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

DIGITÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ ROBOTIZOVANÉHO VÝROBNÍHO SYSTÉMU PRO MANIPULACI KOSTRAMI ASYNCHRONNÍCH MOTORŮ

DIGITAL COMMISSIONING OF A ROBOTIC PRODUCTION SYSTEM FOR HANDLING ASYNCHRONOUS MOTOR HOUSING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Adam Hrala
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Jan Vetiška, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2023

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	**Bc. Adam Hrala**
Studijní program:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	**Ing. Jan Vetiška, Ph.D.**
Akademický rok:	2022/23

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:

Digitální zprovoznění robotizovaného výrobního systému pro manipulaci kostrami asynchronních motorů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Stále aktuálním cílem průmyslu je zvyšování produktivity práce a jakosti výroby. Možností jak tohoto cíle dosáhnout je robotizace rutinních činností. Tato práce se zaměřuje na robotizovanou manipulaci s obrobky. Cílem práce je zjistit aktuální stav v oblasti virtuálního zprovoznění robotizované manipulace s obrobky a zpracovat buňku pro zadaný výrobek.

Cíle diplomové práce:

Rešerše současného stavu poznání.
Popis úlohy.
Systémový rozbor.
Konstrukce potřebných zařízení.
Virtuální zprovoznění.

Seznam doporučené literatury:

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

KOLÍBAL,Z. a kol.: Roboty a robotizované výrobní technologie. VUTIUM Brno, 2016, ISBN 978-80- 214-4828-5.

NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Zaměření diplomové práce se týká virtuálního zprovoznění pracoviště pro obrábění koster asynchronních elektromotorů. Součástí je základní popis manipulace a parametrů pro její automatizaci, typů manipulačních zařízení, koncových efektorů a virtuálního zprovoznění. V druhé části je vytvořen návrh celkového pracoviště skládající se z návrhu konstrukce koncového efektoru, vytvoření layoutu pracoviště a následného virtuálního zprovoznění.

ABSTRACT

The focus of the diploma thesis concerns the virtual commissioning of the workplace for machining the skeletons of asynchronous electric motors. It includes a basic description of handling and parameters for its automation, types of handling devices, end effectors and virtual commissioning. In the second part, the design of the overall workplace is created, consisting of the design of the end effector structure, creation of the workplace layout and subsequent virtual commissioning.

KLÍČOVÁ SLOVA

Manipulační operace, robotické pracoviště, koncový efektor, konstrukční návrh, virtuální zprovoznění

KEYWORDS

Handling operations, robotic workplace, end effector, construction plan, virtual commissioning

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRALA, Adam. *Digitální zprovoznění robotizovaného výrobního systému pro manipulaci kostrami asynchronních motorů.* Brno, 2023. Dostupné také z: https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/148474. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Vetiška.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu této práce, za podporu při vypracování a ochotu poradit.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne ……

Bc. Adam Hrala

OBSAH

1 ÚVOD 17

2 MANIPULAČNÍ OPERACE 19

2.1 Parametry pro automatizaci 19

3 MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ 20

3.1 Průmyslové roboty 21

3.2 Paralelní kinematická struktura 23

3.3 Sériová kinematická struktura 23

3.3.1 Kartézská 23

3.3.2 Cylindrická 24

3.3.3 Sférická 24

3.3.4 Angulární 25

4 KONCOVÉ EFEKTORY 26

4.1 Mechanická chapadla 28

4.1.1 Pasivní 28

4.1.2 Aktivní 29

4.2 Vakuová chapadla 30

4.3 Magnetická 30

5 VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ 31

6 NÁVRH PRACOVIŠTĚ 35

6.1 Popis úlohy 35

6.2 Konceptuální návrhy 35

6.3 Požadavky na pracoviště 36

6.3.1 Volba výsledné varianty 37

6.4 Paralelní vstup 37

7 KONSTRUKČNÍ NÁVRH EFEKTORU 38

7.1 Výpočet a volba efektoru 38

7.2 Návrh nosné konstrukce efektoru 40

7.3 Konstrukce prstů efektoru 41

7.4 Sestava koncového efektoru 43

8 KOMPONENTY PRACOVIŠTĚD 44

8.1 Robot 44

8.2 Obráběcí centrum 44

8.3 Oplachovací stanice 45

9 VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ 46

9.1 Process Simulate 46

9.1.1 Definice modelů v PS 46

9.1.2 Layout pracoviště 48

9.1.3 Generace robotických programů 49

9.1.4 Operace a signály 50

9.1.5 Materiálový tok 52

9.2 RobotStudio 52

9.3 Propojení 54

9.4 TIA Portal 55

9.4.1 Signály 55

9.4.2 Program procesu 56
9.4.3 HMI 58
10 BEZPEČNOST 59
11 ZHODNOCENÍ A DISKUZE 61
12 ZÁVĚR 63
13 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 64
14 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK 67
14.1 Seznam tabulek 67
14.2 Seznam obrázků 67
15 SEZNAM PŘÍLOH 71

1 ÚVOD

Virtuální zprovoznění se stalo součástí navrhování průmyslových pracovišť, pro jeho výhody, jako jsou ušetření času a nákladů na realizaci. Virtuální modely nám umožňují ukázat, jak bude výsledné pracoviště vypadat a simulovat jeho chování.

Cílem diplomové práce je navrhnout a virtuálně zprovoznit pracoviště pro obrábění koster asynchronních elektromotorů. Součástí návrhu pracoviště je konstrukce potřebných zařízení, vytvoření layoutu a ovládacích prvků.

V prvních kapitolách práce je shrnut současný stav poznání v oblastech manipulačních zařízení, koncových efektorů, popsán základní smysl virtuálního zprovoznění a představeny programy, které mohou být pro tyto účely využity.

Druhá část práce se věnuje návrhu a zprovoznění pracoviště. Bylo vytvořeno několik variant, jak by mohlo výsledné pracoviště vypadat a z jakých prvků se bude skládat. Pro konečnou formu pracoviště hrají hlavní roli požadavky koncového zákazníka. Při návrhu se jimi tedy musíme řídit a udělat vše pro to, aby byly splněny.

Provedením porovnání požadavků s možnostmi navrhovaných variant zařízení, byly vybrány ty, které nejlépe splňují požadavky. Pro vybrané varianty, byl vytvořen konstrukční návrh koncového efektoru a vybrány potřebné stroje. Výsledné pracoviště bylo následně složeno pomocí 3D modelů a virtuálně zprovozněno.

2 MANIPULAČNÍ OPERACE

Definovaná jako záměrná, nepřetržitě prováděná změna polohy materiálu, která je prováděna jedním nebo více zařízeními/pracovníky. [1]

V dnešní době je velký tlak na zvyšování kapacity a kvality výroby, což vede k zvyšujícímu se počtu manipulátorů a robotů ve výrobních procesech. Pomocí robotů je vždy dosaženo větší produktivity práce, snížení zmetkovitosti výroby a současné zvýšení kvality.[4]

Podstatou manipulačních robotů je nahrazení lidské pracovní síly v opakujících se procesech, případně při manipulaci s těžkými břemeny. Automatizace manipulačních operací nabízí vysoké výrobní kapacity a další ekonomické výhody a však je třeba velká počáteční investice a výrobní prostory musí splňovat podmínky pro správnou implementaci automatizace do výrobního procesu.[2][3]

2.1 Parametry pro automatizaci

Na dnešním trhu se nachází velké množství možností, jak implementovat automatizaci do manipulačních operací. Je však potřeba udělat průzkum a vyhodnotit, které z těchto řešení nejlépe odpovídá zadanému úkolu, aby byly výhody, které přináší, využity naplno. Volba špatného řešení automatizace sebou nese následky jako neoptimální využití výrobní kapacity nebo problémy s další inovací. [3]

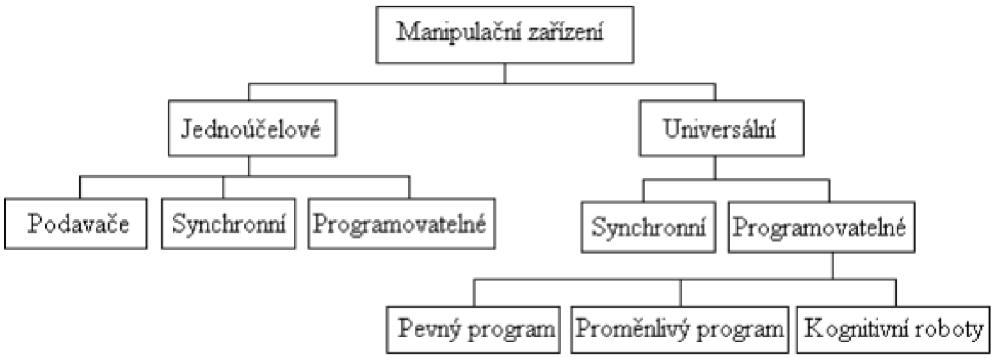
Jedním z nejdůležitějších požadavků implementace automatizace do výrobního procesu je bezpečnost, bez jejíchž splnění není možné zařízení legálně používat. [3]

Hlavními parametry pro výběr varianty jsou [3]:

- **Hmotnost** – celková váha manipulované součásti je rozhodujícím faktorem pro návrh manipulace. Čím větší váha manipulované součásti, tím menší rozsah možností realizace. Je nutné zajistit, aby navržený systém byl schopen pracovat s danou hmotností břemene.
- **Pracovní prostor** – dosah manipulačního zařízení je další velice důležitý parametr. V případě špatně zvolené varianty může docházet k neefektivnímu časovému využití.
- **Čas** – Doba trvání cyklu, rychlost provedení operace a četnost přesunů patří mezi další parametry, které nám omezují počet možností provedení manipulačního zařízení.
- **Možnosti manipulace** – omezení z pohledu konfigurace výrobního procesu, jež omezuje životaschopnost zařízení v případě změny výroby/procesu. Dalším omezením je velikost volného prostoru pro instalaci.
- **Stav objektu** – nám omezuje možnosti výběru z důsledku například nedostatečné nosnosti podlahy.
- **Náklady** – návratnost investice je pro většinu firem nejdůležitějším faktorem celého projektu. Je třeba počítat nejen z pořizovací cennou, ale i náklady na školení obsluhy, údržbu a provoz.

3 MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ

Skupina manipulační techniky obsahuje širokou škálu zařízení, které nahrazuje činnost lidí v manipulaci s materiálem. Nejznámějšími zástupci jsou manipulátory a roboty. Skupinu je možné rozdělit podle funkce, kinematického provedení, míry autonomnosti atd.. Rozdělení znázorněno na Obr. 1). [4][6]



Obr. 1) Rozdělení manipulačních zařízení [4]

Jednoúčelová zařízení – slouží vesměs k automatizaci manipulačních prací jednoúčelových operací ve velkosériových výrobách. Vyznačují se omezenou funkcí a pohybovou vazbou na dané výrobní zařízení. [4]

Podavače – jedná se o nejjednodušší jednoúčelové manipulátory. Bývají spojeny se strojem a jsou jím řízeny. Podavače mají velký význam v průmyslové výrobě a většina z nich je udělána na zakázku k danému stroji. [4]

Synchronní – též nazývané teleoperátory (ukázka na Obr. 2). O řízení stroje se stará pracovník. Mechanismus slouží pouze k zlepšení operátorových vlastností, jako je například přesnost. Hlavní využití nachází tyto zařízení ve výzkumu a medicíně. [4]

Obr. 2) Teleoperátor ROBOT 350 Da Vinci [5]

Univerzální zařízení - jsou víceúčelová a disponují možností přizpůsobit je různým technologiím. Provedení manipulačního zařízení vychází z možností pracoviště a musí respektovat technologické a ekonomické možnosti.[4]

3.1 Průmyslové roboty

Jedná se o automatické zařízení určené pro vykonávání manipulačních operací jako náhrada za člověka. Díky své kinematice, programovatelnému řízení a propojení s dalšími prvky, jako jsou senzory a koncové efektory, jsou schopny vykonávat velké množství úkolů.[6]

Průmyslové roboty nacházejí uplatnění ve velkosériových výrobách (dnes již i v malosériových [4]), v prostředí, které nevyhovuje přítomnosti člověka a v technologických operacích vyžadujících podmínky, kterých není člověk schopen dosáhnout (přesnost, síla atd.). Příklady aplikace průmyslových robotů[5]:

- Montáž
- Paletizace (ukázka na Obr. 3)
- Manipulace
- Balení
- Svařování
- Lisování a kování

Obr. 3) Příklad manipulační operace pomocí robotu (paletizace) [2]

Manipulační roboty první generace - jedná se o manipulační zařízení určené k vykonávání operací podle předem stanoveného programu. Využívají se v systémech „zdvihnout a umístit“ a dalších operací se stálou polohou cílových bodů. Při změně operace či polohy úkolových bodů je třeba zásahu do programu zařízení. V případě malé změny je rychlost úpravy velká, případně lze zařízení přeprogramovat na zcela jinou úlohu (ukázka typů na Obr. 4). [6][5]

Obr. 4) Průmyslové roboty firmy KUKA [7]

Manipulační roboty druhé generace – adaptivní - tato generace se liší od první tím, že je zařízení vybaveno inteligentnějším systémem a čidly pomocí, kterých snímá své okolí a manipulovaný materiál. Přidané senzory umožňují zařízení provádět úpravy programu přímo za chodu. S pomocí senzorů a čidel je robot například schopen sám určovat a uchopovat materiál, který má být přenesen, aniž by bylo zapotřebí přesně zadaných cílových pozic vstupu. Typickým příkladem jsou svařovací roboty, které pomocí senzorů sami upravují dráhu hořáku dle tvaru svarku. [6][5]

Manipulační roboty třetí generace – kognitivní - sem řadíme všechny inteligentní roboty. Tato generace zařízení kombinuje propojení senzorů a umělé inteligence (příklad na Obr. 5). Robot vybavený umělou inteligencí by měl být schopný přizpůsobit se podmínkám a vybrat vhodnou variantu provedení. Velkou roli zde hraje strojové učení, které dává stroji schopnost analyzovat a realizovat zadané úkoly. [5][6][8]

Obr. 5) EPSON, robot Bertie [8]

3.2 Paralelní kinematická struktura

Jednotlivé členy této struktury jsou řazeny paralelně, konstrukční provedení umožňuje tři (tripod) až šest (hexapod) vzpěrných prvků. Jednotlivé vzpěry bývají velmi často stejného konstrukčního řešení. Zařízení s tímto kinematickým modelem se vyznačují vysokou tuhostí, přesností polohování a nízkou hmotností. Nevýhodami jsou velké požadavky na řídicí systém a možnost vzniku kolizí vzpěr. [5][9]

Roboty této konstrukce jsou označovány jako DELTA roboty. Jsou konstruovány pro maximální rychlost a přesnost při manipulaci s malými objekty v mnoha průmyslových odvětvích (ukázka na Obr. 6). [9]

Obr. 6) DELTA robot řady DR-3iB [10]

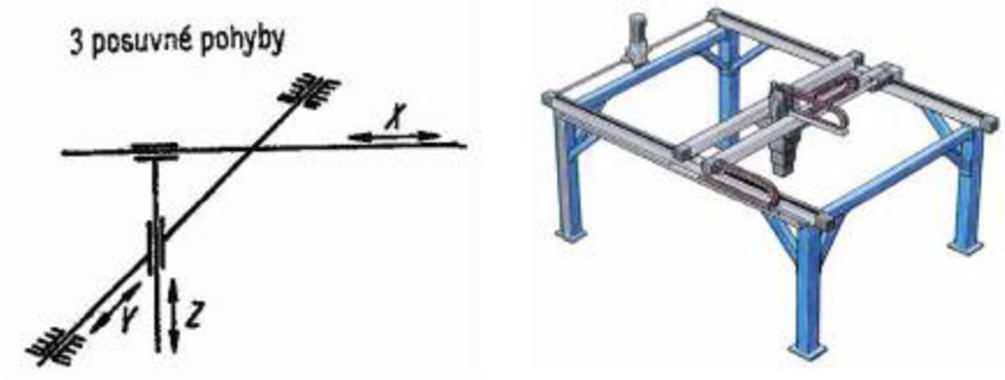
3.3 Sériová kinematická struktura

V dnešní době nejpoužívanější kinematická struktura. Rotační a translační dvojice jsou řazeny sériově. Nevýhodami této struktury je nízká tuhost, přesnost polohování (v desetinách mm), pohyblivost, polohová tuhost a přesnost. [9]

3.3.1 Kartézská

Soustava založená na kartézském souřadnicovém systému. Pracovní oblastí robotu je hranol a při manipulaci nedochází ke změně orientace objektu (ukázka na Obr. 7). [9]

Své uplatnění nacházejí jako podavače či obsluha obráběcích strojů. Velkou nevýhodou je nárok stroje na zastavěný prostor. [9]

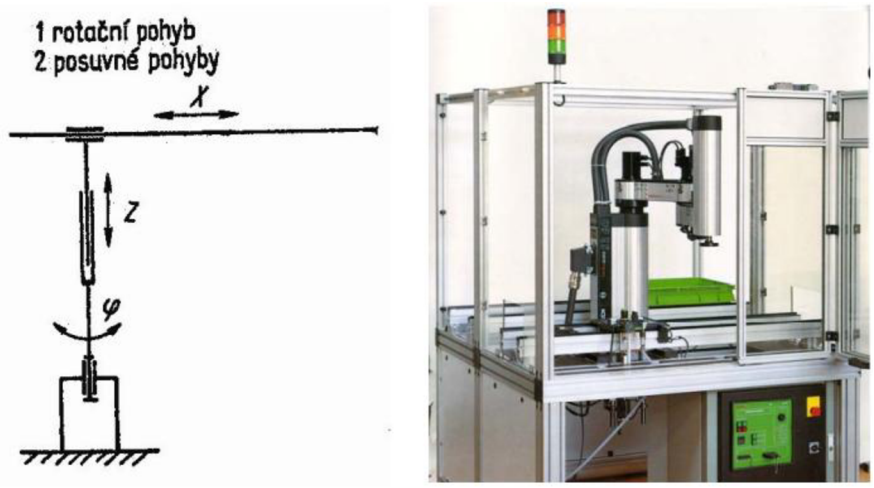


Obr. 7) Kártézská pohybová struktura / Portálový manipulátor [9]

3.3.2 Cylindrická

Založená na spojení jednoho rotačního a dvou posuvných pohybů. Pracovním prostorem této struktury je válcový prstenec. Dochází ke změně orientace objektu (ukázka na Obr. 8). [9]

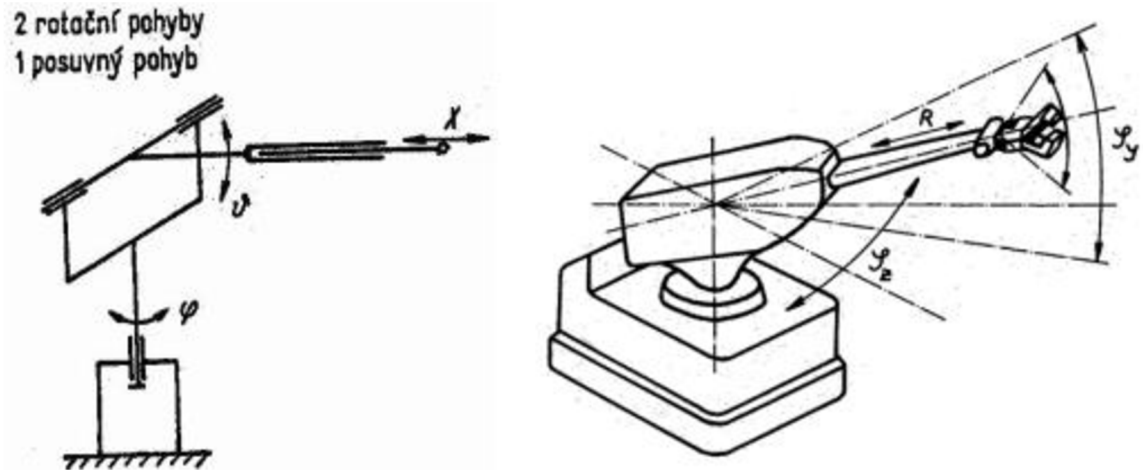
Na základě této struktury jsou postaveny roboty SCARA, které nachází uplatnění v montážních, manipulačních, balících a inspekčních operacích. Nevýhodami je omezená nosnost zařízení. [10]



