



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

VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ LEPENÍ VOSKOVÉHO MODELU PRO ODLÉVÁNÍ

VIRTUAL COMMISSIONING OF WAX MODEL GLUING FOR INVESTMENT CASTING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Juraj Maňák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Mikuláš Szabari, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Juraj Maňák
Studijní program:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Mikuláš Szabari, Ph.D.
Akademický rok:	2023/24

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:

Virtuální zprovoznění lepení voskového modelu pro odlévání

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student virtuálně zprovozní robotické pracoviště, které bude schopno produkovat strom vzniklý lepením voskových modelů. Voskové modely budou mít několik podob, a pracoviště bude na tuto pružnou změnu uzpůsobeno. Požadováno bude splnění výrobního taktu, kontrolu kvality a výstupní paletizaci.

Cíle diplomové práce:

Rešerše v dané oblasti.
Rozbor řešené problematiky.
Návrh pracoviště
Virtuální zprovoznění.
Návrh řízení a HMI.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, Bruno a Oussama. KHATIB. Springer handbook of robotics. Berlin: Springer, 2008. ISBN 978-3-540-23957-4.

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie: 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-802-1448-285.

NOF, Shimon Y. Springer handbook of automation. 1. New York: Springer, 2009. ISBN 978-354-07-8-300.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá virtuálnym zprovoznením robotického pracoviska na lepenie voskových modelov pre presné liatie. V teoretickej časti je popísaný koncept Priemyslu 4.0 a jeho hlavné piliere, následne technológia presného liatia a celý postup od voskového výlisku po formu a odliatok. Ďalšia časť zhrňuje poznatky o spôsoboch programovania robotov a virtuálnom zprovoznení. Po nej nasleduje kapitola, ktorá analyzuje súčasné spôsoby lepenia a popisuje jednotlivé komponenty univerzálneho pracoviska. Praktická časť začína návrhom robotického pracoviska vrátane komponentov ako polohovadlo a gripperi, a ich následným opisom. Ďalšia časť sa zameriava na vytvorenie simulácie v softvéri Process Simulate, vrátane definície kinematických štruktúr a operácií. V práci je taktiež popísaný proces virtuálneho zprovoznenia, využitie Robot Studia pre reálnu spätnú väzbu a následné vytvorenie PLC a HMI v TIA Portal.

ABSTRACT

The thesis deals with the virtual commissioning of a robotic workstation for gluing wax models for investment casting. The theoretical part describes the concept of Industry 4.0 and its main pillars, followed by the technology of investment casting and the entire process from wax mold to casting. The next part summarizes the knowledge of robot programming methods and virtual commissioning. This is followed by a chapter analyzing the current methods of gluing and describing the individual components of a universal workstation. The practical part begins with the design of the robotic workstation, including components such as positioners and grippers, and their subsequent description. The next part focuses on creating a simulation in the Process Simulate software, including the definition of kinematic structures and operations. The thesis also describes the process of virtual commissioning, the use of Robot Studio for real feedback, and the subsequent creation of PLC and HMI in TIA Portal.

KLÍČOVÁ SLOVA

virtuálne zprovoznenie, robotické pracovisko, presné liatie, automatizácia výroby, senzorika, Process Simulate, polohovadlo, gripper, PLC, Tia Portal, RobotStudio, HMI

KEYWORDS

Virtual Commissioning, Robotic Workstation, Investment Casting, wax, Manufacturing Automation, Sensor Technology, Process Simulate, Positioner, Gripper, PLC, TIA Portal, RobotStudio, HMI

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MAŇÁK, **Juraj**. *Virtuální zprovoznění lepení voskového modelu pro odlévání*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2024, 77 s., Vedoucí diplomové práce Ing. Mikuláš Szabari, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto mieste by som rád poďakoval vedúcemu mojej diplomovej práce pánovi Ing. Mikuláša Szabariho Ph.D za jeho čas, cenné rady a trpezlivosť pri tvorbe tejto diplomovej práce. Ďalej mojej rodine a kamarátom a priateľke za všetku podporu pri štúdiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

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

V Brně dne 24.5.2024

.....

Bc. Juraj Maňák

OBSAH

1	ÚVOD	17
2	MOTIVACE	19
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	21
3.1	Priemysel 4.0	21
3.2	Investment casting	22
3.3	Programovania robotov.....	23
3.3.1	Online programovanie	24
3.3.2	Offline programovanie	24
3.4	Virtuálne zprovoznenie.....	25
3.5	Spôsoby virtuálneho zprovoznenia.....	26
3.6	Simulačné programy pre virtuálne zprovoznenie	27
3.6.1	Programy od výrobcov	28
3.6.2	Univerzálne programy	29
3.7	PLC	30
3.7.1	Programy pre komunikačné rozhranie.....	31
4	ROZBOR RIEŠENEJ PROBLEMATIKY	33
4.1	Analýza zadanej súčasti	33
4.1.1	Tvorba stromčeka	33
4.1.2	Materiál pre výrobu voskových modelov	34
4.1.3	Spôsoby lepenia	34
4.2	Súčasti pracoviska na lepenie voskových modelov	36
4.2.1	Dopravníky	37
4.2.2	Polohovadla	37
4.2.3	Roboty	38
4.2.4	Senzorika	40
4.2.5	PLC SIMATIC S7-1500	41
4.2.6	IRC5.....	41
5	PRAKTICKÁ ČASŤ	43
5.1	Manipulované diely	43
5.2	Návrh pracoviska	44
5.3	Popis pracoviska a jeho 3D modelu.....	45
5.3.1	Roboty	45
5.3.2	Gripper pre diely.....	47
5.3.3	Gripper na stromy	47
5.3.4	Koncový efektor s nahrievaciu hlavou	48
5.3.5	Dopravník	49
5.3.6	Polohovadlo	50
5.3.7	Kamera.....	51
5.3.8	Vozík na paletizáciu	52
5.3.9	Bezpečnostné prvky.....	53
5.4	Tvorba simulácie v Process Simulate	54
5.4.1	Roboty a jeho definícia.....	56
5.4.2	Definícia koncových efektorov	56
5.4.3	Kinematika polohovadla a vozíka	57
5.4.4	Operácie.....	58

5.4.5	Materialový tok a line simulation.....	59
5.5	Tia portal PLC	59
5.5.1	HMI	60
5.5.2	Virtualny kontrolér a robot studio	61
5.6	Virtualne zprovozenie	63
6	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	65
7	ZÁVĚR.....	66
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	67
9	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	71
9.1	Skratky.....	71
9.2	Seznam obrázků.....	71
10	SEZNAM PŘÍLOH.....	75

1 ÚVOD

Automatizácia výrobných procesov je jednou z hlavných výziev súčasného priemyslu, ktorá je úzko spojená s konceptom Priemyslu 4.0. Tento koncept prináša revolúciu v spôsobe, akým spoločnosti navrhujú, vyrábajú a distribuujú svoje produkty. Priemysel 4.0 integruje moderné technológie, ako sú internet vecí (IoT) a digitálne dvojča, čím umožňuje vytváranie inteligentných tovární.

Táto diplomová práca sa zameriava na návrh a virtuálne zprovoznenie automatizovaného pracoviska pre lepenie voskových modelov, ktoré sú určené na presné liatie. Presné liatie je pokročilá výrobná technológia, ktorá umožňuje výrobu kvalitných dielov vo veľkých množstvách. Súčasťou tejto technológie je vytváranie voskových stromov ručne. Tradičné manuálne metódy lepenia voskových modelov sú časovo náročné a vyžadujú ľudskú silu. Preto sa čoraz viac spoločností snaží automatizovať tento proces s cieľom zvýšiť efektívnosť, znížiť náklady a minimalizovať chyby. Táto technológia je široko využívaná v leteckom, automobilovom a zdravotníckom priemysle, kde je nevyhnutná vysoká kvalita a presnosť dielov.

Súčasťou práce je aj rozbor súčasnej problematiky v oblasti presného liatia a robotického pracoviska. Tento rozbor zahŕňa analýzu aktuálnych spôsobov lepenia a dielov. Taktiež popisuje jednotlivé časti pracoviska a varianty zariadení, ktoré mohli byť použité pri návrhu robotického pracoviska.

Praktická časť práce sa zameriava na výber a návrh jednotlivých komponentov pracoviska vrátane polohovadla, gripperov a nahrievacej hlavy. Každý komponent bude podrobne popísaný a bude vysvetlená jeho úloha v celkovom výrobnom procese. Práca ďalej popisuje definovanie jednotlivých komponentov v softvéri Process Simulate. Vytvorenie kinematických štruktúr, operácií a materiálového toku na simulovanie výrobnéj linky v prevádzke.

V práci je ďalej popísaný proces virtuálneho zprovoznenia, využitie Robot Studia pre reálnu spätnú väzbu a následné vytvorenie PLC v TIA Portal. Robot Studio umožňuje detailné simulácie a programovanie robotov, čo je kľúčové pre overenie a optimalizáciu robotických operácií. TIA Portal naopak poskytuje integrované prostredie pre programovanie a riadenie PLC, čo zabezpečuje koordináciu všetkých automatizačných zariadení na pracovisku.

Verím, že táto práca poskytne cenné poznatky a prínos pre oblasť automatizácie presného liatia a prispeje k zlepšeniu efektivity a kvality výrobných procesov v tomto odvetví.

2 MOTIVACE

Tému virtuálneho zprovoznenia som si vybral, pretože som mal možnosť vidieť, ako funguje proces zprovoznenia v dnešnej dobe a chcel som sa o virtuálnom zprovození dozvedieť viac, aby som mohol tieto jednotlivé varianty porovnať. Myslím si, že virtuálne zprovozenie v oblasti moderných technológií má pred sebou veľkú budúcnosť a môže priniesť revolúciu do robotiky a riadenia pracovných liniek.

Vytváraním virtuálneho zprovoznenia pracoviska som mal možnosť využiť a zdokonaľiť svoje znalosti v softvéroch ako Process Simulate, TIA Portal a Robot Studio, ktoré sú v priemysle často používané. Taktiež som využil túto prácu na zdokonaľovanie si navrhovania pracoviska, či už jednotlivých komponentov, gripperov a bezpečnostných prvkov, pričom samotná bezpečnosť je veľmi podstatná, hlavne pri práci v blízkosti robota.

Verím, že nadobudnuté znalosti využijem v budúcnosti, kedy sa priemysel rozhodne implementovať virtuálne zprovozenie. Virtuálne zprovozenie umožňuje simulovať a optimalizovať výrobné procesy ešte pred ich fyzickým zavedením, čo znižuje riziko chýb, skraca čas potrebný na uvedenie do prevádzky a umožňuje lepšie plánovanie a koordináciu jednotlivých fáz výroby. Tento prístup je kľúčový pre modernizáciu a zvýšenie efektivity priemyselných procesov, a ja sa teším na to, že budem môcť prispieť k týmto inováciám.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

3.1 Priemysel 4.0

Priemysel 4.0, známy tiež ako štvrtá priemyselná revolúcia, je termín, ktorý vznikol v nemecku v Hanoveri a používa sa na opis súčasnej éry digitalizácie a automatizácie v priemyselnom výrobnom prostredí. Priemysel 4.0 revolučne mení spôsob akým spoločnosti zlepšujú a distribuujú svoje produkty. V rámci Priemyslu 4.0 sa identifikuje deväť základných pilierov, ktoré sú zásadné pre jeho úspešnú implementáciu a fungovanie. Tieto piliere zahŕňajú: Big Data, autonómne roboty, simulácie, integrácia systémov, internet vecí IoT, cloud computing, aditívna výroba, rozšírená realita a kybernetická bezpečnosť. Každý z týchto pilierov zohráva kľúčovú úlohu v transformácii priemyselných procesov a podnikových modelov, čím umožňuje vznik inteligentných tovární a flexibilných, efektívnych výrobných systémov. [1]

Inteligentné továrne sú vybavené pokročilými senzormi, vstavaným softvérom a robotikou, ktoré zbierajú a analyzujú údaje a umožňujú lepšie rozhodovanie. Ešte vyššia hodnota je vytvorená, keď sú údaje z výrobnjej prevádzky kombinované s operačnými údajmi z ERP, dodávateľského reťazca, zákazníckeho servisu a ďalších podnikových systémov, čím sa vytvárajú úplne nové úrovne viditeľnosti a prehľadu z predtým izolovaných informácií. [2]

Používanie high-tech IoT zariadení v inteligentných továrňach vytvára prepojené a inteligentné výrobné linky, kde všetky zariadenia sú schopné medzi sebou komunikovať. Táto komunikácia umožňuje optimalizáciu procesov na základe neustáleho prúdu dát zbieraných zo senzorov. Tieto dáta sa následne spracovávajú a ukladajú pomocou cloud computingu, čo zabezpečuje reálny čas viditeľnosti výrobných aktív. Vďaka cloud computingu je možné poskytnúť nástroje na vykonávanie prediktívnej údržby, čím sa minimalizujú výpadky zariadení a zvyšuje sa celková efektívnosť výrobného procesu.



Obr. 1) Deväť pilierov priemyslu 4.0 [3]

3.2 Investment casting

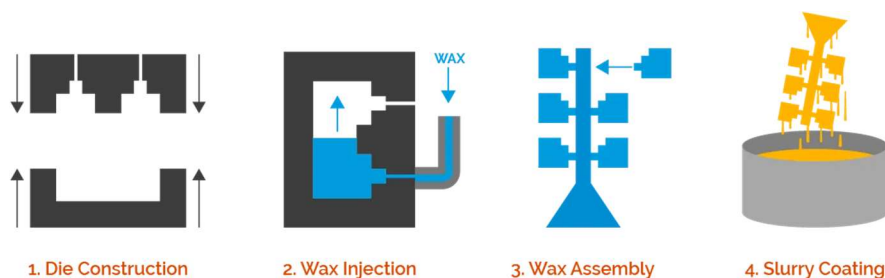
Presné liatie, známe aj ako investičné liatie alebo technológia vytaviteľného modelu, je považovaná za jednu z najstarších techník formovania kovov. Táto technológia predstavuje pokročilý výrobný proces, ktorý umožňuje výrobu zložitých a detailne prepracovaných odlievaných dielov s vysokou mierou presnosti a dokonalosti povrchu a minimálnym množstvom odpadného materiálu. Čo je dôvod prečo sa presné liate stalo voľbou pre mnohé odvetvia ako je letecký a automobilový priemysel kde sa vyžaduje vysoká presnosť a kvalita dielov.



Obr. 2) Diely vyrobené presným liatím [4]

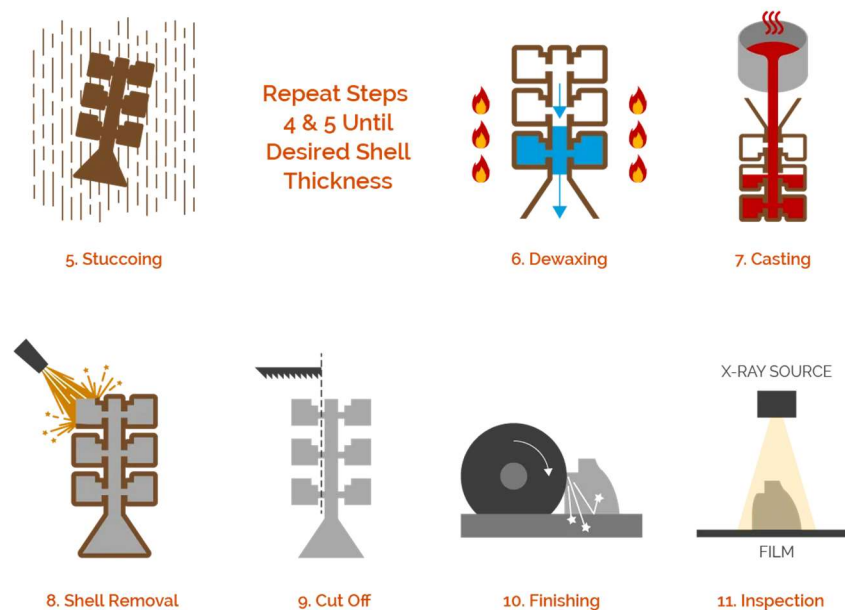
Metóda presného liatia taktiež umožňuje efektívnu výrobu zložitých komponentov ktoré obsahujú prvky ako otvory, rebrá, výstupy. Časti ktoré sú často zložitú na vyrobenie inými technológiami, ako je obrábanie, vŕtanie. Pri ktorých sa stretávame s náročnosťou výroby a vysokými nákladmi kvôli množstvu odpadu. Ďalšou výhodou je možnosť nahradenia súboru súčastí spojených buď rozoberateľným, alebo nerozoberateľným spojom, jediným odlievaným dielom so zhodnými alebo dokonca lepšími vlastnosťami, pri rovnakej funkcii. V kombinácii s modernými výrobnými poznatkami a technológiou môže byť metóda voskového modelu aplikovaná na liatie dielov rôzneho stupňa zložitosti a pre čo najširšie spektrum aplikácií.

Výrobný proces je rozdelený do niekoľkých krokov ktoré na seba jednotlivo nadväzujú. Proces začína tvorbou voskového modelu, ktorý presne zodpovedá požadovanému tvaru hotového dielu. Voskové modeli sú väčšinou vyrobené z voskovej zmesi obsahujúcej včelí vosk, parafín, ceresín a ďalšie živice. Tento vosk sa pomocou gravitačného liatia alebo vstrekovacieho lisu pri vysokej teplote dostane do formy. Forma je vyrobená väčšinou z kovu.



Obr. 3) Proces vytvárania stromu [5]

Voskové modely sú následne pomocou natavenia a lepenia pripojené k vtokovej sústave tzv. do stromčeku. S cieľom zvýšiť efektívnosť výroby a znížiť náklady. Stromček sa následne opakovane ponára do keramickej zmesi a posypáva jemným pieskom. Tento proces sa opakuje dokým sa nevytvorí dostatočne hrubá vrstva škrupiny. Následne je škrupina dostatočne vysušená a dochádza k vytaveniu vosku zo škrupiny. Pri vytavovaní vosku z škrupiny sa používa teplotný šok v bojlerkláve alebo autokláve na vytvorenie dilatanej škári medzi voskom a škrupinou. Tento proces rýchlo roztaví povrchovú vrstvu vosku, čím zabraňuje praskaniu škrupiny v dôsledku dilatácie vosku a zabezpečuje hladký priebeh vytavovania. Po vytavovaní je škrupina ďalej žíhaná až k vytvrdeniu tak aby získala požadované mechanické vlastnosti. Hneď po žíhaní sa do škrupiny leje roztavený materiál. Z dôvodu zmenšenia tepelného šoku pri liatí. Škrupina potom zostane stáť, aby sa roztavený kov ochladil a stuhol, čím vznikne finálny odlievaný diel. Škrupina sa následne odstráni prostredníctvom mechanických procesov alebo vybrací. Odliatky sa potom oddelia od vtokovej sústavy a nasledujú dokončovacie operácie ako napríklad brúsenie leštenie. Po dokončovacích operáciách su odliatky prekontrolované rozmeroch a jarosti povrchu. Proces je znázornený na obrázku. [3] [6] [7]



Obr. 4) Proces vytvárania formy a následné odlievanie a spracovanie [5]

3.3 Programovania robotov

Roboty sú nedielnou súčasťou vo všetkých oblastiach priemyslu, kde roboti prispievajú v oblasti automatizácií výrobných procesov, zvyšovaniu presnosti, a znižovaniu nákladov. K tomu aby sme na automatizáciu procesov mohli využiť je potrebné mu prideliť logické príkazy a operácie ktorými sa bude robot riadiť a jednotlivé operácie vykonávať. Tento proces programovania zahŕňa nielen základné pohyby a úchopy, ale aj komplexnejšie úkony, ako sú vizuálne rozpoznávanie, rozhodovanie založené na senzorických dátach a prispôsobovanie sa meniacim podmienkam. V dnešnej dobe programovanie môže byť realizované rôznymi metódami, a to buď online alebo off-line. V praxi sa využíva kombinácia oboch, kde sa linka naprogramuje off-line a konečná verzia sa upravuje online.

3.3.1 Online programovanie

Pri online sa vykonáva programovanie priamo na robotovi, v reálnom čase. Kde operátor alebo technik priamo interaguje s robotom v jeho pracovnom prostredí. Tento proces zahŕňa ručné vedenie robota pomocou ručne ovládaného panelu, známeho ako teach pendant. Kde operátori zadávajú príkazy, a trajektórie do riadiaceho systému a vytvárajú tak program. Vďaka tomu je možné okamžite testovať a upravovať robotické operácie čo je ideálne pre doladenie programu pri rýchlej zmene výrobných podmienok. Online programovanie rozdelíme na dva typy.

Manuálne programovanie (priame):

Kde Operátor priamo manipuluje s ramenom robota v pracovnom prostredí. Pri tomto procese operátor vedie robota, ktorý si zaznamenáva a ukladá pohyby pre ich opakované vykonanie. Okrem toho je možné priamo zadať súradnice bodov, pričom robot si samočinne dopočíta trajektóriu a natočenie. Je dôležité, aby operátor tieto trajektórie otestoval a doladil pre presné vykonanie požadovaných úloh.

