	Bool	Os stola J1 na pozícií 1
KP3_V2H_J1_at_f2robot	Bool	Os stola J1 na pozícií 2
kr8_r2100_arc_hw_programEnded	Bool	Robot – program skončil
kr8_r2100_arc_hw_errorProgramNumber	Bool	Robot – neznáme číslo programu
kr8_r2100_arc_hw_robotReady	Bool	Robot – pripravený na cyklus
kr8_r2100_arc_hw_at_HOME	Bool	Robot – v pozícií home
Brown_CLAMPED	Bool	Obsluha – upínače zatvorené
Brown_UNCLAMPED	Bool	Obsluha – upínače otvorené
Silver_CLAMPED	Bool	Obsluha – upínače zatvorené
Silver_UNCLAMPED	Bool	Obsluha – upínače otvorené
Generate_parts_brown	Bool	Obsluha – generuj/založ súčiastky
Generate_parts_silver	Bool	Obsluha – generuj/založ súčiastky
Turn_Table_BTN	Bool	Tlačidlo pre otočenie otočného stola
Reset_BTN	Bool	Tlačidlo pre reset po error/fault
E_STOP_BTN	Bool	Tlačidlo núdzového zastavenia
ERROR_OK_BTN	Bool	Tlačidlo potvrdzuje zrušenie erroru
Start_BTN	Bool	Tlačidlo pre spustenie cyklu
CLAMP_Brown_(Human)	Bool	Obsluha – zatvor upínače
UNCLAMP_Brown_(Human)	Bool	Obsluha – otvor upínače
CLAMP_Silver_(Human)	Bool	Obsluha – zatvor upínače
UNCLAMP_Silver_(Human)	Bool	Obsluha – otvor upínače
Service_DOOR_Closed	Bool	Servisný vstup otvorený
Service_DOOR_Opened	Bool	Servisný vstup zatvorený
Door_LOCKED	Bool	Vstup zamknutý – prebieha cyklus
Indukcny_B1 až Indukcny_B12	Bool	Indukčné snímače založených dielov
Indukcny_S1 až Indukcny_S12	Bool	Indukčné snímače založených dielov
light_sensor_sick_gate	Bool	Signál svetelného závesu
sick_s3000_standard	Bool	Signál laserového skeneru

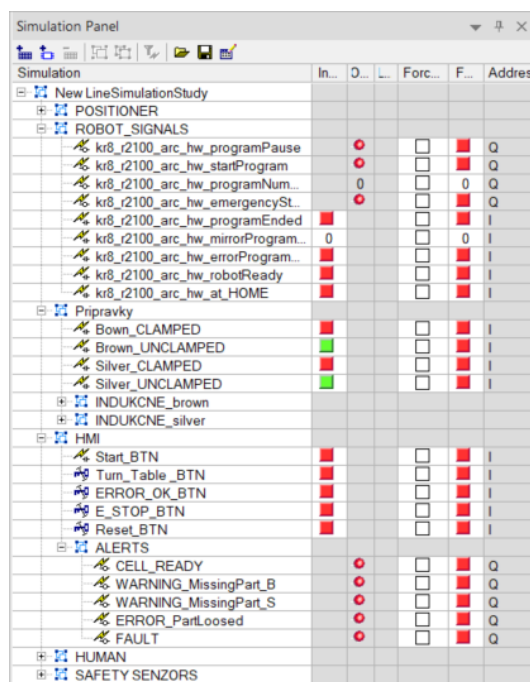
Signály s predponou „Obsluha“ reprezentujú a nahrádzajú činnosť obsluhy resp. simulácie človeka. Signály s príponou BTN reprezentujú tlačidlá na HMI paneli, núdzového zastavenia a servisnom vstupe. Pre tieto „BTN“ signály sú použité tzv. Key Signal, ktoré fungujú len interne v prostredí Process Simulate. Key signály vznikajú taktiež automatickým

vygenerovaním pre použitie ako prechod medzi jednotlivými operáciami a informovanie o ukončení operácie. Automaticky vygenerované key signály operácií môžeme vidieť v nasledujúcej tabuľke.

Tab 5) Key signály operácií

Názov	Dátový typ	Popis
Generate_parts_brown_end	Bool	Ukončenie op. generovania súčiastok
Generate_parts_silver_end	Bool	Ukončenie op. generovania súčiastok
brown_init_position_end	Bool	Ukončenie op. počiatočnej pozície
silver_init_position_end	Bool	Ukončenie op. počiatočnej pozície
Nabodovanie_brown_end	Bool	Ukončenie op. nabodovania
Nabodovanie_silver_end	Bool	Ukončenie op. nabodovania
WeldOp_pravyS_end	Bool	Ukončenie op. zvráania súčiastok
WeldOp_lavyS_end	Bool	Ukončenie op. zvráania zvarenca
WeldOp_pravyB_end	Bool	Ukončenie op. zvráania súčiastok
WeldOp_lavyB_end	Bool	Ukončenie op. zvráania zvarenca
Kill_part_brown_end	Bool	Ukončenie op. miznutia súčiastok
Kill_part_silver_end	Bool	Ukončenie op. miznutia súčiastok
Cleaning_station_end	Bool	Ukončenie op. čistenia horáka

