



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH ROBOTICKÉ BUŇKY PRO OBSLUHU OBRÁBĚCÍHO STROJE

DESIGN OF A ROBOTIC CELL FOR A MACHINE TENDING APPLICATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Filip Rusňák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Pochylý

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

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

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh robotické buňky pro obsluhu obráběcího stroje

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na návrh pracoviště s průmyslovými roboty pro obsluhu obráběcího stroje. Vstup objektů do linky bude řešen pomocí technologie bin-picking. Práce bude řešit problematiku výběru objektů z bedny a založení objektu do stroje včetně návrhu přípravků pro otočení objektu, jeho vystředění apod. V rámci návrhu pracoviště bude využit SW Siemens Process Simulate pro detailní simulaci výroby a ověření funkčnosti navrženého řešení ve virtuálním prostředí.

Cíle diplomové práce:

Specifikace zadání – rozbor zadané problematiky.

Návrh možností řešení pro zadaný typ aplikace.

Konstrukční návrh dílčích částí pracoviště (koncové efekty, přípravky, oplocení, krytování apod.)

Ověření funkčnosti řešení ve virtuálním prostředí – v SW Siemens Process Simulate.

Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4.

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

MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197.

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

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zaměřuje na návrh robotizovaného pracoviště pro obsluhu CNC soustružnického obráběcího centra. Vstup do buňky je realizován pomocí bin-picking technologie. V první části práce je vypracován současný stav řešené problematiky. Ve druhé části jsou vypracovány tři návrhové varianty layoutu, z nichž je vybrána nejvhodnější. Tato varianta je v další části práce rozpracována včetně 3D modelů jednotlivých prvků a výkresové dokumentace. Funkčnost navrženého pracoviště je dále ověřena pomocí simulace v simulačním prostředí softwaru Siemens Process Simulate. V závěrečné části práce je ještě vypracováno technicko ekonomické posouzení pracoviště.

ABSTRACT

The master thesis deals with design of a robotic workcell for the operating of CNC lathe. The material input is realized by bin picking technology. The first part is an overview of related industries. Three variants of the workcell layout were created in the second part and the most suitable variant was selected. Selected variant is further elaborated, including 3D models of the workplace parts and drawings. The functionality of the designed workcell is checked by Siemens Process Simulate software simulation. The technical and economical evaluation is performed at the final part of the thesis.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robotizované pracoviště, obsluha obráběcího stroje, návrh koncového efektoru, bin picking technologie, simulace robotizovaného pracoviště, Siemens Process Simulate

KEYWORDS

Robotic workcell, production machine tending, effector design, bin picking technology, robotic workcell simulation, Siemens Process Simulate

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RUSŇÁK, Filip. *Návrh robotické buňky pro obsluhu obráběcího stroje*. Brno, 2021. 89 s. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133151>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Aleš Pochylý

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Aleši Pochylému za věnovaný čas a odbornou pomoc při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat celé své rodině za podporu v průběhu celého studia

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 19.5.2021

.....

Rusňák Filip

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVACE.....	17
3	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	19
3.1	Průmyslové roboty	19
3.1.1	Průmyslové roboty se sériovou kinematikou.....	19
3.1.2	Průmyslové roboty s paralelní kinematikou	21
3.1.3	Svařovací roboty	22
3.1.4	Lakovací roboty	22
3.1.5	Paletizační roboty	23
3.1.6	Kolaborativní roboty.....	23
3.2	Koncové efekторы	24
3.2.1	Technologické výstupní hlavice	24
3.2.2	Manipulační výstupní hlavice.....	24
3.2.3	Kombinované výstupní hlavice	27
3.2.4	Speciální výstupní hlavice	27
3.3	Off-line programování robotů.....	28
3.3.1	Siemens Process Simulate	28
3.3.2	Další softwary pro off-line programování robotů.....	31
3.4	Technologie Bin Picking	32
3.4.1	Snímání povrchu součástí	33
3.4.2	Řešení společnosti FANUC	34
3.4.3	Řešení firmy BLUMENBECKER.....	35
3.5	Průmyslové značení výrobků.....	36
3.5.1	Laserové značení	36
3.5.2	Inkoustové značení	37
3.5.3	Mikroúderové značení	37
4	ZADANÁ PROBLEMATIKA	39
5	NÁVRH A VÝBĚR USPOŘÁDÁNÍ PRACOVISTĚ	41
5.1	První varianta.....	42
5.2	Druhá varianta.....	43
5.3	Třetí varianta.....	43
6	NÁVRH DÍLČÍCH ČÁSTÍ PRACOVISTĚ	45
6.1	Návrh koncového efektoru.....	45
6.1.1	Volba chapadel a návrh prstů	45
6.1.2	Návrh koncového efektoru	49
6.2	Výběr robotu	51
6.3	Bin picking.....	52
6.4	Stanice pro vystředění a otočení součásti	53
6.5	Stanice pro potišnění součásti.....	55
6.6	Výsuv pro vyjmutí součásti ke kontrole	55
6.7	Vstupní a výstupní kontejnery	56
6.8	Bezpečnostní prvky pracoviště	57
6.8.1	Ochranné oplocení	57
6.8.2	Ovládací panel a nouzové zastavení	58
6.8.3	Signální věž	59

7	SIMULAČNÍ MODEL PRACOVIŠTĚ	61
7.1	Vytvoření studie	61
7.2	Importování modelů a jejich definice	61
7.3	Tvorba souřadných systémů, přesouvání komponent	62
7.4	Definice kinematiky komponent	63
7.5	Náhodné rozmístění dílů do vstupního kontejneru	65
7.6	Definice nástrojů robotu	65
7.7	Simulace kabeláže na robotu	66
7.8	Tvorba programu pracoviště	67
7.8.1	Pick and Place operace	67
7.8.2	Device operace	68
7.8.3	Human operace	69
7.8.4	Optimalizace pozice robotu	69
7.9	Analýza kritických pozic součástí v kontejneru	70
7.10	Výstupy ze simulační studie	70
8	TECHNICKO-EKONOMICKÉ POSOUZENÍ	73
8.1	Náklady na provoz současného pracoviště	73
8.2	Náklady na navržené robotizované pracoviště	73
8.3	Výpočet návratnosti investice	76
9	ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO PRAXI	77
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	79
11	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	85
11.1	Seznam zkratk	85
11.2	Seznam tabulek	85
11.3	Seznam obrázků	85
12	SEZNAM PŘÍLOH	89