Obr. 8) Cylindrická pohybová struktura / Robot SCARA [9]

3.3.3 Sférická

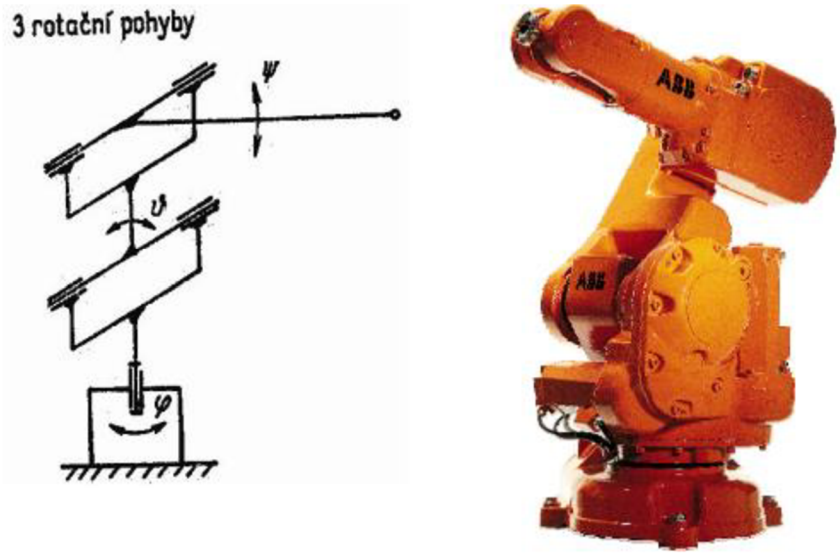
Založená na spojení dvou rotačních a jednoho posuvného pohybu. Určování pozice probíhá pomocí sférických souřadnic. Pracovní prostor je kulový vrchlík. Dochází ke změně orientace objektu. Roboty této skupiny nachází uplatnění převážně jako součásti svařovacích linek (ukázka na Obr. 9). [9]



Obr. 9) Sférická pohybová struktura / Robot se sférickou pohybovou strukturou [9]

3.3.4 Angulární

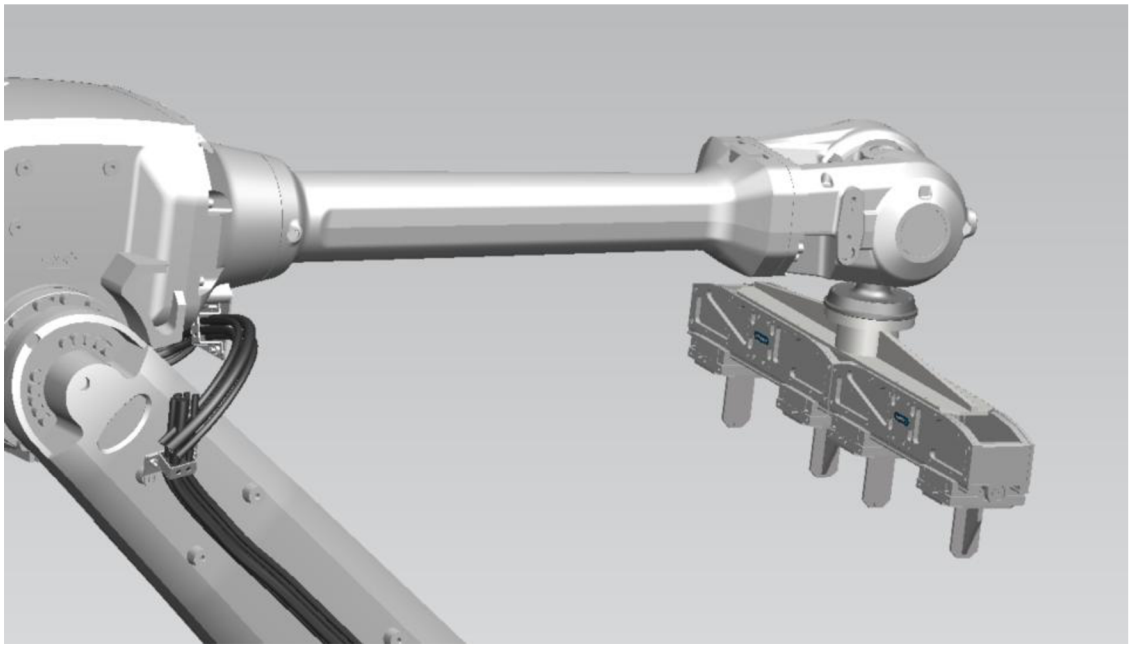
Nejrozšířenější skupina v dnešní průmyslové produkci. Struktura nabízí univerzální využití v téměř každém průmyslovém odvětví. Pracovním prostorem je kulový vrchlík. Dochází ke změně orientace objektu (ukázka na Obr. 10). [9]



Obr. 10) Angulární pohybová struktura / Robot firmy ABB [9]

4 KONCOVÉ EFEKTORY

Systém pro uchopení dílců je důležitá periférie robotu. Tyto zařízení mají mnoho různých názvů, jako koncový efektor, gripper či chapadlo, ale vždy se jedná o zařízení, které umožňuje robotu vykonávat zadané úkoly (ukázka na Obr. 11). [12]



Obr. 11) Robot s koncovým efektorem pro manipulační operaci

Správně zvolená varianta úchopu a konstrukce koncového efektoru musí zajistit bezpečné a spolehlivé uchopení objektu. Dnešní nabídky nabízí velké množství provedení uchopení, ať už inspirované lidskou rukou, nebo říší zvířat, případně založené na fyzikálních principech. [12]

Koncové efektory lze rozdělovat podle velkého množství způsobů. Zde je uvedeno několik příkladů.

Rozdělení dle pohonu:

- Elektrické
- Pneumatické
- Hydraulické
- Speciální

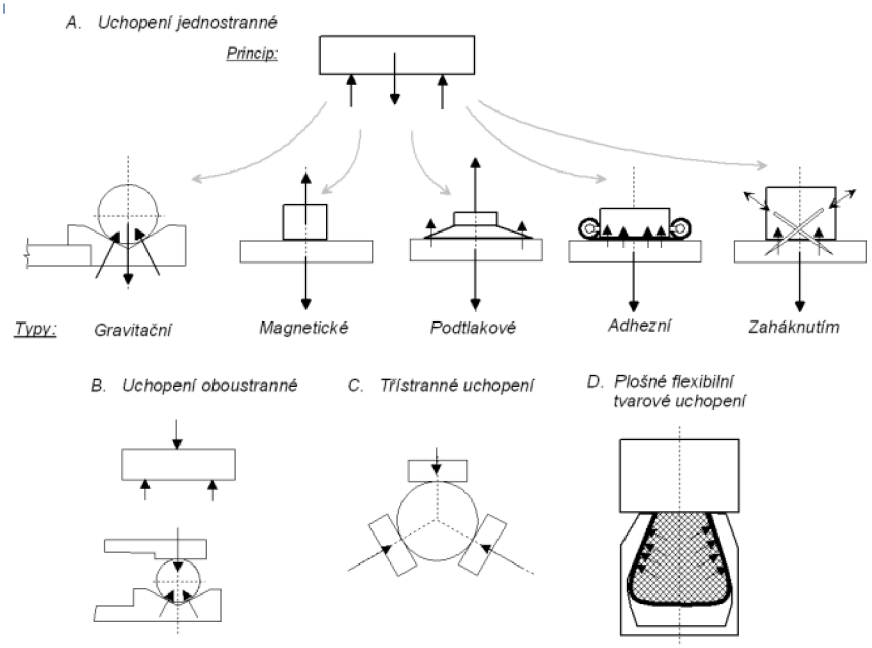
Nejrozšířenější jsou chapadla poháněná pneumaticky, které se vyznačují nízkou cenou, avšak je u nich obtížné řídit sílu, rychlost uchopení a vyžadují přísun pracovního média. Elektricky řízená zařízení naopak eliminují problémy pneumatických, ale jsou dražší. Hydraulický pohon se používá pouze v případech, kdy dochází k manipulaci s těžkým objektem. [12]

Rozdělení dle způsobu zdroje uchopovací síly:

- **Pasivní** – upínací síla je vázána na úchopné prvky. Upínací sílu nelze přímo ovládat.
- **Aktivní** – upínací prvek je přímo řízen vstupem, který řídí pohon. Upínací síla je vybuzena pomocí pohonu.[21]

Rozdělení dle umístění kontaktních rovin (znázornění na Obr. 12)**:**

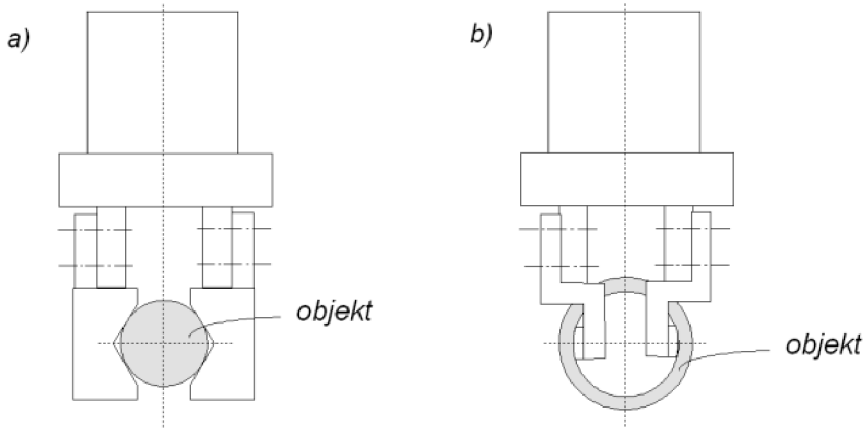
- Jednostranné
- Oboustranné
- Třístranné
- Plošné tvarové



Obr. 12) Rozdělení dle umístění kontaktních rovin [21]

Rozdělení dle místa kontaktu efektoru s dílcem (znázornění na Obr. 13)**:**

- Vnější
- Vnitřní



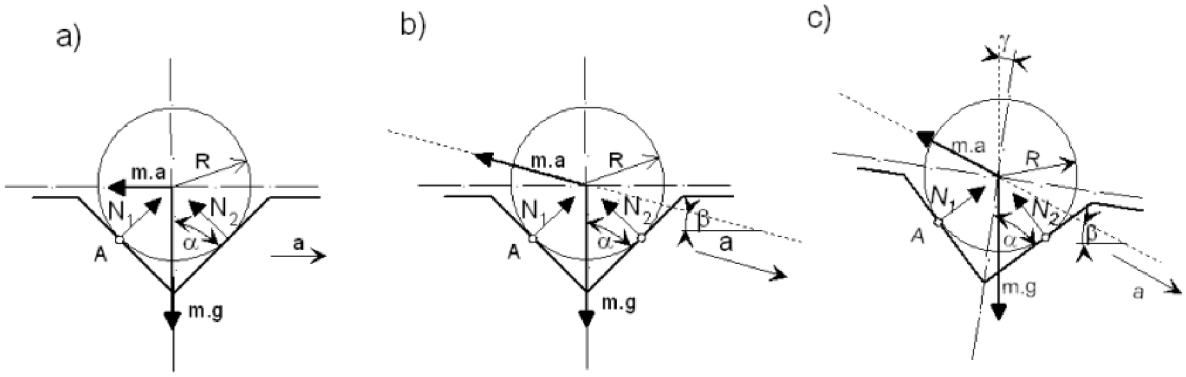
Obr. 13) a - vnější, b - vnitřní [21]

4.1 Mechanická chapadla

Pro uchopení objektů je využíván princip gravitační (pasivní hlavice) síly, pružné deformace a tření. Rozdělujeme možnosti, kdy je objekt držen pomocí sil od upínacích čelistí a tvarové upnutí, kdy objekt drží díky speciálnímu tvaru čelistí a gravitační síle. Mechanická chapadla bývají vybavena vložkou pro zajištění dostatečného tření pro úchop. Vložky bývají z pryže nebo plastu. [12]

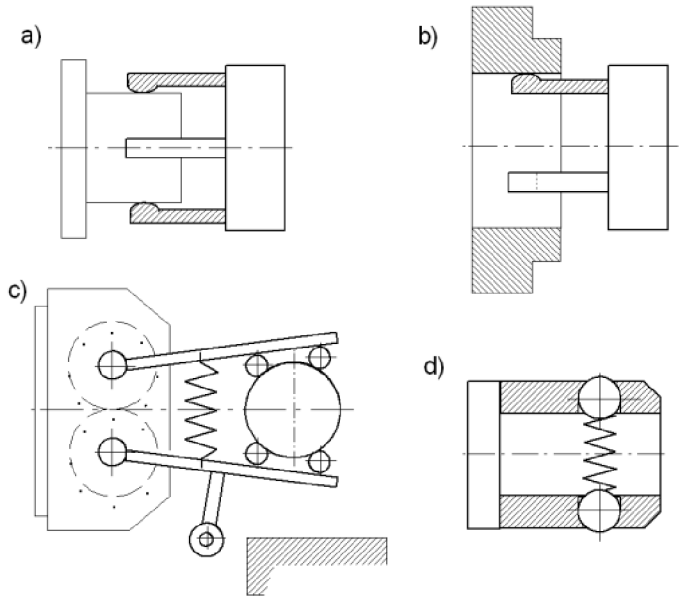
4.1.1 Pasivní

Prizmatické lůžko – aplikuje se hlavně pro manipulaci v horizontální rovině. V praxi se používá velké množství jednoduchých tvarových lůžek, velmi častý je tvar prizmatu (znázornění na Obr. 14). U tohoto provedení je třeba zajistit dynamické podmínky proti vypadnutí objektu z lůžka. [21]



Obr. 14) Rovnováha objektu při pohybu prizmatického lůžka [21]

Odpružené čelisti – existuje široká nabídka hlavic, které využívají pružiny jako zdroj úchopné síly. Při kontaktu čelistí s objektem dojde k pružné deformaci a tím vznikne pasivní upnutí (znázornění na Obr. 15). [21]



Obr. 15) a - odpružené čelisti pro vnější uchopení, b -pro vnitřní uchopení, c - otočné čelisti, d - posuvné prvky s kuličkovou západkou [21]

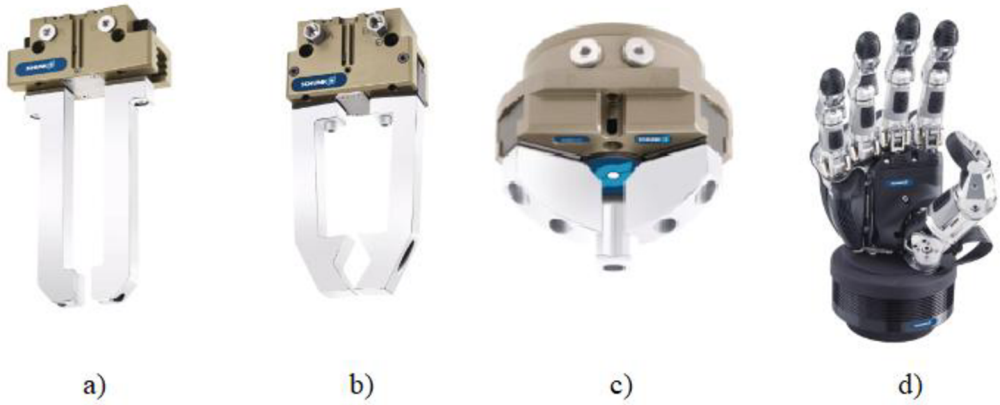
4.1.2 Aktivní

Paralelní – univerzální způsob uchopení tělesa. Nacházejí své uplatnění v manipulaci s malými (pár gramů), ale i velkými (až 80 kg) dílci. Objevují se nejčastěji ve dvouprstém provedení (viz Obr. 16). Přizpůsobení tvaru prstů zvyšuje produktivitu a kvalitu úchopu. Chapadla je možné využívat v téměř jakémkoli prostředí a případně je dovybavit senzory. [13]

Úhlová – konstrukčně řešeny pro přesné upnutí dílce pomocí 2 nebo 3 prstů, které jsou upraveny pro manipulaci s daným dílcem (viz Obr. 16). Stejně jako paralelní chapadla nacházejí velké spektrum využití a lze je vybavit senzory. [13]

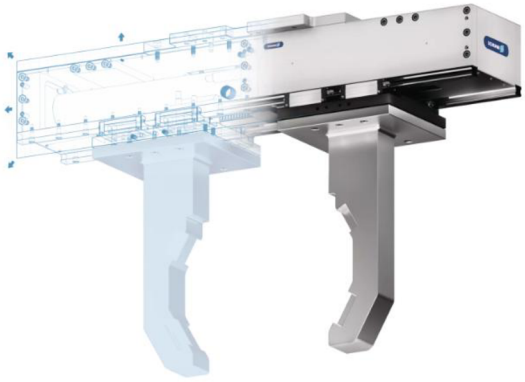
Středící – navržena pro uchopení malých i velkých dílců za vnější nebo vnitřní průměr (viz Obr. 16). Nacházejí velké spektrum využití a lze je vybavit senzory. [13]

Antropomorfní – založená na tvaru lidské ruky (viz Obr. 16). Průmyslová chapadla tohoto typu nabízí téměř stejně kvalitní úchop jako lidská ruka. Díky pohyblivým částem, které mývají každý svůj pohon, se vyznačují velmi vysokou citlivostí a spolehlivým držením objektu. [13]



Obr. 16) A) Paralelní chapadlo třídy PGL-Plus-P, b) Úlové chapadlo třídy SGB, c) Středící chapadlo třídy JGZ, d) 5prstá uchopovací ruka [13]

S dlouhým zdvihem - předem uvedená chapadla lze charakterizovat malým zdvihem na čelist. Pro konstrukci čelistí s velkým zdvihem se používá paralelní konstrukce s elektrickým pohonem a posuvem čelistí pomocí pohybových šroubů (ukázka na Obr. 17). Tyto chapadla se tedy vyznačují velkým posuvem čelistí (v řádech stovek mm) a zároveň dosahují velkých upínacích sil. [13]

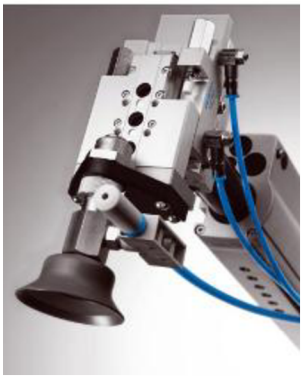


Obr. 17) Chapadlo řady PLG [13]

4.2 Vakuová chapadla

Chapadla využívají k uchopení objektu vakuum. Robot manipuluje s koncovým efektorem přesně upraveným pro tvar objektu (viz Obr. 18). Tento typ chapadel se vyznačuje snadným použitím, škálovatelností upínací síly a při manipulaci nedochází k ovlivnění materiálu jako například u mechanických nebo magnetických chapadel. Vynikají v manipulaci s objekty, které mají velký hladký povrch nebo malou váhu (v řádech gramů). U složitějších dílců s nedostatkem hladké plochy nebo složitějším tvarem je třeba využít speciální přísavky. [14]

..