Príkazové Programovanie (nepriame):

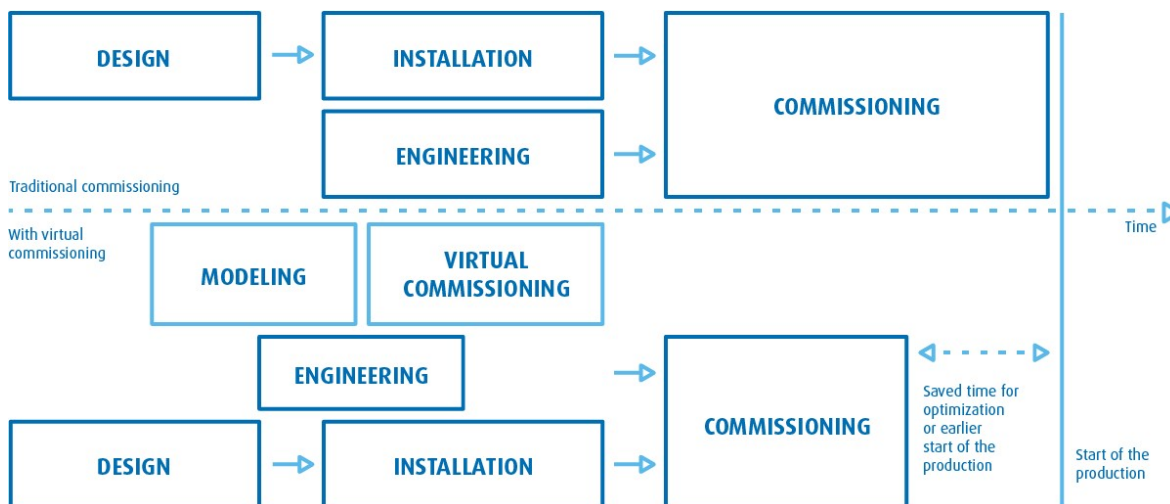
Pri tomto spôsobe programovania operátor priamo zadáva konkrétne príkazy pomocou ovládacieho rozhrania robota alebo teach pendantu. ako sú textové príkazy alebo z menu rozhrania. Tento prístup umožňuje operátorom presne definovať pohyby a operácie robota, ako sú presuny na určené pozície, spustenie konkrétnych činností alebo reakcie na určité signály. [8]

3.3.2 Offline programovanie

Ďalší spôsob programovania priemyselných robotov je metóda off-line (OLP), pri ktorom sa robot programuje mimo ich pracovné prostredie. Čo je väčšinou docielené s využitím špecializovaného simulačného a programovacieho softvéru. V ktorom sa vytvorí virtuálny 3D návrh pracoviska ktoré názorne ukazuje, ako sa robot pohybuje po naprogramovanej trase. Tento prístup umožňuje oveľa detailnejšie a presnejšie programovanie, keďže inžinieri môžu konkrétne určovať body definovať dráhy a funkcie robota. Využitím pokročilých nástrojov na plánovanie a simuláciu robotických operácií sme schopný určiť pracovný čas robota, testovanie dráh alebo detekcia kolízie robota alebo nesprávneho ovládaniu nástrojov. Následne zo softwaru vyexportujeme program s dráhami a bodmi ktorý následne nahrejeme do riadiacej jednotky robota v jeho programovacom jazyku. U ktorých výrobcovia robotov ABB KUKA majú vlastný programovací jazyk ale pôvod majú podobný. Výhodou offline programovania je, že tento prístup umožňuje návrh, testovanie a optimalizáciu robotických úloh a pohybov v kontrolovanom digitálnom prostredí, pred ich fyzickým nasadením bez prerušenia skutočnej výroby riziko chýb a zvyšuje celkovú efektivitu výrobných procesov. [8] [9]

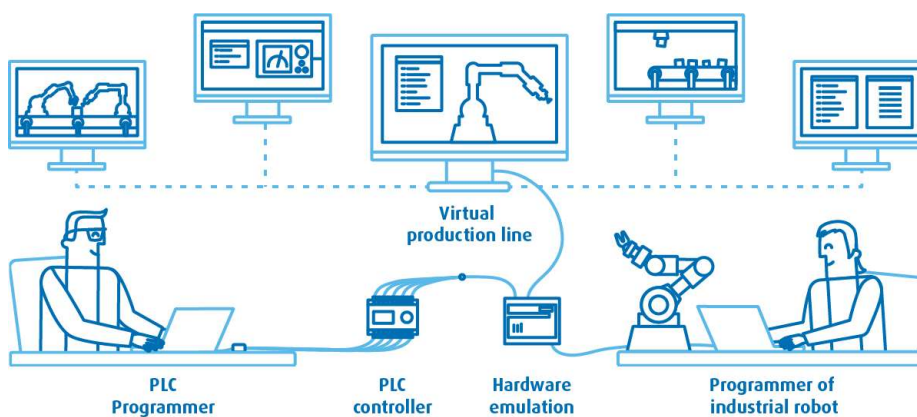
3.4 Virtuálne zprovoznenie

Aktuálny trend v priemysle ukazuje na zvýšený záujem o využitie priemyselných robotov, ktoré sa stali neodmysliteľnou súčasťou výrobných procesov a automatizovaných liniek. S rastúcimi požiadavkami na pružnosť výrobných procesov a schopnosťou prispôbiť sa menším i rozsiahlym zmenám v produktových líniiach sa objavuje potreba systému vyššou mierou flexibility a efektivity. Tento vývoj si vyžaduje nové prístupy k zavádzaniu robotických systémov, ktoré zohľadňujú ich komplexné chovanie. Tu prichádza na scénu virtuálne zprovoznenie 4.0, ktoré namiesto tradičného spôsobu je možné pomocou digitálnych simulácií oživiť výrobný systém a PLC ešte pred zhotovením fyzickej linky a tak nezasahovať potencionálne do prevádzky znázornené na obr.5. [10]



Obr. 5) Porovnanie tradičného zprovoznenia s virtuálnym [11]

Virtuálne uvedenie do prevádzky bolo prvýkrát spomenuté pre 25 rokmi ako sľubná technika na pomoc pri vývoji strojov, avšak v porovnaní s inými systemami je relatívne nová technológia, ktorú si osvojujú výrobné podniky, pretože väčšina výrobných firiem o tejto špičkovej technológii nevie navrhuje výrobné systémy tradičným spôsobom. Tradičné uvádzanie do prevádzky sa vyznačuje priamou integráciou reálnych kontrolných systémov, riadiacej jednotky a zariadení, čo je časovo náročnejšie a finančné nákladnejšie na testovanie a opravy. Taktiež zmeny v dizajne alebo v softvéri sa zvyčajne identifikujú a riešia až po fyzickej inštalácii systému. A tým nie je možné efektívne optimalizovať výrobný systém. [10] [12]

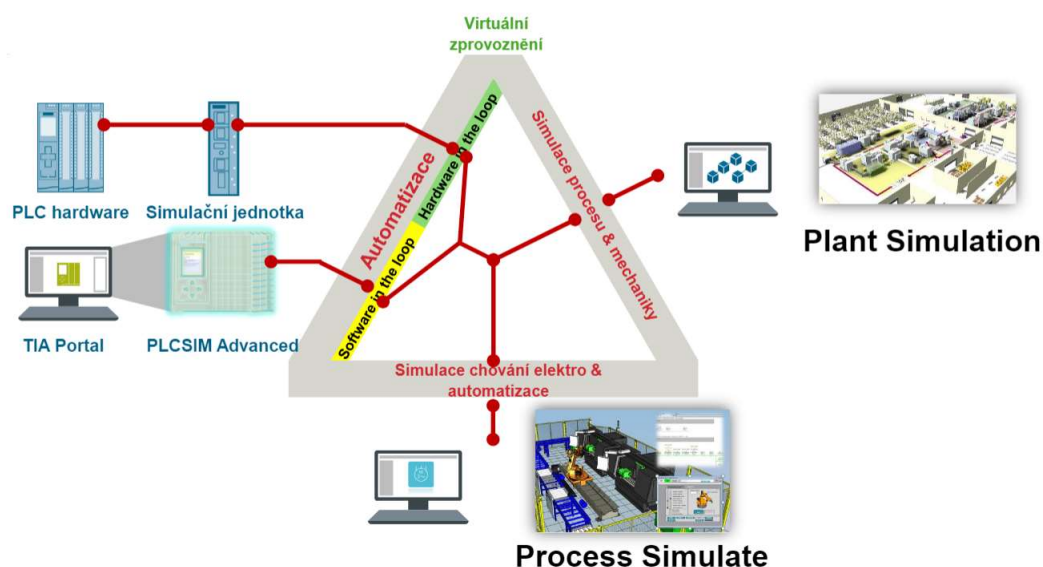


Obr. 6) Schéma virtuálneho zprovoznenia [11]

Na druhej strane, virtuálne zprovoznenie (virtual commissioning) využíva simulácie so softvérovými modelmi digitálnych dvojčiat a skutočnými riadiacimi systémami, čím umožňuje identifikáciu a riešenie problémov skôr, ako sa fyzické zariadenia stihnú vyrobiť alebo zakúpiť. Tento prístup značne znižuje čas potrebný na reálne uvádzanie do prevádzky a môže znížiť náklady spojené s výrobou a úpravami. V roku 2006 Zäh a kol. ukázali, že virtuálne zavádzanie môže ušetriť až 75% času potrebného na zavádzanie. Virtuálne zprovoznenie tiež umožňuje flexibilnejšie testovanie rôznych výrobných scenárov a optimalizáciu výrobných systémov na základe požiadaviek firmy, čo je často nerealizovateľné pri tradičných metódach uvádzania do prevádzky bez významných dodatočných nákladov a prerušenia produkcie. [10]

3.5 Spôsoby virtuálneho zprovoznenia

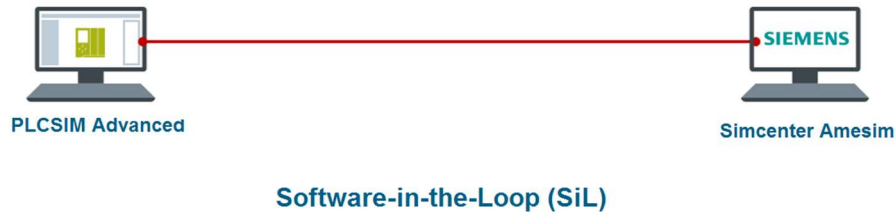
Najčastejšie používané spôsoby virtuálneho zprovoznenia sú software-in-the-loop (SiL) a hardware-in-the-loop (HiL). Napriek tomu že sa tieto spôsoby od seba líšia, zdieľajú spoločné prvky – obidve pracujú s virtuálnym modelom zariadenia, ktorý slúži ako základ na testovanie a validáciu riadiacich programov.



Obr. 7) Virtuálne zprovoznenie a jeho časti [13]

Software-in-the-Loop (SiL):

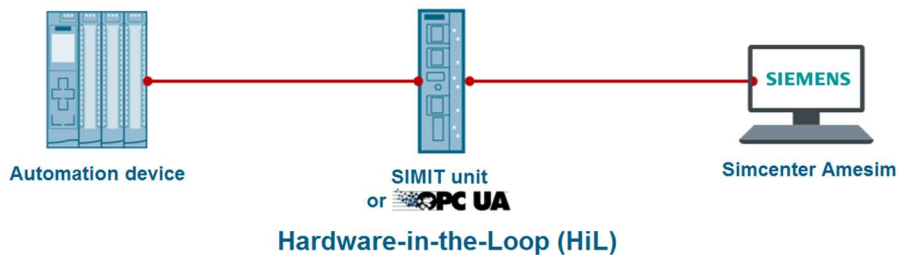
Pri metóde SiL (obr. 8) nieje potrebný žiadny fyzický hardvér, pretože všetko sa odohráva v digitálnom priestore TIA Portal a softvéru PLCSIM Advanced. Úlohou softvéru je čo najrealistickejšie emulovať funkcie elektronického hardvéru PLC alebo HMI s cieľom zistiť prítomnosť chýb v softvéri. To sa docieľa prostredníctvom prepojenia softvéru s modelom výrobnjej linky, čím sa vytvára vzájomne uzavretá simulácia v reálnom čase. Technológia SiL umožňuje offline programovanie a postupné validácie programov na virtuálnom modeli, čo zjednodušuje proces vývoja a zároveň predstavuje efektívny spôsob, ako optimalizovať softvérové komponenty pred ich skutočným nasadením. Výhodou metódy SiL je, že eliminačný proces chýb môže prebiehať úplne offline a na jednom počítači, čo je zároveň jej hlavnou nevýhodou, pretože môže viesť k menej vierohodným výsledkom, ktoré nemusia plne korelovať s realitou. [14]



Obr. 8) Software in the loop [15]

Hardware-in-the-Loop (HiL):

U metody HiL (obr. 9) je kompilovaný program beží na skutočnom fyzickom PLC alebo HMI ktoré je spojené s počítačom. Môže sa stať že nie je pripravená reálna linka, tak namiesto toho pripoja PLC k simulačnej jednotke. Tá docieli simulácia a komunikácia medzi PLC a počítačom bude fungovať. Tento spôsob je ideálne použiť pri reálnom oživovaní, kde nahrávame program do reálneho PLC. Týmto spôsobom sme pri kompilácii schopný konkrétne overiť program vo virtuálnom modeli. Týmto spôsobom je softvér schopný identifikovať a implementovať akékoľvek zmeny v dizajne pred prechodom na fyzické overenie. Takže potrebujú riešiť zlyhania len vo virtuálnej simulácii a testovacím prostredí, dlho pred použitím akéhokoľvek výrobného hardvéru. Nevýhodou tejto metódy je potreba mať pri sebe reálne PLC. [14] [15]



Obr. 9) Hardware in the Loop [15]

3.6 Simulačné programy pre virtuálne zprovoznenie

Ako bolo spomenuté vyššie aby mohol byť systém virtuálne zprovoznenie je potreba využiť simulačný softvér. Súčasný trend v oblasti virtuálneho zprovoznenia naznačuje neustále rozširovanie a vývoj. Počet dostupných softvérov sa zvyšuje, čím sa uľahčuje návrh výrobných systémov a robotických pracovísk. Virtuálne zprovoznenie si klade za cieľ pripraviť výrobný systém v simulačnom prostredí tak, aby čas potrebný na jeho spustenie bol minimálny.

Simulačné softvéry rozdeľujeme do dvoch hlavných skupín podľa kompatibility s konkrétnymi robotmi na programy od výrobcov a univerzálne programy.

3.6.1 Programy od výrobcov

ABB Robot Studio:

Robot studio široko využívaný nástroj od spoločnosti ABB na offline programovanie a simuláciu robotických aplikácií a riadenie ABB robotov. Robot studio umožňuje vytvárať virtuálne modely pracovísk s využitím dostupnej knižnice a pripojiť k nim virtuálny riadiaci systém. Taktiež navyše obsahuje možnosti ako 3D import, čo uľahčuje import dát z rôznych CAD formátov a optimalizuje usporiadanie pracoviska. Tento softvér efektívne pomáha užívateľom navrhovať a testovať robotické systémy v virtuálnom prostredí a overovať technické parametre, ako sú časy cyklov, dosahy, pracovné obálky a komunikácia, a to všetko ešte pred ich reálnym nasadením. Vďaka tomu sa podstatne skracuje čas potrebný na zavádzanie a zvyšuje sa produktivita. RobotStudio, založený na Virtual Robot Technology, umožňuje realizovať presné simulácie s použitím rovnakých programov a konfiguračných súborov, ako sú používané vo výrobných zariadeniach. Ponúka funkcie ako AutoPath a AutoConfiguration, ktoré automaticky generujú trajektórie robota na základe CAD modelov a umožňujú definovať konfiguráciu robotického ramena pre celú trajektóriu. Integrovaný textový editor slúži na prehliadanie a ladenie programov pre reálne aj virtuálne robotické kontroléry s využitím zvýraznenia syntaxe, popisov nástrojov a kontextovej nápovedy pre inštrukcie robota. RobotStudio navyše ponúka rôzne funkcie ako analýzu signálov, editor RAPID, synchronizáciu programov, pokročilú bezpečnostnú simuláciu a automatické plánovanie bezkolíznej cesty. Tento nástroj prispieva k zvyšovaniu produktivity, skracovaniu času potrebného na uvedenie výrobku na trh a zvyšuje kvalitu, čo napomáha lepšej návratnosti investícií. [16] [17]

RobotGUIDE:

Robotguide program od japonskej spoločnosti FANUC, ktorý je určený na tvorbu, programovanie a simuláciu robotických buniek s robotmi FANUC. Tento softvér, podobne ako jeho konkurenti, obsahuje rozsiahlu vlastnú knižnicu produktov FANUC, ako aj schopnosti vizualizácie robotických buniek, importu CAD modelov a možnosti testovania a optimalizácie, všetko v offline režime. Umožňuje programovať roboty ešte pred ich inštaláciou, vizualizovať a overiť ich trajektórie a bezpečnostné parametre Dual Check Safety (DCS) predtým, než sa programy nahrávajú do skutočného robota. RobotGUIDE zahŕňa špeciálne nástroje pre simuláciu aplikácií, ako sú odhrotovanie, manipulácia (iRPickPro), striekanie farby (PaintPro), paletizácia alebo zváranie, čím znižuje riziko chýb a zjednodušuje nastavenie a cyklové časy. Najnovšia verzia RoboGuide zahŕňa komunikačné funkcie pomocou OPC technológie, umožňujúce pripojenie externých zariadení od rôznych výrobcov PLC. [18] [19]

KUKA.Sim:

KUKA.sim je simulačný softvér od spoločnosti KUKU, určený na offline programovanie a simuláciu robotických aplikácií. Program disponuje rozsiahlou knižnicou so zariadeniami a robotmi od spoločnosti KUKA, čím umožňuje efektívne vytváranie robotických pracovísk. Vytvára digitálne dvojčatá, ktoré presne zobrazujú budúce výrobné procesy, ponúka 3D simulácie pokrývajúce celý plánovací proces vrátane vizualizácie materiálových tokov a identifikácie úzkych miest. Softvér tiež podporuje integráciu s PLC systémami prostredníctvom mxAutomation rozhrania, čo umožňuje ľahšiu konfiguráciu a spúšťanie nových výrobných procesov.

KUKA.Sim obsahuje nový editor KUKA Robot Language (KRL), ktorý poskytuje dva typy používateľských rozhraní pre programovanie - jeden pre expertov a druhý pre začiatočníkov, a tiež modulárne prídavné moduly ako Modeling Add-on pre vytváranie prispôsobenej komponentnej knižnice, Connectivity Add-on pre virtuálne zavádzanie a Arc Welding Add-on pre zváracie aplikácie. Táto integrácia PLC poskytuje ekonomické výhody v podobe úspory času a zjednodušenia prevádzky, čím uľahčuje integráciu do existujúcich výrobných systémov. [20] [21]

3.6.2 Univerzálne programy

Tecnomatix Process Simulate:

Komplexný softvér od spoločnosti Siemens je kľúčovou súčasťou konceptu digitálnej továrni, určený na navrhovanie, simuláciu a optimalizáciu výrobných systémov a to 3D prostredí. Taktiež ponúka aplikáciu pre rozšírenú realitu Digital Twin Alignment, ktorá umožňuje integráciu a zosúladenie digitálnych dvojčiat s reálnymi výrobnými procesmi. Tento softvér zahŕňa rôzne rozširujúce moduly a funkcie, kde jedným z nich je Process Simulate Robotics. PS Robotics ktorý umožňuje bezkonfliktne plánovanie a simuláciu pohybových dráh, automatické umiestnenie robotov, testovanie dosahu, optimalizácia času cyklov robotov a energetické využitie, synchronizácia pracovísk a zón viacerých robotov, kontrola kolízií. Robotics tie zahŕňa funkciu offline programovanie (OLP) pre rýchlu integráciu do výrobných liniek. Veľkou výhodou je možnosť využitia robotov a zariadení z veľkej dostupnosti rôznych výrobcov.