1 ÚVOD

Průmyslová automatizace a robotizace se ve výrobním průmyslu v poslední době objevuje čím dál více. Dříve byla využívána především v automobilovém průmyslu, kde průmyslové roboty a jednoúčelové stroje nahrazovaly těžkou, náročnou nebo monotónní práci, kterou jinak musela provádět obsluha. Dnes však automatizace a robotizace proniká do dalších výrobních odvětví. Mezi hlavní důvody, proč podniky, s velkosériovou, ale také i s malosériovou výrobou, volí investici do pořízení automatizovaného systému, jsou snížení celkových nákladů na výrobu, snížení výrobních časů, zvýšení produktivity a v neposlední řadě také zvýšení kvality výroby. Průmyslové roboty také mohou být nasazeny v prostředí, které může být pro člověka škodlivé či zdraví nebezpečné.

Dnes je již na trhu velké množství firem, které se zabývají průmyslovou automatizací. Tyto společnosti zajišťují nejen návrh pracoviště, ale také výrobu jednotlivých komponent a samotnou montáž a zprovoznění přímo u zákazníka. Z tohoto důvodu je v dnešní době kladen důraz na co největší produktivitu a kvalitu zpracování již od samotného návrhu. Čím dál více je při návrzích automatizovaných pracovišť využíváno simulačních modelů a off-line programování robotů. S jejich pomocí je totiž možné vyladit nedostatky již ve fázi návrhu, což eliminuje vysoké výdaje, které by bylo nutné vynaložit při opravování u zákazníka.

V první části této diplomové práce je vypracován přehled současného stavu řešené problematiky. Jsou zde přiblížena a představena odvětví, která s danou problematikou úzce souvisí. Jedná se zejména o typy průmyslových robotů, typy koncových efektorů a programování robotů. Součástí pracoviště jsou také technologie využívající strojové vidění pro vyjímání neuspořádaně rozložených dílů z bedny robotem, tzv. bin-picking technologie, a technologie pro označení výrobku (potištění).

Na základě informací, získaných v první části práce, jsou v následující kapitole zpracovány návrhy uspořádání pracoviště, které jsou kriticky zhodnoceny podle zvolených parametrů. Nejvhodnější varianta je dále rozpracována, včetně konstrukčních návrhů dílčích periférií pracoviště tak, aby byla splněna požadovaná funkčnost robotické buňky. Ta je ověřena v simulační části práce. Zde je využit software Process Simulate, s jehož pomocí je možné přesně simulovat průběhy jednotlivých robotických a výrobních operací. S pomocí softwarových nástrojů je možné optimalizovat polohy jednotlivých periférií, ověřit bezkolizní průběh všech operací a zjistit celkový takt buňky. V navazující části práce je zhotoveno technicko-ekonomické zhodnocení, které fiktivnímu zákazníkovi přiblíží hodnotu návratnosti celkové investice.

V závěrečná část je věnována shrnutí dosažených výsledků ze simulační studie a jsou navržena doporučení pro praxi.

2 MOTIVACE

V poslední době se obor průmyslové automatizace a robotizace staly objektem mého zájmu. Bližší informace a znalosti jsem získal nejen studiem magisterského oboru, ale také prací pro firmu, zabývající se průmyslovou automatizací. Mou motivací pro zvolení daného tématu práce bylo, abych tyto nabyté vědomosti zužitkoval a aplikoval na daném konkrétním zadání. Díky tomu jsem si mohl ověřit, zda jsem schopen analyzovat problémy, které s danou problematikou souvisí a na základě poznatků, získaných v průběhu studia a praxe, je také řešit.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

3.1 Průmyslové roboty

V roce 1961 přišla americká firma AMF na trh s prvním průmyslovým robotem, který dostal jméno UNIMATE. Od té doby se průmyslové roboty staly nedílnou součástí výrobních systémů a to především díky své univerzálnosti, produktivitě a přesnosti. [1], [2]

Základní rozdělení průmyslových robotů můžeme provést podle několika kritérií:

1. podle typu kinematického řetězce na:
 - roboty se sériovou kinematikou
 - roboty s paralelní kinematikou
2. podle použití
 - svařovací roboty
 - lakovací roboty
 - paletizační roboty
 - kolaborativní roboty

3.1.1 Průmyslové roboty se sériovou kinematikou

Akční systém robotů se sériovou kinematikou je tvořen binárními členy (kinematickými dvojicemi), které jsou řazeny za sebe. Každé této kinematické dvojici je přiřazen většinou jeden stupeň volnosti. Nejčastěji jsou při stavbě průmyslových robotů využívány kinematické dvojice posuvné (translační) a otočné (rotační). Podle konstrukce je dále můžeme dělit na: [1], [2]

- karteziánské roboty
- SCARA roboty
- dvouramenné roboty
- šestiosé roboty

Karteziánské roboty

Průmyslové roboty tohoto typu jsou často portálového provedení. Vyznačují se svislým pohybem koncového členu jejich kinematického řetězce. Pohybují se lineárně v osách X, Y a Z. Jejich obsluhovaný prostor je tedy kvádr. K pohybu jednotlivých os jsou využívány elektromotory nebo lineární aktuátory. Mezi představitele robotů s tímto typem uspořádání patří např. francouzský robot Renault Portique-80 nebo robot Manta. [1], [2], [3]



Obr. 1) Příklad karteziánského robotu [3]

SCARA roboty

Roboty typu SCARA mají RRT uspořádání kinematických vazeb. Na rozdíl od robotu UNIMATE, který je také významným představitelem uspořádání RRT, transformuje SCARA robot svůj obsluhovaný prostor ze sférického do cylindrického systému. SCARA robot je tvořen dvěma rameny, které jsou spojeny rotační vazbou v základně robotu a v průsečíku obou ramen. Koncovým členem kinematického řetězce je translační kinematická dvojice, která zajišťuje posuv v ose Z. Tyto roboty disponují dobrými dynamickými vlastnostmi, a proto mohou poskytovat i přes menší velikost skvělý výkon, pokročilé řízení trajektorie a perfektní přesnost. Jsou tedy využívány především pro přemísťování předmětů. Mohou být však využity také pro drobné montáže, které zahrnují přesun dílce z jednoho místa na druhé. Další vhodnou operací jsou šroubovací a dávkovací aplikace. [1], [4]