Obr. 18) Vakuové chapadlo [15]

Přísavky – jeden z nejdůležitějších prvků efektoru. Přísavky zajišťují dostatečně těsný kontakt s objektem, potřebný pro udržení vakua a vybuzení upínací síly. Mohou být rozděleny dle tvaru a materiálu, z kterého jsou vyrobeny. Každý tvar a materiál, je vhodný pro jiný typ povrchu a materiálu manipulovaného objektu. Jsou také nejčastějším důvodem poruchy těchto zařízení. [14]

4.3 Magnetická

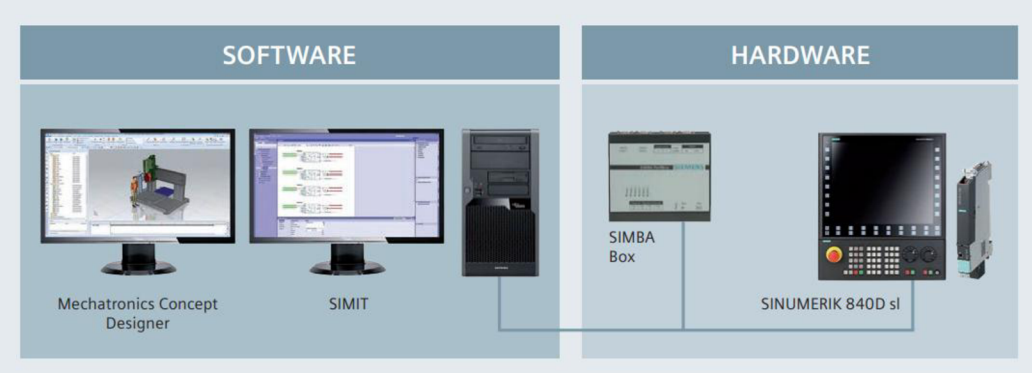
Chapadla využívající magnetické síly k manipulaci s feromagnetickými objekty. Vyznačují se velkými upínacími silami i na malých plochách, velkou rychlostí upnutí/odepnutí objektu a spolehlivostí provozu. Chapadlo je možné přizpůsobit každému robotu nebo operaci. Ovládání magnetického pole je řešeno pomocí elektrických signálů pro aktivaci nebo deaktivaci a jsou vybavena bezpečnostní funkcí, která zajistí spolehlivé upnutí objektu i při nouzovém zastavení. Příklad na Obr. 19). [13]

Obr. 19) Magnetické chapadlo EGM [13]

5 VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ

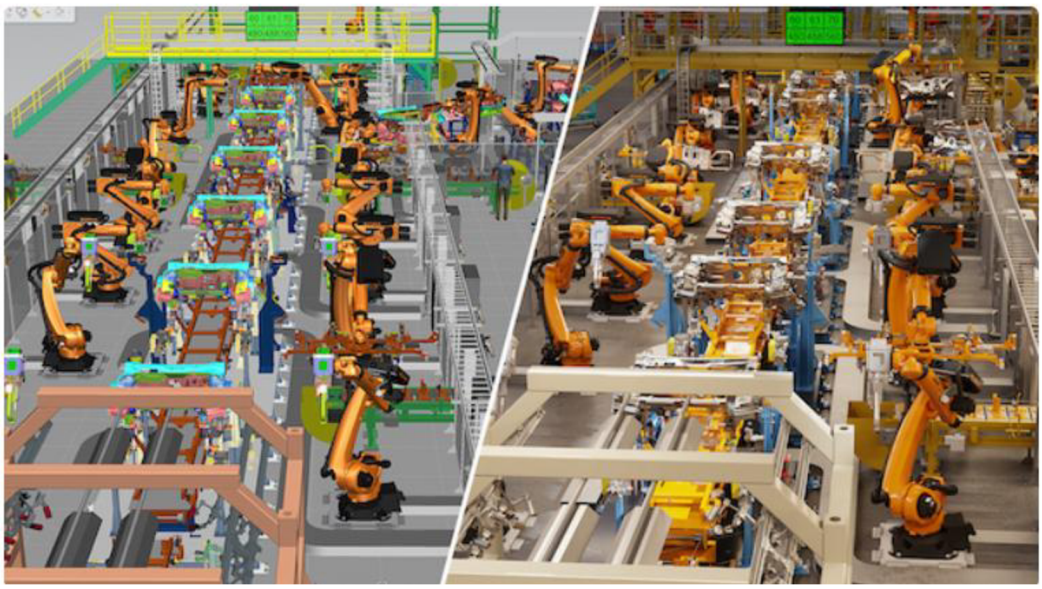
Požadavky výrobního průmyslu na rychlé zahájení výroby, implementaci novinek, flexibilitu a variabilitu výroby, nižší náklady a současné zachování kvality klade velký tlak na technologické firmy. Virtuální zprovoznění tzv. virtuálních dvojčat strojů a výrobních linek slouží k ušetření času a peněz. [16]

Virtuální zprovoznění je jedním z hlavních prvků vývoje, který umožňuje zkrácení času na uvedení stroje do provozu až o 70%. Další velkou výhodou je možnost objevení a odstranění koncepční chyby již během vývoje. Řešení metodou HiL (Hardware-in-the-Loop) je možné otestovat funkčnost systému, připojením virtuálního modelu stroje na reálné ovládací prvky (znázornění na Obr. 20). [30]



Obr. 20) Schéma HiL [30]

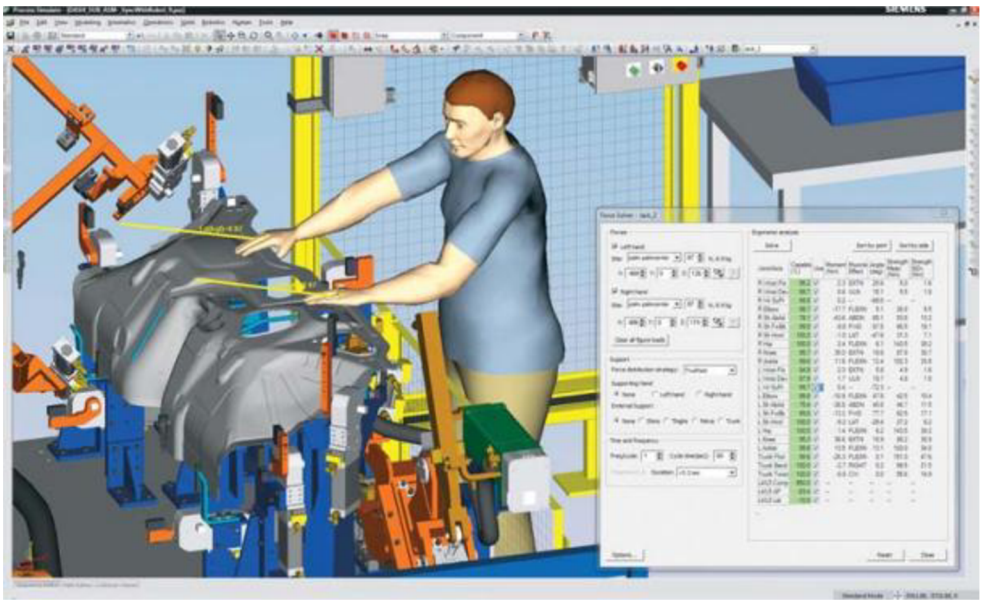
Virtuální dvojče strojního zařízení nebo průmyslové linky složené pomocí 3D modelů slouží k simulaci chování. Tyto virtuální modely mají stejné vlastnosti jako reálný hardware, ať už se jedná o kinematiku, komunikaci s řídicím systémem nebo PLC programem. Pomocí simulací je možné bez následků otestovat program a jednotlivé prvky pracoviště ještě před montáží na daném místě, případně objednávkou na výrobu daných komponent. [16] (ukázka na Obr. 21)



Obr. 21) Virtuální/skutečné pracoviště [28]

K vytváření simulací existuje několik programů, mezi nejznámější patří Process simulate a RobotStudio pro vytváření 3D modelů, PLCSIM Advanced pro vytvoření virtuálního PLC, TwinCAT a TIA portál jako prostředí pro vytváření řídícího kódu.[16][17]

Process Simulate – program pro vytváření 3D simulací robotických pracovišť nebo výrobních linek od firmy Siemens. Je vybaven velkým množstvím aplikací pro simulace jednotlivých operací, jako je například obloukové a bodové svařování, montáž, operace s lidskou obsluhou a lepení. Sám o sobě nepodporuje offline programování. Je potřeba spojit s dalšími programy, jako je TIA portál a PLCSIM Advanced (ukázka prostředí na Obr. 22).[18]



Obr. 22) Ukázka prostředí Process Simulate [18]

RobotStudio – nástroj firmy ABB určený pro offline programování robotů. Slouží k přípravě, odzkoušení pracoviště a programu před instalací do výroby. Případně pro úpravy bez nutnosti odstavit stroj. Velkou výhodou programu je virtuální řadič a flexpedant, který přesně simuluje hardware robotu (ukázka na Obr. 23). [19]

Obr. 23) Prostředí programu RobotStudio [19]

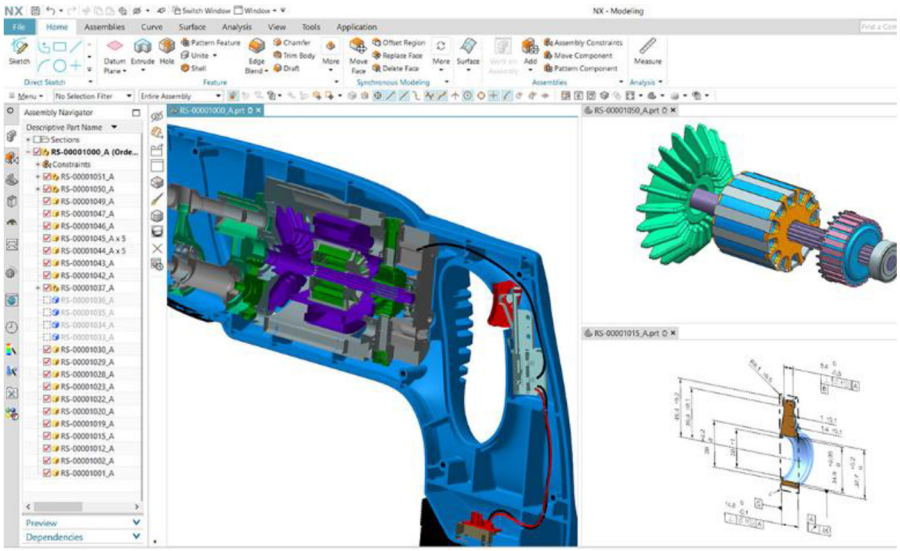
PLCSIM Advanced - program od firmy Siemens slouží jako náhrada za hardware, validaci programových kódů a simulace dalších komponent jako je I/Os. Při virtuálním zprovoznění slouží jako propojení mezi programy Process Simulate a TIA Portal. [20]

TIA Portal – celým názvem Totally Integrated Automation Portal. Spojuje celou řadu nástrojů pro řízení provozu (ukázka na Obr. 24) a virtuální zprovoznění do jedné platformy. Slouží pro práci s daty, simulace programů, propojení výrobní a informační technologie (OT/IT). [27]

Obr. 24) TIA Portal – inženýrský ekosystém pro automatizaci [27]

TwinCAD - Software určený pro real-time řízení PLC, NC a CNC procesů od firmy BECKHOFF. Tento software nabízí souhrn všech potřebných funkcí pro konfigurování, programování, simulaci, diagnostiku a debugování programů nebo aplikací. Většina funkcí je nainstalována v základu nebo je možnost jejich následného přidání. Přidávanými funkcemi mohou být například procesy pro řízení a simulace paralelní kinematiky.[29]

NX - od společnosti Siemens PLM Software. Jedná se o vysoce integrovaná prostředí umožňující návrh, simulaci, správu dat a automatizaci procesů. V rámci virtuálního zprovoznění slouží pro složité simulace strojních součástí nebo strojů a jejich signálové struktury (ukázka prostředí na Obr. 25). [31]



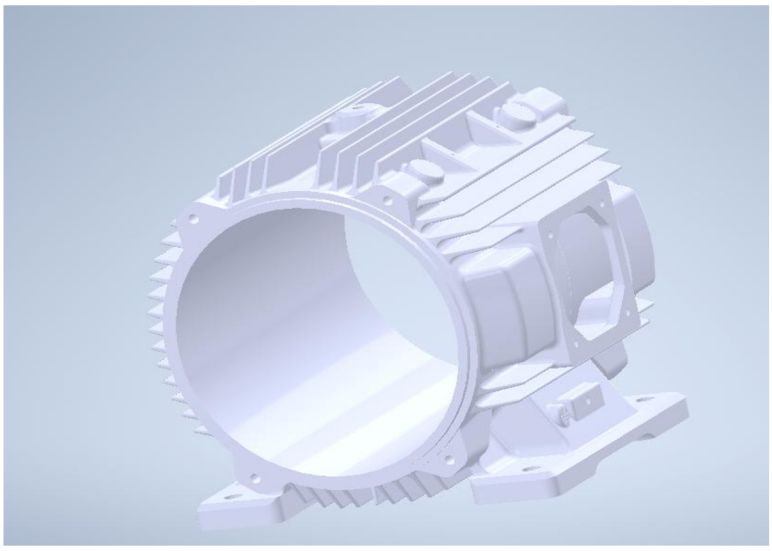
Obr. 25) Prostředí NX [27]

6 NÁVRH PRACOVIŠTĚ

Pro vytvoření virtuálního zprovoznění je nejprve potřeba robotické pracoviště navrhnout a přizpůsobit požadavkům na zadanou úlohu. V této kapitole bude definován úkol, k němuž je pracoviště navrhováno. Budou vytvořeny konceptuální návrhy, komponent a definované požadavky pro výsledné řešení.

6.1 Popis úlohy

Výsledné robotické pracoviště má sloužit k automatizaci obrábění hliníkových koster asynchronních elektromotorů. Příklad kostry k vidění na Obr. 26).



Obr. 26) Kostra asynchronního motoru

Hlavní činností pracoviště je zakládání koster do obráběcího stroje a jejich následné vyjmutí. Jedná se tedy o úlohy:

- Uchopení kostry na vstupu
- Vložení do obráběcího stroje
- Vyjmutí z obráběcího stroje
- Vložení do oplachovací stanice
- Vyjmutí z oplachovací stanice
- Uložení kostry na výstupu

Práce se zabývá pouze problematikou manipulace s polotovarem. Oplachovací stanice, obráběcí operace a problematika s nimi spojena tedy nejsou součástí řešení. Délka obráběcího cyklu byla vedoucím práce stanovena na 90 sekund.

6.2 Konceptuální návrhy

Hlavním bodem konstrukčních návrhů je koncový efektor. Dále budou navrženy způsoby pro vstup a výstup polotovaru z pracoviště a způsob upnutí obrobku v obráběcím stroji.

Koncový efektor

Varianta 1 – založen na principu mechanických středících chapadlech (viz kapitola 4.1.2). Určen pro uchopení kostry za vnitřní válcovou plochu.

Varianta 2 - založen na principu mechanických paralelních chapadlech (viz kapitola 4.1.2). Určen pro uchopení kostry z vrchu za vnější čela.

Vstup/výstup polotovaru

Varianta 1 – pomocí dopravníku. Vhodný pro velkosériové výroby. Jednoduchá a nepřetržitá doprava polotovaru do pracoviště. Na dopravníku musí být zajištěna přesná poloha dílce pro odběr robotem.

Varianta 2 – pomocí palet. Vhodné pro kusovou výrobu, případně menší série. Palety je třeba upravit pro zajištění polohy na odběr polotovaru robotem. Nevýhodou je omezená kapacita přepravy. Výhodou je, že palety mohou dále sloužit ke skladování nebo expedici.

Varianta 3 – pomocí regálu. Vhodné pro kusovou výrobu. Regál musí být dostatečně velký, aby umožňoval přístup robotu. Výhody a nevýhody podobné jako u palet.

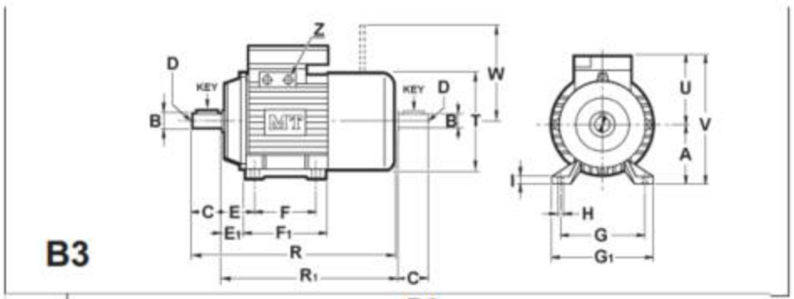
Upnutí obrobku

Varianta 1 – upínací přípravek využívající systému upínek. Jednoduché a rychlé upínaní se zajištěním polohy dílce. Nevýhodou je malá až žádná flexibilita systému.

Varianta 2 – hydraulický svěrák. Rychlé upínaní a do jisté míry zajištění polohy dílce. Výhodou je možnost velkého rozsahu čelistí pro upnutí.

6.3 Požadavky na pracoviště

Jako hlavním vstupem a výstupem primárního polotovaru (typu kostry) do pracoviště byl vedoucím práce určen dopravník. Dalším požadavkem je, že pracoviště by mělo mít možnost zpracovat nárazové požadavky na obrobení ostatních typů koster, bez konstrukčního zásahu. Z toho plyne další požadavek na vytvoření vstupní a výstupní cesty pro kostry, které nejsou primárně vyráběným typem. Rozměrový rozsah vybrané řady motorů zobrazen na Obr. 27).



	B3									
	A	E	E1	F	F1	G	G1	H	I	V
56	56	36	26	71	90	90	108	6	9	156
63	63	40	28	80	105	100	120	7	10	168
71	71	45	36	90	108	112	136	7	11	185
80	80	50	38	100	125	125	154	9.5	11	206
90S	90	56	41	100	130	140	174	9.5	13	223
90L	90	56	41	125	155	140	174	9.5	13	223
100	100	63	46	140	175	160	192	12	14	242
112	112	70	53	140	180	190	234	12	14	265
132 S	132	89	60	140	180	216	256	12	16	310
132 M	132	89	60	178	218	216	256	12	16	310
160 M	160	108	83	210	260	254	318	15	22	400
160 L	160	108	83	254	304	254	318	15	22	400

Obr. 27) Rozměry motorů typu B3 [32]

6.3.1 Volba výsledné varianty

Vstup/výstup – vzhledem k zadaným požadavkům je hlavním prvek pro vstup/výstup daný jako dopravník, který slouží k dopravě jednoho typu koster. Pro další typy koster, byla vybrána varianta pomocí palet. Z důvodu jednoduchosti provedení a lehké úpravy pro přepravu. Palety se musí doplnit o proložky, které budou sloužit k přesnému polohování polotovarů.

Upínací přípravek – z variant uvedených v konceptuálních návrzích byla vybrána varianta svěráku, který byl vybrán z důvodu požadavku na upnutí většího typu koster. Upínkoví mechanismus by nebyl schopný upínání tolika různých dílců.

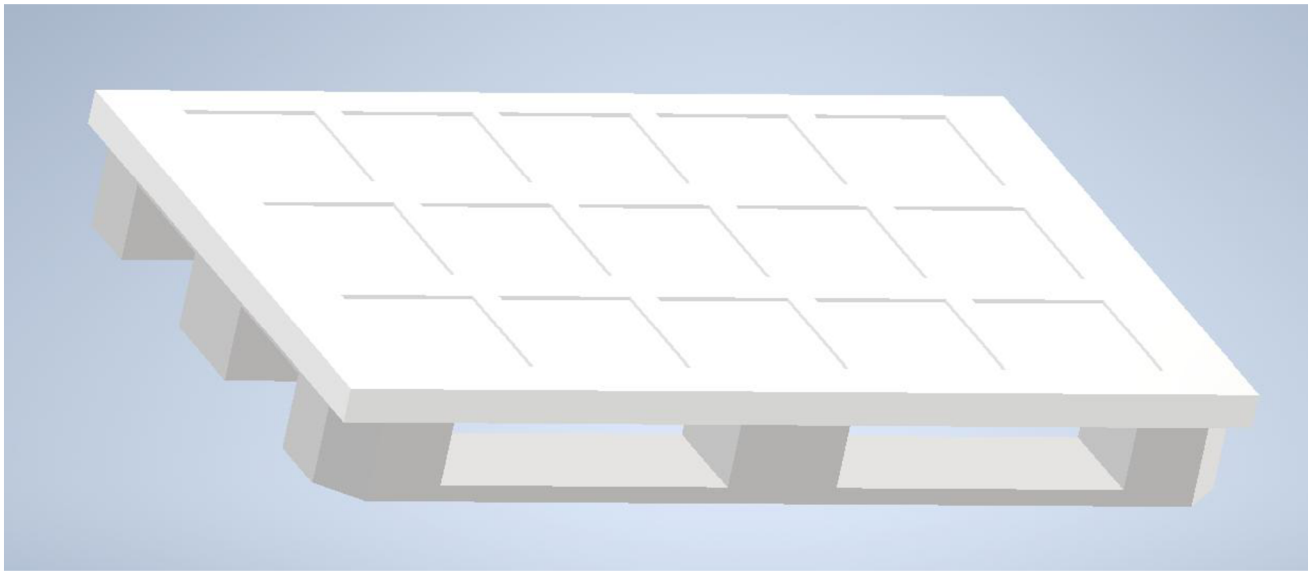
Koncový efektor – pro splnění požadavku na rozsah polotovaru, byl vybrán koncový efektor na základě paralelních chapadel, který dosahuje dostatečně velkých rozsahů posuvu čelistí pro tento typ úlohy. Nevýhodou je nižší nosnost, menší kvalita úchopu a polohování oproti středícím chapadlům, které nedosahují dostatečného rozsahu posuvu čelistí pro použití na zadané úloze.