Ďalším modulom je Process simulate Human ktorý umožňuje simulovať ľudské úlohy, hodnotiť ich ergonómiu. Obidva spomenuté moduly sa dajú skombinovať a následne kontrolovať. Hlavným nedostatkom pri Process Simulate je nesúlady časov simulovaných operácií s realitou, ktorý je spôsobený používaním univerzálneho ovládača robotov. Na tento problém avšak existuje riešenie vo forme modulu RCS (Real Time Control System), ktorý obsahuje virtuálne kontrolery reálnych robotov a zvyšuje tak presnosť simulácií. Process Simulate navyše ponúka podľa individuálnych potrieb. Okrem toho, Process Simulate Robotics poskytuje nástroje pre virtuálne uvádzanie do prevádzky (VC Lite), ktoré umožňujú simulovať skutočný programovateľný logický kontrolér (PLC) kód s hardvérovým použitím pomocou Siemens TIA Portal a prepojením PLCSIM Advanced softvéru alebo OPC UA softvéru. Tento prístup poskytuje najrealistickejšie prostredie pre virtuálne uvádzanie do prevádzky. [22] [23]

DELMIA:

DELMIA, od Dassault Systèmes, je softvér navrhnutý na virtualizáciu, offline programovanie a transformáciu výrobných operácií s použitím digitálneho plánovania a simulácie. Tento softvér poskytuje používateľom nástroje na modelovanie a optimalizáciu operácií a zabezpečuje prepojenie medzi virtuálnym a reálnym prostredím výrobných procesov. Obsahuje moduly ako DELMIA 3D Lean a DELMIA Ortems pre plánovanie a optimalizáciu výrobných a dodávateľských reťazcov. DELMIA Apriso, súčasť portfólia DELMIA, ponúka sofistikované riešenie MES (Manufacturing Execution Systems), ktoré integruje rôzne výrobné funkcie do jednej platformy, zlepšuje procesy a komunikáciu. DELMIA tiež podporuje využívanie digitálnych dvojčiat, ktoré umožňujú bezpečné testovanie a optimalizáciu procesov. [24] [25]

Visual Components:

Visual Components je 3D simulačný softvér na navrhovanie a optimalizáciu výrobných procesov. Poskytuje knižnicu s širokou škálou robotov od výrobcov ako KUKA, ABB, Fanuc a Siemens. Tento softvér umožňuje offline programovanie robotov, čím zvyšuje efektívnosť a znižuje chyby v programovaní. Kľúčovou vlastnosťou je jeho schopnosť pripojiť sa k virtuálnym alebo fyzickým riadiacim systémom, čo uľahčuje virtualizáciu a optimalizáciu výrobných procesov, a ponúka tiež integráciu s PLC systémami prostredníctvom OPC UA. [26]

3.7 PLC

PLC = Programovateľný logický automat (obr.10) je špecializovaný priemyselný počítač s programovateľnou pamäťou, ktorý je navrhnutý na vykonávanie špecifických funkcií časovanie procesu, logické operácie a riadenie priemyselných strojov a výrobných procesov. PLC bolo navrhnuté ako náhrada k tradičným reléovým systémom, ktoré boli komplikované a ponúkali málu flexibilitu pri zmene procesov. Vďaka možnosti jednoduchšej softvérovej úpravy umožňujú PLC rýchle a efektívne prispôbienie procesov, čo vedie k výraznej úspore času a zdrojov. Tieto zariadenia je schopné prijímať signály z rôznych senzorov a vydávať príkazy, ako sú napríklad spustenie elektromotorov alebo otvorenie ventilov. Svoje uplatnenie nachádzajú aj v analógových ovládacích úlohách, napríklad pri PID regulácii.



Obr. 10) Cyklická práca PLC [27]

PLC je navrhnuté tak aby vykonávali definovaný program v cyklickej sekvencii. Každý cyklus sa začína snímaním vstupov a ich dočasným uložením do pamäti. Na základe týchto údajov potom PLC vykonáva predprogramované logické alebo aritmetické operácie a následne aktualizuje výstupy. Tento proces sa opakuje mnohokrát za sekundu, čo je základom pre rýchlu a presnú kontrolu priemyselných procesov. Čas potrebný na jedno kompletne prebehnutie tohto cyklu/programu sa nazýva skenovací perióda a je kritický pre systémy, kde dochádza k rýchlym zmenám v procese. Moderné PLC môžu dokončiť skenovací cyklus v priebehu milisekúnd, čo im umožňuje efektívne riadiť aj veľmi dynamické procesy. Vďaka tejto všestranosti môžu byť PLC použité v širokom spektre priemyselných aplikácií, od jednoduchých riadiacich úloh až po komplexné automatizačné systémy. [27] [28] [29]

PLC zastupuje dôležitú rolu u virtualneho zprovoznenie, pretože hlavnou ulohou je overenie funkčnosti PLC programu daného výrobného systému. Moderné PLC systémy sa programujú v rôznych programovacích prostrediach, ako je SIMATIC STEP 7 v rámci TIA Portal od spoločnosti Siemens, ktoré umožňujú konfiguráciu, programovanie, testovanie a diagnostiku PLC systémov. Programovanie PLC sa tradične realizuje pomocou jazyka Ladder Diagram (schémy rebríkov), ktorý vizuálne pripomína elektrické schémy a je preto ľahko pochopiteľný. Soft PLC môže byť hosťom na jednom zariadení a spolupracuje s rôznymi systémami SCADA a rozhraniami HMI. [30]

Na trhu s PLC sa vynímajú dve hlavné platformy: TwinCAT od Beckhoffu a TIA Portal od Siemensu. TwinCAT je populárny pre svoju flexibilitu a integráciu s Windows, čo umožňuje vývoj na štandardných PC. TIA Portal zase ponúka komplexné riešenie s vysokou úrovňou integrácie a podporuje rôzne komponenty ako PLC, HMI a pohony. Tento systém je užívateľsky prívetivý a zahŕňa nástroje pre simuláciu a diagnostiku, ktoré zjednodušujú vývoj a skracujú čas uvedenia do prevádzky.

3.7.1 Programy pre komunikačné rozhranie

Pri realizácii virtuálneho zprovoznenia je kľúčové efektívne prepojenie simulačného softvéru s riadiacim PLC. Z toho dôvodu je nutné využiť softvér ktorý tuto esencialnu komunikáciu zaisťuje. Bežne používanou technológiou je technologia OPC, ktorá je aplikovateľná takmer na všetky typy simulačného softvéru pre virtuálne zprovoznenie. Na druhej strane existujú aj riešenia pre jednotlivé simulačné platformy.

OPC:

OPC (Open Platform Communications) je štandard pre priemyselnú komunikáciu, ktorý bol vyvinutý v spolupráci s mnohými medzinárodnými spoločnosťami vrátane Microsoftu. Jeho cieľom bolo zjednodušiť prepojenie medzi HMI/SCADA systémami a PLC, čo umožnilo bezpečnú a spoľahlivú výmenu dát medzi zariadeniami od rôznych výrobcov. Za vývoj a udržiavanie tohto štandardu zodpovedá OPC Foundation, ktorý sa od svojho prvého vydania v roku 1996 neustále rozvíja a adaptuje na nové technológie ako XML a webové služby.

Prvá špecifikácia, známa ako OPC Classic, bola založená na Microsoft technológiách OLE COM a DCOM. S rastúcimi nárokmi na bezpečnosť a flexibilitu priemyselnej komunikácie bola v roku 2008 uvedená OPC Unified Architecture (OPC UA), ktorá je

nezávislá na konkrétnom operačnom systéme a využíva komunikačné štandardy TCP/IP. Táto nová verzia ponúka rozšírené možnosti zabezpečenia a je založená na servisne orientovanej architektúre (SOA), čo ju robí vhodnou pre široké spektrum priemyselných aplikácií od senzorovej úrovne až po systémy ERP. [31] [28]

SIMIT:

Flexibilná a škaloateľná simulačná platforma od spoločnosti SIEMENS, ktorá je navrhnutá pre virtuálne zprovoznenie, simulovanie výrobných systémov a následné školenie pre operátorov týchto systémov. Platforma SIMIT podporuje komunikačné rozhrania a štandardy, čo umožňuje rýchlu odozvu medzi simuláciou a systémom. Poskytuje realne a bezpečné prostredie na skúšanie rôznych scenárov, a digitálnych dvojčiat, možnosť komunikácie medzi simuláciou a pracovným prostredím. V SIMIT Unit je možné spojiť hardver s PLC cez datovú sieť PROFINET a PROFIBUS a tým zjednodušuje zapojenie a konfigúraciu simulačného modelu HiL. Okrem toho SIMIT taktiež poskytuje podporu OPC UA, čo rozširuje jeho schopnosti pri interagovaní s inými softvermi a hardvermi rôznych výrobcov. [28] [32]

PLCSim Advanced:

PLCSIM Advanced je pokročilý softwarový nástroj, ktorý umožňuje vytváranie a simuláciu virtuálnych PLC. Podporuje rôzne a komplexné rozhrania. Kvôli neustálemu vývoju, Siemens integruje nové funkcie a vylepšenia. Jedným z nich je možnosť pre vzdialenú komunikáciu cez rozhranie OPC UA, čo umožňuje priamo komunikovať s softvérom Tecnomatix. Táto funkcia rozširuje možnosti jeho využitia v priemysle a to skracovaním času na zavádzanie nových systémov, znižovanie rizika a využívanie digitálnych tovární. [30]

PLCSIM

PLCSIM je softvérový nástroj, ktorý umožňuje simuláciu a testovanie PLC programov, v bezpečnom a virtuálnom prostredí TIA Portalu. PLCSIM podporuje rôzne typy PLC, vrátane najmodernejších radov ako S7-1200 a S7-1500, čím umožňuje simulácie procesov v reálnom čase. Nástroj je na overenie správnosti a efektívnosti automatizačných procesov pre fyzickým nasadením systémov.

[33] [28]

4 ROZBOR RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

Na začiatku práce je nevyhnutné presne definovať funkciu navrhovaného pracoviska a podrobne špecifikovať zadanú problematiku. Tento krok je kľúčový pre predchádzanie možným chybám v neskorších fázach projektu. V úvode je taktiež dôležité popísať, ako vzniká strom voskových modelov a aké metódy lepenia sú pri tom používané. Je potrebné tiež uviesť, čo všetko by malo takéto pracovisko obsahovať, aby bolo schopné efektívne plniť svoje funkciu.

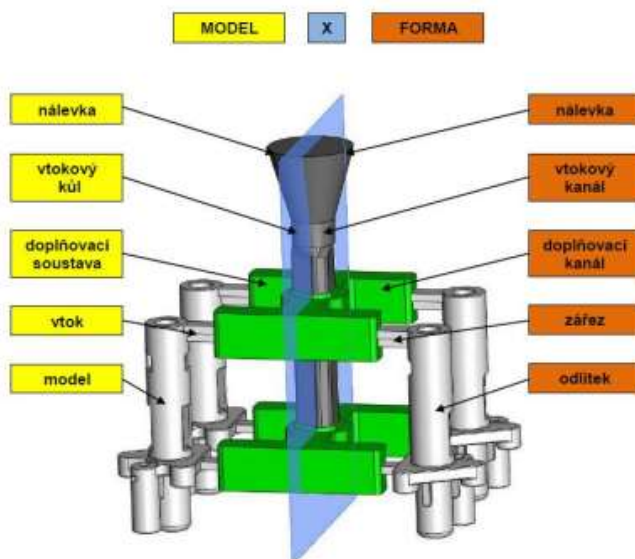
4.1 Analýza zadanej súčasti

4.1.1 Tvorba stromčeka

V technológiách presného liatia sa voskové modely zostavujú do tzv. stromčeka (obr. 11), čo je proces, ktorý tradične vykonáva človek. Táto manuálna práca je však náročná, keďže kvalitné odlievanie dielov vyžaduje zvýšený počet pracovných síl a taktiež zaúčanie nových zamestnancov.

Pri zostavovaní stromčeka je dôležité pripájať modely k vtokovej sústave. Bežne sa tento proces realizuje tak, že medzi vtokovú časť modelu a vtokový systém sa vloží rozohriate teleso, napríklad cievka, ktorá roztopí vosk na oboch koncoch. Po pritlačení koncov k sebe vznikne spoj. Postupne sa pridávajú ďalšie diely z rôznych strán vtokovej sústavy, čím vzniká stromček.

Počas zostavovania stromčeka je potrebné dbať na to, aby sa diely navzájom nedotýkali a zároveň neprekročili maximálnu prípustnú hmotnosť. Je kritické zabezpečiť, že stromček bude pripravený na ďalšie fázy presného liatia a že nanosená vrstva nezabráni spojeniu dielov, čo by mohlo byť nežiaduce. Tento proces vyžaduje dôkladnú prípravu a pozornosť, pretože akékoľvek chyby môžu ovplyvniť kvalitu finálneho odlievaného dielu.



Obr. 11) Schéma stromčeka [34]

Preto sa tento proces začína automatizovať prostredníctvom zavedenia robotických pracovísk, čím sa zvyšuje efektívnosť a produktivita a znižuje sa potenciál chýb, ktoré môžu vzniknúť pri zostavovaní voskových stromčekov. Súčasne dochádza k rastu počtu spoločností, ktoré vytvárajú špecializované pracoviská pre automatizovanú výrobu týchto stromov a linky pre celý proces predne odlievania od voskovej diely po odlitok..

4.1.2 Materiál pre výrobu voskových modelov

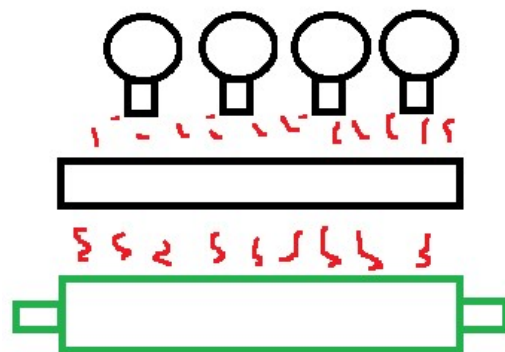
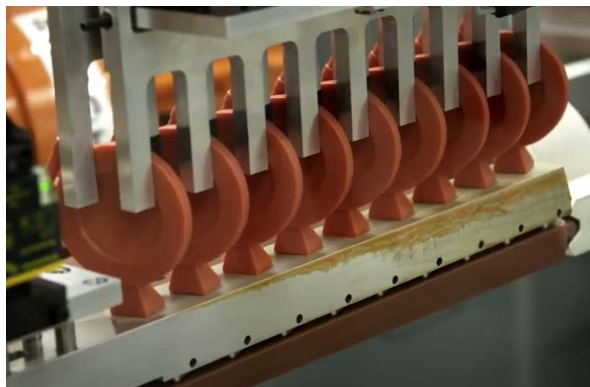
Na výrobu voskových modelov sa používajú rôzne voskové zmesi, ktoré obsahujú kombináciu viacerých zložiek ako syntetický vosk, uhľovodíky, estery, živice, organické plnivé a vodu. Tieto zmesi sú formulované tak, aby vyhovovali špecifickým požiadavkám výrobného procesu, čo umožňuje dosiahnuť rôzne fyzikálne vlastnosti, ako sú tvrdosť, viskozita, tepelná rozťažnosť alebo teplota topenia. V závislosti od typu výroby sa tieto zložky kombinujú rôznymi spôsobmi, čím sa zabezpečí požadovaná kvalita a správanie voskových modelov v procesoch presného liatia. [34]



Obr. 12) Voskové granule pre presné liatie [35]

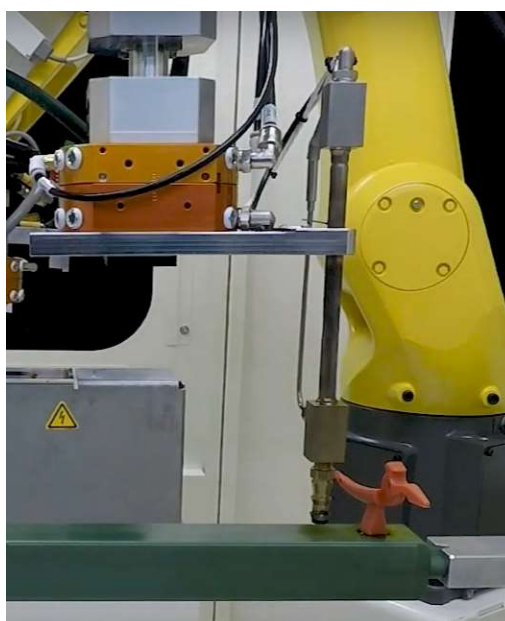
4.1.3 Spôsoby lepenia

V dnešnej dobe existujú dve známe možnosti spájania voskových modelov. Ako bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole, jedným zo spôsobov spojenia dielov s vtokovou sústavou je nahriatie oboch koncov. Tento spôsob má svoje výhody aj nevýhody. Výhodou je možnosť súčasného nahriatia a spojenia viacerých dielov, čo závisí od veľkosti nahrievacieho telesa a gripera, ktorý musí držať jednotlivé diely kolmo nad nahrievacím telesom. Tento spôsob je vysoko efektívny a je často používaný hlavne pri menších dieloch, keďže nie sme obmedzení veľkosťou gripera pri manipulácii. Nevýhodou je potreba čistiacej stanice, pretože pri procese spájania sa môže vosk dostať na nahrievacie teleso a nahromadenie vosku by mohlo mať za následok poškodenie alebo deformáciu spoja.



Obr. 13) Nahrievanie dielov a strom zároveň [36]

Pri spájaní pomocou voskovej vaničky sa využíva vysoká presnosť a kontrola teploty, čo zabezpečuje, že spoje sú pevné a trvalé. Proces začína tým, že robot uchopí diel a ponorí ho do voskovej lázne, zatiaľ čo druhý robot pomocou cievky alebo kazetového ohrievača nahrieva miesto, kde dôjde k spoju. Výhodou tohto spôsobu je, že zabezpečuje rovnomerné nahrievanie spojovacej časti. Tento spôsob je ideálny pre situácie, kde sú požadované vysoké štandardy pevnosti a odolnosti spojov, ale je časovo náročnejší a vyžaduje pokročilé technologické vybavenie na riadenie teploty a presného umiestnenia dielov.

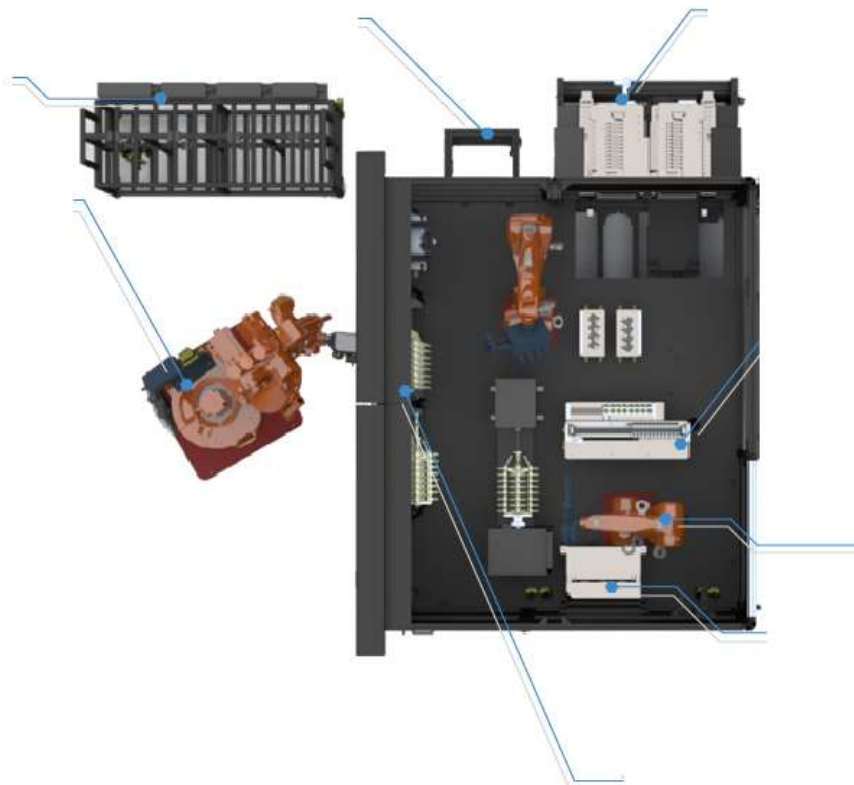


Obr. 14) Prednahrievanie pre spoj [37]

4.2 Súčasti pracoviska na lepenie voskových modelov

Naše pracovisko by malo obsahovať:

- 1) Robot na presuvanie dielu
- 2) Robot na ohrievanie dielu
- 3) Robot na paletizáciu stromu
- 4) Držiak na hotvé stromy
- 5) Paleta pre voskové diely
- 6) Dopravník
- 7) Polohovadlo
- 8) Riadiaca jednotka
- 9) Robotický kontrolér
- 10) Robotický kontrolér
- 11) Senzorika



Obr. 15) Layout pracovisko pre tvorbu a paletizáciu voskových stromov [38]

4.2.1 Dopravníky

V súčasnom období, kedy sa priemysel a výroba uberajú smerom k vyššej automatizácii a efektívnosti, zohrávajú dopravníky kľúčovú úlohu. Tieto systémy sú nevyhnutné pre plynulý a efektívny prenos materiálov a produktov počas výrobných procesov. Existuje mnoho rôznych typov dopravníkov, ktoré sa odlišujú podľa spôsobu pohonu, dizajnu a použitých materiálov. V kontexte automatizácie výrobných procesov, prednostne sa zvažujú poháňané dopravníky s možnosťou riadenia, zatiaľ čo nepoháňané varianty nie sú brané do úvahy. Tiež je dôležité zväžiť spôsob manipulácie a uloženia dielov tak, aby ich mohol robot bezpečne zobrať, čo je kritické najmä pri manipulácii s krehkými materiálmi ako vosk. Adekvátnym riešením by mohla byť plechová paleta s prispôsobenými výrezmi alebo držiakmi na uchopenie jednotlivých dielov.