Obr. 2) Robot typu SCARA [5]

Dvouramenné roboty

Tento typ robotů disponuje dvěma rameny, které mohou pracovat nezávisle na sobě. Každé rameno tedy může konat ve stejném čase jiný úkon. Umí tedy pracovat velmi rychle a účinně. Jsou využívány pro montážní práce v elektrotechnickém průmyslu nebo v laboratořích pro manipulaci se vzorky. Typickým představitelem tohoto typu je kolaborativní robot IRB 14000 YuMi od firmy ABB. [2], [6]



Obr. 3) Dvouramenný kolaborativní robot IRB 14000 YuMi [7]

Šestiosé roboty

Kinematický řetězec tohoto typu robotu je složen ze šesti rotačních kinematických dvojic. Výsledný obsluhovaný prostor těchto robotů je torusový segment. V dnešní době jsou nejpoužívanějším typem průmyslových robotů a to hlavně díky své univerzálnosti. Mohou být použity pro základní manipulační operace přemísťování objektů, pro bodové i kontinuální svařování, nanášení lepidla, lakování, ale také pro robotické obrábění. Jsou vyráběny ve velkém rozsahu velikostí (dosah robotu až 5 m) a nosností (až 800 kg). [1], [8]



Obr. 4) Šestiosý robot ABB IRB 2600 [9]

3.1.2 Průmyslové roboty s paralelní kinematikou

Průmyslové roboty s paralelní kinematikou (nazývají se také jako delta roboty) jsou založeny na principu Stewartovy plošiny. Výsledný pohyb u strojů s paralelní kinematikou je dán simultánním řízením a kontrolou podpěr s proměnlivou délkou, které jsou kloubově zavěšeny. Pohony jednotlivých ramen jsou umístěny na základně robotu. Díky tomu mohou být ramena vyrobena s lehkých kompozitních materiálů a robot tím pádem může pracovat ve velkých rychlostech. Díky své rychlosti a přesnosti jsou využívány pro manipulaci se součástkami, k balení a paletizaci. Oblíbené jsou zejména v potravinářské, farmaceutické a chemické výrobě. [1], [10]



Obr. 5) Delta robot ABB IRB 360 Flex Picker [11]

3.1.3 Svařovací roboty

Svařovací roboty jsou určeny pro precizní tvorbu svarů s vysokou kvalitou. Podstatně zvyšují efektivitu výroby a snižují ekonomické náklady. Jsou schopny provádět širokou škálu aplikací. Jedná se například o svařování elektrickým obloukem, laserové svařování, řezání a pájení. Nejčastěji jsou ke svařování využívány upravené šestiosé průmyslové roboty, na jejichž přírubu je upevněn svařovací nástroj. Jsou konstruovány tak, aby se byly schopny dostat i na hůře přístupná místa. Jejich konstrukce je užší a často jsou vybaveny dutým ramenem, kde je možné vést energetické kabely, aby robot nebyl ve svém pohybu tolik omezen. Jejich použití je rozšířeno hlavně v automobilovém průmyslu, kde jsou součástí karosářských linek. [12], [13]



Obr. 6) Svařovací robot FANUC ARC Mate 120iD [14]

3.1.4 Lakovací roboty

Lakovací roboty jsou používány zejména ve stavebnictví a automobilovém průmyslu. Slouží k lakování karoserie automobilů, nábytku nebo okenních rámců. Mezi jejich hlavní výhody patří úspora lakovacích barev, která je ve srovnání s manuálním lakováním až 50%. To přispívá také k podstatnému snížení emisí. Ramena lakovacích robotů jsou často vyráběna ze slitin hliníku. Díky tomu jsou konstrukce lakovacích robotů lehké, čímž se šetří energie na provoz. Konstrukce ze slitin hliníku je také výhodná i z hlediska bezpečnosti, jelikož v případě kolize nedojde ke vznícení. Roboty mají také zvýšený stupeň krytí IP66, což znamená, že konstrukce je zcela prachotěsná a je odolná vůči intenzivně tryskající vodě. Stejně jako v případě svařovacích robotů jsou energetické kabely vedeny dutým ramenem, aby se zamezilo poškození a kontaminaci kabelů [2], [15]



Obr. 7) Lakovací robot FANUC P-250iB/15 [16]

3.1.5 Paletizační roboty

Paletizační roboty jsou schopny unést velké zatížení. Disponují nosností až 2 tuny. Díky tomu jsou s výhodou využívány v potravinářském odvětví při skládání krabic s potravinami na paletu, ale také pro manipulaci se sklem, překližkami atd. Mají robustnější konstrukci, aby byly schopny odolat velkým rázům. Tyto roboty jsou často pouze čtyřosé (osy A4 a A5 jsou pevné). Zápěstí robotu je tedy stále drženo ve vodorovné poloze a díky tomu snese větší zatížení. [2], [17]



Obr. 8) Paletizační robot KUKA KR 700 PA [18]

3.1.6 Kolaborativní roboty

Kolaborativní roboty jsou určeny pro přímou spolupráci s lidmi. Při jejich výrobě je tedy velký důraz kladen na bezpečnost, jelikož robot spolupracuje s člověkem přímo bez typické bariéry (oplocení atd.). Jsou vybaveny pryžovým obložěním a inteligentním senzorickým systémem. Díky tomu je robot schopen při dotyku s překážkou okamžitě zastavit. Jsou využívány k úkolům, kde je zapotřebí vysoká a stále stejná přesnost, typicky tedy ke šroubování, lepení, umístění předmětů nebo odměřování. [2], [19]



Obr. 9) Kolaborativní robot FANUC CR-4iA [20]