6.4 Paralelní vstup

Abychom mohli využít paletu pro vstup/výstup polotovaru do automatického robotického pracoviště, je nutno zajistit, aby byl robot schopný odebírat/ukládat jednotlivé kusy. Z toho vyplívá požadavek na přesné polohování jednotlivých kusů na paletě a přesné polohování samotné palety.

Za účelem polohování jednotlivých kusů na paletě byla navržena plastová proložka, která je vybavena místy pro uložení polotovarů (viz Obr. 28), čímž jim zajišťuje požadovanou polohu pro odebrání robotem. Nevýhodou je, že proložka je dělaná na jeden typ kostry, tím pádem bude muset být vytvořena pro každý typ kostry, což zvyšuje ekonomickou náročnost řešení.

Polohování samotné palety je řešeno pomocí dorazů na pracovišti a vybavením proložek plíšky, pro magnetické senzory na dorazech. Magnetické senzory zajišťují přesnost polohy a hlídají přítomnost palety.



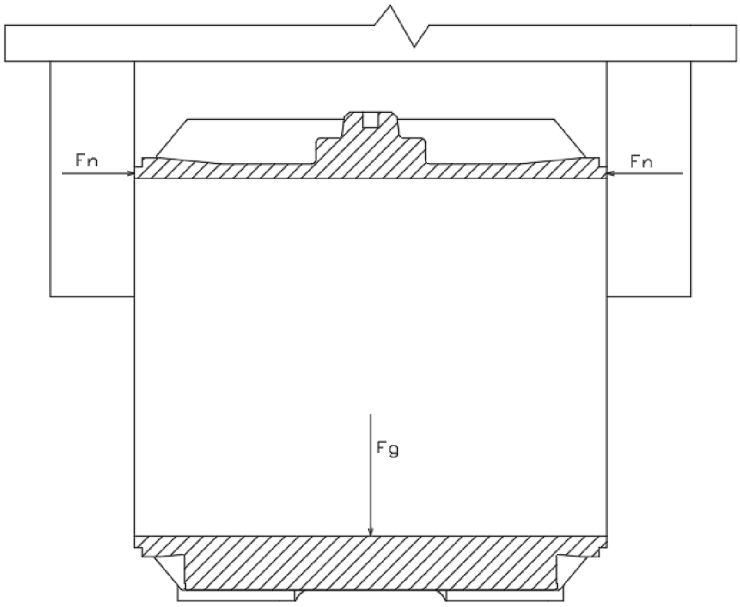
Obr. 28) Paleta s plastovou proložkou

7 KONSTRUKČNÍ NÁVRH EFEKTORU

V této kapitole bude navržen koncový efektor pro zadanou úlohu dle specifikovaných požadavků. Součástí návrhu je spočítání potřebných upínacích sil, volba hlavice efektoru, konstrukce držáku hlavice a prstů pro provedení manipulačních operací.

7.1 Výpočet a volba efektoru

Prvním krokem při návrhu koncového efektoru je určení potřebné upínací síly, pro bezpečné vykonání požadované operace. Dle Obr. 29) byla stanovena silová rovnováha. Na kostru působí gravitační síla, která je počítána s odhadovanou hmotností největšího typu kostry (160L) 10 kg. Pro výpočet byl použit koeficient tření mezi ocelí a hliníkem s mastným povrchem a koeficient bezpečnosti k=3.



Obr. 29) Silová rovnováha

Gravitační síla

$$F_G = m \cdot g = 10 \cdot 9.81 = 98.1\ N \quad (1)$$

Normálová síla

$$F_G = 2 \cdot F_n \cdot f \Rightarrow F_n = \frac{F_G}{2 \cdot f} = \frac{98.1}{2 \cdot ,0.15} = 327\ N \quad (2)$$

Síla pro upnutí

$$F_U = k \cdot F_n = 3 \cdot 327 = 981\ N \quad (3)$$

Z výpočtů vyplívá, že hlavice koncového efektoru musí být schopna vyvinout upínací sílu kolem 1000 N. Tato hodnota je však pro největší typ polotovaru, pro menší typy bude tato síla nižší.

Dalším parametrem pro koncový efektor je rozsah posuvu čelistí. Vzhledem ke zvolené výrobní řadě motorů je třeba, aby dosahoval rozsahu minimálně 215 mm.

Dle nabídky koncových efektorů byl vybrán LEG 400-2-15-2-10X3-B (zobrazení na Obr. 30). Jedná se o efektor z nabídky firmy SCHUNK s elektrickým pohonem, který je určen pro operace s požadavkem na dlouhý zdvih čelistí.

Vybraný efektor sice nedosahuje požadovaného rozsahu posuvu čelistí, avšak o pouhých 13 mm. Z rozměrových a ekonomických důvodů bylo rozhodnuto, že je lepší vyřadit jeden typ koster, než použít zbytečně velký koncový efektor.

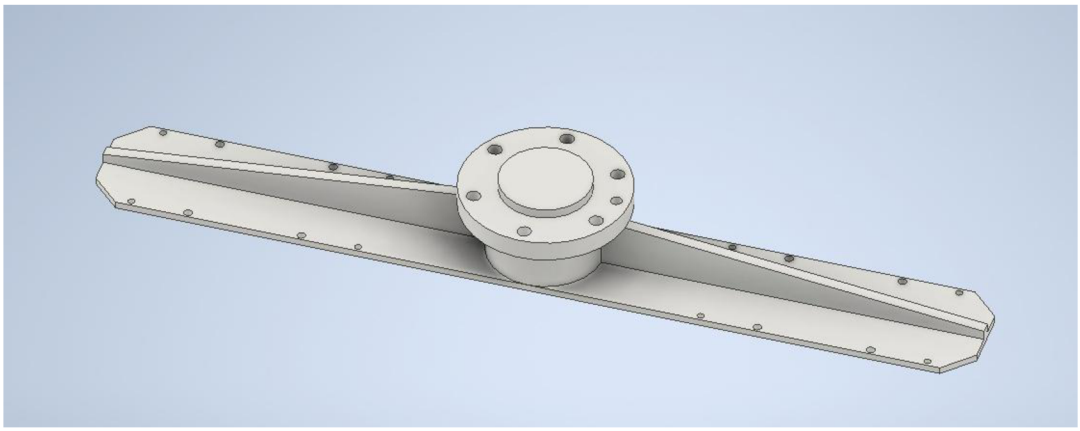
Tab 1) Parametry LEG 400-2-15-2-10X3-B [13]

Název	Hodnota	Jednotky
Posuv na čelist	101	[mm]
délka	400	[mm]
Šířka	112	[mm]
Vlastní hmotnost	5.4	[kg]
Max. váha na prst	10	[kg]
Doporučená váha obrobku	7.5	[kg]
Min. upínací síla	300	[N]
Max. upínací síla	1500	[N]

Obr. 30) LEG 400-2-15-2-10X3-B [13]

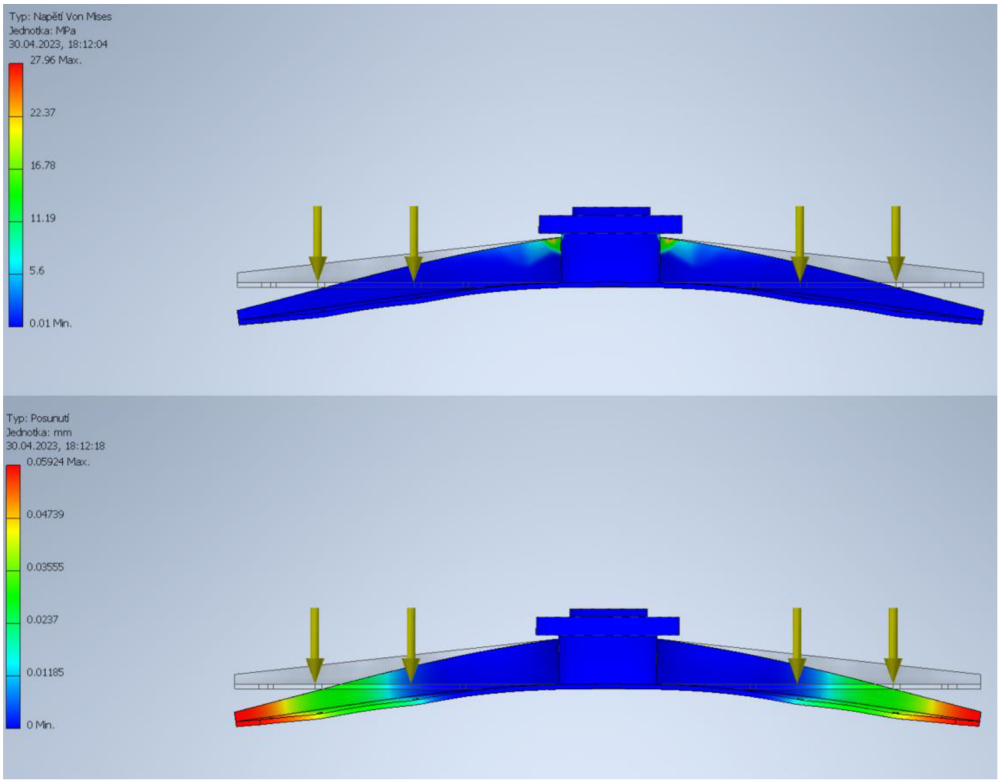
7.2 Návrh nosné konstrukce efektoru

Konstrukce, která slouží k upnutí vybrané hlavice k robotu. Protože proces uchopení dílce na vstupu a uložení do obráběcího stroje je jediná robotická operace, která má na takt pracoviště vliv. Bylo rozhodnuto o použití dvou hlavic najednou. Hlavice jsou upnuty v konfiguraci o 180°, za účelem umístění zatížení co nejblíže těžišti nástroje a minimalizaci rozměrů. Nosná konstrukce je vytvořena jako svarek z ocelových plechů a příruby pro upnutí na robotu (viz Obr. 31).



Obr. 31) Nosná konstrukce

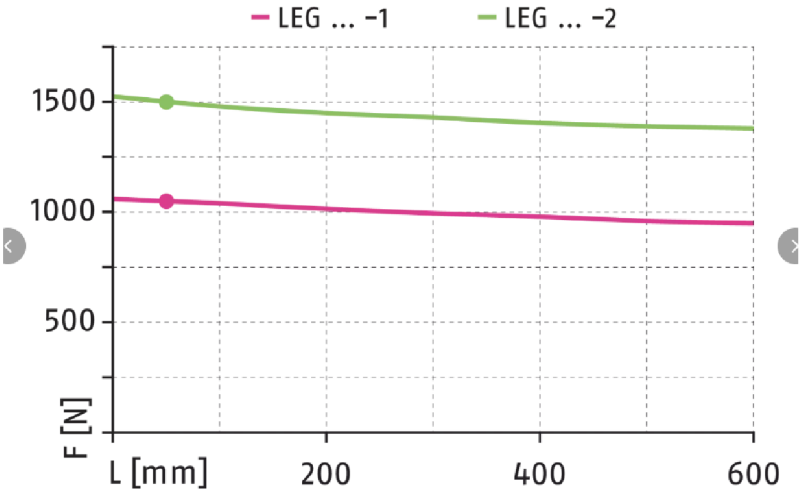
Nosná konstrukce byla konstruována tak, aby vydržela potřebné zatížení a zároveň byla co nejlehčí (dle modelu hmotnost 3.6 kg), vzhledem k omezené nosnosti robotu. Za účelem ověření mechanických vlastností byla v programu Inventor provedena pevnostní analýza chování při maximálním zatížení (výsledky na Obr. 32). Analýza ukazuje, že konstrukce je schopna udržet zatížení bez nežádoucích deformací.



Obr. 32) Pevnostní analýza nosné konstrukce

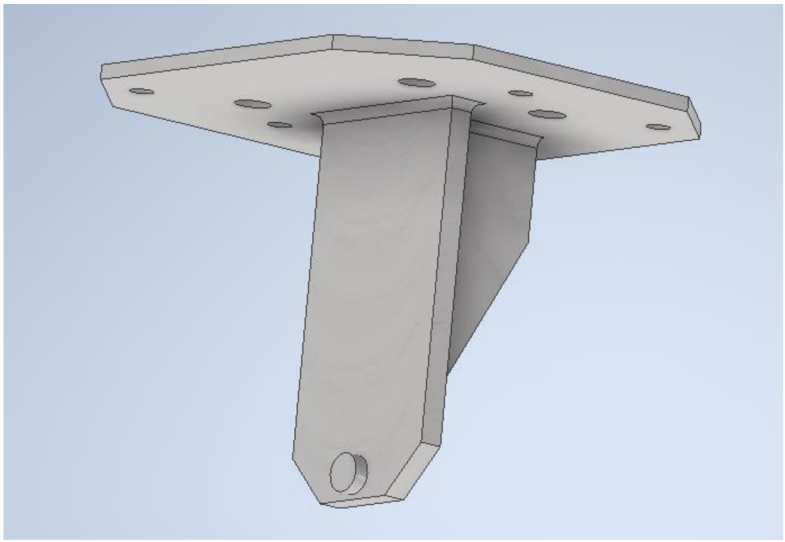
7.3 Konstrukce prstů efektoru

Prsty koncového efektoru musí být schopny vydržet upínací síly a zároveň přesně uchopit manipulovaný dílec. Při jejich konstrukci je nutné brát zřetel na omezení hlavice, která je schopna vyvinout potřebnou upínací sílu pouze na určité délce prstů. Pro vybranou hlavici je diagram délky prstů a síly na Obr. 33).



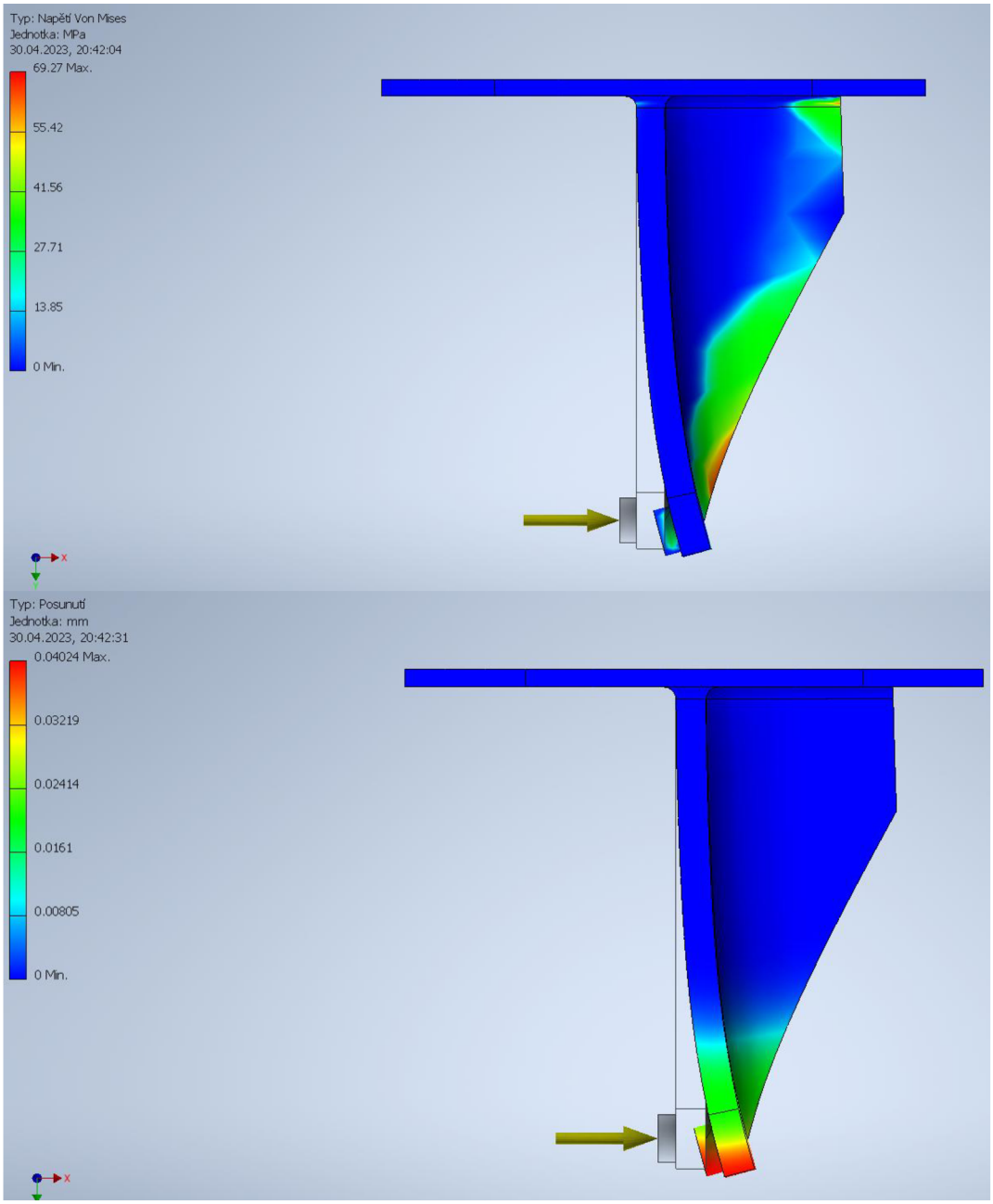
Obr. 33) Uchopovací síla v závislosti na délce prstů [13]

Prsty jsou, stejně jako nosná konstrukce, konstruovány jako svařence z ocelových plechů, s ohledem na mechanické vlastnosti a hmotnost konstrukce (dle modelu hmotnost 0.4 kg). Prsty jsou na upínací ploše vybaveny bezpečnostní zarážkou, která zabraňuje nechtěnému pohybu dílce, a zároveň zabraňuje jeho vyklouznutí z úchopu. Délka prstu byla navržena, dle požadavku pro upnutí většího množství typů koster, na 80 mm a prsty jsou navrženy tak, že při plném zavření hlavice je mezera mezi upínacími plochami 85 mm. Prst je znázorněn na Obr. 34).