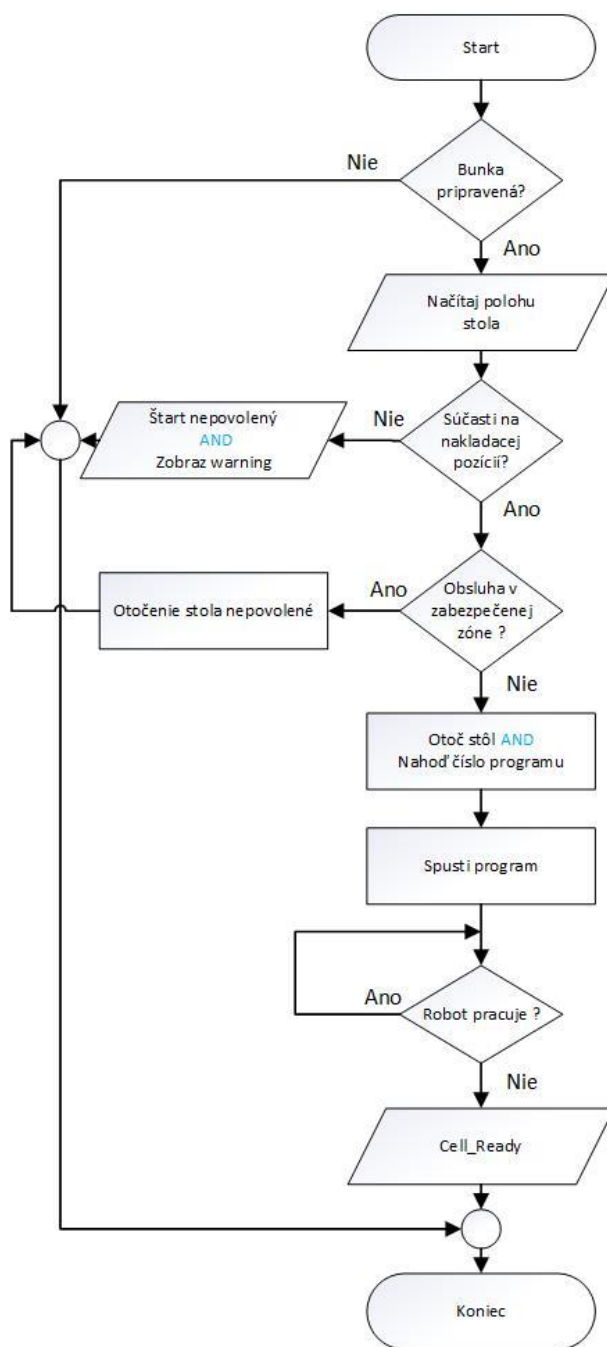
Na obr. 36 môžeme vidieť usporiadanie signálov do skupín v nástroji *Simulation Panel*. Tu môžeme pridávať všetky signály, ktorých parametre a hodnotu potrebujeme sledovať alebo meniť počas simulácie. Obsluha pracoviska v tomto prípade pracuje s niekoľkými základnými signálmi, ktoré môžeme vidieť v skupinách HMI a ALERTS.



Obr. 42) Nástroj Simulation Panel

7.5.2 Princíp fungovania z hľadiska obsluhy

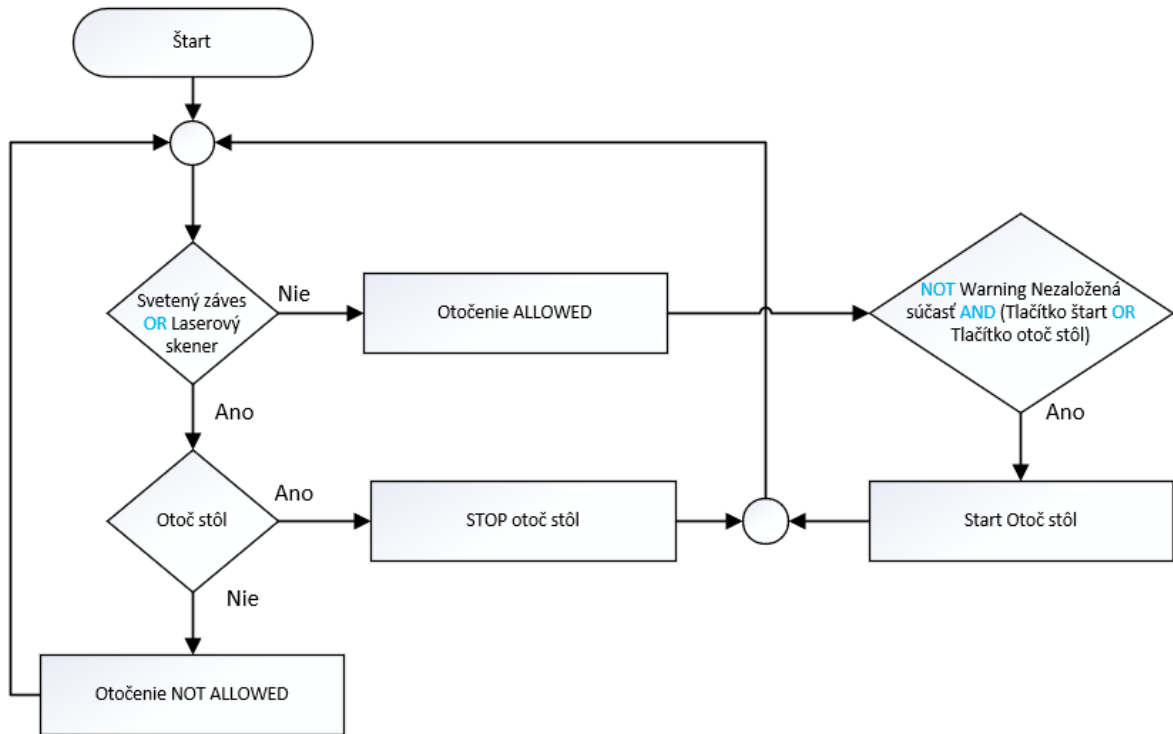
Základný princíp popisuje aj vývojový diagram obr. 37. Obsluha vstúpi do zabezpečeného pracovného priestoru, otvorí upínače, odoberie zvarenec, uloží do prípravkov súčiastky pre ďalší cyklus a zatvorí upínače. Obsluha následne opustí pracovný priestor a prejde k ovládacímu panelu HMI. Tu bude informovaná o tom, či založila všetky súčiastky. Ak niektorý zo snímačov prípravku na strane obsluhy súčiastku nezaregistruje, bude svietiť kontrolka *WARNING_MissingPart_B* alebo *WARNING_MissingPart_S* podľa prípravku. Obsluha je taktiež informovaná v prípade, že by na druhej strane stola došlo k uvoľneniu/vypadnutiu súčiastky z prípravku počas prebiehajúceho cyklu, aby mohla zavolať obsluhu robota. Ak sú prípravky v poriadku, obsluha počká na signál *CELL_READY* a tlačidlom *Start_BTN* spustí ďalší zvrací cyklus.