Pri preskúmaní trhu sa ako najvhodnejšie varianty javia pásový, reťazový alebo remeňový dopravník, ktorý by mohol udržať plechovú paletu, navrhnutú na rozmery dopravníka. Paletu by bolo možné zdvihnúť pomocou pneumatických valcov s čapmi, ktoré sú presne umiestnené a pripojené k puzdrám na palete. Ako je znázornené na obrázku. Taktiež alternatívou môže byť piest s plochou ktorá zamedzí pohybu palety. [39] [40]



Obr. 16) Remeňový dopravník s pneumatickými valcami [39]



Obr. 17) Remeňový dopravník [41]

Ďalším dôležitým faktorom pri výbere dopravníka je rýchlosť a spoľahlivosť. Pri výbere nie je potrebné zohľadňovať hmotnosť, no výhodou môžu byť štandardizované palety na dopravníkoch, na ktoré možno pripevniť jednotlivé uchopovanie zariadenia. Tento prístup zjednodušuje manipuláciu a zvyšuje efektívnosť celého výrobného procesu.

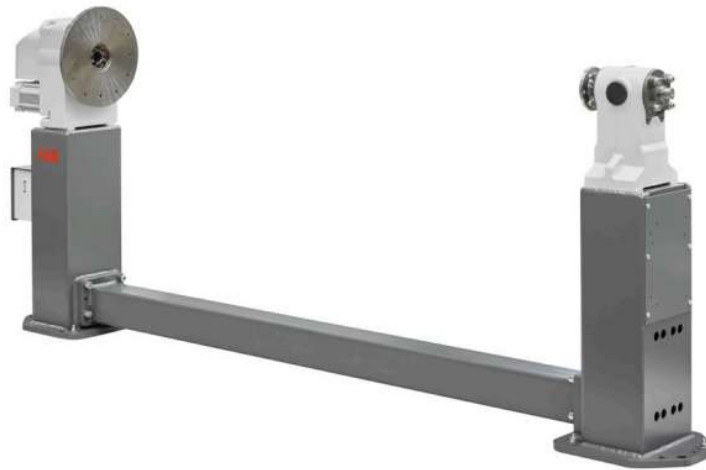
4.2.2 Polohovadla

Na to aby sme mohli polohovať súčasti na slúžia robotické polohovadlá ktoré sú nevyhnutným prvkom priemyselných výrobných liniek, kde sa často využívajú pri zváracích operáciách. Avšak môžu sa využiť pri lepení alebo srobovaní nitovaní a podobne. Tieto zariadenia umožňujú presné polohovanie pracovných kusov, čo je kritické pre zabezpečenie správnej orientácie a upevnenia kusov počas celého procesu. Táto funkcia zvyšuje kvalitu a efektívnosť výroby a umožňuje aplikáciu polohovadiel aj pri ďalších procesoch, ako sú lepenie, srobovanie alebo nitovanie.

Polohovadlá od renomovaných výrobcov sú navrhnuté tak, aby zvládli manipuláciu s veľkými hmotnosťami, čo je užitočné pri práci s ťažkými dielmi. Avšak, pri rozhodovaní

o implementácii týchto zariadení na pracovisku je dôležité zvážiť, či sú tieto kapacity naozaj potrebné. Najmenšie horizontálne polohovadlo môže pracovať s hmotnosťou do 300 kg, čo môže byť pre niektoré pracoviská zbytočne robustné a finančne nákladné.

Pri výbere robotického polohovadla je preto dôležité analyzovať špecifické potreby výrobného procesu a vybrať zariadenie, ktoré najlepšie vyhovuje požiadavkám pracoviska, pričom zbytočne nezvyšuje náklady



Obr. 18) Polohovadlo ABB IRBP L [42]

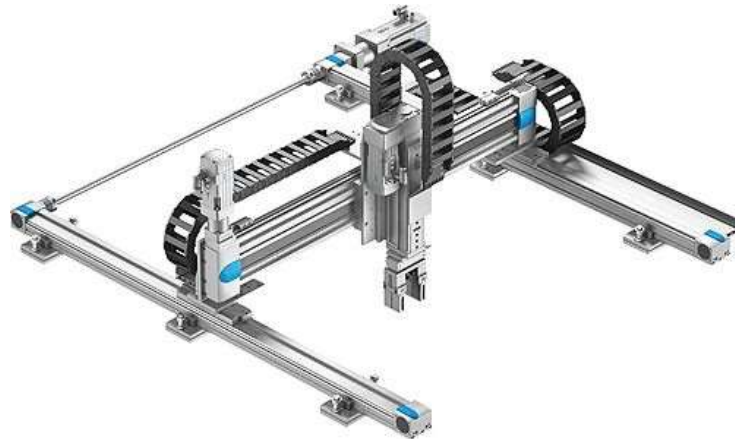
4.2.3 Roboty

Pri výbere robota pre špecializované pracovisko na lepenie voskových modelov je možné v súčasnosti vybrať z rôznych typov robotov. Výber toho správneho robota by malo zohľadňovať niekoľko faktorov. Dôležité sú predovšetkým technické špecifikácie ako nosnosť, manipulačný dosah opakovateľnosť a rýchlosť robota, ktoré majú priamy vplyv na efektívnosť výrobného procesu. Na základe týchto kritérií a cenového ohodnotenia vyberieme najvhodnejšieho robota pre dané pracovisko.

Roboty možno deliť podľa ich kinematiky do niekoľkých základných typov, pričom každý typ má špecifickú štruktúru a kinematiku, ktorá ovplyvňuje jeho schopnosť manipulácie a využitie v rôznych priemyselných aplikáciách. Tu je prehľad hlavných typov robotov podľa ich kinematiky:

Kartézské roboty:

Kartézske roboty, známe tiež ako lineárne roboty, predstavujú druh priemyselných robotov, ktoré na pohyb využívajú pravouhlý súradnicový systém, umožňujúci presné pohybovanie vo troch osiach - X, Y a Z. V dnešnej dobe sú tieto roboty často využívané pri 3D tlačiarňach. Veľkou výhodou kartézskych robotov je ich modularita, ktorá umožňuje prispôbienie sa špecifickým požiadavkám pracoviska a jednoduchú integráciu do rôznych výrobných línii. Ich schopnosť presného a rýchleho umiestnenia objektov z nich robí ideálne riešenie pre operácie, ktoré vyžadujú vysokú presnosť, ako je vkladanie elektronických komponentov. Tieto roboty sú tiež cenené za nízke operačné náklady a jednoduchú údržbu.



Obr. 19) Kartézský robot [43]

Angulárne roboty:

Su jedným z najrozšírenejších typov robotov v priemysle hlavne v automobylom. Tieto roboty sú vybavené rotačnými kĺbmi ktoré im umožňujú pohyb v rôznych osiach a poskytujú vysoký stupeň flexibility a presnosti. Vďaka ich schopnosti vykonávať zložité manipulačné úlohy sú ideálne pre širokú škálu aplikácií, vrátane montáže, zvarovania, a balenia paletizácie. Avšak v porovnaní s kartézskymi su zložitejšie na programovanie.



Obr. 20) Priemyselný robot ABB IRB 1600 [44]

4.2.4 Senzorika

V rámci automatizovaných výrobných operácií je nevyhnutné sledovať aktuálne operačné stavy, ktoré sa následne zaznamenávajú do centrálného riadiaceho systému. Na tieto účely sa využívajú senzory, priemyselné skenery a systémy strojového videnia, ktoré sú základnými nástrojmi pre zvyšovanie efektivity, presnosti a automatizácie procesov na moderných výrobných pracoviskách.

Senzory v priemyselnom prostredí zohrávajú dôležitú úlohu, keďže umožňujú merať veličiny a prevádzať ich na dáta ktoré sú nevyhnutných pre riadenie a monitorovanie rozličných výrobných operácií. Tieto zariadenia poskytujú strojom schopnosť "vidieť" a "rozumieť" svojmu okoliu, čo výrazne prispieva k optimalizácii výrobných postupov.

Jedným z najpoužívanejších typov snímačov používaných v priemysle sú optické snímače, ktoré sa používajú na detekciu objektov. Taktiež su schopné rozlišovať podľa rozmeru, tvaru, farby alebo povrchová štruktúri. Vďaka vysokému rozlíšeniu a schopnosti rýchleho spracovania obrazu sú ideálne pre aplikácie vyžadujúce vysokú presnosť, ako je kontrola kvality alebo presné pozicionovanie dielov. Taktiež sa často využívajú z dôvodu bezpečnosti ako svetelné závery.

Za funkčnu nahradu senzorou sa v dnešnej dobe dá považovať strojové videnie. Čo je ďalšia pokročilá technológia, ktorá využíva kombináciu hardvéru (napríklad kamery) a softvéru na vykonávanie zložitých vizuálnych kontrol vo výrobných procesoch. Kde systémy strojového videnia sú schopné analyzovať získané obrazy a na základe nich vykonávať určité rozhodnutia, napríklad rozpoznať defektné výrobky alebo riadiť robotické ramená pri montážnych operáciách. Táto technológia je neoceniteľná, najmä v sektoroch, kde sú požiadavky na kvalitu a presnosť mimoriadne vysoké. Avšak pri výbere senzoriky do výrobného pracoviska treba nezabúdať že strojové videnie je oveľa drahšia voľba oproti normálnym senzorom.



Obr. 21) Indukčne senzory vo výrobnej linke [45]

4.2.5 PLC SIMATIC S7-1500

Funkciu PLC, a jeho druhy boli popísané v kapitole 3.7, kde sa vyjadrujem k jeho funkcií, ako časovanie procesov, logické operácie a riadenie priemyselných manipulátorov a polohovadiel. Ďalej že PLC sníma vstupy a dočasne ich ukladá do pamäti na základe ktorých potom je vykonaná predprogramovaná operácia.

Na riadenie pracoviska som si vybral PLC SIMATIC S7 1500 od výrobcu Siemens. Tento systém je známy svojou modulárnou štruktúrou ktorá um možňuje ľahké rozširovanie funkcionalít pridávaním ďalších modulov podľa potrieb používateľa. S7-1500 poskytuje širokú škálu technologických funkcií vrátane pokročilej systémovej diagnostiky a integrovaných bezpečnostných riešení. Komunikácia prebieha cez zabezpečené PROFINET rozhranie. Dizajn PLC je prispôsobený pre ľahkú inštaláciu do rozvodných skriní s ochranným stupňom IP20. Programovanie a konfigurácia PLC S7-1500 prebieha v programe TIAportal. Ktorý podporuje vytvorenie virtualnej kópie riadiaceho systému, pre rychlu optimalizáciu pred nasadením do reálneho hardveru.



Obr. 22) SIMATIC S7 -1500 [46]

4.2.6 IRC5

Podobne ako na riadenie robotickej linky slúži PLC, roboty majú svoje vlastné robotické kontroléri. Tieto kontroléri sa skladajú z ovládacej a napájacej jednotky, kde ovládaciu jednotku tvorí procesor s pamäťou. Ďalej kontroléri často obsahujú digitálnych vstupov a výstupov na monitorovanie a ovládanie rôznych aspektov robotického systému, ako sú snímače polohy, teploty tlaku a iné. K dispozícii býva taktiež bezpečnostní hardver a softvér.

Hlavnou úlohou robotického kontroléru je riadenie a koordinácia všetkých aspektov robotických operácií vrátane robotického efektoru. Tento systém zjednodušuje riadenie viacerých robotov alebo celých výrobných systémov z jedného centrálného miesta. Centralizácia riadenia poskytuje lepší prístup a správu dát, umožňuje efektívne využitie simulačných softvérov pre optimalizáciu procesov a znižuje náklady na hardware. Avšak, obmedzenia ako výpočtová kapacita môžu obmedziť využitie na jednoduchšie úlohy, preto niekedy vyžadujú doplnenie o špecializované systémy pre zložitejšie aplikácie.

Pre roboty od spoločnosti ABB sa používajú ich robotické kontroleri IRC5 (obr. 23). Tento kontrolér je výsledkom viac ako štyroch desaťročí skúseností v oblasti robotiky, ktorý sa vyznačuje vynikajúcou flexibilitou, bezpečnosťou, modularitou a podporou viacerých robotov. Jednou z hlavných výhod IRC5 je jeho schopnosť znižovať cyklické časy a zároveň udržiavať presnú dráhu pohybu robota. Toto je dosiahnuté vďaka ABB unikátnej technológii pohybu, ktorá umožňuje robotom vykonávať úlohy efektívne a s vysokou presnosťou bez potreby dodatočného ladenia programátormi. Kontrolér je kompatibilný s rôznymi typmi hlavných napätí a dokáže pracovať v širokom spektre environmentálnych podmienok. IRC5 podporuje väčšinu moderných priemyselných sietí pre I/O, má rozhrania pre senzory, vzdialený prístup a bohatú sadu programovateľných rozhraní, čo zvyšuje jeho univerzálnosť. Všetky systémy robotov ABB sú programovateľné v RAPIDE, čo je flexibilný, vysokoúrovňový programovací jazyk. [47]



Obr. 23) IRC 5 [47]

5 PRAKTICKÁ ČASŤ

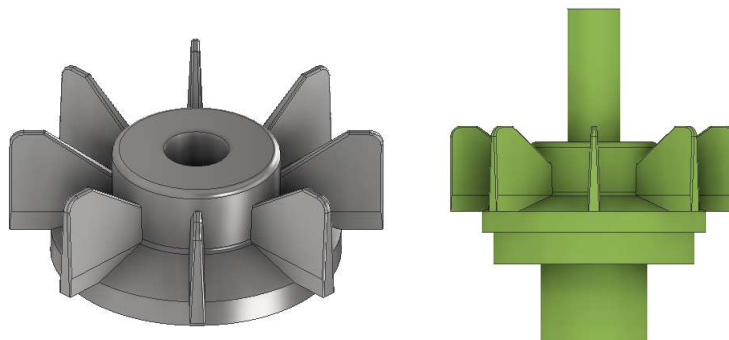
Cieľom tejto práce je vykonať virtuálne zprovoznenie pracoviska, avšak predtým je potrebné toto pracovisko navrhnuť. Pracovisko musí byť schopné manipulovať a lepiť voskové diely na kmeň tak, aby vznikol strom určený pre presné liatie.

V tejto časti bude popísaná celá praktická časť, vrátane návrhu pracoviska, popisu jednotlivých dielov a komponentov, ktoré sú potrebné pre efektívnu a kvalitnú realizáciu procesu lepenia voskových modelov. Následne bude vytvorená simulácia pracoviska a bude vykonané virtuálne zprovoznenie pomocou príslušných softvérových nástrojov.

5.1 Manipulované diely

Na začiatok je potrebné predstaviť jednotlivé diely, s ktorými bude potrebné manipulovať. Jedná sa o vrtuľu s najväčším priemerom $D=42$ mm a výškou $H=9,5$ mm. Avšak, bolo potrebné tento diel upraviť, aby bol usposobený pre presné liatie.

Úpravy zahŕňujú pridanie valcových koncov na oboch stranách vrtuľky. Hrubší valcový koniec na spodnej strane je navrhnutý pre prilepenie dielu na kmeň, zatiaľ čo druhý, dlhší a užší koniec na hornej strane je určený pre uchopenie časti robotickým manipulátorom. Tieto úpravy umožňujú efektívnu manipuláciu s dielmi počas procesu výroby a zaručujú presné umiestnenie a pevné spojenie jednotlivých komponentov na kmeni.



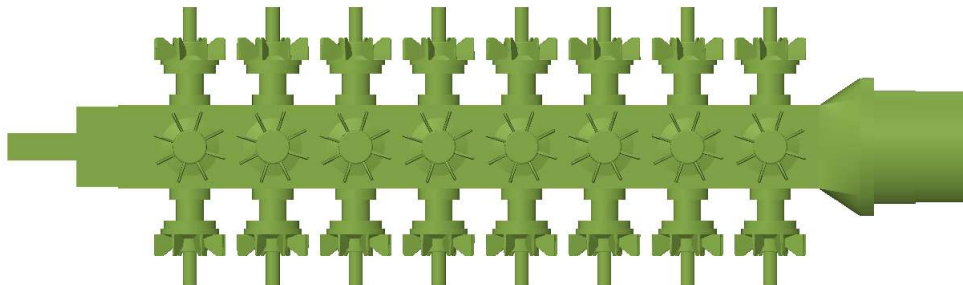
Obr. 24) V ľavo sa nachádza diel vrtuľa pred úpravou a vpravo po úprave

Keďže cieľom je, aby voskové modely mali viacero podôb, ako druhý diel som zvolil rúčku s rozmermi $59 \times 25 \times 43$ mm, ktorá bola podobne upravená na oboch stranách, aby spĺňala naše potreby na manipuláciu. Tieto úpravy zabezpečujú efektívnu manipuláciu a presné umiestnenie dielov, čo je nevyhnutné pre kvalitné presné liatie.



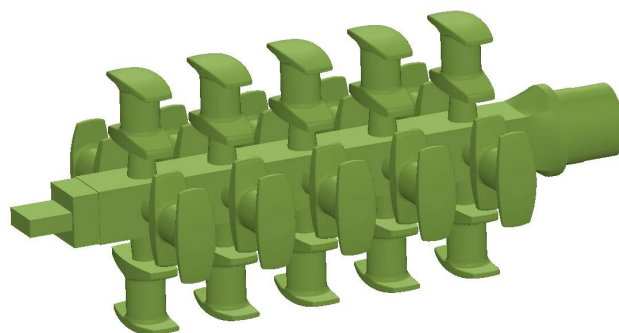
Obr. 25) V ľavo diel rúčka pred úpravou v pravo po úprave

Ďalšou manipulovateľnou časťou je voskový kmeň a strom, ktorý slúži ako vtokový kanál pre presné liatie. Kmeň je z veľkej časti kváder so štvorcovým prierezom 60x60 mm a dĺžkou 697 mm. Ľavý koniec je zúžený, aby sa mohol napasovať do drážky polohovadla, čo umožňuje presné polohovanie pri otáčaní. Druhý koniec je valcový a slúži ako opora na udržanie rovnováhy kmeňa, a tiež na manipuláciu robotom v ďalších fázach tvorby formy pre presné liatie. Dokončený kmeň potom obsahuje 32 dielov.



Obr. 26) Strom s vrtulami

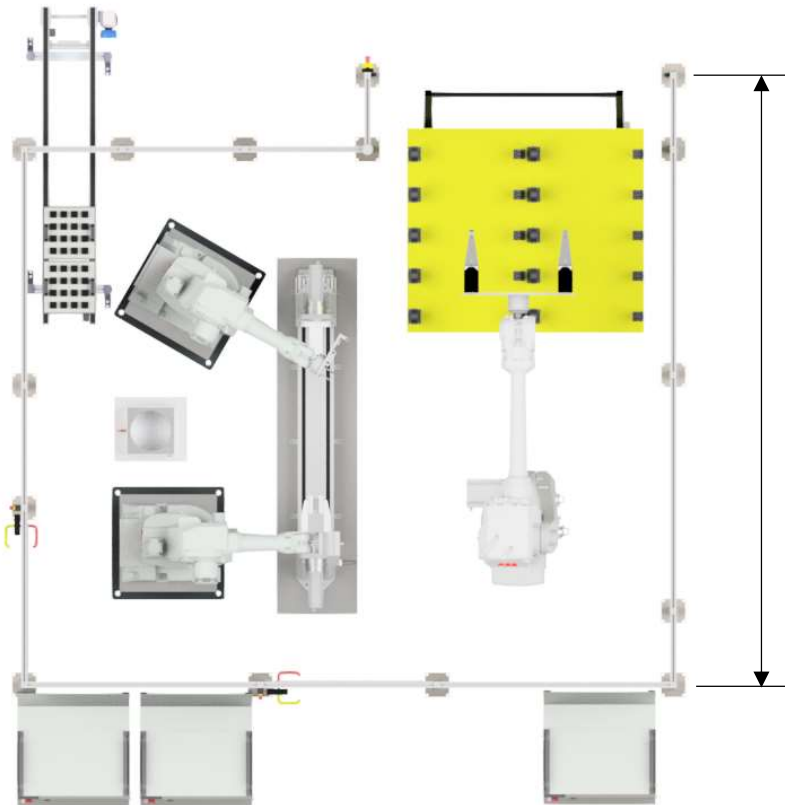
Jednotlivé kmene sú prispôsobené konkrétnym dielom. Kmeň pre vrtulky obsahuje valcové výpustky, ako je znázornené na obrázku vyššie. Druhý kmeň tieto výpustky nemá, pretože nie sú potrebné pre iné typy dielov.