Obr. 34) Prst koncového efektoru

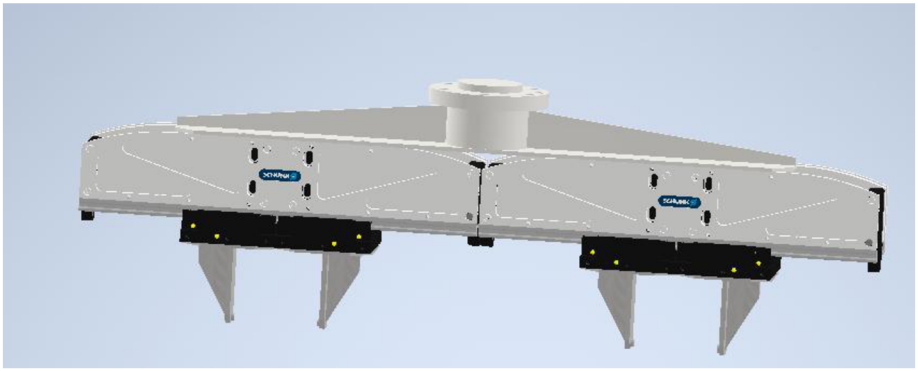
Konstrukční řešení prstů bylo, stejně jako nosná konstrukce, podrobeno simulaci pro určení schopnosti zvládnout mechanické namáhání od upínacích sil. Simulace neodpovídá skutečnému zatížení, neboť síla je umístěna až na bezpečnostní zarážce a skutečné působiště síly je mezi ní a plochou pro upnutí na hlavici efektoru. Pro účely kontroly, ale byla vyhodnocena jako dostačující, neboť prst je do značné míry předimenzovaný (výsledky na Obr. 35). Upínací síly by bylo možné zmenšit vybavením upínacích ploch prstů pryžovými vložkami pro zvýšení tření mezi prsty a dílcem, avšak tyto podložky by podléhali opotřebení a bylo by nutné je měnit.



Obr. 35) Simulace zatížení prstu

7.4 Sestava koncového efektoru

Výstupem návrhu koncového efektoru je kompletní sestava připravena pro upnutí na robot. Sestava se skládá ze dvou hlavic LEG 400-2-15-2-10X3-B, nosné konstrukce a 4 prstů. Sestava je zobrazena na Obr. 36).

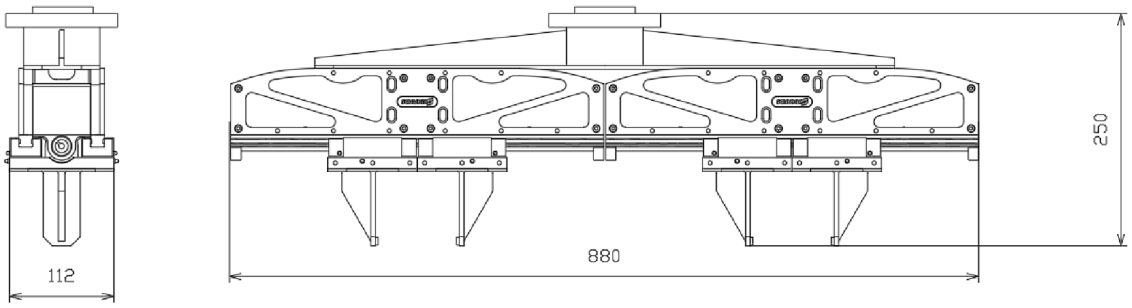


Obr. 36) Sestava koncového efektoru

Tab 2) Parametry sestavy koncového efektoru

Jméno	Hodnota	Jednotky
Hmotnost	16.2	[kg]
Těžiště X	0.005	[mm]
Těžiště Y	0.016	[mm]
Těžiště Z	106	[mm]
Moment setrvačnosti k X	60449,489	[kg mm^2]
Moment setrvačnosti k Y	730342,798	[kg mm^2]
Moment setrvačnosti k Z	700778,050	[kg mm^2]

Na Obr. 37) jsou zobrazeny základní rozměry sestavy koncového efektoru.



Obr. 37) Základní rozměry sestavy

8 KOMPONENTY PRACOVIŠTĚD

8.1 Robot

Manipulační robot byl vybrán IRB 4600-40/2.55. Jedná se o standardní, 6-ti osý robot od firmy ABB. Tento robot byl vybrán na základě určení maximální zátěže ramene (efektor + kostry) a požadavcích na dosah vzhledem k paletovému vstupu. Vzhled robotu na Obr. 38).

Obr. 38) Robot IRB 4600 [22]

Tab 3) Parametry robotu [22]

Jméno	Hodnota	jednotka
nosnost	40	[kg]
Dosah	2.55	[m]
Váha	465	[kg]
Přesnost polohování na 1 mm	98	[%]
Přesnost polohování	0.4 (průměrná)	[mm]

8.2 Obráběcí centrum

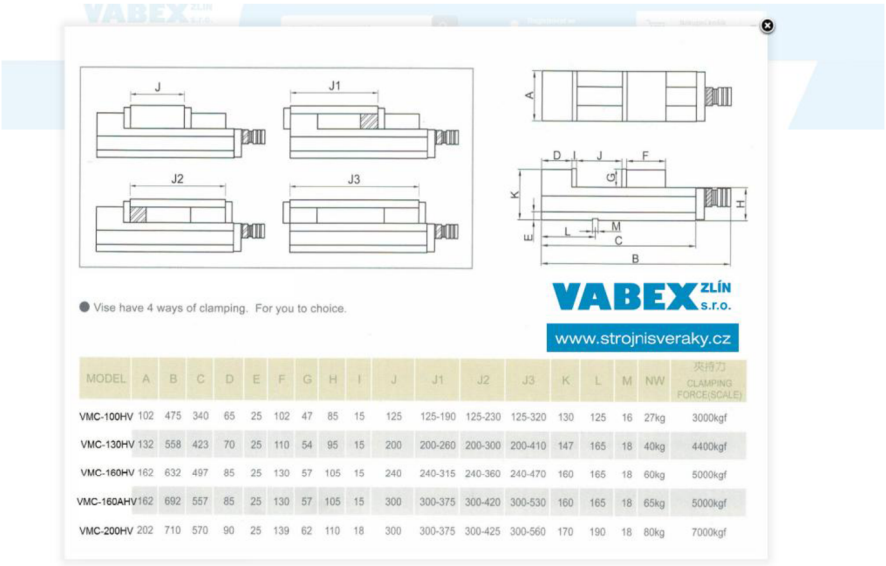
K realizaci obráběcích operací bylo vybráno frézovací centrum od firmy DMG MORI s označením DMU 75 monoBLOCK (zobrazení na Obr. 39). Jedná se o 5-ti osý stroj, který podporuje propojení s robotem a nabízí dostatečně velký pracovní prostor pro obrábění vybrané řady koster a umístění upínacího svěráku, i když stále je předimenzovaný.

Obr. 39) DMU 75 monoBLOCK [23]

Tab 4) Základní parametry DMU 75 monoBLOCK [23]

Jméno	Hodnota	Jednotka
Pojezd v ose x	750	[mm]
Pojezd v ose y	650	[mm]
Pojezd v ose z	560	[mm]
Max. průměr obrobku	840	[mm]
Max. výška obrobku	500	[mm]
Max. hmotnost obrobku	600	[kg]

K upínání koster v pracovním prostoru frézovacího centra je použit hydraulický svěrák od firmy VABEX s označením VMC – 160HV, s upravenými čelistmi tak, aby bylo možné upínat vybraný vzorek koster. Rozměry na Obr. 40).

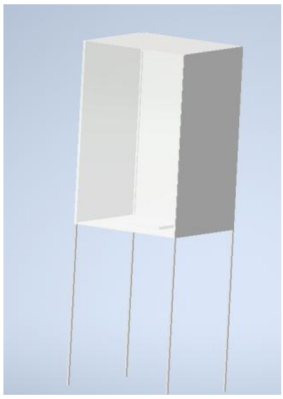


MODEL	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	J1	J2	J3	K	L	M	NW	(RUST) CLAMPING FORCE(SCALE)
VMC-100HV	102	475	340	65	25	102	47	85	15	125	125-190	125-230	125-320	130	125	16	27kg	3000kgf
VMC-130HV	132	558	423	70	25	110	54	95	15	200	200-260	200-300	200-410	147	165	18	40kg	4400kgf
VMC-160HV	162	632	497	85	25	130	57	105	15	240	240-315	240-360	240-470	160	165	18	60kg	5000kgf
VMC-160AHV	162	692	557	85	25	130	57	105	15	300	300-375	300-420	300-530	160	165	18	65kg	5000kgf
VMC-200HV	202	710	570	90	25	139	62	110	18	300	300-375	300-425	300-560	170	190	18	80kg	7000kgf

Obr. 40) Parametry hydraulického svěráku [24]

8.3 Oplachovací stanice

Stejně jako obráběcími cykly, se práce nezabývá ani problematikou oplachování obrobku. Stanice tedy byla v modelu nahrazena pomocí boxu s odhadovanými hodnotami tak, aby splňovala požadavky na rozměry vůči kostrám a dostatek prostoru pro přístup robotu. Model na Obr. 41).



Obr. 41) Koncepční model oplachovací stanice

9 VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ

V této kapitole bude nastíněn postup a potřebné kroky pro virtuální zprovoznění robotického pracoviště. Ke zprovoznění budou použity programy Proces Simulate, RobotStudio a TIA Portal.

9.1 Process Simulate

Dále jen PS. V tomto programu dochází k složení layoutu pracoviště pomocí 3D modelů, generace potřebných signálů, kódu pro robotické operace a následná vizuální simulace provozu pracoviště.

9.1.1 Definice modelů v PS

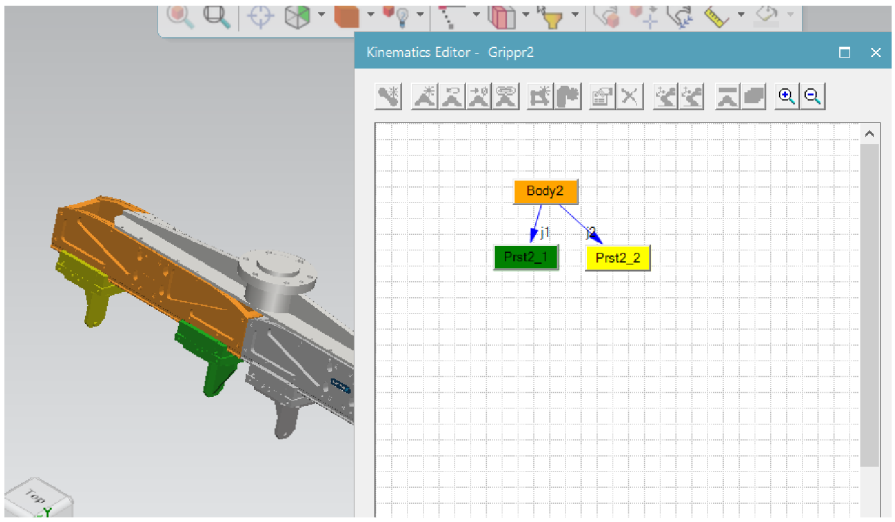
Robot IRB 4600-40/2.55

Model pro použití v simulacích je ke stažení na stránkách výrobce. Tento model je po stažení připraven pro vložení do PS a má již nadefinované potřebné prvky jako je například kinematická struktura.

Koncový efektor

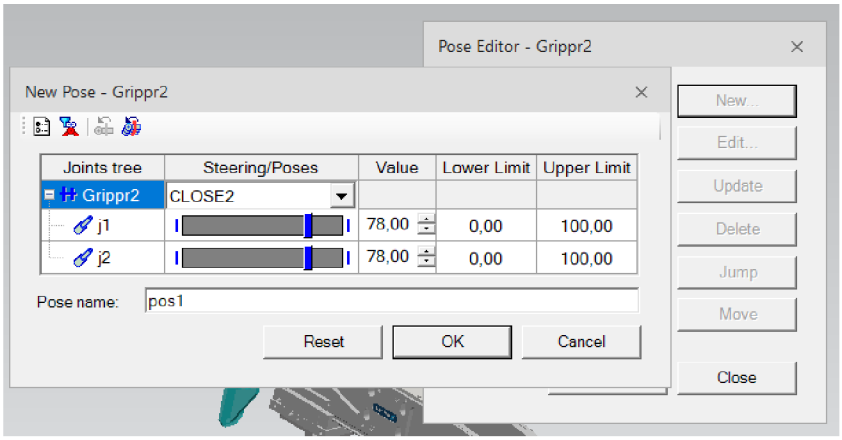
Při umístění 3D modelu do PS je nutné správně nástroj definovat, aby bylo možné ho v simulaci správně používat a program umožnil provádět operace, které jsou pro tento typ koncového efektoru určeny. Nástroji je také potřeba vytvořit referenční body pro provádění operací (TCP) a bod pro upnutí na robot označován jako BASEFRAME.

Po definici nástroje jako gripper a vytvoření bodů. Je dalším krokem vytvoření kinematické struktury, která umožní pohyb jednotlivých částí dle požadavků operací, jako jsou zavřít/otevřít čelisti při úchopu/upuštění manipulovaného dílce. Definice struktury musí probíhat v rozmodelovaném stavu, v Kinematic editoru (ukázka na Obr. 42), kde dojde k rozdělení modelu na jednotlivé části, mezi nimiž jsou následně vytvořeny pohybové vazby (j1 a j2 na Obr. 42). Nástroj byl definován jako dva samostatné grippery na jedné nosné konstrukci, z důvodu omezení počtu kombinací pozic jednotlivých čelistí.



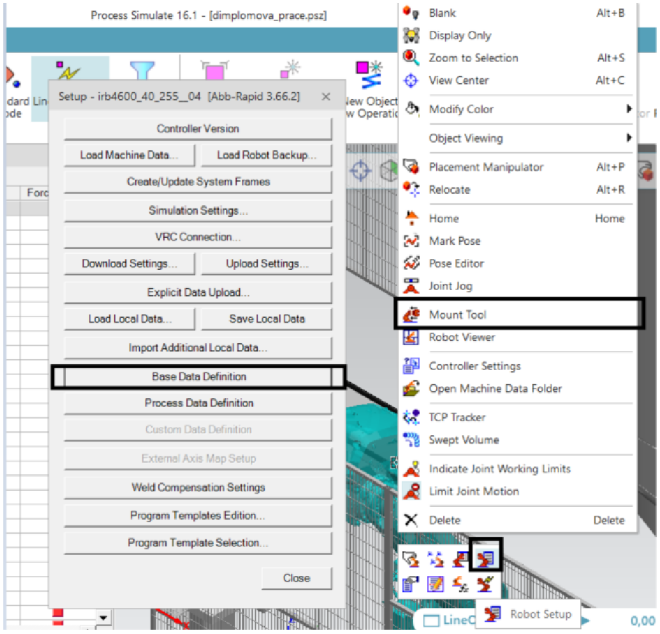
Obr. 42) Ukázka kinematic editoru

S vytvořenou kinematickou strukturou vytvoříme pozice potřebné pro provádění daných operací. K vytvoření pozic slouží Pose editor, který umožňuje ovládat pohybové vazby z Kinematic editoru (ukázka na Obr. 43).



Obr. 43) Ukázka Pose editoru

Takto připravený nástroj poté osadíme na robot pomocí předem vytvořeného BASEFRAME na BASEFRAME robotu. Déle je třeba robotu definovat vytvořené TCP body. Nastavení TCP bodů (Base Data Definition → Tool data) a osazení nástroje má v PS předem připravené funkce viz Obr. 44).



Obr. 44) Funkce pro osazení nástroje a definici TCP

Těmito kroky se nástroj stává plně použitelný pro další postup ve virtuálním zprovoznění. Dalšímu postupu se věnuje kapitola 9.1.3.

Obráběcí centrum

Při vložení do PS definováno jako device. Vzhledem k tomu, že práce se nezabývá obráběcími cykly, bylo ve virtuálním zprovoznění těchto dvou součástí uskutečněno pouze otevírání a zavírání dveří frézovacího centra. Realizace těchto pohybů proběhla pomocí Kinematik a Pose editoru stejně jako u koncového efektoru.

Dopravníky

Slouží v simulaci pouze jako vstupní a výstupní body. Dopravníky nebyly zprovozňovány a jejich funkce byla nahrazena pomocí object flow operací přímo v PS.

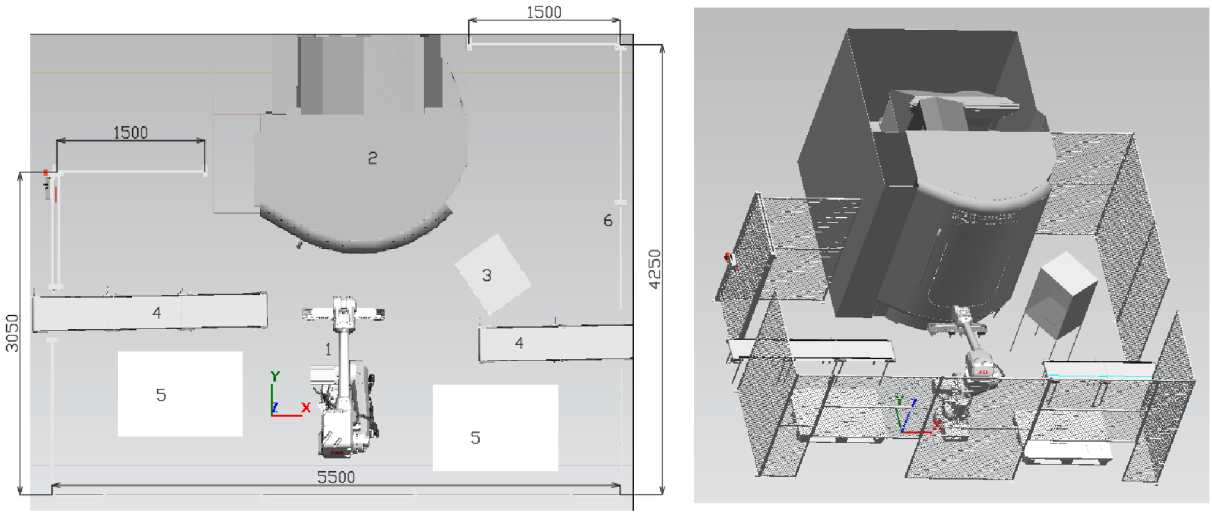
Oplachovací stanice

Při vložení do PS definováno jako device. Ve zprovoznění taktéž rozhýbány pouze dveře pomocí Kinematik a Pose editoru stejně jako u koncového efektoru.

9.1.2 Layout pracoviště

Hlavním cílem bylo sestavení rozložení pracoviště tak, aby robotické cesty byly co nejkratší a vyhýbaly se složitým konfiguracím a zároveň bylo zajištěno, že robot dosáhne na veškerá potřebná místa. Na Obr. 45) je vidět výsledný návrh rozložení, který byl použit pro zprovoznění pracoviště, kdy obrobek vstupuje do pracoviště z levé strany a vystupuje vpravo. Aby byl zajištěn snadný přístup robotu do oplachovací stanice, byla umístěna natočena dveřmi na základnu robotu. Na Obr. 45) vidíme:

1. Robot IRB 4600 + koncový efektor
2. Frézovací centrum DMU 75 monoBLOCK
3. Koncepční model oplachovací stanice
4. Dopravníky pro vstup a výstup obrobku
5. Koncepční návrhy paralelního vstupu/výstupu
6. Bezpečnostní oplocení



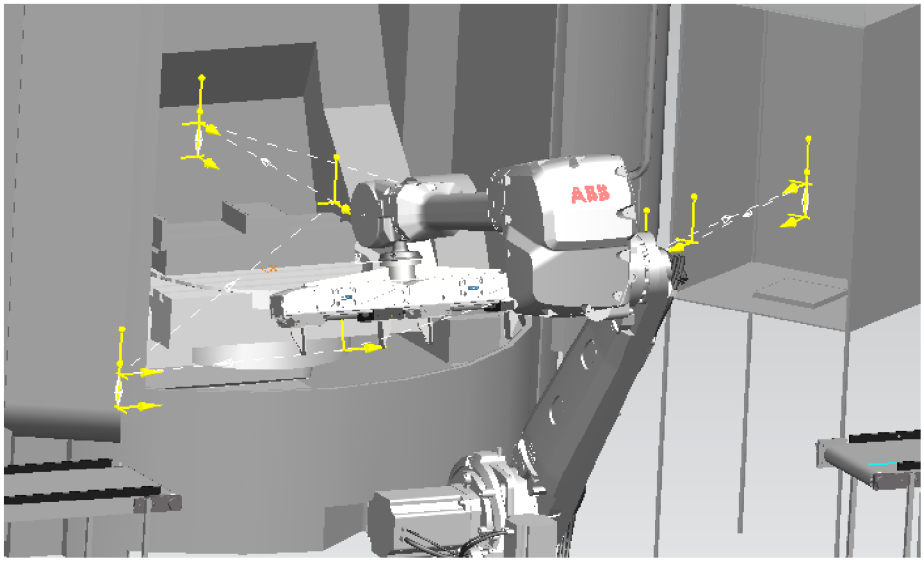
a) b)

Obr. 45) a) Layout pracoviště z vrchu, b)pohled z úhlu

9.1.3 Generace robotických programů

Pokud máme k dispozici složené pracoviště s nadefinovanými komponenty, můžeme začít vytvářet cesty pro robotické operace, ze kterých bude následně vygenerovaný kód použitý pro virtuální kontroler v RobotStudiu.