3.2 Koncové efekty

Koncový efektor je pracovní ústrojí, které uzavírá otevřený kinematický řetězec průmyslových robotů. Je konstruován pro danou operaci, pro kterou je robot využíván. Jedná se především o operace manipulační, technologické, kontrolní a speciální operace. Z konstrukčního hlediska tedy můžeme koncové efekty rozdělit na výstupní hlavice: [1]

- technologické
- manipulační
- kombinované
- speciální

3.2.1 Technologické výstupní hlavice

Jedná se o výstupní hlavice, které jsou používány při technologických operacích. Typickým příkladem je např. robotické svařování, lakování, nanášení lepidla apod. Tyto hlavice jsou tvořeny přímo nástrojem, který danou operaci přímo vykonává. Na obr. 10 je vidět příklad technologické výstupní hlavice pro robotické broušení. [1]



Obr. 10) Technologická výstupní hlavice MIRKA pro broušení [21]

3.2.2 Manipulační výstupní hlavice

Tento typ výstupních hlavic se také nazývá chapadla. Jedná se o výstupní hlavice, které jsou určeny pro uchopování objektů. Jsou často konstruovány přímo na míru uživateli průmyslových robotů, aby co nejvíce splňovali požadavky pro daný typ manipulační operace. Části chapadel, které přichází do styku s manipulovanými objekty, se označují jako úchopné prvky. A právě podle typu styku s přenášeným objektem můžeme úchopné prvky rozdělit na: [1]

- mechanické
- magnetické
- podtlakové

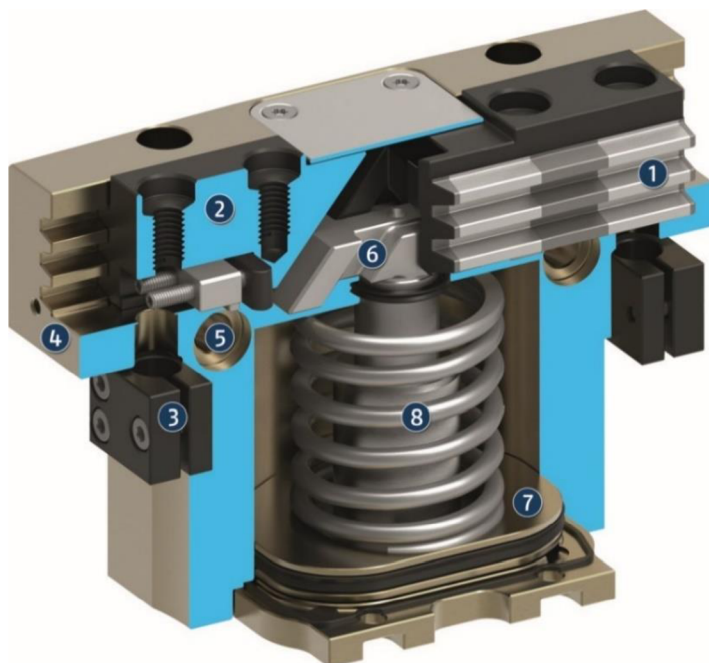
Zároveň je možné uchopovací prvky ještě dále rozdělit na aktivní a pasivní. Aktivní úchopné prvky mohou sami o sobě ovládat úchopnou sílu. K tomu jsou používány různé typy motorů (pneumatické, hydraulické, elektromotory), elektromotorů, vývěv či ejektorů. Pasivní prvky oproti tomu svou úchopnou sílu ovládat nemohou. K jejich uvolnění je zapotřebí vnější zásah. Jsou tvořeny z pasivních prvků, jako jsou opěry, pružiny, permanentní magnety nebo deformační přísavky. [1]

Mechanické úchopné prvky

Základními pasivními mechanickými úchopnými prvky jsou prizmatická lůžka a podpěry, které slouží k podebrání, přenesení nebo odložení objektu. Vedle těchto jednoduchých prvků se však můžeme setkat i s hlavicemi, která disponují odpruženými čelistmi nebo také kleštinami. Pro uchopení je často využíváno pohybu ramena robotu. Uvolnění může být realizováno např. pomocí zpětného pohybu ramena robotu, jakmile daný předmět uchopí jiný manipulátor, nebo s pomocí vyhazovače, který danou součást vytlačí z čelistí. Využívá se také uvolnění za pomoci páky s kladkou, která je součástí chapadla a po najetí na šablonu či doraz čelisti otevře. [1]

Aktivní mechanické úchopné hlavice jsou vybaveny pohyblivými čelistmi. Motory, které tento pohyb obstarávají jsou buď lineární nebo rotační. Jako lineární motory jsou především využívány pneumatické válce, hydraulické válce nebo elektromagnety s posuvnou kotvou. Rotační motory jsou nejčastěji využívány pneumatické a hydraulické motory, elektromotory nebo otočné elektromagnety. Mezi motorem a čelistmi je instalován transformační blok, jehož úkolem je zajistit převod pohybu motoru na pohyb čelistí. [1]

Na obr. 11 je vidět konstrukce chapadla s aktivními uchopovacími prvky od firmy Schunk, jehož pouzdro (4) je vyrobeno z vysokopevnostní hliníkové slitiny. Pohon zajišťuje pneumatický válec, jehož píst (7) se při otevírání začne pohybovat směrem vzhůru. Čelisti (2) jsou opatřeny vícezubým vedením (1), které zajišťuje pohlcování velkých sil a momentů. Klínový hák (6) převádí lineární pohyb pneumatického motoru na čelisti. Při pohybu válce vzhůru jsou tedy čelisti od sebe pomocí klínového háku odtlačovány a díky tomu se chapadlo otevře. Pružina (8) zajišťuje upínací sílu i v případě výpadku média (stlačeného vzduchu). Držáky (3) slouží pro uchycení indukčních snímačů, které poskytují řídicímu systému zpětnou vazbu o tom, v jaké poloze se zrovna čelisti nacházejí. Otvory (5) zajišťují univerzální montáž chapadla. [22]



Obr. 11) Paralelní pneumatické chapadlo firmy SCHUNK [22]