Obr. 27) Kmeň s úchytkami

5.2 Návrh pracoviska

Pracovisko obsahuje tri hlavné stanice. Prvá stanica je vybavená dopravníkom, ohrievačom vosku a robotickým ramenom s gripperom. Úlohou robota je zobrať diel z palety dopravníka, ponoriť ho do voskovej lázne a následne ho umiestniť na kmeň upevnený v polohovadle. Druhá robotická stanica, umiestnená vedľa prvej, obsahuje robotické rameno s nahrievacou hlavou. Táto hlava ohrieva miesta na kmeni, aby sa zabezpečilo pevné spojenie dielu s vtokovou sústavou. Práca oboch robotov je simultánna, pričom prvý robot ponára diel do lázne zatiaľ čo druhý ohrieva miesto spoju. Ten proces znižuje možnosť stuhnutia nedošlo k stuhnutiu vosku a nekvalitnému spoju. Tretia stanica obsahuje vozík a tretie robotické rameno s gripperom dimenzovaným na manipuláciu so stromami a kmeňmi. Úlohou tohto robota je vkladanie kmeňa do polohovadla a paletizácia hotových stromov. Vozík zabezpečuje dopĺňovanie ďalších kmeňov a taktiež miesto na odnesenie hotových dielov, pričom jeho pohyb je riadený vodiacimi plechmi pripevnenými k zemi, ktoré určujú presnú polohu vozíka.



Obr. 28) Pôdorysný pohľad na pracovisko

Doplnenie ďalších dielov je zabezpečené dopravníkom, ktorý zaručuje plynulý presun voskových dielov medzi stanicami. Celé pracovisko je z bezpečnostných dôvodov oplatené a vybavené bezpečnostnými prvkami, aby sa zabezpečila ochrana operátorov a zabránilo sa neoprávnenému prístupu do pracovného priestoru robotov.

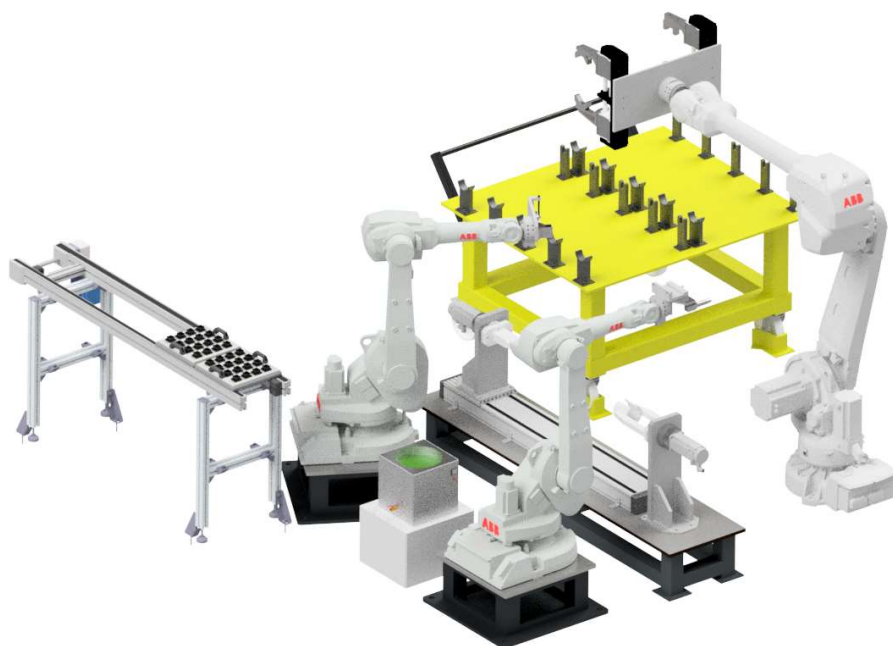
5.3 Popis pracoviska a jeho 3D modelu

Po navrhnutí pracoviska je ďalším krokom výber vhodných komponentov a vytvorenie ich 3D modelov. Komponenty boli vymodelované v programe Inventor.

5.3.1 Roboty

Pri návrhu sme definovali jednotlivé úlohy robotov, na základe ktorých bolo potrebné zvoliť konkrétne modely robotov. Medzi ďalšie faktory, ktoré treba brať do úvahy, patrí nosnosť, dosah a opakovateľnosť najazdu do polohy. Roboty sme vybrali od spoločnosti ABB kvôli ich kompatibilite s virtuálnym zprovoznením a komunikácií s RobotStudio a kontrolérmi robotov. Ako bolo spomenuté vyššie, v návrhu sa nachádzajú tri roboty, z ktorých dva slúžia na manipuláciu a jeden na ohrev.

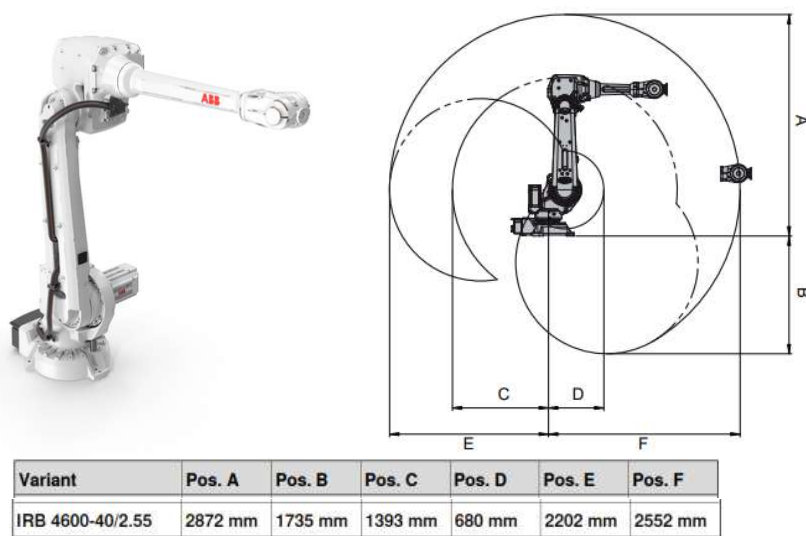
Pri úlohe manipulácií voskových dielov ako sú vrtula, rúčka bol vybraný robot IRB 1600 od spoločnosti ABB. Ktorý má nosnosť 10 kg a schopný dosiahnuť s rameno až na 1,45m. Čo je pri jeho úlohe velice dôležité keďže potrebuje dosiahnuť na jednotlivé diely na dopravníku a druhy koniec kmeňa osadeného v polohovadle.



Obr. 29) Umiestnenie robotv na pracovisku

Pri výbere robotov na manipuláciu malých voskových dielov a nahrievanie sme zvažovali aj model IRB 1300, ktorý je menší a lacnejší a má menší zástavový priestor. Avšak, problém by nastal pri virtuálnom zprovoznení, keďže tieto roboty bežia na kontroléri Omnicore, čo by výrazne skomplikovalo virtuálne zprovoznenie. Preto sme sa rozhodli pre model IRB 1600, ktorý je kompatibilný s našimi požiadavkami na virtuálne zprovoznenie.

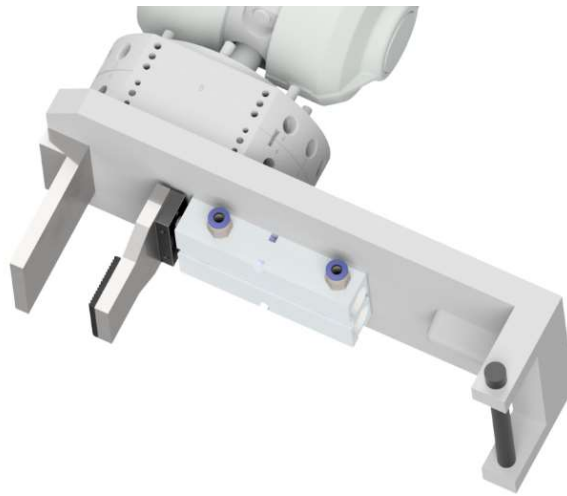
Na manipuláciu a pelitáciu hotových dielov bol využitý priemyselný šesťosí robot ABB IRB 4600. Bol vybraný hlavne z dôvodu disponuje dosahom až na 2,55m čo je podstatné pri paletizácii kdeže sme potrebovali aby mohol paletizovať čo najciac dielov. Jeho nosnosť je 40 kg ale pri vybere nebola až taka podstatná. Ale keďže robot ma velku zastavbovu plochu pre jeho ppotreby bolo podstatné upraviť bezpečnostné oplotenie.



Obr. 30) IRB 4600 aj jeho pracovný rozsah [48]

5.3.2 Gripper pre diely

Na manipuláciu malých voskových dielov bol navrhnutý špeciálny gripper. Tento gripper je pripevnený k doske, ktorá je následne pripojená k príruce robota. Gripper je ovládaný dvojčinným pneumatickým valcom s dvoma piestami od spoločnosti SMC, ktorý má zdvih 50 mm. Na konci válca je pripevnená pohyblivá čeľusť s gumenou vložkou na špičke, čo zabezpečuje bezpečné a nepoškodzujúce uchopenie dielov. Oproti pohyblivej časti sa nachádza fixná čeľusť, ktorá spolu s pohyblivou časťou umožňuje efektívne a pevné uchopenie dielu. Dvojčinný mechanizmus zabezpečuje, že gripper môže efektívne uchopiť a uvoľniť diely podľa potreby, čo je kľúčové pre efektívny výrobný proces. Oproti pohyblivej časti je fixná časť ktorá umožňuje efektívne uchopiť diel podľa potreby. Kniec obsahuje držiak pre výmenu nástrojov



Obr. 31) Gripper na manipulovanie s dielmi

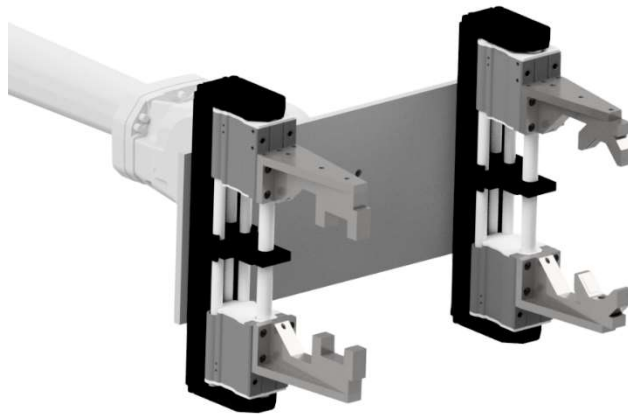
5.3.3 Gripper na stromy

Pri výbere gripera na manipuláciu stromov a kmeňov bolo potrebné použiť gripper s veľkým zdvihom a širokou možnosťou uchopenia. Podmienkou bolo použitie pneumatických gripperov, keďže ide o krehký materiál – vosk. Vosk je krehký materiál, preto bol požiadavkou gripper, ktorý umožňuje šetrné a presné uchopenie. Štandardné gripperly od spoločností ako Schmuck alebo SMC neponúkali modely s dostatočne širokým rozstupom čeľustí, ktoré by boli vhodné pre tento typ úlohy. Preto bola zvolená alternatíva dvojčinný pneumatický paralelný gripper s vysokou kapacitou a dlhým zdvihom od spoločnosti PHD Inc., konkrétne model z GRR série. Tento gripper ponúka zdvih 250 mm a je vybavený niekoľkými pneumatickými portami a závitovými montážnymi otvormi, čo umožňuje jeho flexibilné inštalovanie a použitie. Jeho funkcionality zahŕňa synchronizované otváranie a zatváranie čeľustí, ktoré sú kľúčové pre bezpečné a presné uchopenie dielov.



Obr. 32) Pneumatický gripper GRR12 [49]

Gripperna na stromy obsahuje dva pneumaticke gripper pripevnené k doske vzdialene od seba 490mm, v ktorej strede je primontovaná príruha, čo zvyšuje jeho stabilitu a efektivitu pri manipulácii s dielmi. Ďalšou výhodou tohto grippera je jeho vhodná výška, ktorá sa hodí pre manipuláciu so stromami a všetkými prilepenými dielmi o rozmere 280x280 mm, zabezpečujúc tak dostatočný pracovný priestor aby nedošlo k poškodeniu stromu. Nevýhodou grippera je jeho váha, ale gripperom manipuluje IRB 4600 tak to nieje problém.



Obr. 33) Gripper na stromy

5.3.4 Koncový efektor s nahrievaciu hlavou

Aby došlo k spoju voskových dielov s kmeňom, je potrebné predhriať miesto, kde dôjde k spoju. Keďže pre takúto úlohu neexistuje štandardný koncový efektor, bolo potrebné navrhnuť vlastnú variantu koncového efektora. Efektor sa skladá z L plechu, ktorý je pripevnený k príruhe robota. Na plechu je upevnená tryska, v ktorej je vložený kazetový 200V ohrievač s nahrievateľnou špičkou dlhou 50 mm. Tento ohrievač zabezpečuje potrebné teplo na predhriatie vosku, čo umožňuje spoľahlivé a pevné spojenie dielov s kmeňom. Konštrukcia efektora je navrhnutá tak, aby bola robustná a odolná voči vysokým teplotám, čo je nevyhnutné pre dlhodobú spoľahlivosť v náročných priemyselných podmienkach. Tryska je špeciálne tvarovaná, aby smerovala teplo priamo na miesto spoja, čím sa zabezpečuje efektívne a rovnomerné predhriatie. Použitie kazetového ohrievača umožňuje jednoduchú výmenu a údržbu, čím sa minimalizujú prestoje a zvyšuje celková efektivita výrobného procesu.



Obr. 34) Konvcový efektor s nahrievacou hlavou

5.3.5 Dopravník

Pre presun dielov slúži paletový dopravník od spoločnosti Vitrans model FC2, ktorý má nosnosť 250 kg. Výhodou paletových dopravníkov je ich modularita, ktorá umožňuje jednoduché predĺženie dráhy alebo otočenie, a tiež pridávanie rôznych stopiek a zariadení na otáčanie palety. V našom prípade sme zvolili dĺžku dopravníka 2000 mm. Jednou z hlavných výhod tohto dopravníka je jeho reverzná schopnosť pohybu, ktorá umožňuje pohyb palet v oboch smeroch čo je v našom prípade využité. Variabilita dopravníka umožňuje jeho použitie pre rôzne typy dielov a palet, čo je veľmi dôležité pre manipuláciu s rôznymi voskovými modelmi. Vďaka využitiu elektromotora je tento dopravník veľmi tichý, čo prispieva k príjemnejšiemu pracovnému prostrediu a znižuje hladinu hluku.



Obr. 35) Dopravník model FC2 s dvoma paletami

Na presné polohovanie a detekciu palety sú použité fotoelektrické senzory M1850N. Tieto senzory disponujú rýchlym reakčným časom a sú odolné voči prachu a podobným nečistotám, ktoré by mohli spôsobiť ich poškodenie. Okrem sensorov je dopravník vybavený aj pneumatickými stoppermi paliet SG2, ktoré zastavia paletu a vyšlu signál pre reverziu pohybu po robotickej operácii.



Obr. 36) Vľavo modeli na palete, Vpravo paleta WA2 [50]

Pre prenos dielov slúži paleta od spoločnosti Vitrans model WA2, ktorá má rozmery 300x300 mm a nosnosť 1 kg na cm², čo je dostačujúce pre naše operácie. Na vrch palety je položená hliníková doska, ktorá je primontovaná k paletu. Táto doska obsahuje držiaky na jednotlivé diely ktoré su primontovanie k doske čo umožňuje aj možnú výmenu držiakov. Ďalej disponuje dvoma úchytkami pre rýchly presun dielov človekom. Použitie tejto palety zabezpečuje, že diely sú pevne uchytané a správne polohované počas celého výrobného procesu. Úchytky umožňujú ľahkú manipuláciu s paletou, čo je praktické najmä pri manuálnych operáciách alebo presune paliet medzi jednotlivými stanicami pracoviska.

5.3.6 Polohovadlo

Na natáčanie dielov slúži polohovadlo. Po prehliadnutí trhu sa však nepodarilo nájsť polohovadlo požadovanej veľkosti. Väčšina polohovadiel, najmä od spoločnosti ABB, je prioritne určená na zvaračské operácie, kde sa manipuluje s ťažkými plechmi a veľkým zotrvačným momentom, a umožňujú iba natáčanie bez prisuvného pohybu po jednej osi.

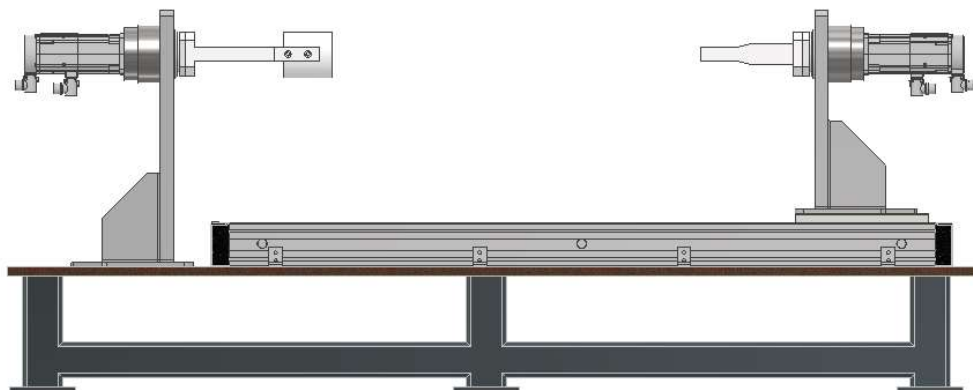
Z toho dôvodu bola navrhnutá vlastná varianta z dostupných dielov. Polohovadlo sa skladá z dvoch hrubých hliníkových zvaraných profilov, ku ktorým sú upevnené 230V servopohony triedy NX3. Profil vľavo je priskrutkovaný k platforme, zatiaľ čo pravý je primontovaný k lineárnej jednotke od spoločnosti isel Germany GmbH, ktorá zabezpečuje lineárny posuv pre uchopenie kmeňa a má nosnosť 20 kg, čo je dostačujúce. Lineárna jednotka je dlhá 1590 mm, čo je jedna z konfigurácií, v ktorej sa predáva.



Obr. 37) Lineárna pohonná jednotka [51]

Ľavý profil obsahuje kruhový pridržiavač pre vtokovú sústavu, zatiaľ čo pravý obsahuje drážku na prenesenie krútiaceho momentu z motora na kmeň. Motory sa musia otáčať súbežne, aby zabezpečili správne otáčanie a polohovanie dielov. Týmto riešením sa zabezpečí, že polohovadlo dokáže nielen natáčať, ale aj presúvať diely po jednej osi, čím sa splnia všetky požiadavky na presné polohovanie a manipuláciu. Všetky tieto diely sa nachádzajú na vyvýšenej platforme ktorá má výšku 280mm pre pohodlnejšiu servisovateľnosť a ochranu pred nečistotami.

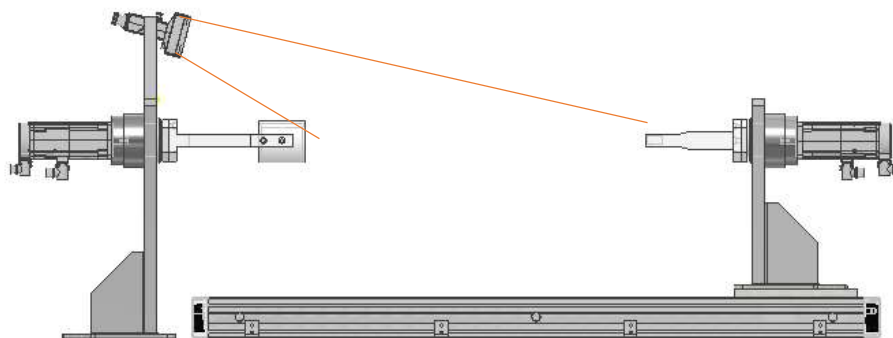
Pri operácii robot zoberie diel, nastaví ho do rovnobežnej osi s polohovadlom, a potom zasunie valcový koniec do držiaka vľavo a drážka vpravo sa prisunie. Tento postup zabezpečuje správne uchytenie dielu a umožňuje presnú natáčanie počas celého procesu.



Obr. 38) Polohovadlo

5.3.7 Kamera

V rámci návrhu robotického pracoviska bolo potrebné riešiť aj kontrolu kvality a výstupnú paletizáciu. Preto sme sa rozhodli použiť kamerový systém od firmy Cognex. Kamerové videnie umožňuje presné a spoľahlivé monitorovanie kvality produktov, identifikáciu chýb a polohovanie jednotlivých dielov. Vybrali sme kameru Cognex IS3816M s 12 mm ohniskom pre vzdialenú kameru 1000 mm. Tento model kamery je vhodný na snímanie z veľkých vzdialeností, čo je ideálne pre naše potreby v rámci kontrolného systému. Na obrázku je znázornený návrh uloženia kamery, pričom farebné čiary predstavujú zorné pole kamery. Umiestnenie kamery bolo navrhnuté tak, aby bolo zabezpečené optimálne pokrytie celého kontrolovaného priestoru.