Operace v PS vytváříme jako generic robotic operation. Hlavními body jsou umístění pro uchopení a odložení manipulovaného dílce, pomocí doplňujících bodů. Pak zajišťujeme, že robot při provádění operace do ničeho nenarazí a nájezd do hlavních bodů proběhne tak, jak má. Ukázka robotické cesty na Obr. 46).



Obr. 46) Ukázka robotické cesty

Takto připravené cesty je následně nutno projet se zapnutou funkcí auto teach, aby se robot naučil jednotlivé konfigurace pro nájezd do bodu. Dále je třeba každému bodu přiřadit tool data, rychlost nájezdu a zónu. Toto nastavení se provádí v Path editoru (viz Obr. 47)

Případně je možnost nastavit způsob pohybu do daného bodu, kde MoveL znamená, že robot se bude do bodu pohybovat po přímce, což se hodí třeba u bodů pro uchopení nebo odložení polotovaru, kde vyžadujeme přesný nájezd, ale snižujeme tím rychlost nájezdu a zvyšujeme náročnost pro kopírování dráhy robotem. MoveJ znamená, že robot vybere, optimální cestu do daného bodu z aktuální pozice.

Path Editor - irb4600_40_255__04

0.00 0.01

Paths & Locations	Config	Tool Da...	Wobj D...	Motion ...	Speed...	Zone D...	Load D...	OLP Commands	Duration	Path #
VSTUP2									25.61	
HOME	0,-2,-3,0	Gripper2		MoveJ	v600	fine			0	
OP2_1	0,-2,-2,0	Gripper2		MoveJ	v600	fine			1.36	
PICK_VSTUP	0,-2,-2,0	Gripper2		MoveL	v100	fine		# Destination Grippr2 # Drive CLOSE2 # Destination Grippr2 #	0.87	
OP2_2	0,-2,-2,0	Gripper2		MoveL	v600	fine			0.63	
OP2_3	0,-2,-3,0	Gripper1		MoveJ	v600	fine			3.02	
OP2_4	0,-2,-3,0	Gripper1		MoveJ	v600	fine			1.51	
PLACE_OC	0,-2,-3,0	Gripper1		MoveL	v100	fine			1.1	
OP2_5	0,-2,-3,0	Gripper1		MoveL	v600	fine			0.63	

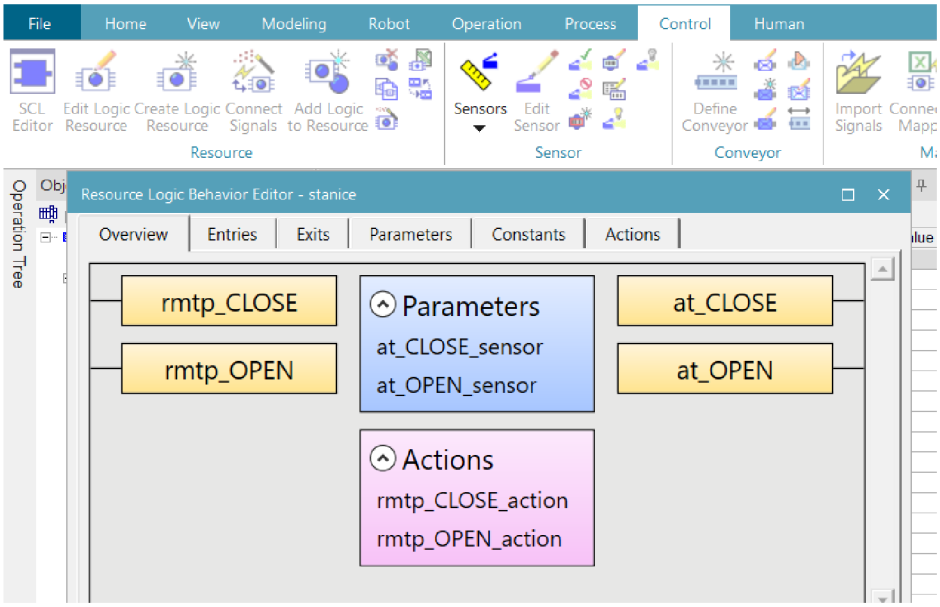
Obr. 47) Path editor

Takto nastavené cesty s naučenou konfigurací a přiřazenými všemi potřebnými parametry použijeme pro vygenerování robotického kódu.

9.1.4 Operace a signály

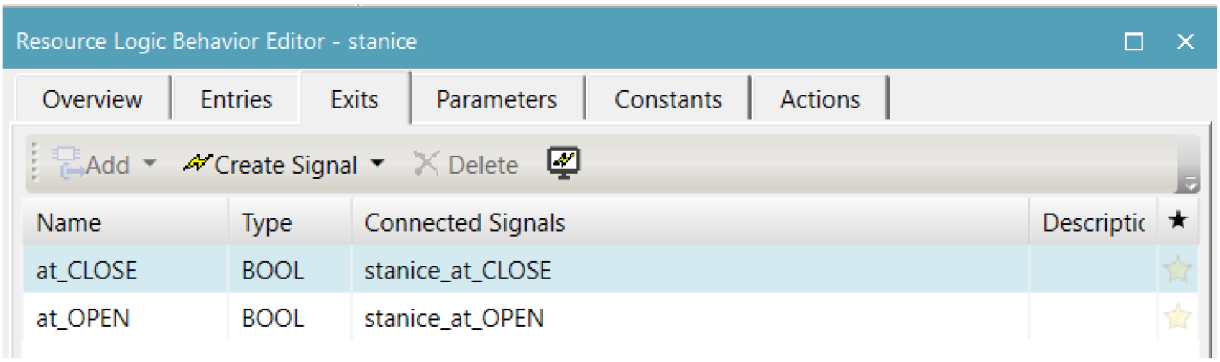
Pro práci se signály je třeba přepnout nastavení v PS na Line simulation mode. V tomto modu je možné jednotlivé signály editovat, případně jejich pomocí řídit průběh simulace. Je tedy dobré před dalším postupem jednotlivé signály ozkoušet. Při vytváření nových signálů musíme určovat, jestli se jedná o vstupní nebo výstupní (PS je brán z pohledu PLC) a jakého datového typu jednotlivé signály mají být.

Pro rozhýbání obráběcího stroje a oplachovací stanice je využita generace logických bloků, pomocí kterých nám PS umožní vygenerovat jak operace pro pohyb, tak signály pro jejich spuštění a koncové senzory. Podkladem pro vytvoření logického bloku je Kinematic a Pose editor. Ukázka na Obr. 48).



Obr. 48) Logický blok pro oplachovací stanici

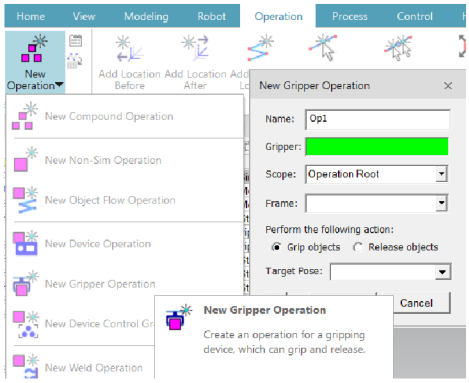
Takto vytvořený logický blok následně umožňuje vygenerování a napojení potřebných signálových vstupů a výstupu pro jeho ovládání viz Obr. 49).



Obr. 49) Napojení koncových senzorů polohy oplachovací stanice

Pro koncový efektor je také vytvořen tento logický blok, ale pouze za účelem získání koncových senzorů, které nám signalizují, že je na požadované pozici. Abychom docílili toho, že během simulace bude efektor správně fungovat, použijeme operaci pro gripper z nabídky operací PS (viz Obr. 50).

Tato funkce nám vytvoří požadované atach/deattach události v místech, kde má dojít k upnutí/odložení polotovaru. Těmto operacím musíme následně vygenerovat startovací signál, aby bylo možné je následně pouštět z řídící PLC.



Obr. 50) Operace pro gripper

U dopravníků je potřeba vygenerovat signály pro object flow operace. Pro ovládání těchto operací byly dopravníky vybaveny vstupními a výstupními světelnými senzory, pro které PS automaticky vygeneruje signál, který reaguje při vstupu sledovaného objektu do paprsku senzoru, dle jeho nastavení.

Robotické signály se generují přímo v nastavení robotu. Signálům je třeba přiřadit název (Robot Signal name), který následně bude použit v RobotStudiu. Tento název slouží jako adresa, pomocí které se signály následně propisují. Ukázka robotický signálů na Obr. 51).

Robot Signals - " irb4600_40_255__04 "

PLC Signal Name	Robot Signal Name	I/O	Signal Function	HW ...	Address	External Connection	Comments
PNO_MotorsOFF	PNI_MotorsOFF	Q		BOOL	5.0	Diplomova_prace	
PNO_MotorsON	PNI_MotorsON	Q		BOOL	5.1	Diplomova_prace	
PNO_Start	PNI_Start	Q		BOOL	5.2	Diplomova_prace	
PNO_Stop	PNI_Stop	Q		BOOL	5.3	Diplomova_prace	

Obr. 51) Robotické signály

Tímto jsou vytvořeny všechny potřebné signály a následuje přiřazení adresy a propojení s PLC. Při nastavení adres musíme dávat pozor, aby se jednotlivé signály nepřekrývaly, což by způsobilo nechtěné chování systému. Adresy a připojení na PLC přidáváme pouze signálům, které chceme propsat a následně použít během zprovoznění. Robotickým signálů ještě přiřazujeme kolonku external connection, která odkazuje na propojení s Robot Studiem. Na Obr. 52) je ukázka nastavení signálů, které jsou použity pro zprovoznění.

Signal Viewer

Signal Name	Memory	Type	Robot Signal Name	Address	IEC Format	PLC Connec	External Connection	Resource
GRIPPER1_CLOSE		BOOL		9.1	Q9.1			Grippr1
GRIPPER1_OPEN		BOOL		9.0	Q9.0			Grippr1
GRIPPER2_CLOSE		BOOL		9.3	Q9.3			Grippr2
GENERATE		BOOL		7.0	Q7.0			
dopravnik_vystup_Start		BOOL		10.0	Q10.0			dopravnik_vystup
dopravnik_vystup_Stop		BOOL		10.1	Q10.1			dopravnik_vystup
PNO_MotorsOFF		BOOL	PNI_MotorsOFF	5.0	Q5.0		Diplomova_prace	irb4600_40_255__04
PNO_MotorsON		BOOL	PNI_MotorsON	5.1	Q5.1		Diplomova_prace	irb4600_40_255__04
PNO_Start		BOOL	PNI_Start	5.2	Q5.2		Diplomova_prace	irb4600_40_255__04
PNO_Stop		BOOL	PNI_Stop	5.3	Q5.3		Diplomova_prace	irb4600_40_255__04

Obr. 52) Ukázka nastavených signálů

9.1.5 Materiálový tok

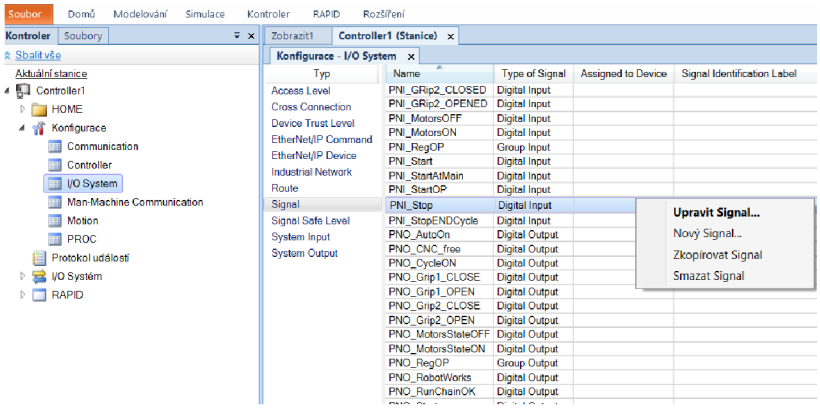
Pomocí této funkce můžeme simulovat průchod dílce pracovištěm. Materiálový tok slouží k vytvoření animace dílce na vstupu a jeho následné odstranění na požadovaném místě na konci cyklu.

9.2 RobotStudio

Dále jen RS. Důvodem pro použití toho programu je možnost vytvoření virtuálního controlleru, který slouží k řízení robotu, simulaci jeho chování a signálové odezvě tak, jako u skutečného zařízení.

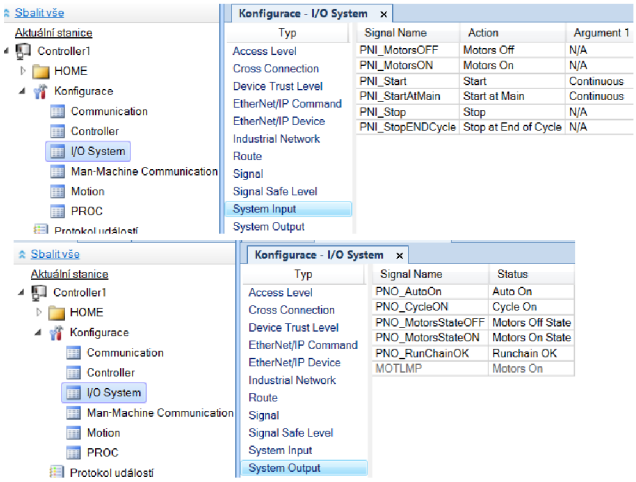
Do RS je vložen model použitého robotu (stejný typ jako v PS) za použití knihoven, které jsou přímo součástí RS. Po vložení modelu nám RS umožňuje vytvořit přímo pro tohoto robotu virtuální controller. Pro účely práce byl vytvořen controller s názvem controller1 běžící na verzi RobotWare 6.11.03.

Po vytvoření controlleru následuje generace robotických signálů. Signály musí mít název, který byl předem přiřazen, při generaci robotickým signálům v PS (název slouží jako adresa). Opět je třeba dávat pozor na to, jestli se jedná o vstupní nebo výstupní signál a jeho datový typ. Ukázka generace signálů na Obr. 53).



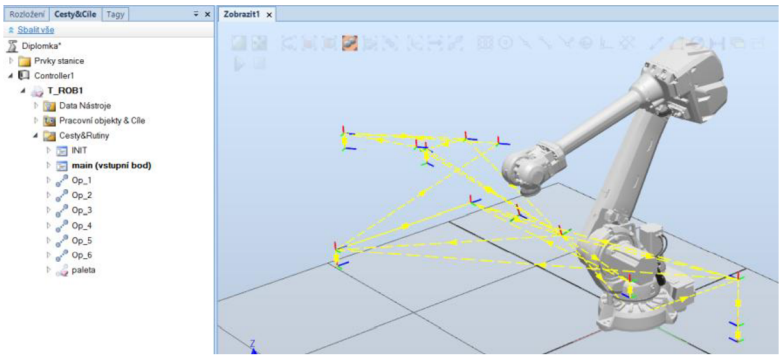
Obr. 53) Generace signálů RS

Nově vygenerovaným signálům je následně přiřazena funkce jednotlivých systémových příkazů a stavových prvků jako, je například stav motorů nebo start programu. Viz Obr. 54).



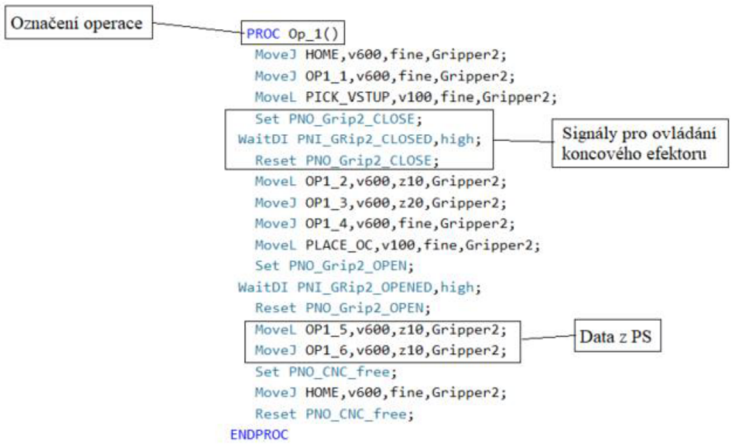
Obr. 54) Nastavení systémových signálů

Další částí je využití kódu pro robotické operace vygenerovaného pomocí PS, pro vytvoření kódu v prostředí RAPID. Vložení těchto informací nám umožní synchronizovat je do stanice robotu, čímž dojde k vytvoření daných cest v simulaci. Ukázka simulace cest v RS na Obr. 55).



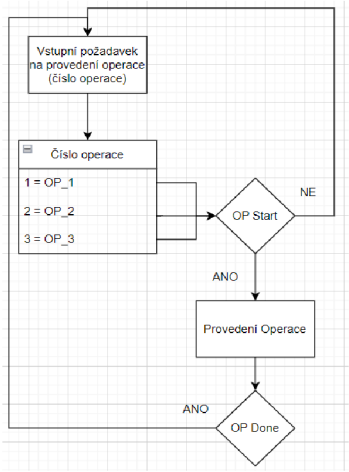
Obr. 55) Naučené cesty v RS

Jednotlivé operace je také potřeba upravit, aby během jejich provádění docházelo k aktivaci/deaktivaci signálů potřebných pro ovládání koncového efektoru (viz Obr. 56).



Obr. 56) Robotická operace v prostředí RAPID

Přidáním rozhodovací struktury do programu získáme možnost spouštět jednotlivé operace pomocí předem zvolených signálů. Schéma struktury k vidění na Obr. 57).

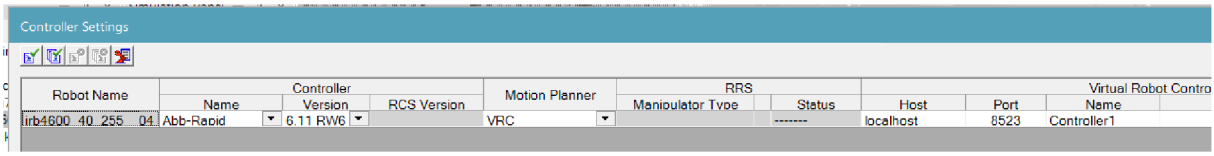


Obr. 57) Schéma rozhodovací struktury pro RAPID

9.3 Propojení

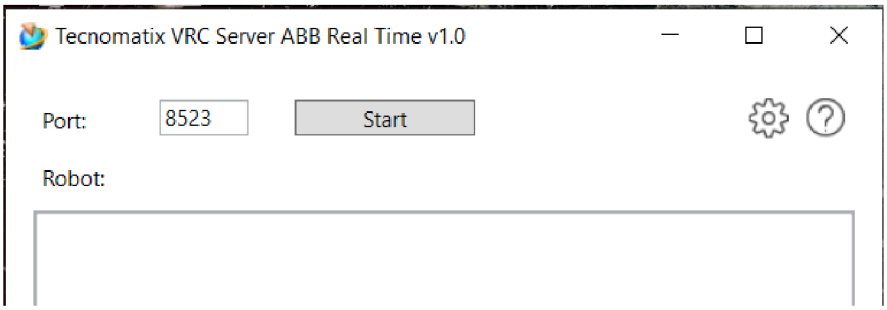
Aby došlo ke správnému propojení všech potřebných programů, je třeba provést několik kroků a nastavit správné parametry.