Magnetické úchopné prvky

Pasivní magnetické úchopné prvky jsou tvořeny permanentními magnety. Jejich velkou výhodou je jednoduchá konstrukce, kterou většinou tvoří sestava tyčových permanentních magnetů. Počet a rozmístění jednotlivých magnetů je přizpůsoben podle tvaru a hmotnosti uchopovaného předmětu. Chapadlo musí být vybaveno přídatnými mechanismy, které slouží pro oddělení uchopených předmětů od permanentních magnetů. K tomu jsou využívány např. různé mechanické dorazy nebo výsuvné desky. Hlavice s pasivními úchopnými magnetickými prvky jsou používány pro manipulaci s magnetickými předměty s menšími rozměry a hmotností (plechové výlisky, kroužky, podložky atd.). [1]

Jako aktivní magnetické úchopné prvky jsou využívány elektromagnety, které jsou napájeny nejčastěji stejnosměrným proudem. Výhodou tedy je, že k uvolnění součásti není potřeba další mechanismů. Stačí pouze vypnout přívod elektrického proudu do elektromagnetu. Při působení stejnosměrného magnetického pole však může dojít ke zmagetizování uchopeného objektu, což může způsobit potíže při uvolňování daného předmětu. Proto se ještě i po přerušení přívodu elektrického proudu k elektromagnetům provádí tzv. odmagnetování, které je provedeno pomocí krátké změny směru proudu v magnetických cívkách. Na obr. 12 můžeme vidět příklad magnetického chapadla. [1]



Obr. 12) Magnetické chapadlo Schunk [23]

Podtlakové úchopné prvky

Pružné deformační přísavky jsou základními pasivními podtlakovými úchopnými prvky. K uchopení dochází pomocí přitlačení přísavky na povrch manipulovaného předmětu. Vlivem přitlaku se pružné stěny přísavky deformují a objem jejího vnitřního prostoru se zmenší. Po uchopení dojde opět k malému zvětšení objemu vnitřního prostoru, což způsobí podtlak. Výsledná uchopovací síla je závislá nejen na styčné ploše manipulovaného předmětu, ale také na tvaru a tuhosti samotné přísavky. Tužší přísavky dokáží vyvinout větší úchopné síly, jelikož je zapotřebí větší síla pro deformaci jejich stěn. Důležitým parametrem je těsnost styku přísavky s předmětem, která závisí na hladkosti a kvalitě povrchu součásti. Proto jsou deformační přísavky nejčastěji používány pro manipulaci s deskami (plechy, skleněné tabule). Objekt je z přísavek uvolňován podobně, jako tomu bylo u všech již zmíněných pasivních prvků. Velkou výhodou těchto podtlakových hlavice s pasivními úchopnými prvky je jejich jednoduchost a možnost práce ve výbušném prostředí. [1]

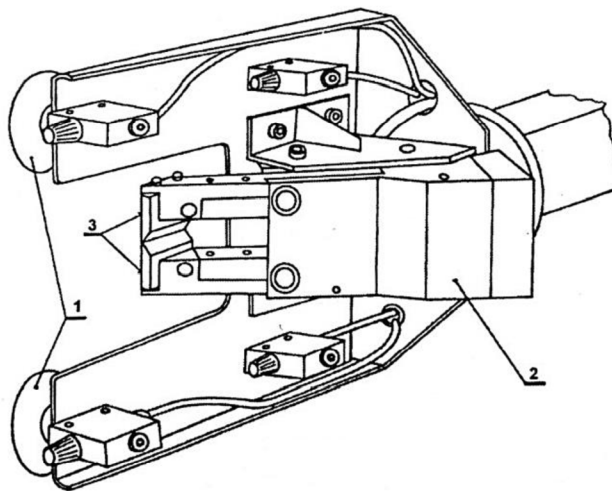
Aktivní úchopné podtlakové prvky využívají ke své činnosti ejektory nebo vývěvy. Hlavní předností ejektorových podtlakových hlavice je nízká cena. Naopak jako nevýhoda se jeví vysoká spotřeba stlačeného vzduchu. Z těchto důvodů jsou ejektory vhodné spíše pro menší hlavice. Na obr. 13 je uveden příklad přísavky s vestavěným ejektorem. [1]



Obr. 13) Přísavka s vestavěným ejektorem firmy SMC [24]

3.2.3 Kombinované výstupní hlavice

Kombinované výstupní hlavice jsou kombinací manipulačních výstupních hlavice (chapatla) a technologických výstupních hlavice. Příkladem mohou být výstupní hlavice (obr. 14), které se používají při automatizaci manipulace s odlitky u lisů pro plastické hmoty. Efektor je v tomto případě vybaven čtyřmi podtlakovými přísavkami (1) pro manipulaci s odlitkem a pneumatickým stříhacím zařízením (2). Čelisti (3) nůžek slouží k odstřížení vtokového nálitku odlitku. [1]



Obr. 14) Kombinovaná výstupní hlavice [1]

3.2.4 Speciální výstupní hlavice

Do této skupiny výstupních hlavice můžeme zařadit ty, které se ze systémového přístupu nedají zařadit do dříve popsaných skupin. Jedná se o efekty, které se používají pro speciální aplikace robotů, resp. při aplikacích servisních robotů. Tyto efekty jsou vybaveny senzory (snímače, čidla), které zajišťují adaptivitu robotu. Jedná se například o taktilní (hmatové) senzory, které snímají silové a tlakové hodnoty. [1]

3.3 Off-line programování robotů

V dnešní době je v praxi stále používanější on-line metoda programování robotů. Tento typ robotů je prováděn přímo na pracovišti s pomocí ovládacích panelů robotu, tzv. teach-pendantů. Programátor pomocí teach-pendantu postupně navádí robot do jednotlivých pozic a daná trajektorie se zapisuje do paměti robotu. Tento typ programování je výhodný pro jednodušší aplikace, kdy trajektorií k učení není mnoho. [1]