Obr. 43) Vývojový diagram základného fungovania pracoviska

Bezpečnosť obsluhy

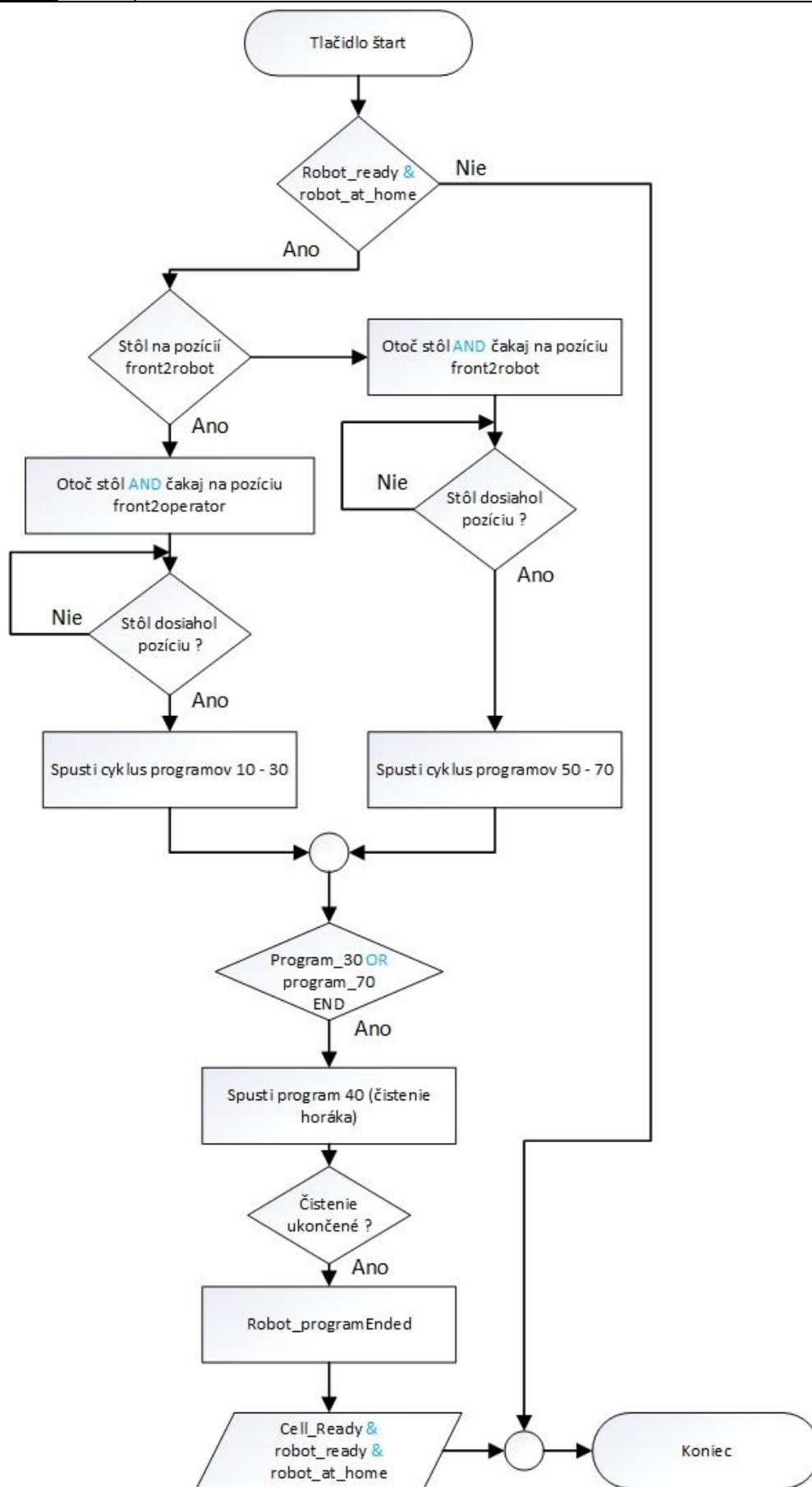
Následne dôjde k pohybu otočného stola. Pokiaľ bude počas tohto pohybu narušená zabezpečená zóna, stôl bude okamžite zastavený dovtedy, pokiaľ nebude priestor opustený a zaznamenaný výstup zo zabezpečenej zóny. Ak budú splnené bezpečnostné podmienky, stôl sa dá znovu do pohybu a program bude pokračovať. Ako môžeme vidieť na obr. 38 toto zabezpečenie prebieha cyklicky neustále.