Prvním krokem v PS je nastavit controller robotu. V tomto nastavení je třeba vybrat správný typ a verzi, která musí být stejná jako verze v RS a nastavení možnost VRC pro řízení pohybu robotu. Nastavený controller je na Obr. 58).



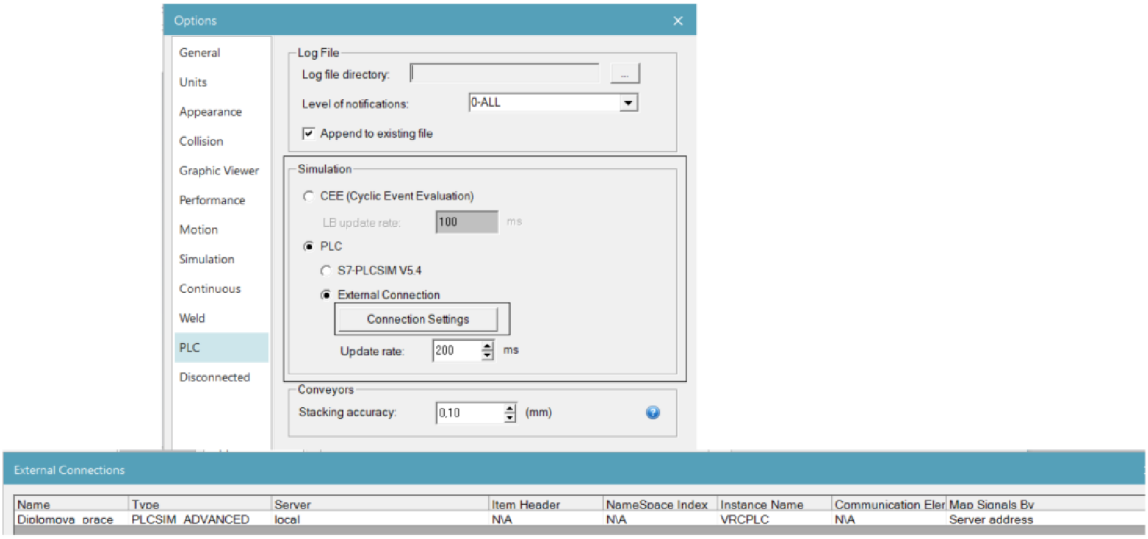
Obr. 58) Controller robotu

Pro propojení mezi PS a RS je použit VRC server. Kde port odkazuje na adresu serveru a Name musí korespondovat s vytvořeným controllerem v RS. VRC server k vidění na Obr. 59).



Obr. 59) VRC server

V PS je dále potřeba nastavit propojení pro simulaci, které slouží pro připojení na PLCSim advance, který simuluje hardware PLC. Zde musíme nastavit simulaci na ovládání z PLC a zadat název vytvořené instance v PLCSim advanced. Ukázka nastavení na Obr. 60).



Obr. 60) Nastavení simulace v PS

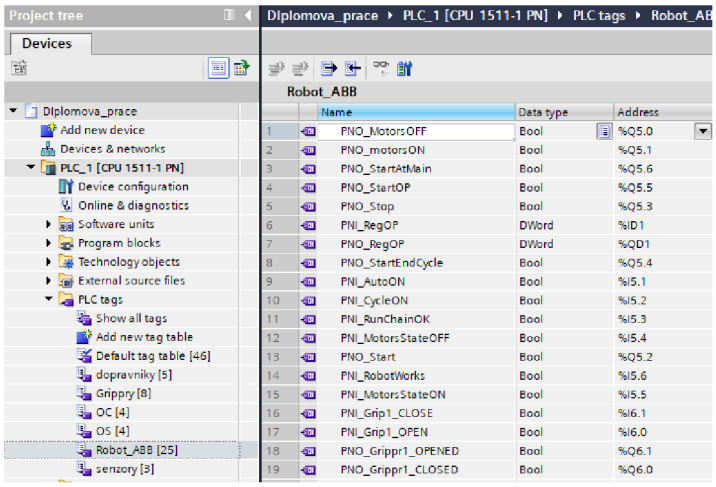
9.4 TIA Portal

Program sloužící k vytváření programů pro řídící PLC, topologie propojení hardwaru a navrhnutí grafické podoby řídicích panelů (HMI). Prvním krokem je založení projektu a vybrání PLC z nabídky programu, na kterém bude následně probíhat vytváření kódu a jeho řízení. Pro toto virtuální zprovoznění bylo použito PLC typu CPU 1511-1 PN.

9.4.1 Signály

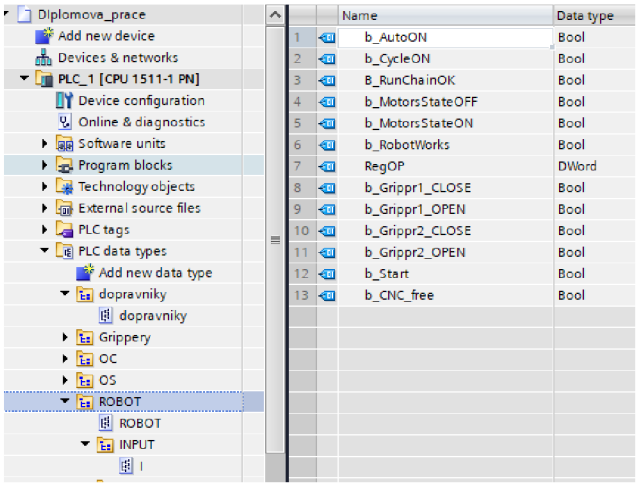
Do TIA portálu musíme napojit všechny signály, které chceme použít pro simulaci. Tyto signály už máme předpřipravené v PS, jedná se o signály, kterým byla přiřazena adresa a zakliknuto PLC Connect.

Pro mapování signálů do TIA portálu slouží položka PLC tag. V této záložce vytvoříme signály, které jdou z PS a nastavíme jim předem přiřazenou adresu, název nemusí být shodný. Pro větší přehlednost byly jednotlivé skupiny rozděleny dle zařízení. Ukázka na Obr. 61).



Obr. 61) PLC tags

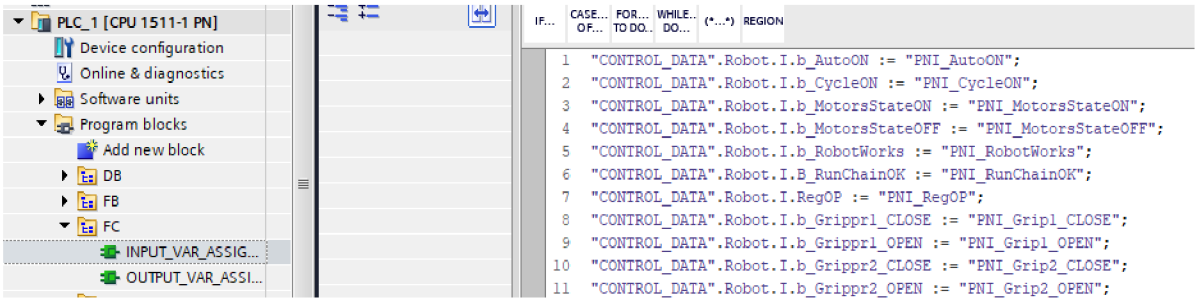
Pro vytvořené PLC tagy, jsou následný vytvořeny proměnné v záložce PLC data types. Tyto proměnné slouží k propsání nebo ovládání signálů, které jdou z nebo do PS (případně RS) a jsou použity během psaní kódu. Opět je možnost pro přehlednost, je rozdělit podle jednotlivých zařízení nebo například vstupy/výstupy. Ukázka na Obr. 62).



Obr. 62) PLC data types

Pro vytvořené proměnné, je následně založen datový blok, do kterého jsou zapsány, a je provedena kompilace programu, aby je program registroval.

Po kompilace systému následuje propojení tagů a proměnných tak, aby byla vytvořena vazba a docházelo ke správnému propsání. K propojení jsou využity funkce. Musíme dbát, na to co je vstupní a co je výstupní signál. Ke kontrole zda jsme nic nevynechali, můžeme použít součet řádků obou funkcí, který by se měl rovnat počtu PLC tagů. Ukázka na Obr. 63).



Obr. 63) Ukázka funkce pro propojení

9.4.2 Program procesu

Pro řízení pracovního cyklu byly vytvořeny 3 funkční bloky, které slouží ke spuštění a ovládají jednotlivé prvky pracoviště. Dále byl napsán stavový automat pro ovládání pracoviště v manuálním režimu.

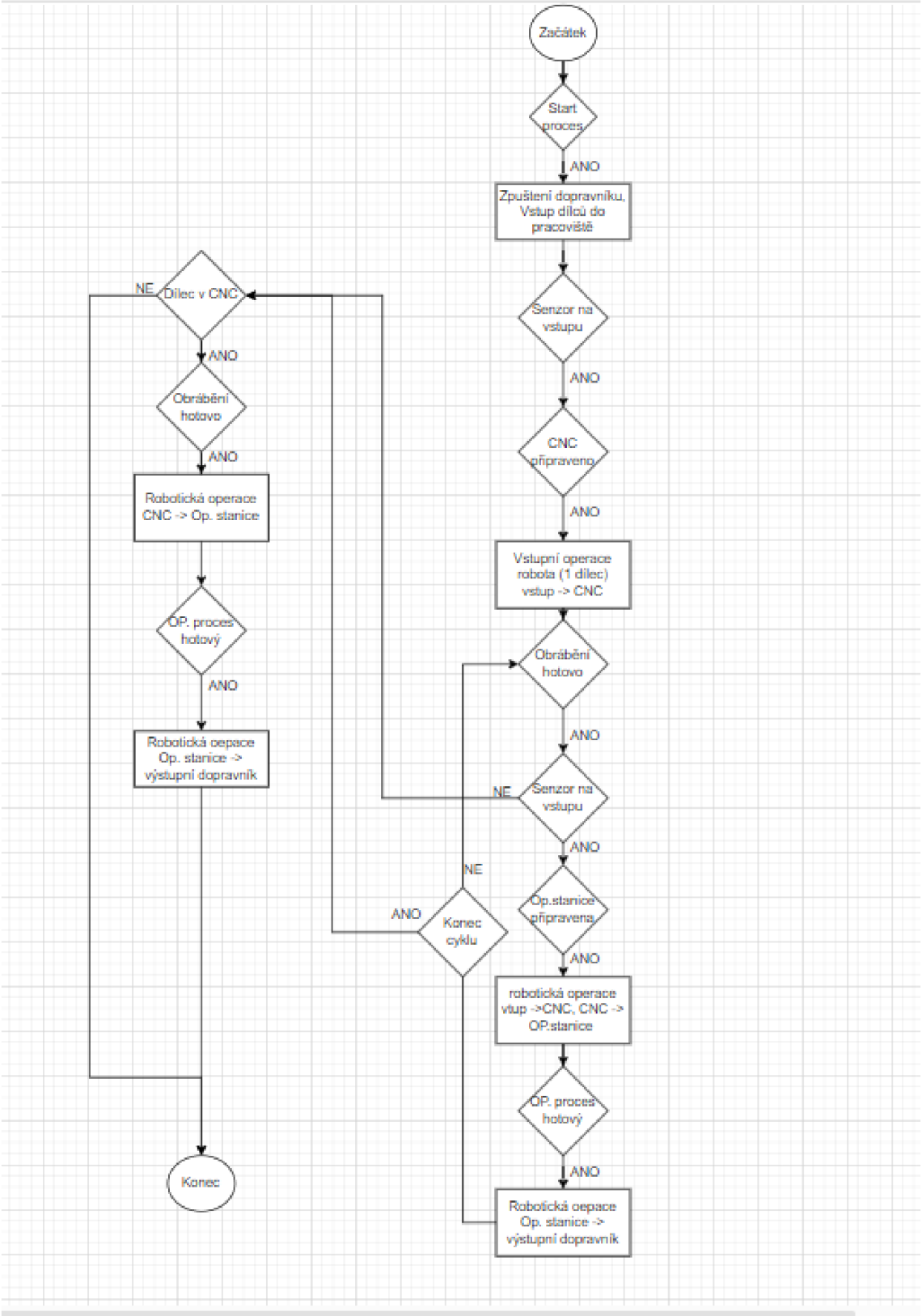
První blok slouží pro inicializaci celého pracoviště. Postup je navržen tak, aby došlo k celkovému spuštění a ověření funkčnosti jednotlivých součástí. V rámci simulace je tento blok spíše ukázka, protože v simulaci nedojde k spuštění chybového stavu. Chybový stav nastává například v případě, kdy motory robotu nenaběhnou v požadovaném čase, systém nedostane zpětnou odezvu od jednotlivých součástí, případně se zařízení vůbec nespustí.

Druhý blok slouží ke kontrole požadované operace se zpětnou vazbou z controlleru robotu a následnému požadavku na spuštění operace.

Třetí blok slouží k ovládání pracovního cyklu v rámci automatického provozu. Cyklus byl navržen tak, aby pracoviště fungovalo nepřetržitě, dokud do pracoviště přijíždí nové dílce a není vystaven požadavek na ukončení operací. Programový blok je založen na principu stavového automatu, pomocí kterého jsou řízeny všechny prvky pracoviště. Diagram pro cyklus je na Obr. 64)

Stavový automat pro ovládání v manuálním režimu umožňuje obsluze ovládat jednotlivé prvky a robotické operace bez spuštění cyklu. Režim je možné využít při rozběhu pracoviště, případně při údržbě nebo poruše automatického provozu.

Funkční bloky je následně potřeba propsat do bloku pojmenovaný jako main, aby docházelo k jejich periodické kontrole a provádění zadaných úkonů. Při vkládání funkčních bloků do bloku main, dojde k vytvoření datových bloků, které zastupují jednotlivé funkční bloky.

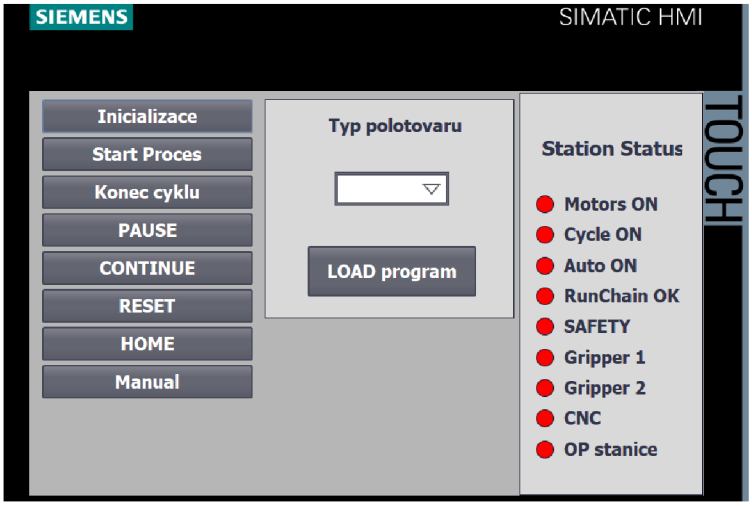


Obr. 64) Diagram pracovního cyklu

9.4.3 HMI

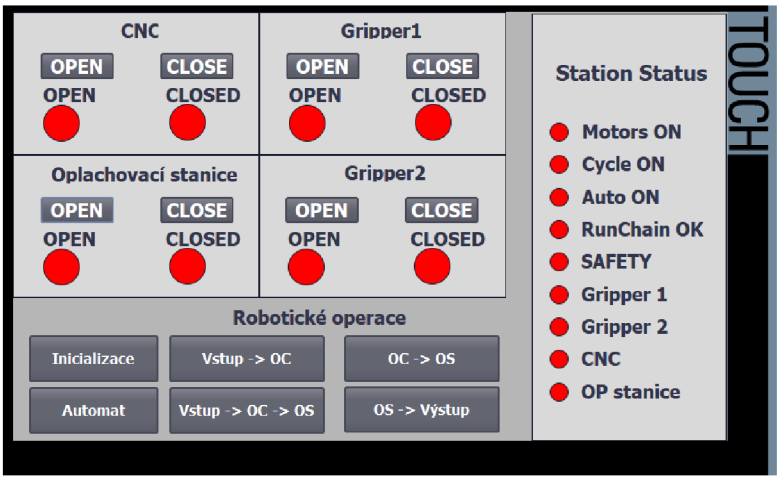
Jako HMI je označován ovládací panel pracoviště. K ovládání navrženého pracoviště v rámci simulace byl vytvořen panel rozdělený na dvě obrazovky, kdy jedna slouží k ovládání v automatickém cyklu a druhá k manuálnímu provádění jednotlivých operací. U reálného obráběcího centra a oplachovací stanice se předpokládá vlastní ovládací obrazovka.

Ovládací obrazovka pro automatický cyklus je vybavena tlačítky pro inicializaci celého pracoviště a ovládání cyklu. Dále je zde blok, který signalizuje stav jednotlivých zařízení. Dalším prvkem je záložka pro načítání programů typu kostry, který bude do pracoviště vstupovat. Tato část obrazovky není zprovozněna, protože kód pro kostry brané z palety nebyl vytvořen stejně jako kódy pro obráběcí operace. Vyobrazení obrazovky na Obr. 65).



Obr. 65) Obrazovka pro automatický režim

Obrazovka pro manuální ovládání je také vybavena tlačítkem pro inicializaci a ukazatelem stavu jednotlivých zařízení. Dále jsou zde tlačítka pro ovládání jednotlivých prvků a ukazatele polohy pro daná zařízení. Z této obrazovky je také možnost pouštět jednotlivé robotické operace. Náhled obrazovky na Obr. 66).

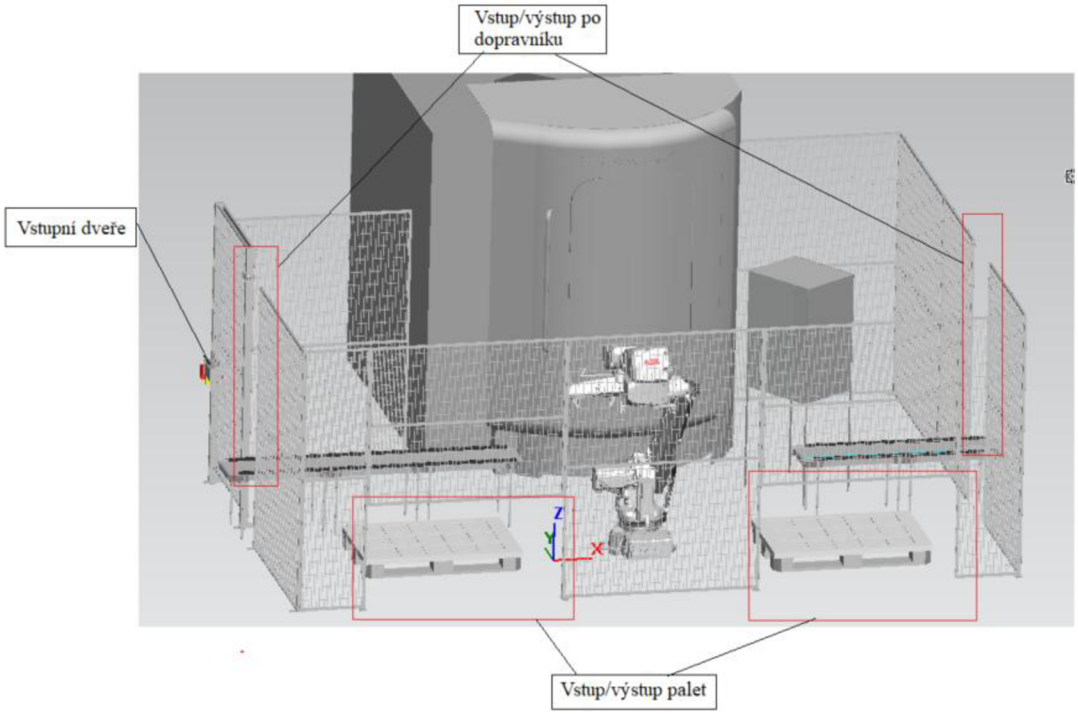


Obr. 66) Obrazovka pro manuální režim

10 BEZPEČNOST

Jeden z hlavních prvků při navrhování a provozování automatizovaného pracoviště, které musí splňovat veškeré legislativní vyhlášky, aby bylo možné ho nabízet k prodeji nebo provozovat. Bezpečnostní prvky jsou navrhovány pouze pro robot, protože frézovací centrum a oplachovací stanice mají vlastní bezpečnostní okruh.