Obr. 39) Znazornené uloženie a zorné pole kamery

5.3.8 Vozík na paletizáciu

Pre paletizovanie a prísun nových kmeňov slúži vozík, ktorý je navrhnutý tak, aby sa pomocou vodiacích lišt dostal na konkrétne miesto v pracovisku. Vodiace lišty na kolieskach a rúčka umožňujú ľahké presúvanie vozíka, čím sa zaisťuje presné umiestnenie a stabilita. Vozík je vybavený stabilnou konštrukciou, ktorá zabezpečuje bezpečný a efektívny presun kmeňov na miesto ich spracovania. Tieto vodiace lišty minimalizujú riziko chýb pri manipulácii tým, že presne vedú vozík na požadované miesto. Rúčka na vozíku umožňuje operátorom jednoduché a ergonomické ovládanie, čo zvyšuje efektívnosť práce a znižuje fyzickú námahu. Na vozíku sú priskrutkované špeciálne uchopovače určené pre manipuláciu s kmeňmi, ktoré zabezpečujú pevné a bezpečné uchopenie počas celého procesu. Tento systém umožňuje rýchle a spoľahlivé nahradenie prázdnych kmeňov novými, čo je kľúčové pre udržanie plynulosti výroby a minimalizáciu prestojov.



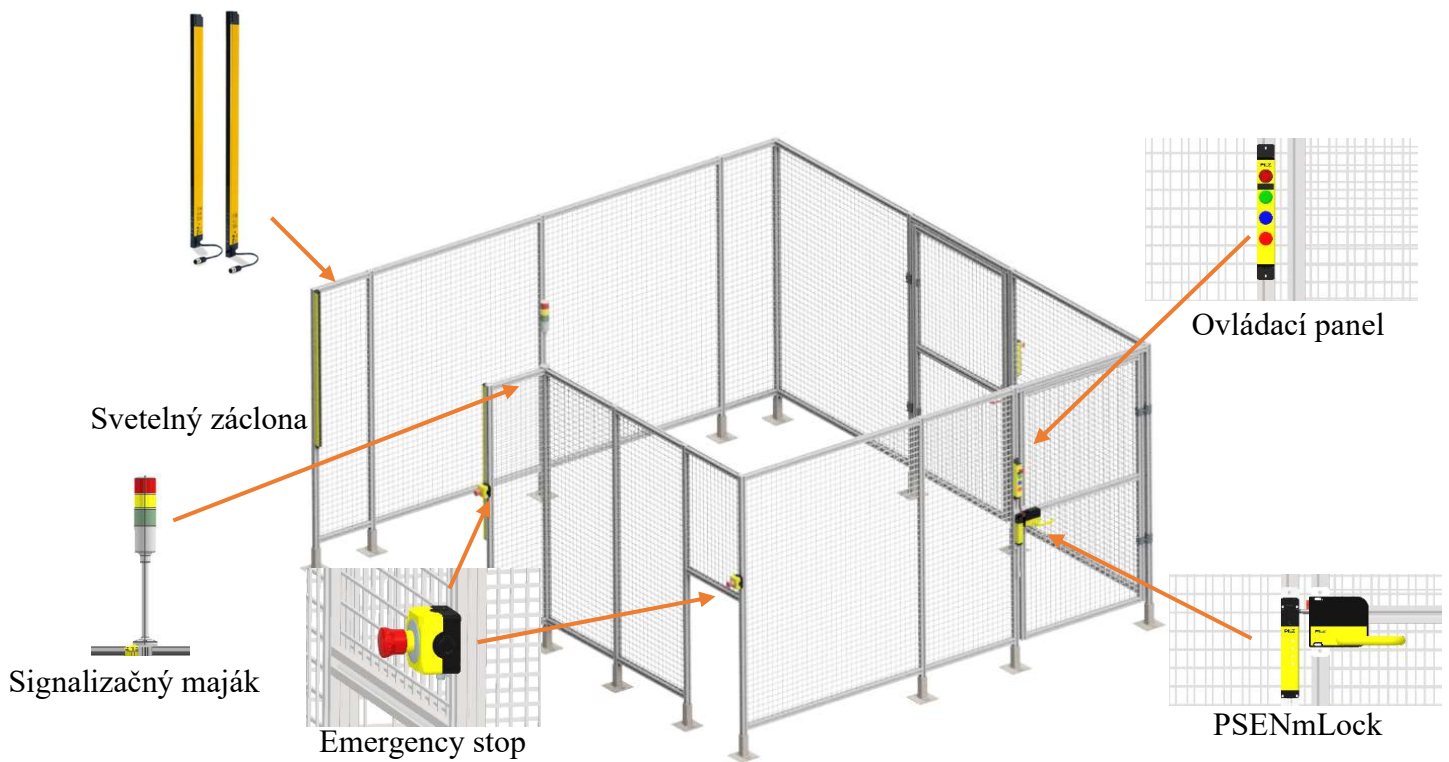
Obr. 40) Vozík s dvoma stromami

5.3.9 Bezpečnostné prvky

Pri návrhu pracoviska je nevyhnutné zohľadniť bezpečnostné prvky, ktoré sú kľúčové na ochranu pracovníkov pred možnými rizikami spojenými s vysokou rýchlosťou alebo neočakávaným pohybom robota, čo by mohlo viesť k zraneniam alebo dokonca k úmrtiam obsluhujúcich osôb. Na zamedzenie týmto situáciám sa vykonáva analýza rizík. Analýza rizík posudzuje rôzne nebezpečné situácie a vyhodnocuje ich závažnosť. Výsledky tejto analýzy obsahujú formuláre na zníženie rizika, ktoré opisujú postupy ako sa vyhýbať alebo ochrániť pred zranením pri konkrétnych rizikách. Pre bezpečnosť sú tiež dôležité harmonizované normy, ktoré zabezpečujú, že pracovisko spĺňa všetky potrebné bezpečnostné predpisy a štandardy. Príkladom sú:

- ČSN EN ISO 10218-1:2012: Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 1: Roboty
- ČSN EN ISO 10218-2:2011: Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 2: Systémy robotů a integrace
- ČSN EN ISO 12100:2011: Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika
- ČSN EN ISO 13854:2021: Bezpečnost strojních zařízení - Nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla
- ČSN EN ISO 13857:2022: Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostorů horními a dolními končetinami
- ČSN EN ISO 13850:2017: Bezpečnost strojních zařízení - Funkce nouzového zastavení - Zásady pro konstrukci

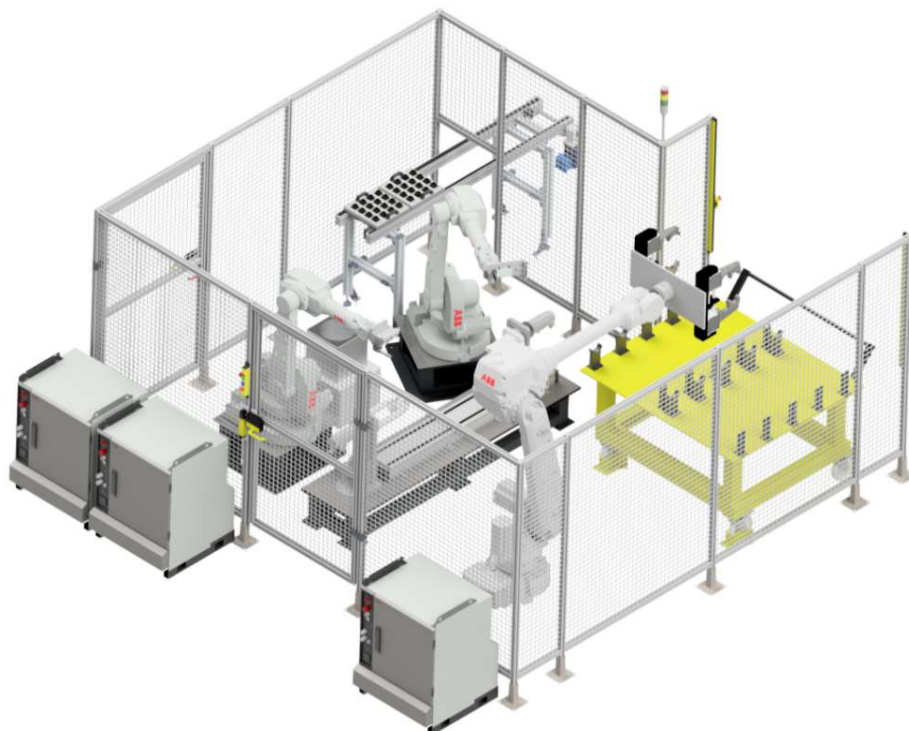
Ako jeden z hlavných prvkov boli integrované oplotenie, ktoré vytvára fyzickú bariéru medzi robotom a pracovníkmi, čím minimalizuje riziko neumyšelného vstupu do nebezpečnej zóny. Oplotenie je z hliníkových profilov a mriežky spoločnosti Boma a siaha do výšky 2000 mm a je priskrutkované k zemi. Oplotenie sa nachádza po celom obvode až na priestor kde vstupuje vozík s dielmi a otvor pre dopravník. Postranach otvoru je svetelná záclona ktorá zabezpečuje aby nikto nevstúpil do pracoviska za chodu. Pokiaľ je tento svetelný paprsok prerušený zaktivuje sa Emergency stop. Pri ktorom sa robot okamžite zastaví. Na oplotení su pripevnené dve nudzove emergency stop tlačítka. Jedno sa nachádza pri dopravníku aby pokiaľ robot zle začne manipulovať s materiálom alebo mohol dojsť k poškodeniu alebo úrazu roboty a dopravník sa zastaví. Druhé tlačítko je pri vozíku a veľkom robotu aby nedošlo taktiež poškodeniu robota pracoviska alebo úrazu. Pracovisko ďalej obsahuje svetelný signalizačný maják aby bolo jasne signalizované v akom je stave. Vstup do pracoviska je umožnený z dvoch strán pomocou dverí ktoré majú bezpečnostný programovateľný zámok PSENmlock od spoločnosti PILZ. Ktorý je namontovaný na dverách a ako protikus bezpečnostné blokovacie zariadenie. Zámok jemožné prepojiť s riadiacou jednotkou celého pracoviska. Pokiaľ by došlo zabuchnutiu dverí zámok na druhej strane dverí obsahuje červenú kľučku ktorá odomkne dvere. Na dverami je ovladací panel na spúšťanie procesu. Pre signalizáciu či je v procese výroby, pokiaľ žltá tak



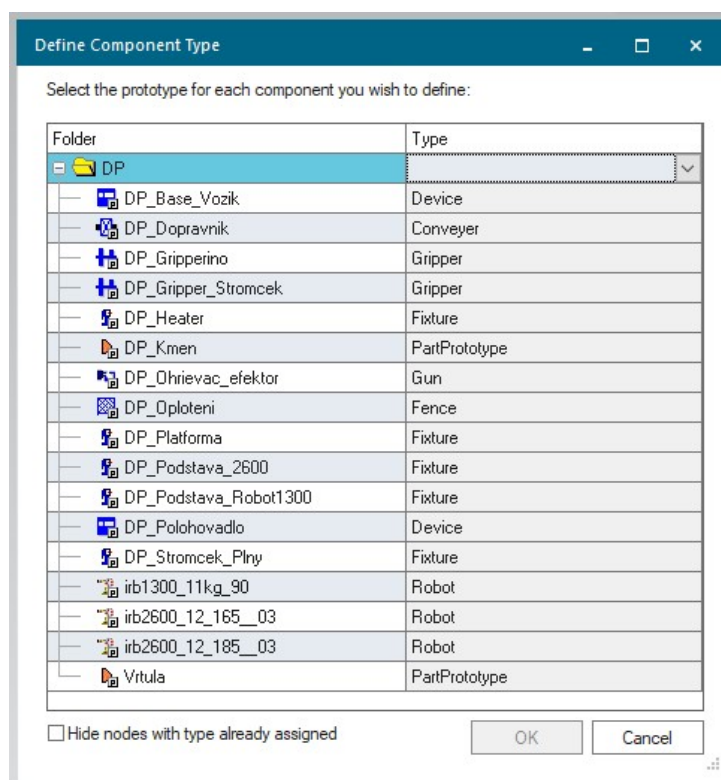
Obr. 41) Oplotenie s bezpečnostnými prvkami

5.4 Tvorba simulácie v Process Simulate

Aby sme mohli začať vytvárať simuláciu, bolo prvým krokom nahráť 3D vymodelované pracovisko z Inventoru do Process Simulate. Keďže zostava v Inventore obsahovala veľa častí ktoré neboli podstatné a len by zaťažovali výkon počítača bolo podstatne vymazať tieto časti. Aby sme si uľahčili prácu, tak sme importovali podzostavy namiesto jednotlivých častí. Tieto podzostavy obsahovali všetky potrebné diely a boli exportované z Inventoru vo forme súborov s príponou .jt Každý súbor s príponou .jt bol následne pre Process Simulate pripravený vytvorením zložky .cojt, ktorá umožňuje Process Simulate tieto súbory otvoriť a spracovať. Polohovadlo a vozík spolu so základňou boli exportované ako jeden celok, aby medzi nimi mohli vzniknúť kinematické väzby, čo je nevyhnutné pre realistickú simuláciu ich vzájomného pohybu. Po importovaní všetkých dielov do Process Simulate bolo potrebné jednotlivé diely premiestniť na správne miesta pomocou funkcie PS Relocate alebo manipulatoru. Pred samotným vložením bolo dôležité definovať všetky diely, pričom roboty boli zadané ako Robots a časti, s ktorými sa bude manipulovať, ako Parts Prototype. Ďalej boli z dostupných zdrojov na internete, konkrétne zo stránok ABB, stiahnuté zložky s robotami určenými pre Process Simulate. Tieto modely robotov boli pripravené na integráciu do simulácie a umožnili nám vytvoriť presné a realistické pracovné prostredie pre simuláciu výrobného procesu.



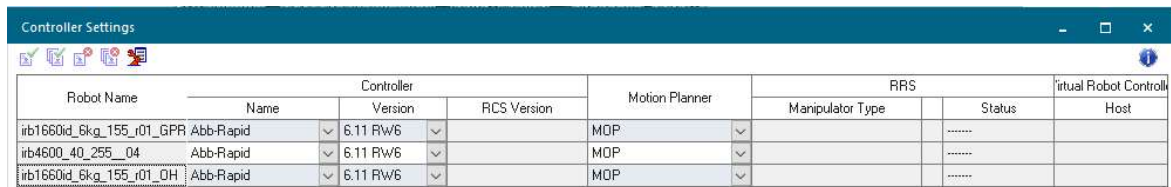
Obr. 42) Výsledný model pracoviška



Obr. 43) Definovanie jednotlivých častí v PS

5.4.1 Roboty a jeho definícia

Po vložení a premiestnení robotov bolo potrebné nastaviť kontrolér na ABB-RAPID a verziu motion planner ponechať na MOP, pretože zatiaľ nemáme prepojenie cez VRC server s Robot Studiom. Ďalej bolo potrebné do robota nahrať jeho base.sys dáta, ktoré sú kľúčové na nastavenie zón a jednotlivých rýchlostí robota, reltool, wobj atool data. Čo zabezpečilo správnu konfiguráciu a pripravenosť robotov na simuláciu, čo je nevyhnutné pre presné a efektívne vykonávanie simulovaných operácií.

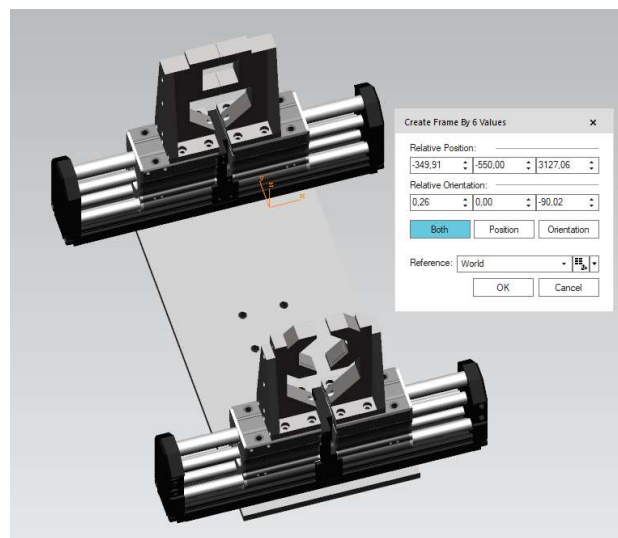


Robot Name	Controller			Motion Planner	RRS		Virtual Robot Control
	Name	Version	RCS Version		Manipulator Type	Status	
irb1660id_6kg_155_r01_GPR	Abb-Rapid	6.11 RW6		MOP		
irb4600_40_255_04	Abb-Rapid	6.11 RW6		MOP		
irb1660id_6kg_155_r01_OH	Abb-Rapid	6.11 RW6		MOP		

Obr. 44) Nastavenie kontrolerov v PS

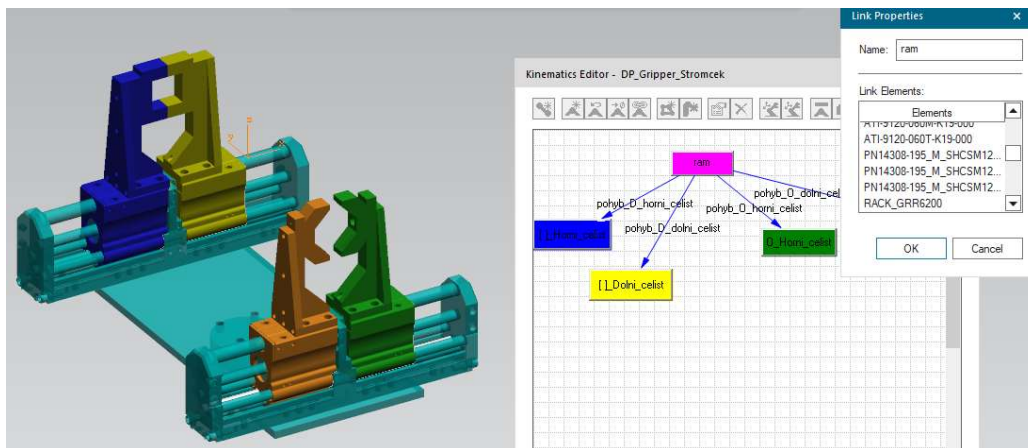
5.4.2 Definícia koncových efektorov

Pri definovaní koncových efektorov bolo potrebné nastaviť každému jeho TCP (Tool Center Point) a priradiť mu bod FLANGE, pomocou ktorého sa nástroj pripojí k robotu. Bod FLANGE musel mať taktiež rovnaký súradnicový systém ako robot. Po zadefinovaní týchto bodov bolo ďalej potrebné vytvoriť kinematickú štruktúru.



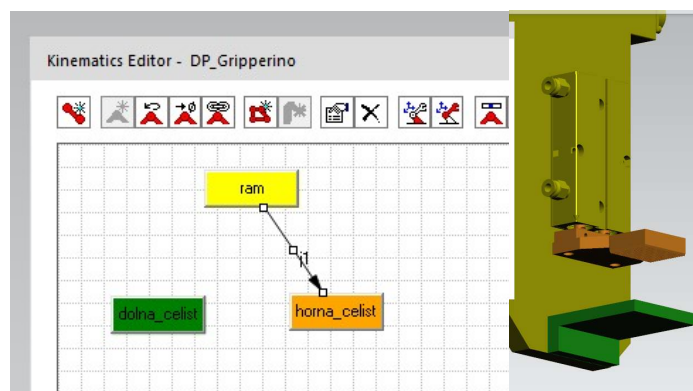
Obr. 45) Definícia TCP

Na definovanie kinematiky bol použitý Kinematics Editor. Kinematika grippera na stromčeky sa skladá z nepohyblivého rámu a štyroch pohyblivých častí. V Kinematics Editoru bolo potrebné zadefinovať, ktoré časti sa budú pohybovať a ktoré zostanú statické. Ako je možné vidieť na obrázku, „ram“ znázorňuje statickú časť grippera, ktorá sa nepohybuje. Jednotlivé entity museli byť správne označené, aby boli zahrnuté do kinematickej štruktúry. Farebné časti O_Horní_celist, O_Dolní_celist, [L]_Horní_celist, [L]_Dolní_celist sú pohyblivé časti. Na definovanie pohybu každej z týchto častí bola vytvorená pohybová väzba pohyb..., v ktorej bol stanovený maximálny výsuv a prísuv jednotlivých čelustí, a ich rýchlosti. Tieto väzby určujú, ako sa jednotlivé časti grippera pohybujú a interagujú, čo je dôležité pre správnu simuláciu ich pohybu a funkčnosti.