Obr. 44) Vývojový diagram zabezpečenia pracovného priestoru

7.5.3 Robotický program

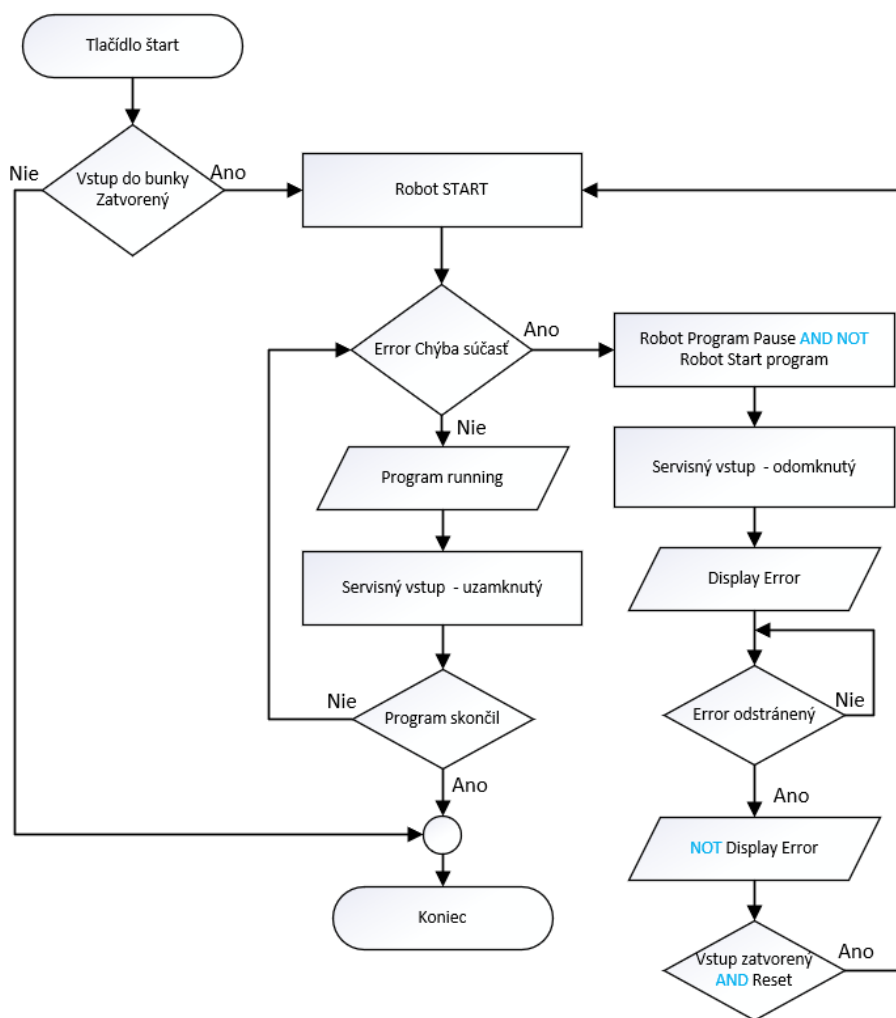
Robotický program je zložený zo 7 operácií 7.4.1 rozdelených do 2 cyklov. Spustenie prvej operácie má vždy definované počiatkové podmienky, podľa ktorých je zvolený nasledujúci cyklus. Ďalšie operácie sú volané na základe zostupného signálu FE o ukončení predchádzajúcej operácie. Po ukončení cyklu poslednou operáciou, t. j. operáciou čistenia zvracieho horáka sa inicializujú signály, ktoré dávajú informáciu, že robot je pripravený na ďalší cyklus. Logiku môžeme vidieť na vývojovom diagrame na obr. 39 na nasledujúcej strane.



Obr. 45) Vývojový diagram robotického programu

7.5.4 Servisný vstup do robotického pracoviska

Zámok servisného vstupu je počas prebiehajúceho programu uzamknutý, čo vychádza z vývojového diagramu obr. 40. Pokiaľ robot ukončí svoju činnosť, zámok je odomknutý a je obsluhu robota umožnený prístup do pracoviska. Robotický program nemôže byť spustený, pokiaľ je obsluha robota vo vnútri, resp. sú otvorené dvere s bezpečnostným zámkom. V takom prípade je možný iba ručný režim robota. Ak nastane počas robotického programu error, výstupný signál štartu robota je zhodený a vstup obsluhy robota je umožnený, aby bolo možné robota v ručnom režime dostať z pozície, odstrániť error alebo po resete pokračovať v programe. Odstránenie erroru je potrebné potvrdiť tlačidlom *ERROR_OK_BTN* a tlačidlom *RESET_BTN* spustiť program.