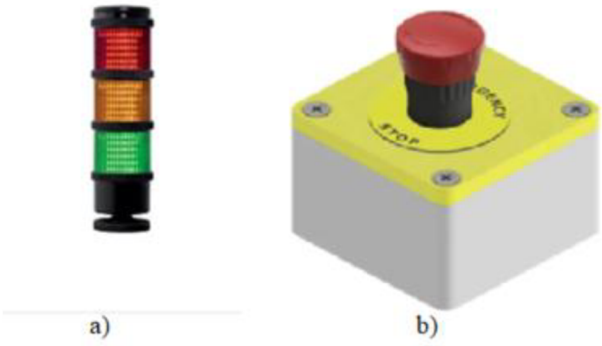
Jedním z prvků bezpečnosti je bezpečnostní oplocení, které slouží k zamezení neautorizovaného vstupu do pracoviště a zabránění nebezpečnému styku mezi robotem a člověkem. Oplocení nám umožňuje provozovat pracoviště v automatickém cyklu a vymezuje nám zastavěnou plochu pracoviště. K realizaci oplocení, byly použity modely od firmy Troax [25]. Oplocení je dále třeba vybavit dalšími bezpečnostními prvky tak, aby zajišťovalo bezpečnost a zároveň umožňovalo provoz pracoviště. Navrhované oplocení k vidění na Obr. 67).



Obr. 67) Návrh oplocení

- **Vstup/výstup palety** - těmto průchodům je třeba přiřadit bezpečnostní prvek, který zabrání neautorizovanému vstupu člověka do pracoviště. Pro tento účel byly vybrány světelné brány.
- **Vstup/výstup dopravníky** - momentálně je v návrhu nechaný otvor nad dopravníky, který musí být před uvedením do provozu zaplněn tak, aby bylo zamezeno neautorizovanému vstupu člověka do pracoviště. K zaplnění otvoru může sloužit napojení na oplocení dalšího pracoviště. Případně, že k napojení nedojde je třeba otvory vyplnit pletivem.
- **Bezpečnostní dveře** – pro vstup do pracoviště, které mají již od výrobce všechny potřebné prvky, pro plnění bezpečnostních funkcí.

Bezpečnostní okruh pracoviště je nadále potřeba vybavit signalizačními světelnými majáky, které signalizují okolí stav pracoviště, tlačítky pro nouzové zastavení provozu v případě poruchy nebo nebezpečí ohrožení života. Ukázka na Obr. 68).



Obr. 68) a) světelné majáky, b) tlačítko pro nouzové zastavení [26]

Z programového hlediska je bezpečnost, samostatný okruh, který je nadřazený okruhu pro ovládání pracoviště. Bezpečnostní okruh musí zajistit bezpečné zastavení robotu a zamezit nebezpečnému provozu, v případě zaznamenání neautorizovaného vstupu do pracoviště. Bezpečnostní okruhy běží na separátním PLC, které je vyrobeno pro plnění všech náležitých požadavků.

Programovací prostředí TIA Portal má většinu bezpečnostních funkcí předinstalovanou a připravenou k použití při navrhování bezpečnostních okruhů. V rámci diplomové práce nebylo PLC s bezpečnostími prvky vytvořeno.

Z pohledu bezpečnosti byl vytvořen pouze návrh pro uskutečnění entry requestu do pracoviště. Kdy obsluha může vystavit požadavek na vstup pracoviště, při zachování většiny funkcí. Systém funguje tak, že po vystavení požadavku dojde k dokončení aktuální robotické instrukce, na jejímž konci robot zastaví a dojde k zablokování automatického režimu robotu. Po zastavení a zablokování režimu může obsluha vstoupit do pracoviště a ovládat robot pomocí pendantu v manuálním režimu.

11 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Navržené pracoviště má dostatečné parametry pro splnění definovaných požadavků. Ovšem při návrhu pracoviště nebylo hleděno na cenu jednotlivých komponent a bylo navrženo bez rozměrových omezení.

V rámci splnění požadavků na flexibilitu byl navržen koncový efektor, který je schopen manipulovat s velkým množstvím typů koster asynchronních elektromotorů. Tato vlastnost patří k hlavní výhodě z ekonomického a výrobního hlediska, protože není nutno mít pro každý typ kostry jiný efektor a není nutná jeho výměna při změně vyráběného typu. Nevýhodami tohoto řešení jsou velké rozměry a hmotnost koncového efektoru a z toho plynoucí vyšší nároky na nosnost robotu a velikost pracovního prostoru.

Součástí návrhu je i vytvoření layoutu pracoviště se všemi potřebnými prvky. Layout pracoviště byl navrhován bez omezení zastavěného prostoru a neznalosti návaznosti dalších pracovišť. Pokud bychom tento prostor měli omezený, celkový layout pracoviště by se musel přizpůsobit tak, aby splňoval požadavky na omezený prostor. Návaznost ostatních pracovišť v procesu nám dále určuje směr a způsob vstupu a výstupu polotovaru, čemuž musíme přizpůsobit layout a bezpečnostní prvky daného pracoviště.

12 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo seznámit se s momentálním poznáním v oblasti manipulačních operací a virtuálního zprovoznění a následně navrhnout a virtuálně zprovoznit pracoviště pro manipulaci s kostrami asynchronních elektromotorů.

V první části práce jsme se seznámili s požadavky na automatizaci operací, manipulačními zařízeními a důvody proč se virtuální zprovoznění stává součástí návrhu pracovišť a strojů. Je zde také seznam programů, které se pro tyto účely používají.

V druhé části jsme se zaměřili na návrh pracoviště. Návrh se skládá z vytvoření několika konceptuálních možností na návrh pracoviště. Následovalo definování požadavků, jako je požadavek na flexibilitu výroby. Dle zvolených parametrů byla následně vybrána vhodná varianta z konceptuálních návrhů.

Zvolená varianta byla následně řešena detailněji. Byla provedena konstrukce koncového efektoru a výběr součástí pracoviště pro provádění požadovaných operací. Součástí návrhu je i bezpečnostní oplocení a návrhy na jeho prvky.

Vzhledem k parametrům navrženého pracoviště je vhodné pro velkosériové výrobní závody, které využijí jeho hlavní přednost, kterou je schopnost pracovat s širším záběrem polotovarů.

13 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] Manipulační operace. *Encyklopedie BOZP* [online]. 2014 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: https://ebozp.vubp.cz/wiki/index.php/Manipula%C4%8Dn%C3%AD_operace

[2] Bin picking a manipulace. *Goldmaxservices* [online]. [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: https://goldmaxservices.cz/bin-picking-manipulace/

[3] Sedm výzev, se kterými se každý systém manipulace s materiálem musí umět vypořádat. *Vseoprumyslu* [online]. listopad 28, 2022 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: https://www.vseoprumyslu.cz/udrzba-a-diagnostika/asset-management/sedm-vyzev-se-kterymi-se-kazdy-system-manipulace-s-materialem-musi-umet-vyporadat.html

[4] RUMÍŠEK, Pavel. AUTOMATIZACE (roboty a manipulátory). *Ust.fme.vutbr* [online]. V Brně, srpen 2003 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_roboty_rumisek.pdf

[5] Roboty a manipulátory. *Edumat* [online]. Učební text VOŠ a SPŠ Kutná Hora [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: http://www.edumat.cz/texty/Roboty_manipulatory.pdf

[6] Manipulační technika: Od vozíků až po roboty. *FACTORY AUTOMATION* [online]. 18 prosince, 2016 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://factoryautomation.cz/manipulacni-technika-od-voziku-az-po-roboty/

[7] Robot: Jak funguje?. *KUKA* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/robot-clanek

[8] TROJAN, Tomáš. Rozhovor o největším světovém výrobci SCARA robotů. *Strojirenstvi* [online]. 29. července 2020 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.strojirenstvi.cz/rozhovor-o-nejvetsim-svetovem-vyrobci-scara-robotu

[9] JALOVÁ, Martina a Miroslav JALOVÝ. *Výrobní stroje a zařízení: Automatizace výrobních zařízení* [online]. České vysoké učení technické v Praze [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://media1.vesele.info/files/media1:50f871772e590.pdf.upl/VSZ_-_Priprava.pdf

[10] Vyhledávač robotů. *FANUC* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%c3%a1nka-filtru-robot%c5%af

[11] Průmyslové roboty. *KUKA* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty

[12] Koncovy-efektor-jako-dulezita-periferie-robotu. *Wpeng* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: [12] https://www.wpeng.cz/l/koncovy-efektor-jako-dulezita-periferie-robotu/

[13] SCHUNK. *Https://schunk.com* [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/uchopovaci-systemy/c/PUB_8293

[14] PEŠKA, Robert. *Vakuová chapadla v průmyslové automatizaci* [online]. 15. Červenec 2020 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://automatizace.hw.cz/vakuova-chapadla-v-prumyslove-automatizaci.html

[15] Chápadlá. *Encyklopediapoznania* [online]. 28. 12. 2017 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://encyklopediapoznania.sk/clanok/7276/chapadla

[16] Virtuální zprovoznění - budoucnost průmyslu. *Visionsmag* [online]. 27. 09. 2018 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.visionsmag.cz/virtualni-zprovozneni-meni-budoucnost-prumysl

[17] TAURID OSTRAVA S.R.O. Virtuální zprovoznění výrobních linek. *Elektroprumysl* [online]. 4. ČERVENEC 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.elektroprumysl.cz/software/virtualni-zprovozneni-vyrobnich-linek

[18] Process Simulate: Manufacturing process verification in powerful 3D environment. *Plm.automation.siemens* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/en_gb/Images/7457_tcm642-80351.pdf

[19] SEGERSTOM, Martin. *What is RobotStudio? I bet you're guessing it has something to do with robots.* [online]. 2013-04-24 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: https://www.abb-conversations.com/2013/04/what-is-robotstudio-something-to-do-with-robots/

[20] SIMATIC S7-PLCSIM Advanced. *Siemens* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://new.siemens.com/cz/cs/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-plcsim.html#onUcPrivacyKlikn%C4%9Bte

[21] HOTAŘ, Vlastimil. *Efektory a periferní zařízení robotů* [online]. 2021 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: https://elearning.tul.cz/mod/resource/view.php?id=437851

[22] IRB 4600. *ABB* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb-4600

[23] DMG MORI. *Dmgmori.com* [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/petiose-frezovani/dmu-monoblock/dmu-75-monoblock

[24] VABEX s.r.o. *Strojnisveraky.cz* [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: https://www.shop.strojnisveraky.cz/?gclid=Cj0KCQjw9deiBhC1ARIsAHLjR2DDFHsaXbshamVED4lk3tI2nHF8atxmwzSZTK3ZtMFmjUcQchs9ldEaAmglEALw_wcB

[25] Troax. *Troax.cz* [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://www.troax.com/global/en/cad-mg-panels?fbclid=IwAR0vOtueGNO1Deds_huXSCtAstpkuEtUDV3-vQqt3pDHQNXrlymJGYSySk8

[26] *Rs_online* [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://cz.rs-online.com/web/

[27] Siemens, s.r.o. *Siemens.com* [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://new.siemens.com/cz/cs/products/automation/industry-software/automatizacni-software/tia-portal.html

[28] Robotic 24/7. *Siemens Xcelerator and NVIDIA Omniverse to Accelerate Digital Twins for Manufacturers* [online]. June 29, 2022 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: https://www.robotics247.com/article/siemens_xcelerator_nvidia_omniverse_accelerate_digital_twins_manufacturing

[29] *Beckhoff.com* [online]. [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/automation/twincat/

[30] Siemens. *Plm.automation.siemens.com* [online]. [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/media/country/engage/Produktovy%20letak%20-%20Virtualni%20zprovozeni_tcm47-8618.pdf

[31] NX CAD. *Tpvgroup.cz* [online]. [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: https://www.tpvgroup.cz/nxcad/

[32] Products. *Electricmotorsmt* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://electricmotorsmt.com/en/products

14 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

PLC	Programovatelný logický automat
Atd.	A tak dále
CNC	Číslicové řízení pomocí počítače
NC	Číslicové řízení
HiL	Hardware ve smyčce
PS	Process Simulate
RS	RobotStudio

Značka	Jednotka	Parametr
f	[-]	Součinitel tření
g	$[m/s^2]$	Gravitační zrychlení
F_g	[N]	Gravitační síla
F_n	[N]	Normálová síla
F_U	[N]	Upínací síla
k	[-]	Součinitel bezpečnosti
m	[kg]	Hmotnost

14.1 Seznam tabulek

TAB 1) PARAMETRY LEG 400-2-15-2-10X3-B [13] 39
TAB 2) PARAMETRY SESTAVY KONCOVÉHO EFEKTORU 43
TAB 3) PARAMETRY ROBOTU [22] 44
TAB 4) ZÁKLADNÍ PARAMETRY DMU 75 MONOBLOCK [23] 45

14.2 Seznam obrázků

OBR. 1) ROZDĚLENÍ MANIPULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ [4] 20
OBR. 2) TELEOPERÁTOR ROBOT 350 DA VINCI [5] 20
OBR. 3) PŘÍKLAD MANIPULAČNÍ OPERACE POMOCÍ ROBOTU (PALETIZACE) [2] 21
OBR. 4) PRŮMYSLOVÉ ROBOTY FIRMY KUKA [7] 22
OBR. 5) EPSON, ROBOT BERTIE [8] 22
OBR. 6) DELTA ROBOT ŘADY DR-3IB [10] 23
OBR. 7) KÁRTÉZSKÁ POHYBOVÁ STRUKTURA / PORTÁLOVÝ MANIPULÁTOR [9] 23
OBR. 8) CYLINDRICKÁ POHYBOVÁ STRUKTURA / ROBOT SCARA [9] 24

OBR. 9) SFÉRICKÁ POHYBOVÁ STRUKTURA / ROBOT SE SFÉRICKOU POHYBOVOU STRUKTUROU [9] 24
OBR. 10) ANGULÁRNÍ POHYBOVÁ STRUKTURA / ROBOT FIRMY ABB [9] 25
OBR. 11) ROBOT S KONCOVÝM EFEKTOREM PRO MANIPULAČNÍ OPERACI 26
OBR. 12) ROZDĚLENÍ DLE UMÍSTĚNÍ KONTAKTNÍCH ROVIN [21] 27
OBR. 13) A - VNĚJŠÍ, B - VNITŘNÍ [21] 27
OBR. 14) ROVNOVÁHA OBJEKTU PŘI POHYBU PRIZMATICKÉHO LŮŽKA [21] 28
OBR. 15) A - ODPRUŽENÉ ČELISTI PRO VNĚJŠÍ UCHOPENÍ, B -PRO VNITŘNÍ UCHOPENÍ, C - OTOČNÉ ČELISTI, D - POSUVNÉ PRVKY S KULIČKOVOU ZÁPADKOU [21] 28
OBR. 16) A) PARALELNÍ CHAPADLO TŘÍDY PGL-PLUS-P, B) ÚLOVÉ CHAPADLO TŘÍDY SGB, C) STŘEDÍCÍ CHAPADLO TŘÍDY JGZ, D) 5PRSTÁ UCHOPOVACÍ RUKA [13] 29
OBR. 17) CHAPADLO ŘADY PLG [13] 29
OBR. 18) VAKUOVÉ CHAPADLO [15] 30
OBR. 19) MAGNETICKÉ CHAPADLO EGM [13] 30
OBR. 20) SCHÉMA HIL [30] 31
OBR. 21) VIRTUÁLNÍ/SKUTEČNÉ PRACOVIŠTĚ [28] 31
OBR. 22) UKÁZKA PROSTŘEDÍ PROCESS SIMULATE [18] 32
OBR. 23) PROSTŘEDÍ PROGRAMU ROBOTSTUDIO [19] 32
OBR. 24) TIA PORTAL – INŽENÝRSKÝ EKOSYSTÉM PRO AUTOMATIZACI [27] 33
OBR. 25) PROSTŘEDÍ NX [27] 33
OBR. 26) KOSTRA ASYNCHRONNÍHO MOTORU 35
OBR. 27) ROZMĚRY MOTORŮ TYPU B3 [32] 36
OBR. 28) PALETA S PLASTOVOU PROLOŽKOU 37
OBR. 29) SILOVÁ ROVNOVÁHA 38
OBR. 30) LEG 400-2-15-2-10X3-B [13] 39
OBR. 31) NOSNÁ KONSTRUKCE 40
OBR. 32) PEVNOSTNÍ ANALÝZA NOSNÉ KONSTRUKCE 40
OBR. 33) UCHOPOVACÍ SÍLA V ZÁVISLOSTI NA DÉLCE PRSTŮ [13] 41
OBR. 34) PRST KONCOVÉHO EFEKTORU 41
OBR. 35) SIMULACE ZATÍŽENÍ PRSTU 42
OBR. 36) SESTAVA KONCOVÉHO EFEKTORU 43
OBR. 37) ZÁKLADNÍ ROZMĚRY SESTAVY 43
OBR. 38) ROBOT IRB 4600 [22] 44
OBR. 39) DMU 75 MONOBLOCK [23] 44

OBR. 40) PARAMETRY HYDRAULICKÉHO SVĚRÁKU [24] 45
OBR. 41) KONCEPČNÍ MODEL OPLACHOVACÍ STANICE....45
OBR. 42) UKÁZKA KINEMATIC EDITORU 46
OBR. 43) UKÁZKA POSE EDITORU 47
OBR. 44) FUNKCE PRO OSAZENÍ NÁSTROJE A DEFINICI TCP 47
OBR. 45) A) LAYOUT PRACOVIŠTĚ Z VRCHU, B)POHLED Z ÚHLU 48
OBR. 46) UKÁZKA ROBOTICKÉ CESTY 49
OBR. 47) PATH EDITOR 49
OBR. 48) LOGICKÝ BLOK PRO OPLACHOVACÍ STANICI 50
OBR. 49) NAPOJENÍ KONCOVÝCH SENZORŮ POLOHY OPLACHOVACÍ STANICE 50
OBR. 50) OPERACE PRO GRIPPER 51
OBR. 51) ROBOTICKÉ SIGNÁLY 51
OBR. 52) UKÁZKA NASTAVENÝCH SIGNÁLŮ 51
OBR. 53) GENERACE SIGNÁLŮ RS 52
OBR. 54) NASTAVENÍ SYSTÉMOVÝCH SIGNÁLŮ 52
OBR. 55) NAUČENÉ CESTY V RS 53
OBR. 56) ROBOTICKÁ OPERACE V PROSTŘEDÍ RAPID 53
OBR. 57) SCHÉMA ROZHODOVACÍ STRUKTURY PRO RAPID 53
OBR. 58) CONTROLLER ROBOTU 54
OBR. 59) VRC SERVER 54
OBR. 60) NASTAVENÍ SIMULACE V PS 54
OBR. 61) PLC TAGS 55
OBR. 62) PLC DATA TYPES 55
OBR. 63) UKÁZKA FUNKCE PRO PROPOJENÍ 56
OBR. 64) DIAGRAM PRACOVNÍHO CYKLU 57
OBR. 65) OBRAZOVKA PRO AUTOMATICKÝ REŽIM 58
OBR. 66) OBRAZOVKA PRO MANUÁLNÍ REŽIM 58
OBR. 67) NÁVRH OPLOCENÍ 59
OBR. 68) A) SVĚTELNÉ MAJÁKY, B) TLAČÍTKO PRO NOUZOVÉ ZASTAVENÍ [26]…….. 60

15 SEZNAM PŘÍLOH

Videozáznam pracovního cyklu