Obr. 46) Kinematická štruktúra Gripper na stromy

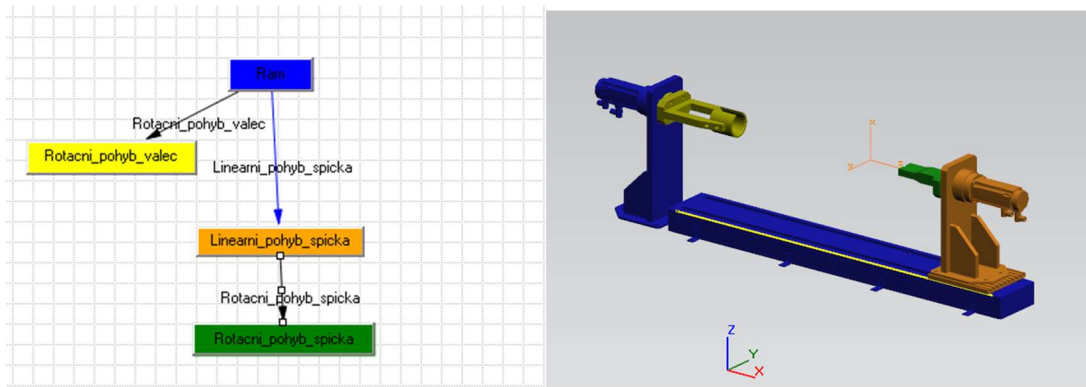
Po vytvorení kinematiky boli v Pose Editore nastavené pozície OPEN a CLOSE. Model bol následne zadaný ako nástroj v Process Simulate. Podobne sa postupovalo aj pri tvorbe kinematiky pre druhý gripper, avšak tam bolo potrebné rozpochybovať iba jednu časť.



Obr. 47) Kinematika v Pose Editore

5.4.3 Kinematika polohovadla a vozíka

Funkcie týchto zariadení sú popísané v kapitole vyššie. Polohovadlo sa skladá z lineárnej pohonnej jednotky a dvoch hliníkových profilov, ku ktorým sú pripevnené motory, ktoré otáčajú držiakmi na prípravok. Podobne na obrázku môžeme vidieť že rám polohovadla znázornená modrou farbou je statická časť polohovadla. Pri polohovadle boli využité dva druhy väzieb: lineárna a rotačná. Špička vyfarbená zelene sa súbežne pohybuje s pohybuje s hliníkovým profilom. Tento pohyb je dosiahnutý tým, že entita „Rotacni_pohyb_spicka“ nasleduje „Linearni_pohyb_spicka“, aby sa zabezpečilo, že sa špička pohybuje spolu s lineárnym pohybom. Rotačné pohyby iniciuje žltá časť, ktorá predstavuje pridržiavač, a zelená časť s drážkou. Tieto časti sú napojené na motory, ktoré umožňujú ich otáčanie.



Obr. 48) Kinematická štruktúra polohovadla

V Pose Editore boli vytvorené tri natáčacie operácie, kde každá bola nastavená na otočenie o 90 stupňov, aby sa kmeň celý otočil. Tieto operácie zabezpečujú, že kmeň môže byť presne a spoľahlivo otáčaný v simulovanom prostredí.



Obr. 49) Pose editor

5.4.4 Operácie

Pri vytváraní jednotlivých robotických operácií bolo potrebné definovať body ako PICK a PLACE, ktoré určujú, kde bude robot daný diel brať a pokladať. Po definovaní týchto bodov sme vytvorili operácie pomocou funkcie New Generic Robot Operation. Body sme väčšinou vkladali tak, že sme presunuli robota pomocou funkcie Move to location a následne pridali aktuálnu pozíciu cez Add Current Location. V operáciách sme využívali funkciu rel_tool, ktorá umožňuje použitie odsadenia od jedného bodu pre priblíženie a oddialenie. Týmto spôsobom sme mohli presne definovať pohyby robotov a uľahčiť si vytváranie bodov. Okrem toho sme pre každú operáciu definovali zóny, pracovné objekty (wobj) a rýchlosti, čo umožnilo presné a efektívne vykonávanie simulovaných operácií. Pre polohovadla a vozík bola vytvorená New device operation.

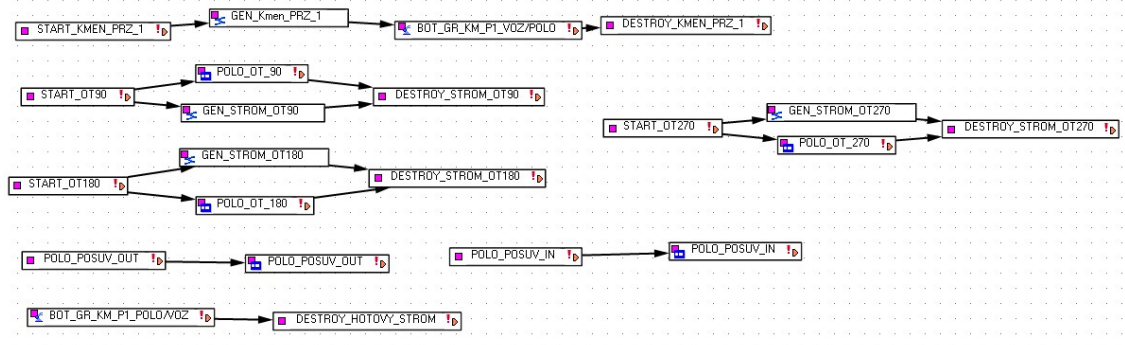
Path	Config	Process T.	Customized Motion	Tool Data	Wobj Data	Motion Type	Speed Data	Zone Data	Load Data	OLP Commands	Duration	Path #
BOT_GPV_P3_PICK	-1.0,0.0			Grippeino	Dopravnik	MoveJ	v500 z10				6.6	
BGPVPS_PICK	-2.0,0.0	Move Rel.	Move RelTool(0.0-150)	Grippeino	Dopravnik	Move Rel Tool (L)	v500 z10				1.94	
BGPVPS_PICK	-2.0,0.0			Grippeino	Dopravnik	MoveJ	v100 fine		# Destination DP_Grippeino # Drive CLOSE # Destination DP_Grippeino #		0.33	
BGPVPS_PICK	-2.0,0.0	Move Rel.	Move RelTool(0.0-150)	Grippeino	Dopravnik	Move Rel Tool (L)	v500 z10				0	
BGPV_DIP	-1.0,1.0	Move Rel.	Move RelTool(0.0-200)	Grippeino	Heater	Move RelTool (L)	v500 z10				2.61	
BGPV_DIP	-1.0,1.0			Grippeino	Heater	MoveJ	v100 fine				0	
BGPV_DIP	-1.0,1.0	Move Rel.	Move RelTool(0.0-200)	Grippeino	Heater	Move RelTool (L)	v500 z10				0	
BOT_GPV_P10_PICK	-1.0,0.0			Grippeino	Dopravnik	MoveJ	v500 z10				4.7	
BGPVP10_PICK	-1.0,0.0			Grippeino	Dopravnik	Move Rel Tool (L)	v500 z10				1.94	
BGPVP10_PICK	-1.0,0.0	Move Rel.	Move RelTool(0.0-150)	Grippeino	Dopravnik	MoveJ	v100 fine		# Destination DP_Grippeino # Drive CLOSE # Destination DP_Grippeino #		0	
BGPVP10_PICK	-1.0,1.0	Move Rel.	Move RelTool(0.0-200)	Grippeino	Dopravnik	Move Rel Tool (L)	v500 z10				2.76	
BGPV_DIP	-1.0,1.0	Move Rel.	Move RelTool(0.0-200)	Grippeino	Heater	Move RelTool (L)	v500 z10				0	
BGPV_DIP	-1.0,1.0			Grippeino	Heater	MoveJ	v100 fine				0	
BGPV_DIP	-1.0,1.0	Move Rel.	Move RelTool(0.0-200)	Grippeino	Heater	Move RelTool (L)	v500 z10				0	

Obr. 50)

Po vytvorení operácií sme ich prešli pomocou funkcie AutoTech ktorá pridala jednotlivým trajektóriam konfiguráciu robota. Avšak tu sme došli na problém keďže plán bol využiť robota IRB 1600 ale na stránach ABB všetky konfigurácie IRB1600 mali nefunkčný „config“ kvôli čomu nevedeli zaznamenávať suradnice natočenia jednotlivých bodov. Preto sme sa rozhodli pre využitie IRBID1600 ktorý je určený na zváranie. Avšak po vymeneni robota táto funkcia fungovala. Konfigurácia sa využila po nasledné nahratie do Robot Studia. Pre jednotlivé operácie pri ktorých dochádzalo k manipuláciám s robotom boli vytvorené OLP príkazy v ktorých sme zadefinovali o aký gripper sa bude používať s čím bude manipulovať a do akej pozície sa dostane OPEN alebo CLOSE

5.4.5 Materialový tok a line simulation

Dalším krokom ku virtuálnemu sprovozneniu po vytvorení operácií bolo vytvorenie materiálového toku. Kde pred tým bolo potrebné vytvoriť flow operácie jednotlivých dielov. Flow operácia definovala miesto kde sa jednotlivé diely zobrazia. Ďalej boli vytvorené non-sim operácie ktoré dávali príkaz na spustenie tvorby dielu a jeho zničenie čo má predstavovať celý výrobný proces. Material flow bol rozdelený do niekoľko častí jednak prichod dielov cez dopravník kde boli vytvorené dve palety skazdá po 16 dieloch. Non-sim blok bol pomenovaný ako START_2PALETY podobne boli pomenované aj ostatné začínajúce bloky. FLOW operácie boli pomenované ako GEN_2PALETY keďže išlo o generovanie. Material flow začína vytvorením dvoch palet na dopravníku ktoré potom presunul dopravník do pozície kde s nimi manipuluje robot. Simultanne prichádza aj vozík s kmenami. Posuv vozíka jeak bolo spomenuté je v material flow použité ako Device operation.



Obr. 51) Materialový tok

5.5 Tia portal PLC

Ďalším krokom bolo prepojenie signálu z PS do Tiaportálu cez PLC Sim Advanced. Toto sa realizovalo pomocou sekcie PLC Tags pod PLC kontrolérom. Jednotlivé tagy sa ďalej roztriedili na rôzne typy, ako sú RobotTags a Sensors. Bolo nevyhnutné zabezpečiť, aby

tagy boli pod správnou dátovou štruktúrou a správne adresované s príslušným bitom pre vstup alebo výstup.

Následným krokom bolo nastavenie dátových blokov. Najprv sa pod sekciou PLC data types vytvorili jednotlivé dátové štruktúry, ako sú HMI, ERRORS, SENSORS a ABB zložka so vstupmi a výstupmi pre jednotlivé roboty. Doplnili sa premenné so správnou dátovou štruktúrou, ktoré sa následne adresovali v programoch PLC. Jednotlivé dátové typy bolo potrebné vytvoriť v programových blokoch, ako sú Data Blocks (DB).

Ďalší krok sa zamerával na mapovanie premenných v PLC. Na tento účel sa vytvorili funkčné bloky (FC). Každá premenná musela byť namapovaná, aby mohla byť zapisovaná do Process Simulate alebo RobotStudio. Týmto spôsobom pripravené PLC umožňovalo začať s programovaním.

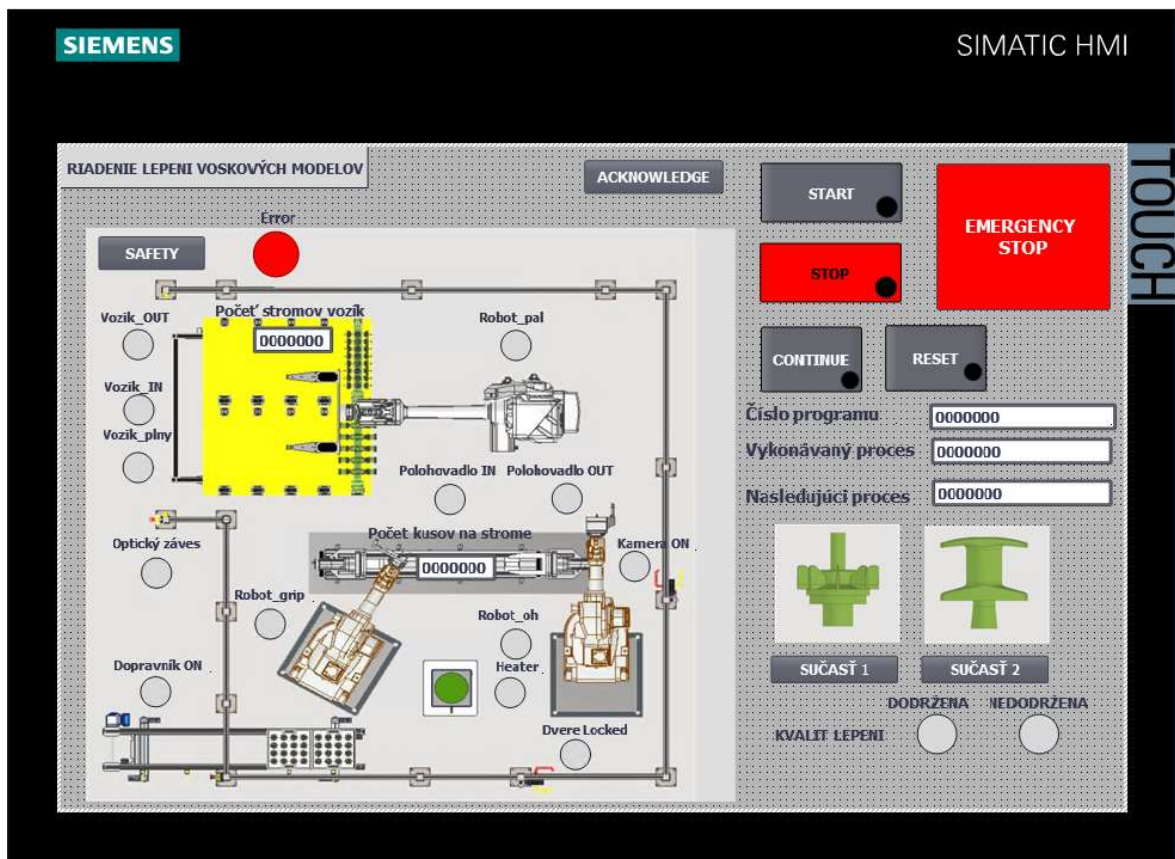
Prvé bloky boli zamerané na spúšťanie a vypínanie jednotlivých motorov, nasledovali bloky na ovládanie robotov a polohovadla. Po vyhotovení týchto blokov nasledovalo riadenie zapínania a vypínania motorov. Tento blok bol asimilovaný z dostupných zdrojov a upravený, aby fungoval pre túto aplikáciu.

Poslednou časťou bola štruktúra CASE, ktorá funguje ako stavový automat a rieši zapínanie a vypínanie motorov. Na základe predchádzajúcich podmienok sa stanoví príslušný n_state, ktorý sa odkazuje na túto časť. V tomto stave sa vykoná požadovaná činnosť a podľa jej odpovede sa ďalej riešia stavy. Jednotlivé stavy sú podrobne popísané na priložených obrázkoch, pričom väčšinou ide o nastavovanie signálov.

5.5.1 HMI

V nadväznosti na predchádzajúcu kapitolu bolo vytvorené HMI (Human-Machine Interface), ktoré je nevyhnutnou súčasťou pri riadení výrobných pracovísk. Tento panel bol navrhnutý tak, aby obsluha mala prehľad o aktivite jednotlivých zariadení robotической bunky, priebehu práve prebiehajúcich operácií, aktuálnom stave materiálového toku a možnosti riadenia pracoviska pomocou nasledujúcich tlačidiel:

- Start – na spustenie výrobného procesu
- Stop – na ukončenie výrobného procesu
- Emergency Stop – na okamžité vypnutie procesu a zastavenie všetkých pohyblivých častí
- Reset – nasleduje po aktivácii tlačidla Emergency Stop, obnovuje systém do pôvodného stavu
- Continue – na pokračovanie programu po zastavení
- Súčasť 1, Súčasť 2 – zakliknutím aktivuje zmenu programu pre výrobu rôznych dielov



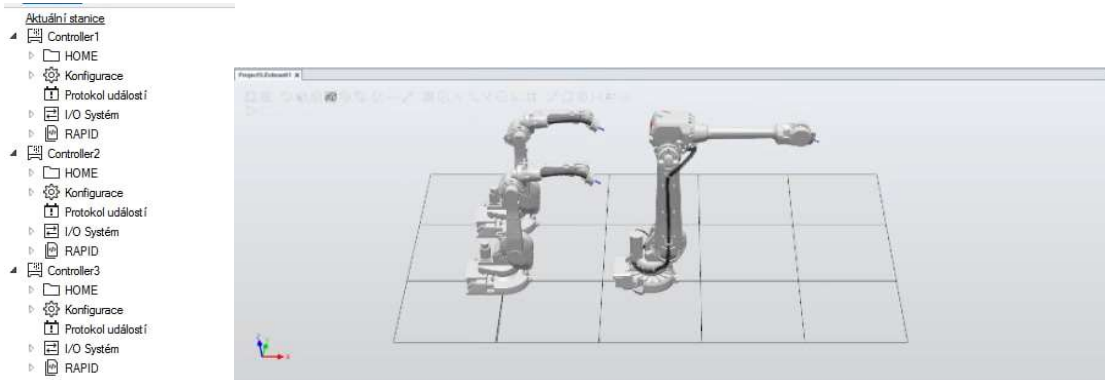
Obr. 52) HMI

5.5.2 Virtuálny kontrolér a robot studio

Ako prvú vec sme do robotstudia vložili použité roboty IRB 4600 a IRBID1600 a robotweroom 6.11. Potom sme vytvorili virtuálny kontrolér. Ktorý v našom prípade bol IRC5 ako bolo určené pri návrhu pracoviska, a je podporovaný v PS a aj VRC serverom. Ku každému robotu bol vytvorený zvlášť virtuálny kontrolér v rámci nasledujúceho postupu tvorby riadenia pomocou virtuálneho kontroléra je popísaný jeden z nich u ostatných bol postup podobný.

Následne boli zapísané a vytvorené jednotlivé signály. V složke I/O sme sme vkládali signály ako do _GripperOpen ktoré ovládajú jednotlivé gripperi na robotoch.

Potom ako boli všetky signály vytvorené museli sme im priradiť funkcie.



Obr. 53) Vľavo – navrhnuté virtuálne kontroler, vpravo - vložené roboty v RS

Roboty sú riadené pomocou týchto signálov zobrazených na obrázku (na obrázku je zobrazená len časť). Signály sú rozdelené podľa funkčnosti na vstupné a výstupné, viď obrázok. Zároveň sa tu nachádzajú aj signály na riadenie otvárania a zatvárania koncových efektorov, ktoré sú nevyhnutné na manipuláciu s objektmi počas manipulácie.

Typ	Name	Type of Signal	Assigned to De
Access Level	ES1	Digital Input	PANEL
Cross Connection	ES2	Digital Input	PANEL
Device Trust Level	Gripper_close	Digital Output	
EtherNet/IP Command	Gripper_Closed	Digital Input	
EtherNet/IP Device	Gripper_Open	Digital Output	
EtherNet/IP Device	Gripper_Opened	Digital Input	
Industrial Network	GS1	Digital Input	PANEL
Route	GS2	Digital Input	PANEL
Signal	MAN1	Digital Input	PANEL
Signal Safe Level	MAN2	Digital Input	PANEL
Signal Safe Level	MANFS1	Digital Input	PANEL
System Input	MANFS2	Digital Input	PANEL
System Input	MONPB	Digital Input	PANEL
System Output	MOTLMP	Digital Output	PANEL
	Motors_OFF	Digital Output	
	Motors_OFF_State	Digital Input	
	Motors_ON	Digital Output	
	Motors_ON_State	Digital Input	

Obr. 54) Vstupné a výstupné signály k řízení a koncového efektoru

Typ	Signal Name	Status	Argument 1	Argument 2	Argument 3	Argument 4	Argument 5	Argument 6	Argument 7	Argument 8
Access Level	Robot1_CycleON	Cycle On	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Cross Connection	Robot1_EStop	Emergency Stop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Device Trust Level	Robot1_RunChainOK	Runchain OK	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
EtherNet/IP Command	Motors_OFF	Motors Off	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
EtherNet/IP Device	Motors_ON	Motors On	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
EtherNet/IP Device	Auto_ON	Auto On	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Industrial Network	MOTLMP	Motors On	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Route										

Obr. 55) Tvorba výstupných signálov Virtuálneho kontroléra

Typ	Signal Name	Action	Argument 1	Argument 2	Argument 3	Argument 4	Argument 5	Argument 6	Argument 7	Argument 8	Argument 9
Access Level	Robot1_PP_To_Main	PP to Main	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	T_ROB1	N/A	N/A
Cross Connection	Robot1_Start	Start	Cycle	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Device Trust Level	Robot1_Start_At_Main	Start at Main	Cycle	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
EtherNet/IP Command	Robot1_Reset	Reset Emergency Stop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
EtherNet/IP Device	Program_Load	Load	HOME Virtule.mod	T_ROB1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
EtherNet/IP Device	Robot1_Stop	Stop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Industrial Network											
Route											

Obr. 56) Tvorba vstupných signálov Virtuálneho kontroléra

Tieto signály boli vytvorené v rozhraní Instance editoru, kde je vybrané označenie signálu (to musí byť zhodné s názvom signálu v PS). Ďalej je potrebné vybrať typ akcie, ktorý je defaultne predvytvorený a priradený danému typu kontroléra. V poslednom kroku bolo potrebné definovať, či sa daná operácia bude odohrávať v cykle alebo nie. Príklad nastavovania signálu je zobrazený na obrázku.