Dnes se však začíná stále více prosazovat i druhá metoda programování – off-line programování. Princip této metody spočívá v práci s počítačovým softwarem, s jehož pomocí lze vytvořit 3D návrh pracoviště, zapisovat jednotlivé body, definovat trajektorie robotu a další činnosti, které jsou spojeny s činností robotu. Díky tomu je možné si celou konkrétní aplikaci simulovat v prostředí programu, bez nutnosti přítomnosti fyzického robotu. Můžeme tedy sledovat, zda je dodržen požadovaný čas jednoho cyklu robotu, testovat dosahy robotů nebo detekovat možné kolize robotu s překážkami. Spoustu případných problémů je tedy možné odhalit ještě před samotným nahráním softwarem vygenerovaného programu do reálného robotu. Díky off-line programování lze tedy dosáhnout zvýšení produktivity, zvýšení kvality, snížení časů potřebných pro výrobu apod. [1]

V předchozím odstavci bylo řečeno, že software pro off-line programování dokáže vytvořené body a dráhy exportovat ve formě programu, jehož syntax odpovídá syntaxi programovacího jazyka konkrétního typu robotu (např. programovací jazyk KRL pro roboty firmy KUKA). Teoreticky lze tedy říct, že po exportování programu a jeho následném nahrání do řídicího systému fyzického robotu, by měl robot přesně vykonávat požadované operace bez dalšího zásahu. V praxi to ovšem není úplně pravda. Ve většině případů je nutné vygenerovaný off-line program alespoň částečně modifikovat. Jedná se zejména o úpravu některých bodů (např. místo odebrání součástí z dopravníku), jelikož fyzický model pracoviště se může vlivem montážních a výrobních nepřesností mírně lišit od simulačního modelu pracoviště. [1]

Pro simulaci robotizovaného pracoviště v této práci bude využit software Siemens Process Simulate, který je popsán v následující části práce.

3.3.1 Siemens Process Simulate

Process Simulate od společnosti Siemens je softwarem z kategorie univerzálních systémů, které slouží pro off-line programování robotů různých značek. V prostředí Process Simulate je možné vytvářet 3D simulační modely jednotlivých strojů, pracovních buněk i celých automatizovaných linek. Modely je možné vytvářet přímo v prostředí Process Simulate pomocí integrovaného 3D modelovacího nástroje nebo je možné modely, které byly vytvořeny pomocí jiných CAD softwarů, jednoduše importovat. [25]

Samotnou simulaci je možné řídit pomocí událostí nebo signálů. V případě časového řízení (Standart mode) jsou jednotlivé operace spouštěny podle toho, jak byly seřazeny v čase. Přehled těchto operací je zobrazen pomocí Ganttova diagramu, který je dostupný v záložce Sequence Editor. Zde lze nastavit např. délka jednotlivých operací, jejich uspořádání, navazování na jinou operaci apod. Díky tomu můžeme takt jednotlivých pracovišť upravovat až do doby, kdy bude přesně odpovídat požadavkům zákazníka. Simulace bude probíhat podle jasně rozvrženého schématu a bude mít při každém spuštění identický průběh. Daný způsob řízení simulace je tedy vhodný např. pro nalezení vhodného rozvržení layoutu a jeho následnou prezentaci u zákazníka. [25]

Při řízení simulace pomocí signálů je průběh simulace stanoven podle událostí. To znamená, že dané události a operace jsou spouštěny až po vystavení požadované hodnoty určitého signálu. Tento typ simulace je velice podobný reálnému řízení pracoviště, kde je pracoviště řízeno pomocí řídicího systému (řídící PLC apod.). Software také umožňuje připojení reálného PLC. Po přiřazení adres jednotlivých signálů lze funkčnost řídicího programu ověřit už v simulačním prostředí. I bez připojení externího PLC je možné vytvořit požadovanou logickou strukturu pracoviště přímo v prostředí Process Simulate, a to pomocí logických modulů. Tyto moduly jsou spouštěny až po splnění určité podmínky. Za určité podmínky je tedy např. požadovaný signál nastaven na požadovanou hodnotu. [25]

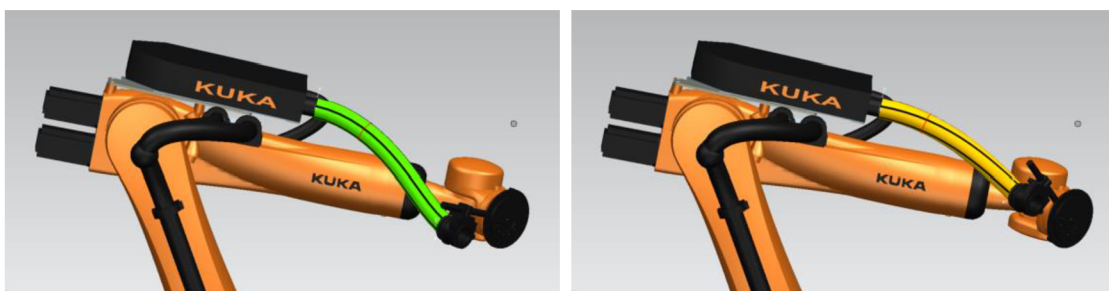
Software nabízí i možnosti ověření dalších částí výrobního procesu. Process Simulate Human umožňuje ověřit návrh pracovní stanice, která bude obsluhována člověkem. Díky tomu lze analyzovat a optimalizovat ergonomii lidské práce a tím zajistit ergonomicky bezpečný proces podle průmyslových standardů. Pomocí jednotlivých softwarových nástrojů lze detailně simulovat jednotlivé lidské úkony a optimalizovat časy daných procesů.

Pokud se podíváme na vývoj programu v posledních třech letech (verze 14 a výše), tak můžeme vidět postupné zdokonalování již dříve přidaných funkcí (simulace kabelů průmyslových robotů, virtuální realita, apod.), ale také postupnou implementaci nových funkcí (simulace fyziky, bezpečnost robotů atd.). [26]

Verze 14.0 – 14.1.2

Verze 14.0.1 přišla s možností načítat studie vytvořené v prostředí Process Simulate ve virtuální realitě (dále jen VR). Za pomoci potřebného VR hardwaru lze uživatele přenést přímo do virtuálního prostředí simulovaného pracoviště. VR také umožňuje interakci více pracovníků, ať už se jedná o konstruktéry, obchodní manažery či montážníky. Každý z nich si tedy může pracoviště prohlédnout zblízka, otestovat funkčnost a poté poskytnout zpětnou vazbu. Díky tomu lze jednotlivé procesy snadněji optimalizovat a tím i zvýšit kvalitu celého výrobního procesu.