Obr. 46) Vývojový diagram robotického pracoviska

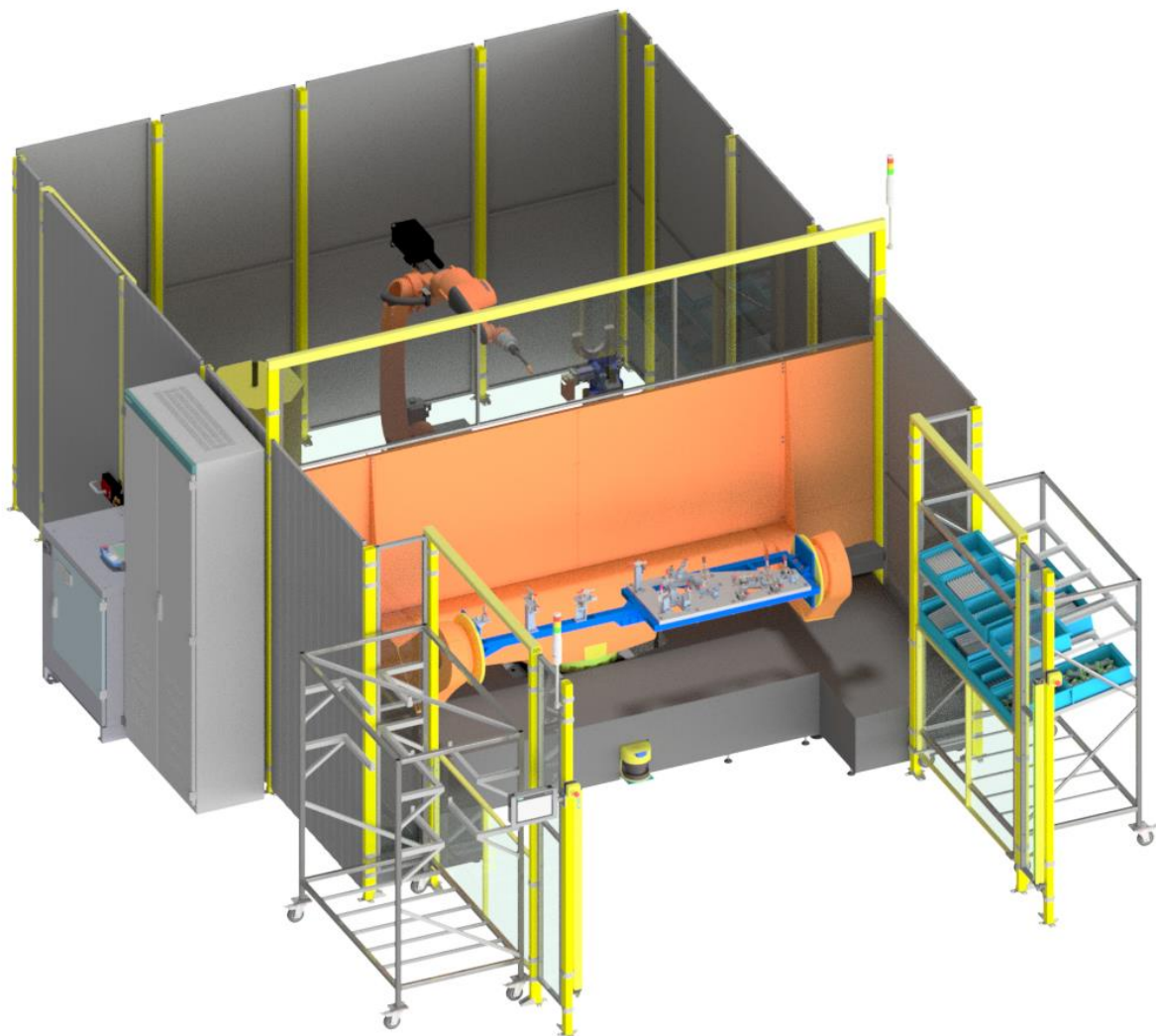
7.6 Vyhodnotenie simulácie

Výrobný takt pri aktuálne nastavených rýchlostiach aj s operáciou čistiacej stanice je približne 276,5 s bez RCS modulu. Pri trojzmennej prevádzke, v súčte 22,5 h je to výrobnosť 293 kusov/deň.

Podľa očakávaní vzniklo pri použití RCS modulu v už hotovej simulácii viacero problémov pri prechádzaní dráh a s učením pozícií jednotlivých bodov, keďže simulačný kontrolér dostupný v PS sa nemusí zhodovať s virtuálnym kontrolérom skutočného robota - RCS modulu. Aby simulácia fungovala správne s RCS modulom, bolo by potrebné jednotlivito skontrolovať, nastaviť, prípadne opraviť všetky dráhy, body a konfigurácie robota alebo ideálne pracovať od začiatku s týmto modulom. Zváracie dráhy sú v porovnaní s manipulačnou operáciou pomerne komplikované, obsahujú veľké množstvo bodov a vyžadujú simultánny pohyb robota a externej osi pri zváraní, preto sú náročné na vyladenie. Z toho dôvodu sa takýto postup ukázal ako časovo veľmi náročný a vzhľadom na nedostupnosť sieťovej licencie RCS modulu pre študentov v podstate nerealizovateľný.

Z vyššie popísaných dôvodov sa nepodarilo overiť celú simuláciu reálnym kontrolérom a tak zistiť presný výrobný takt. Na základe niekoľkých overených dráh a skúseností vedúceho práce však predpokladáme, že výrobný takt sa nebude veľmi líšiť pretože najväčšie rozdiely vznikajú pri používaní PTP pohybu robota a v našom prípade je pre zváracie dráhy a prejazdové dráhy v blízkosti prípravku využívaný predovšetkým pohyb typu LIN s použitím zón.

Napriek tomu bude výrobný takt s RCS modulom pravdepodobne o niečo nižší, čo pozitívne prispeje k zvýšeniu výrobnosti. Najpresnejší je však výsledok skutočného výrobného taktu, ktorý sa zistí po odladení a otestovaní na reálnom pracovisku. Dôležité je brať v úvahu že v simulácii sú nastavené predpokladané vhodné rýchlosti zvárania, a preto sa táto hodnota na reálnom pracovisku môže zvýšiť alebo znížiť. V úvahu taktiež pripadá možná zmena operácie „Nabodovanie“, ktorá slúži k zaisteniu polohy súčiastok zvarenca, aby sa predišlo deformáciám jeho geometrie spôsobených teplotným ovplyvňovaním oblasti zvaracím procesom. Na skúšobnom zvarenci môže byť napríklad skrátený obsah tejto operácie a tým znížený výrobný takt.



Obr. 47) Navrhnuté robotické pracoviisko

8 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

V tejto kapitole zhodnotíme, či došlo k splneniu požadovanej technickej úrovne pracoviska a budú vypočítané odhadované náklady na jeho realizáciu a ich porovnanie so vstupným investičným zámerom.

Po technickej stránke vypracovaný návrh spĺňa všetky vstupné požiadavky, preto ho môžeme považovať za vyhovujúci.

V ekonomickom zhodnotení zisťujeme odhadovanú sumu nákladov za všetky nakupované (tab. 6) alebo vyrábané položky (tab. 7) a taktiež za prácu ľudí od návrhov, cez montážne práce až po uvádzanie do prevádzky, čiže za kompletnú realizáciu (tab.8). U všetkých položiek sa nepodarilo zistiť ich presnú obstarávaciu cenu, preto vo výsledku tieto náklady považujeme za odhadované.