Jméno	Hodnota	Informace
Signal Name	Robot1_Start	Změněno
Action	Start	Změněno
Argument 1	Cycle	Změněno

Obr. 57) Příklad nastavovania vstupných výstupných signálov

5.6 Virtualne zprovoznenie

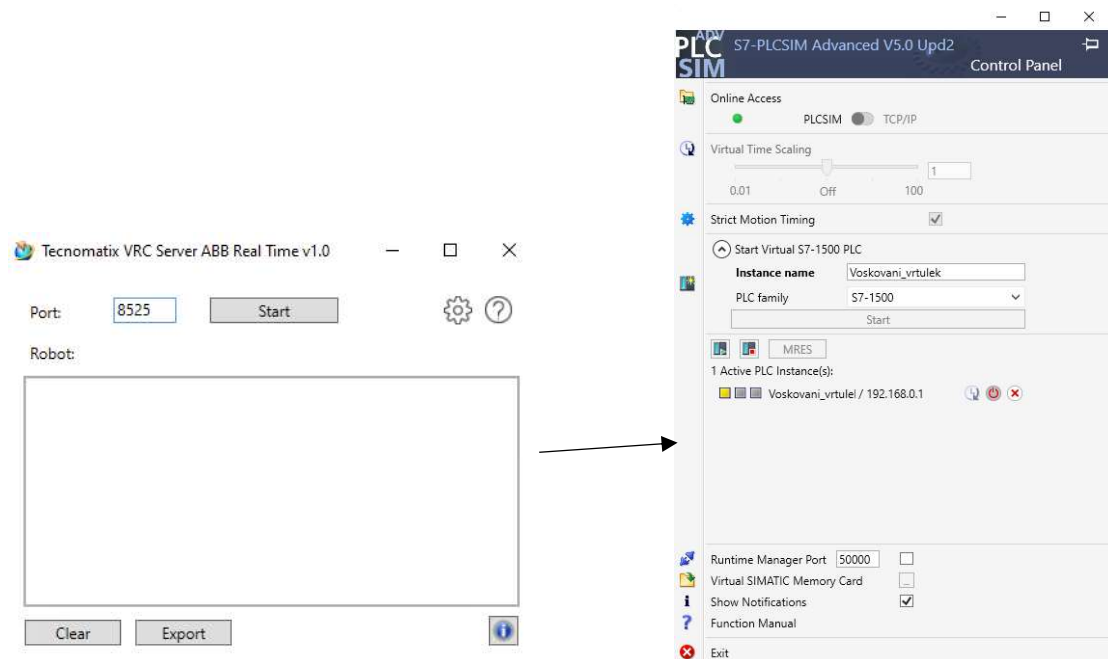
V tejto kapitole sa zameriame na prepojenie softvérov Process Simulate (PS) a Robot Studio (RS) pomocou VRC servera, ako aj na prepojenie PS s TIA Portálom cez PLCSIM Advanced. Tieto kroky sú nevyhnutné na vytvorenie realistickej simulácie, ktorá verne kopíruje reálny výrobný proces.

VRC Server

Na prepojenie PS s RS bol využitý VRC server. V tomto kroku bolo potrebné nastaviť číslo portu určujúce adresu, po ktorej bude komunikácia prebiehať. Nastavený port bol 8523. Na úspešné prepojenie PS a RS bolo tiež potrebné prepnúť simuláciu v PS do režimu LineSimulation a External Connection.

PLCSIM Advanced

Druhá časť prepojenia predstavovala sprostredkovanie spojenia medzi PS a TIA. Toho bolo docielené pomocou programu od spoločnosti Siemens, PLCSIM Advanced vo verzii 3.0. Aby bolo nastavenie funkčné, je potrebné definovať instanciu spojenia, nahráť do nej PLC, validovať v externom prepojení PS pomocou funkcie validate a instanciu spustiť.



Obr. 58) Vľavo – VRC Server, Vpravo – PLCSIM Advanced v3.0

6 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Táto diplomová práca sa zaoberala návrhom a virtuálnym zprovoznením robotického pracoviska pre lepenie voskových modelov, ktoré sú určené na presné liatie. Cieľom bolo vytvoriť efektívny, spoľahlivý a bezpečný systém, ktorý by zlepšil kvalitu a produktivitu výrobného procesu, pričom sa zohľadnili moderné technologické postupy a nástroje.

Praktická časť práce sa zamerala na detailný návrh jednotlivých komponentov pracoviska, ako sú polohovadlo, gripper a nahrievacia hlava. Použitím softvéru Process Simulate sme vytvorili simuláciu, ktorá zahŕňala definovanie kinematických štruktúr a operácií. Vďaka tejto metóde sme mohli simulovať reálnu spätnú väzbu a optimalizovať riadiace programy pre PLC. V práci bola tiež podrobne popísaná bezpečnosť a celý proces v Process Simulate.

Pri návrhu podobnej práce v budúcnosti by som zvážil čas venovaný návrhu a vývoju jednotlivých komponentov. Mohlo by byť užitočné zvážiť využitie jednoduchších variantov pre zjednodušenie celého procesu a zníženie zložitosti. Takýto prístup by mohol urýchliť celý proces a znížiť náklady bez kompromisov na kvalite a efektivite.

Záverom možno povedať, že práca dosiahla svoje ciele a priniesla cenné poznatky pre oblasť automatizácie výroby a presného liatia. Výsledky tejto práce môžu byť aplikované v praxi a prispieť k zlepšeniu kvality a efektivity výrobných procesov v rôznych priemyselných odvetviach. Táto práca tiež ukázala, že virtuálne zprovoznenie je účinný nástroj pre plánovanie a optimalizáciu výrobných procesov, čo môže významne prispieť k inováciám a zlepšeniam v priemysle.

7 ZÁVĚR

Táto diplomová práca bola rozdelená na dve základné kapitoly a to: rešeršnú časť a praktickú časť. Prvá, teda rešeršná časť tejto práce je ďalej rozdelená na dve kapitoly. Rozbor súčasného stavu je prvou kapitolou. V tejto kapitole sa krátko venujem presnému liatiu. Ďalej sú tu spomenuté základné znalosti a náležitosti z oblasti robotiky a PLC programovania. Nasleduje vysvetlenie pojmov ako online a offline programovanie, zoznámenie s ich výhodami a nevýhodami. Záver tejto podkapitoly sa zmieňuje o virtuálnom sprevádzkovaní a jeho veľkých prínosoch pre dnešný priemysel.

Nasleduje druhá kapitola, rozbor riešenej problematiky, kde sa snažím čitateľa viac zoznámiť s danou úlohou a jej možným riešením. Snažím sa tiež detailnejšie popísať možné komplikácie pri riešení tejto úlohy. V tejto kapitole je aj podrobný výpočet robotov, prvkov a prípravkov, ktoré budú potrebné pre manipuláciu. Niektoré prvky bolo nutné skonštruovať, ich konštrukcia bola vykonaná v softvéri Inventor od spoločnosti Autodesk.

Posledná kapitola je čisto praktického charakteru. V stručnosti sa snažím popísať, ako som postupoval a ako moja práca vyzerala. Pracovisko bolo vymodelované v aplikácii Inventor, materiálový tok a pohyb robotov bol naprogramovaný v programe Process Simulate. Program Robot Studio tu slúži na komunikáciu. PLC programovanie bolo vykonané v TIA Portali, a tiež tu došlo k výslednému spojeniu.

Zistil som, že som dosiahol všetky ciele diplomovej práce. Chcel by som však podotknúť, že problematike virtuálneho sprevádzkovania a PLC programovania sa venujú celé tímy odborníkov. Som si teda vedomý, že táto práca má drobné nedostatky. Tieto nedostatky je však možné ďalej doladiť, a teda na túto prácu nadviazať v budúcnosť

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ERBOZ, Gizem. *How To Define Industry 4.0: Main Pillars Of Industry 4.0*. [online]. In: . [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/326557388_How_To_Define_Industry_4_0_Main_Pillars_Of_Industry_4_0
- [2] *What is Industry 4.0?* [online]. In: . [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>
- [3] A KADIR, Bzhwen. *Designing new ways of working in Industry 4.0* [online]. In: . [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.2.33234.79041
- [4] *Which Metals Work Best for Investment Casting?* [online]. In: . [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.investmentcastchina.com/best-metals-for-investment-casting/>
- [5] *Investment Casting Process Steps (Lost Wax)* [online]. In: . [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://americancastingco.com/investment-casting-process/>
- [6] *Investment Casting* [online]. 14 April. London: CRC Press, 2023. ISBN 9781003419228. Dostupné z: doi:10.1201/9781003419228
- [7] HORÁČEK, Milan. *ROZMĚROVÁ PŘESNOST ODLITKŮ VYRÁBĚNÝCH METODOU VYTAVITELNÉHO MODELU: <https://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/technologie-vytavitelneho-modelu/technologie-vytavitelneho-modelu.pdf>* [online]. In: . Brno [cit. 2024-05-18].
- [8] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. 2016. Brno: VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [9] *Off-line programování robotů ve světě covidu-19* [online]. In: . [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.vseoprumsly.cz/robotizace/roboty-software/off-line-programovani-robotu-ve-svete-covidu-19.html>
- [10] TURNBULL, CHARLOTTE. *WHAT IS VIRTUAL COMMISSIONING?* [online]. In: . [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://virtualcommissioning.com/what-is-virtual-commissioning/>
- [11] *Virtual Commissioning – Software Testing Not Just in IT* [online]. In: . [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.nearshore-it.eu/articles/technologies/virtual-commissioning-software-testing/#what-is-virtual-commissioning>
- [12] *VIRTUAL COMMISSIONING MARKET REPORT OVERVIEW* [online]. In: . [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/virtual-commissioning-market-100355>

- [13] KULHÁNEK, Martin. *DIGITÁLNÍ DVOJČE. ve výrobě převodovek ŠKODA AUTO a.s. Vrchlabí. Martin Kulhánek PKD/ PUBLIC* [online]. In: . [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/206144268-Digitalni-dvojce-ve-vyrobe-prevodovek-skoda-auto-a-s-vrchlabi-martin-kulhanek-pkd-public.html>
- [14] DZINIC, JASMIN a CHARLIE YAO. *Simulation-based verification of PLC programs* [online]. In: . Gothenburg,Sweden, s. 43 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/195493/195493.pdf>
- [15] *What's new in automation?* [online]. In: . [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/whats-new-in-automation/>
- [16] *RobotStudio®: PRODUKTOVÝ LIST* [online]. In: . [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A4796&%20LanguageCode=cs&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [17] *RobotStudio® Suite* [online]. In: . [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio>
- [18] ROBOGUIDE. In: *Www.fanuc.eu* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD/roboguide>
- [19] *ROBOT SOFTWARE ROBOGUIDE* [online]. In: . [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/robot-simulation-software-FANUC-ROBOGUIDE>
- [20] *KUKA.Sim 4.0 simulation software* [online]. In: . Dostupné také z: <https://www.automation-fair.com/kuka-sim-4-0-simulation-software/>
- [21] *KUKA.PLC mxAutomation* [online]. In: . Dostupné také z: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/software/hub-technologies/kuka,-d-,plc-mxautomation>
- [22] *DIGITÁLNÍ TOVÁRNA TECNOMATIX* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/24751-digitalni-tovarna-tecnomatix>
- [23] *Reducing onsite virtual commissioning time by 30 percent and overall costs by 20 percent* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://resources.sw.siemens.com/en-US/case-study-estun-automation>
- [24] *DELMIA* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://4dsysco.com/delmia>
- [25] *DELMIA Digital Manufacturing Software* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://discover.3ds.com/delmia-digital-manufacturing-software>
- [26] *Visual Components* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://solicad.com/h/visual-components>

- [27] *Princip činnosti PLC* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/967>
- [28] BRAŽINA, Jakub. *Virtuální zprovoznění výrobního systému*. Brno, 2019. Diplomová práce. Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.
- [29] *Řízení programovatelnými automaty*. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 978-80-01-02925-1.
- [30] *PLC Programming with SIMATIC STEP7* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal/software/step7-tia-portal.html>
- [31] *What is OPC?* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>
- [32] *Reality has no reset button: SIMIT - Virtual commissioning and operator training* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:15c6f91e-136f-465c-aba7-a13f01a8de46/simit-broschuere-en.pdf> 36. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/660/109739660/att_909460/v1/109739660_PLCSIM_Advanced_DOCU_V10_en.pdf
- [33] *What is S7-PLCSIM Advanced?* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant_sim_help/15.1/plant_sim_all_in_one_html/en_US/tecnomatix_plant_simulation_help/add_ins_reference_help/inter_process_communication_interfaces/plcsim/what_is_s7_plcsim_advanced.html
- [34] ŠMATELKA, JAKUB. *TECHNOLOGIE LITÍ NA VYTAVITELNÝ MODEL - PŘEHLED VAD*. Brno, 2012. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [35] *Investment Casting Waxes: Different Wax Types* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.improrecision.com/investment-casting-waxes-different-wax-types/>
- [36] *ABB Robotics - Lost Wax Mold Assemble & Weld* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=jiAQVU1e42M>
- [37] *MPI Sticky Cell - Introducing the new model 20-12 machine* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=pq_N_RJD6U8&list=PLi_yymdgcDCEWgs1kf_qb8R1m1avXMWmP&index=5
- [38] *Layout of Automatic Wax Assembly and Cleaning System* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: https://www.dsa-auto.com.tw/en/p3_precision-3.php

- [39] COLLINS, Danielle. *What are pallet conveyors?* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.motioncontroltips.com/what-are-pallet-conveyors/>
- [40] VOJÁČEK, Antonín. *Dopravníkové systémy v průmyslu - 1. díl* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/dopravnikove-systemy-v-prumyslu-1-dil.html>
- [41] *Vitrans Timing Belt Conveyor for Pallet Conveyor System* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.vitrans-conveyor.com/toothed-belt-pallet-conveyor/62799998.html>
- [42] *IRBP L* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece-positioners/irbp-l>
- [43] *Rozdíl mezi kartézskými, šestiosými a SCARA roboty* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.evsint.com/cs/differences-between-cartesian-six-axis-and-scara-robots/>
- [44] *IRB 1600* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/roboty/prumyslove-roboty/irb-1600>
- [45] HOBEL, EMORY. *7 SENSORS USED IN MANUFACTURING* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.emxindustrialsensors.com/7-sensors-used-in-manufacturing/>
- [46] *SIMATIC S7-1500* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.ptnamico.co.id/product/179183-180237/simatic-s7-1500>
- [47] *IRC5: Industrial Robot Controller* [online]. In: . [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0295EN&Language>
- [48] *IRB 4600* [online]. In: . [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC032885-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [49] *GRR12-6-63X250-L9* [online]. In: . [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://shop.hartfiel.com/products/GRR12-6-63X250-L9>
- [50] *Vitrans Conveyor Pallet for Industrial Conveyor Systems* [online]. In: . [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.vitrans-conveyor.com/conveyor-pallet/62800526.html>
- [51] *ILE 20/20 HEAVY-DUTY LINEAR UNITS FOR INCREASED LOADS AND FEED FORCES!* [online]. In: . [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.isel.com/en/ile20-20-linear-unit.html>

9 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

9.1 Skratky

SiL	Software in the Loop
HiL	Hardware in the Loop
HMI	Human Machine Interface
TCP	Tool center point
PS	Process Simulate
RS	Robot Studio
OLP	Robot Offline Programming
VRC	Virtual Robot Controller

9.2 Seznam obrázků

OBR. 1) DEVÄŤ PILIEROV PRIEMYSLU 4.0 [3].....	21
OBR. 2) DIELY VYROBENÉ PRESNÝM LIATÍM [4]	22
OBR. 3) PROCES VYTVÁRANIA STROMU [5]	22
OBR. 4) PROCES VYTVÁRANIA FORMY A NÁSLEDNÉ ODLIEVANIE A SPRACOVANIE [5]	23
OBR. 5) POROVNANIE TRADIČNÉHO ZPROVOZNENIA S VIRTUÁLNYM [11] 25	
OBR. 6) SCHÉMA VIRTUÁLNEHO ZPROVOZENIA [11]	25
OBR. 7) VIRTUALNE ZPROVOZNENIE A JEHO ČASTI [13]	26
OBR. 8) SOFTWARE IN THE LOOP [15]	27
OBR. 9) HARDWARE IN THE LOOP [15]	27
OBR. 10) CYKlickÁ PRÁCA PLC [27]	30
OBR. 11) SCHÉMA STROMČEKU [34]	33
OBR. 12) VOSKOVÉ GRANULE PRE PRESNÉ LIATIE [35]	34
OBR. 13) NAHRIEVANIE DIELOV A STROM ZÁROVEŇ [36].....	35
OBR. 14) PREDNAHRIEVANIE PRE SPOJ [37]	35
OBR. 15) LAYOUT PRACOVISKO PRE TVORBU A PALETIZÁCIU VOSKOVÝCH STROMOV [38]	36
OBR. 16) REMEŇOVÝ DOPRAVNÍK S PNEUMATICKÝMY VALCAMI [39] ..	37
OBR. 17) REMEŇOVÝ DOPRAVNÍ [41].....	37
OBR. 18) POLOHOVADLO ABB IRBP L [42].....	38
OBR. 19) KARTÉZSKÝ ROBOT [43]	39

OBR. 20) PRIEMYSELNÝ ROBOT ABB IRB 1600 [44]	39
OBR. 21) INDUKČNE SENZORY VO VÝROBNEJ LINKE [45].....	40
OBR. 22) SIMATIC S7 -1500 [46].....	41
OBR. 23) IRC 5 [47]	42
OBR. 24) VĽAVO SA NACHÁDZA DIEL VRTULEA PRED ÚPRAVOU A VPRAVO PO ÚPRAVE	43
OBR. 25) VĽAVO DIEL RÚČKA PRED ÚPRAVOU V PRAVO PO ÚPRAVE ..	43
OBR. 26) STROM S VRTULAMI	44
OBR. 27) KMEŇ S ÚCHYTKAMI.....	44
OBR. 28) PÔDORYSNÝ POHLAĎ NA PRACOVISKO	45
OBR. 29) UMIETNENIE ROBOTY NA PRACOVISKU	46
OBR. 30) IRB 4600 AJ JEHO PRACOVNÝ ROZSAH [48]	46
OBR. 31) GRIPPER NA MIPULOVANIE S DIEĽMI.....	47
OBR. 32) PNEUMATICKÝ GRIPPER GRR12 [49]	48
OBR. 33) GRIPPER NA STROMY	48
OBR. 34) KONVCOVÝ EFEKTOR S NAHRIEVACOU HLAVOU.....	49
OBR. 35) DOPRAVNÍK MODEL FC2 S DVOMA PALETAMI.....	49
OBR. 36) VĽAVO MODELI NA PALETE, VPRAVO PALETA WA2 [50].....	50
OBR. 37) LINEÁRNA POHONNÁ JEDNOTKA [51].....	51
OBR. 38) POLOHOVADLO	51
OBR. 39) ZNAZORNENÉ ULOŽNIE A ZORNÉ POLE KAMERY	52
OBR. 40) VOZÍK S DVOMA STROMAMI	52
OBR. 41) OPLOTENIE S BEZPEČNOSTNÝMI PRVKAMI.....	54
OBR. 42) VÝSLEDNÝ MODEL PRACOVISKA	55
OBR. 43) DEFINOVANIE JEDNOTLIVÝCH ČASTÍ V PS.....	55
OBR. 44) NASTAVENIE KONTROLEROV V PS.....	56
OBR. 45) DEFINÍCIA TCP	56
OBR. 46) KINEMATICKÁ ŠTRUKTÚRA GRIPPER NA STROMY.....	57
OBR. 47) KINEMATIKA V POSE EDITORE	57
OBR. 48) KINEMATICKÁ ŠTRUKTÚRA POLOHOVADLA	58
OBR. 49) POSE EDITOR.....	58
OBR. 50) 58	
OBR. 51) MATERIÁLOVÝ TOK.....	59
OBR. 52) HMI.....	61
OBR. 53) VĽAVO – NAVRHNUTÉ VIRTUÁLNE KONTROLER, VPRAVO - VLOŽENÉ ROBOTY V RS.....	61

OBR. 54) VSTUPNÉ A VÝSTUPNÉ SIGNÁLY K ŘÍZENÍ A KONCOVÉHO EFEKTORU.....	62
OBR. 55) TVORBA VÝSTUPNÝCH SIGNÁLOV VIRTUÁLNEHO KONTROLÉRA	62
OBR. 56) TVORBA VSTUPNÝCH SIGNÁLOV VIRTUÁLNEHO KONTROLÉRA	62
OBR. 57) PŘÍKLAD NASTAVOVANIA VSTUPNÝCH VÝSTUPNÝCH SIGNÁLOV.....	62
OBR. 58) VĽAVO – VRC SERVER, VPRAVO – PLCSIM ADVANCED V3.0.....	63

10 SEZNAM PŘÍLOH

Prilohy v elektrickej podobe:

- Video priebehu simulácie – Manak_video (formát MP4)

PŘÍLOHY