V následujících verzích 14.1, 14.1.1, 14.1.2 byla vylepšena funkce simulace kabelů, které jsou připojeny k robotu. Kabely lze uložit jako komponentu pro další využití. Software také již umožňuje monitorovat zkroucení kabelů v průběhu pohybu robotu a míru zkroucení vizualizovat pomocí čar a čtyř barev, díky kterým lze rozpoznat, na kolik procent z maximálního povoleného zkroucení je kabel zkroucen (viz obr. 15). Dále je možné v místě styku kabelu s ramenem robotu monitorovat velikost kontaktní síly, která by mohla mít za následek poškození kabelu. Oblast styku kabelu se zobrazí v různých barvách, které odpovídají velikosti působící kontaktní síly. [26], [27]



Obr. 15) Monitorování zkroucení kabelů pomocí barev [27]

Verze 15.0 – 15.1.2

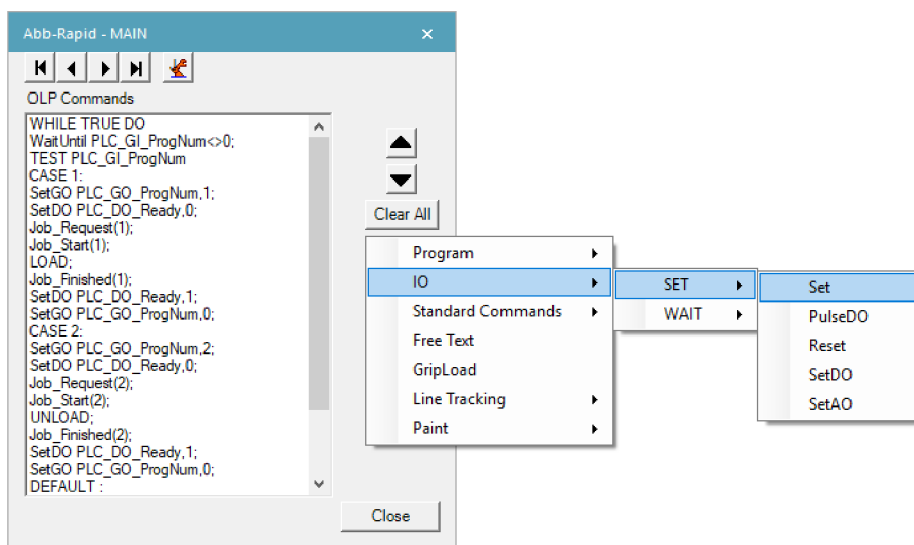
V rozmezí verzí 15.0.1 až 15.1.1 došlo k vylepšení nástrojů pro úpravy robotických programů při jejich simulaci a testování. Změny v kódu robotu (OLP příkazy) lze provádět v průběhu simulace a tyto změny jsou zároveň automaticky zohledňovány bez nutnosti resetování simulace. Změny programu se také automaticky aktualizují v prohlížeči robotických programů (Robotic Program Viewer). [28]

Od verze 15.1.2 je také možné v prostředí Process Simulate simulovat automaticky naváděné vozíky ve výrobním procesu a zahrnout je do celkového virtuálního zprovoznění pracoviště. Vozíky mohou být použity pouze při událostním řízení simulace (řízení pomocí signálů), jelikož jsou řízeny a spravovány pomocí logických bloků. [28]

Rozšíření se také dostalo funkci simulace kabelů. To se týkalo hlavně možnosti simulovat kabel připevněný k mechanismu, který může konat rotaci kolem zadané osy. [28]

Verze 16.0 – 16.0.2

Již od verze 15.1.2 je snaha vývojářů zlepšit simulaci robotických programů přímo v prostředí Process Simulate. Verze 16.0 nabízí podporu OLP Interrupt příkazů pro všechny řídicí systémy robotů KUKA. Tyto příkazy jsou tedy v programu nativně, což uživatelům umožňuje testovat robotické programy, které obsahují příkazy pro přerušení. Zlepšení OLP příkazů se týká také programovacího jazyka RAPID, který používají roboty značky ABB. Process Simulate disponuje univerzálními OLP příkazy, které zajišťují správnou funkci robotu při simulaci v prostředí softwaru. Při exportování robotického programu však tyto příkazy nemají správnou syntaxi pro určitý programovací jazyk (např. RAPID pro roboty ABB). Samotné příkazy tedy bylo nutné ještě upravit v textovém editoru. Druhou možností, jak předejít upravování příkazu je tvorba XML souborů, díky kterým lze rozšířit univerzální OLP příkazy Process Simulate o konkrétní OLP příkazy se požadovanou syntaxí pro konkrétní typ programovacího jazyka. Tyto XML soubory však musely být až do verze 16.0 tvořeny samostatně programátory jednotlivých firem. Process Simulate od verze 16.0 již zahrnuje některé XML soubory pro rozšíření OLP příkazů programovacího jazyka RAPID (viz obr. 16), které zjednoduší proces off-line programování a zároveň slouží jako příklady, jak je možné vytvořit další vlastní XML soubory. [28]



Obr. 16) Rozšíření OLP příkazů pro ABB RAPID [28]

Verze 16.0.1 je také rozšířena o Safety Robot Manager, který umožňuje uživatelům vytvářet a vizualizovat 3D objemy různých značek robotů tak, aby bylo možné graficky plánovat a analyzovat pohyb robotu. Funkce také umožňuje importovat bezpečnost robotu přímo z reálného řídicího systému. Zároveň je možné bezpečnostní funkce robotu exportovat v požadované syntaxi zpět do reálného kontroléru. Vygenerované bezpečnostní objekty lze v prostředí Process Simulate použít společně s dalšími funkcemi, jako je např. detekce kolizí. [29], [30]

Modul pro simulaci fyziky byl představen jako novinka ve verzi 16.0.2. S jeho pomocí lze simulovat fyzikální operace, jako je např. skluz součásti po skluzovém dopravníku nebo nasypání dílů do bedny. [30]

Při pohledu na výše uvedená vybraná rozšíření funkcí softwaru Process Simulate lze odhadnout, že v poslední době je kladen důraz na zlepšení simulací, úpravu a testování robotických programů. V budoucnu lze očekávat další rozšíření možností OLP příkazů i pro roboty dalších značek. Lze také předpokládat další vývoj bezpečnostní aplikace Safety Robot Manager, která umožní efektivnější analýzu bezpečnostních rizik ve výrobním procesu. Dle mého odhadu pozadu nezůstane ani další zdokonalování nástroje simulace fyziky, který by simulaci mohl čím dál více přiblížit reálným podmínkám.