Tab 6) Nakupované položky

Názov položky	Množstvo	Cena v EUR
KR 8 R2100-2 arc HW, KRC 4, SmartPad - KUKA	1	30 000
Otočný stôl KUKA KP3-V2H250	1	42 000
Systém PUSH + čistiaca stanica, Fronius	1	17 000
Elektrický rozvádzač a PLC (Siemens 8MF10283BR4, SIMATIC S7 1500)	1	9 820
Indukčné snímače Balluf	8	592
Indukčné snímače Festo	16	880
Signálna veža Auer	2	310,5
panel SIMATIC HMI TP900 Comfort	1	2 054,24
Tlačidlo SICK – E STOP	2	69,64
Svetelný záves SICK – S4000 standard	1	1 684
Laserový skener SICK – S3000 standard	1	5 554
Manuálne upínače Destaco	32	316,4
Manuálne upínače Norelem 05020	6	79,86
Oplotenie	1	4 320
Zásobník drôtu ESAB Marathon Pac 250 kg	1	857,6
Bezpečnostný zámok Euchner	1	1 136
Regálové prepravky	8	33,7
Priemyselné kolesá	8	249,6
Nastavovacie pätky Alutec kk - 2 druhy	22	159
Kabeláž a káblové žľaby	1	1 180
Spolu		118 297

Tab 7) Vyrábané položky

Názov položky	Množstvo	Cena v EUR
Podstava pracoviska	1	2 564
Prípravok na zváranie – bez upínačov	2	9 658
Neštandardné časti oplotenia	1	2 623
Zásobníky materiálu	2	2 200
Zástena otočného stola	1	1 262
Spolu		18 307

Tab 8) Náklady na prácu (odhad hodín)

Názov položky	Hodín	EUR/hod	Cena v EUR
Simulácia	60	45	2700
PLC programovanie	80	45	3600
Robot - online programovanie	50	45	2250
Strojná konštrukcia	100	40	4000
Elektro projekcia	80	40	3200
Montáž strojných konštrukcií	100	27	2700
Montáž elektro konštrukcií	70	20	1400
Cestovné a ubytovanie	-	-	1200
Zaškolenie obsluhy	-	-	1950
Technická dokumentácia, návod k obsluhu	-	-	790
Spolu			23 790

Náklady = nakupované položky + vyrábané položky + náklady na prácu (7)

Náklady = 118 297 € + 18 307 € + 23 790 €

Náklady = 160 394 €

Po získaní sumy odhadovaných nákladov je potrebné k tejto sume pripočítať požadovanú prirážku vo výške 12 %, ktorá tvorí náš zisk zo zákazky.

Obstarávacia cena = náklady * prirážka (8)

Obstarávacia cena = 160 394 * 1,12

Obstarávacia cena = 179 641,28 €

Zákazníkom očakávaná cena bola v približnej výške 200 000 €. Pri tejto sume očakával návratnosť do 3 rokov. Môžeme zhodnotiť, že výsledná obstarávacia cena po finančnej stránke vyhovuje požiadavkám zákazníka, pretože je nižšia ako očakávaná výška finančných prostriedkov určených pre túto zákazku.

9 ZÁVER A DOPORUČENIE PRE PRAX

V začiatku práca pojednáva o výhodách využitia simulačných softvérov a vstupných požiadavkách. Z nich vyplýva hlavný cieľ tejto práce a to, návrh linky pre robotické oblúkové zváranie oceľového rámu. Na základe výsledkov práce môžeme zhodnotiť, že tento cieľ bol dosiahnutý.

Ako prvé boli vytvorené varianty koncepčných návrhov a na základe hodnotiacich parametrov zvolený najvhodnejší z nich. Súčasne bol vypracovaný konštrukčný návrh upínacieho prípravku, čo môžeme považovať za faktor, ktorý najviac ovplyvňoval celkový návrh bunky.

Ďalším krokom po dokončení návrhu prípravku bol zvolený vhodný otočný stôl a robot, od ktorých závisel konštrukčný návrh podstavy a spolu s požiadavkami na bezpečnosť aj návrh oplotenia, ochranného krytovania a zásteny otočného stola. Neoddeliteľnou súčasťou bol výber periférnych zariadení robotického pracoviska a výber všetkých bezpečnostných prvkov a ostatných zariadení.

Po úspešnom dokončení layoutu bunky v CAD softvéri Autodesk Inventor 2021 bol model importovaný do simulačného softvéru Process Simulate za účelom overenia funkčnosti. V tomto prostredí bola vytvorená a overená aj základná logika riadenia bunky a výrobného procesu. Po vyladení parametrov zváracieho procesu a odstránení kolízií bol zistený približný výrobný takt a v poslednom kroku práce bolo zhodnotené splnenie požiadaviek po technickej aj ekonomickej stránke v 8. kapitole.

Vypracovanie tejto diplomovej práce bolo pre mňa dobrou skúsenosťou, keďže som si vďaka nej čiastočne vyskúšal prácu konštruktéra, simulačného inžiniera, zlepšil svoje znalosti pri práci v softvéroch Inventor a Process simulate, čím som si vytvoril približnú predstavu o tom, čo všetko takýto návrh zahŕňa, v akej cenovej relácii sa pohybujú jednotlivé komponenty a koľko môže stáť celková realizácia podobných výrobných buniek.

Softvér Process simulate sa ukázal ako simulačný softvér vhodný pre tvorbu zváracích operácií, keďže na to poskytuje viacero nástrojov. V prípade dostupnosti RCS modulu by som ho jednoznačne využil hneď v začiatku tvorby simulácie. RCS modul lepšie reprezentuje reálnu situáciu, a vďaka nemu dostaneme presnejší výstup dĺžky jednotlivých operácií a celkového taktu. Taktiež sa tak môžeme vyhnúť vzniku chýb v hotovom programe pri jeho použití až v závere simulácie. Ohľadom práce v udalostne riadenom móde, by som pre tvorbu a testovanie logiky pracoviska jednoznačne využil možnosť prepojenia PS s PLC a po vytvorení základných signálov pre rôzne stroje a zariadenia v logických blokoch, by som zvyšok programu spracoval cez TIA Portál. Pokiaľ je táto možnosť dostupná, je to podľa môjho názoru výrazná úspora času, s prehľadnejším programom vďaka prívetivejšiemu programovaciemu prostrediu a možnosti využiť rôzne programovacie jazyky na rozdiel od využívania modulov alebo SCL editoru v PS.

Myslím si, že aj v rovnakom prípade ako v tejto práci, kedy nejde priamo o virtuálne sprevádzkovanie, by bola veľkým plusom možnosť prezentovať zákazníkovi simulačný model aj s vytvoreným HMI panelom, čím by nadobudol reálnejšiu predstavu o tom, ako bude výrobná linka ovládaná operátorom. Celkové zhodnotenie podľa môjho názoru je, že tento softvér je dobrým nástrojom so širokým využitím pre tvorbu simulačných modelov nahrádzajúcich reálnu prevádzku.

10 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] Tecnomatix. Axiom Tech, s.r.o. [online]. Zlín, 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25343-tecnomatix-process-simulate-robotics>
- [1] Tecnomatix - SOVA Digital. Digitalizujeme podnikové procesy - SOVA Digital [online].,2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://sova.sk/produkty/tecnomatix/>
- [2] ČSN – Dashöfer. ČSN EN ISO 13855:2010 Bezpečnost strojních zařízení - umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla [online]. Praha: Verlag Dashöfer Holding Ltd., 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/csn-en-iso-13855-2010-bezpecnost-strojnich-zarizeni-umisteni-ochrannych-zarizeni-s-ohledem-na-rychlosti-priblizeni-casti-lidskeho-tela-uniqueidmRRWSbk196FNf8jVUh4EvD6cPpZTsNI1Lx1h-9gR-Y/>
- [3] Regulácie a normy – JTECHNIK, s.r.o. [online]. Trenčín, 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://bezpecnostne-ohrady.sk/regulacie/>
- [4] BENEŠ, Ľubomír. Ochranná oplocení pro průmyslové roboty, [online]. 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/ochranna-oploceni-pro-prumyslove-roboty.html>
- [5] Kuka [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kukadownloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/0000321018_en.pdf?rev=5697880b40164e65aaae3e0b958d6fd5&hash=685DE67E6DDF6A5B2D80E2D35316137C
- [6] Kuka [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/robot-periphery/positioners/kp3-v2h>
- [7] Bezdotykové snímače SIE..., indukčné – Festo [online]. Bratislava, 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/sk_sk/data/doc_sk/PDF/SK/SIEX_SK.PDF
- [8] SICK: Portfólio bezpečnostných zariadení. Sick.com [online]. 2018 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/c/PRODUCT_ROOT
- [9] VOJÁČEK, Antonín. Bezkontaktní indukční snímače přiblížení. Automatizace.HW.cz [online]. 2014 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/indukcni-snimacepriblizeni-obecny-popis.html>
- [10] Bezdotykové bezpečnostné snímače. Balluff [online]. b.r. [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/sk/productfinder/#/ca/A0001/cg/G0101>
- [11] Multifunctional Gate Box MGB. Euchner.cz [online]. Brno: Euchner Electric s.r.o., 2021 [cit. 2021-05-03] Dostupné z: <https://www.euchner.de/cs-cz/vyrobky/multifunctional-gate-box-mgb/multifunctional-gate-box-mgb-ar/>
- [12] MIKLIS, Peter. Využití bezpečnostních senzorů v automatizaci [online]. Brno, 2019 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117063>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.
- [13] Optoelektronické snímače. Dailyautomation.sk [online]. b.r. [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <http://dailyautomation.sk/optoelektronicke-snimace/>
- [14] VOJÁČEK, Antonín. Bezpečnost strojů realizovaná světelnými závoryami. Automatizace.HW.cz [online]. 2014 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-a-zarizenirealizovana-svetelnymi-zavesy>

- [15] Troax [online]. Kladno, 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.troax.com/cz/cs/ochrana-stroju>
- [16] Systémy Push. Fronius International GmbH[online]. Praha, 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/vyrobky/robotizované-svařování/jednodrátové-svařování-migmag/systémy-push/systémy-push>
- [17] Systémy Push. Fronius International GmbH[online]. Praha, 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/svet-svarovani/svaovn-migmag>
- [18] Manual Clampin. DESTACO [online]. 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.destaco.com/products/manual-clamping>
- [19] Toggle clamps. Norelem [online]. 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.norelem.com/us/en/Products/Product-overview/Flexible-standard-component-system/05000-Toggle-clamps-Pneumatic-clamps-Accessories-for-clamps-Latches-Quarter-turn-locks/Toggle-clamps/05060-Toggle-clamps-verticalwith-angled-foot.html>
- [20] LAŠ, Juraj. 01 Základy Priemyselnej robotiky- Úvod. dailyautomation.sk [online]. 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/robotika-uvod/>
- [21] Process Simulate. Siemens [online]. 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://community.sw.siemens.com/s/topic/0TO4O000000QkG4WAK/process-simulate>
- [22] EUCHNER electric, s. r. o. [online]. 2016 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/53410.pdf
- [23] ABB [online]. 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.abb-conversations.com/2013/01/get-more-out-of-your-robotic-automation-projects/>
- [24] ABB [online]. 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/sk/robotstudio>
- [25] Čo je MIG a MAG (CO2) zvaranie?. Solík SK, s.r.o.[online]. 2018 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.solik.sk/blog/co-je-to-mig-co2-zvaranie/>
- [26] RoboDK Inc. [online]. 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://robodk.com>
- [27] DELMIA Robotics - Digital Manufacturing Solutions. DMS - Digital Manufacturing Solutions [online]. [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://4dmsco.com/solutions/delmia/delmiarobotics/>
- [28] Desktop engineering [online]. 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.dte.co.uk/products/delmia-v5/>
- [29] FANUC ROBOGUIDE Simulation Software. FANUC America Corporation [online]. 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/robot-simulation-software-FANUC-ROBOGUIDE>

11 ZOZNAM SKRATIEK, OBRÁZKOV A TABULIEK

Obr.	obrázok
Tab.	tabuľka
FSI	Fakulta strojního inženýrství
ÚVSSR	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
CAD	počítačom podporovaný návrh - computer-aided design
UV	ultrafialové
a pod.	a podobne
tj.	to jest
PS	Process Simulate
RE	nástupná hrana signálu - Rising Edge
FE	zostupná hrana signálu - Falling Edge
MIG	inertný plyn - metal inert gas
MAG	aktívny plyn - metal active gas
TIG	zváranie volfrámovou elektródou v atm. inertného plynu - tungsten inert gas
SCL	štruktúrovaný riadiaci jazyk - structured control language
HMI	rozhranie človek-stroj - human machine interface
RCS	robot controller simulation

11.1 Zoznam tabuliek

Tab 1)	Výber variantu podľa váhy hodnotiacich kritérií	24
Tab 2)	Názvy a popis operácií	50
Tab 3)	Výstupné signály	51
Tab 4)	Vstupné signály	52
Tab 5)	Key signály operácií	53
Tab 6)	Nakupované položky	60
Tab 7)	Vyrábané položky	61
Tab 8)	Náklady na prácu (odhad hodín)	61

11.2 Zoznam obrázkov

Obr. 1)	Pracovné prostredie softvéru Process Simulate	13
Obr. 2)	Pracovné prostredie softvéru Fanuc Roboguide	14
Obr. 3)	Pracovné prostredie softvéru RobotStudio	15
Obr. 4)	Pracovné prostredie softvéru Delmia V5.....	15
Obr. 5)	Pracovné prostredie softvéru RoboDK.....	16
Obr. 6)	Zváranie MIG/MAG – 1. Hubica, 2. Kontaktná špička, 3. Drôt, 4. Ochranný plyn, 5. Oblúk, 6. Zvarový kúpeľ, 7. Zváraný materiál	17
Obr. 7)	Model oceľového rámu pre zváranie	18
Obr. 8)	Zvárací horák - Fronius [1].....	19
Obr. 9)	Koncepčný návrh bunky – variant A	21
Obr. 10)	Koncepčný návrh bunky – variant B	22
Obr. 11)	Koncepčný návrh bunky – variant C	23
Obr. 12)	Zostava navrhnutého prípravku – pohľad na nosnú konštrukciu	25
Obr. 13)	Prípravok pre upnutie v 1. fáze zvárania rámu	26
Obr. 14)	Prípravok pre upnutie v 2. fáze zvárania rámu	26
Obr. 15)	V Poradí zľava – priamočiary upínač Destaco 6001, horizontálny upínač Destaco 213, vertikálny upínač Norelem 05060	27
Obr. 16)	Upínacie elementy [2]	28
Obr. 17)	Vľavo – indukčný snímač Baluff, vpravo – indukčný snímač Festo [3]....	28
Obr. 18)	Zapustená montáž - vzdialenosť $B2 \geq 2 \cdot D$, Nezapustená montáž $B2 \geq 3 \cdot D$ [4].....	29
Obr. 19)	1. Priečnik, 2. Pohonná jednotka, 3 a 5 Hlavný nosník, 4. Hnaná jednotka 5. Základná podstava, 6. Rozvody	29
Obr. 20)	Ochranná zástena otočného stola.....	30
Obr. 21)	Podstavná konštrukcia robotической zvaracej bunky [5].....	31
Obr. 22)	Zásobník vstupného materiálu.....	32
Obr. 23)	Zásobník výstupného materiálu.....	33
Obr. 24)	Vľavo – TSC2013 ABB, vpravo – Marathon Pac Esab	34
Obr. 25)	Robot KUKA KR 8 R2100-2 arc HW [6]	35
Obr. 26)	Pracovný priestor robota Kuka KR 8 R2100-2 arc HW	36
Obr. 27)	Bezpečnostné oplatenie výrobnej bunky [7]	37
Obr. 28)	Bezpečnostný zámok MGB-AR, Euchner [8]	38
	39
Obr. 29)	Svetelné závesy SICK C4000 Standard [9].....	39
Obr. 30)	Vľavo – SICK S3000 Standard, vpravo – umiestnenie skeneru.....	40
Obr. 31)	Pohľad na zabezpečený pracovný priestor	41
Obr. 32)	Vľavo - tlačidlo núdzového zastavenia, vpravo – signálna veža [10].....	42
Obr. 33)	Object tree.....	43
Obr. 34)	Nástroj Create Crank	44
Obr. 35)	Kinematics editor - Kinematická štruktúra upínačov prípravku	45
Obr. 36)	Nástroj Continuous Process Generator.....	45
Obr. 37)	Torch Alignment – Úprava polohy a rotácie bodov zvarového spoja.....	46
Obr. 38)	Nástroj - Project Arc Seam [11]	46
Obr. 39)	Nastavovanie polohy externých os robota [12]	47

Obr. 40) Vľavo – automatická kontrola bodov, vpravo – zaznamenanie kolízie počas simulácie.....	48
Obr. 41) Materiálový tok.....	49
Obr. 42) Nástroj Simulation Panel.....	53
Obr. 43) Vývojový diagram základného fungovania pracoviska.....	54
Obr. 44) Vývojový diagram zabezpečenia pracovného priestoru.....	55
Obr. 45) Vývojový diagram robotického programu	56
Obr. 46) Vývojový diagram robotického pracoviska.....	57
Obr. 47) Navrhnuté robotické pracovisko.....	59

12 ZOZNAM PRÍLOH

Výkresy:

VL-01-01-00 (Layout)

VL-01-02-00 (Podstava)

VP-01-01-00 (Prípravok)

VR-01-01-00 (Príruba)

VR-01-02-00 (Príruba)

VR-01-03-00 (Výstuha)

VR-01-04-00 (Výstuha)

VR-01-05-00 (Podpera)

VR-01-06-00 (Výstuha)

VR-02-01-00 (Rám – rozmery)

VR-02-02-00 (Vrtanie dier)

VR-02-03-00 (Zvarové spoje)

Ostatné:

3D model výrobnéj linky vo formáte .STEP

Video simulácie výrobného cyklu

Video zabezpečenia pracovného priestoru