3.3.2 Další softwary pro off-line programování robotů

V následující části práce jsou krátce popsány další softwary pro off-line programování robotických pracovišť. Mezi nejpoužívanější programy patří:

- ABB RobotStudio
- FANUC Roboguide
- KUKA Sim
- Delmia Robotics

ABB RobotStudio

ABB RobotStudio je software, vyvíjen švédsko-švýcarskou firmou ABB, která je také jedním z největších výrobců průmyslových robotů na světě. Slouží pro navrhování a programování pracovišť, která využívají roboty ABB. RobotStudio je založeno na virtuálním řídicím systému (ABB Virtual Controller), který je přesnou kopií reálného řídicího systému robotu. Díky tomu jste s pomocí RobotStudia schopni vytvořit i kompletní digitální dvojče robotického pracoviště. [31]

Mezi základní funkce patří programování jednotlivých trajektorií robotu, kontrola kolizí a mnohé další. Např. funkce AutoPath a AutoConfiguration umožňují automatické generování trajektorii na základě importovaného 3D modelu a definování konfigurace robotického ramene pro celou trajektorii. RobotStudio také disponuje integrovaným textovým editorem, s jehož pomocí můžeme prohlížet a upravovat robotické programy, které jsou dále nahrávány do virtuálního, ale i reálného kontroléru robotu. Pro vytvoření realistických simulací nabízí RobotStudio funkci pro tvorbu tzv. Smart komponent. S jejich pomocí můžeme daným 3D objektům v simulaci přiřadit požadované vlastnosti a způsoby chování např. s pomocí logických a matematických operátorů, senzorů apod. [32]

FANUC Roboguide

Roboguide je software pro off-line programování a simulaci od japonského výrobce průmyslových robotů FANUC. Je tedy opět určen výhradně pro programování průmyslových robotů stejného výrobce. Velkou výhodou softwaru Roboguide je rozsáhlá knihovna, ve které jsou zahrnuty další produkty firmy FANUC, jako jsou CNC řídicí systémy nebo CNC stroje. Software je opět založen na principu virtuálního řídicího systému FANUC. Umožňuje snadné rozvržení strojů a zařízení, úpravu robotického programu, importování 3D modelů, programování trajektorií pomocí animací a samozřejmě simulaci. Roboguide je také k dispozici s celou řadou dalších nástrojů pro konkrétní aplikace jako srážení hran (ChamferingPRO), lakování (PaintPRO), paletizace (PalletPRO) a svařování (WeldPRO). [33]

Software Roboguide dále také nabízí pokročilé funkce. Funkce Autoplace nabízí automatický výpočet nejlepší polohy robotu podle doby cyklu a výkonu. Funkce Duty zase umožňuje výpočet spotřeby energie a výkonu robotů. Funkce Cable slouží k simulaci kabeláže, jejího připojení k robotům nebo dalším zařízením. Funkce Vision nabízí simulaci pokročilého 3D vybírání dílů (tzv. bin-picking). Spray funkce slouží k vizualizaci sprejování např. krytů automobilů. Funkce Coord umožňuje koordinaci a podporu většího počtu robotů. [34]

KUKA. Sim

KUKA. Sim je inteligentní simulační software pro efektivní off-line programování od německé firmy KUKA. Obsahuje rozsáhlou knihovnu s aktuálně dostupnými modely robotů a dalších zařízení od stejné firmy. Mezi základní možnosti softwaru patří import CAD modelů (Catia V5, JT, Step atd.), export 2D výkresů, export videa a 3D souborů. Pomocí rozhraní OPC-UA lze KUKA. Sim propojit s řídicím PLC pro software Beckhoff TwinCAT, CodeSys a Siemens PLCSIM Advanced (Tia Portal). V rozsahu dodávky programu je software KUKA.OfficeLite, což je virtuální kontrolér robotů KUKA. Díky němu lze off-line vytvářet a upravovat robotické programy, které jsou dále přímo přenositelné do reálného fyzického robotu. [35]

KUKA. Sim umožňuje za pomoci potřebného hardwaru prezentaci pracoviště ve virtuální realitě. Výsledky simulace je možné si zobrazit na chytrých mobilních telefonech a tabletech s pomocí doprovodné aplikace Mobile Viewer. [35]

Delmia Robotics

Delmia Robotics je software pro off-line programování od firmy Dassault Systems. Na rozdíl od softwarů, které jsou zmíněny výše v této práci, umožňuje Delmia Robotics programování robotů různých značek. Jednotlivé robotické řídicí systémy lze jednoduše nainstalovat. Software tedy nabízí rozsáhlou knihovnu výrobních zařízení, která obsahuje přesné modely robotů různých značek. [36]

Software Delmia Robotics umožňuje simulaci doby cyklu virtuálního robotu téměř se 100% přesností v porovnání s fyzickým robotem. Nabízí také další moduly pro speciální typy aplikací, např. modul Arc Welding, který poskytuje potřebné nástroje pro řešení problematiky obloukového svařování. [36], [37]

3.4 Technologie Bin Picking

U robotických pracovišť se často setkáváme se situací, kdy je nutné materiál vhodně uspořádat nebo připravit na určité místo, odkud je dále robotem bez problémů přesně uchopen.

Uspořádání materiálu zajišťuje obsluha pracoviště. Bin-picking je technologie, která umožňuje odebírání materiálu, který je nahodile uložený např. v bedně nebo v kontejneru. [38], [39]

Technologie bin-picking je prováděna za pomoci strojového vidění, která zahrnuje průmyslový robot a optický senzor, který umožňuje identifikaci a trojrozměrnou lokalizaci jednotlivých dílů. Optický senzor je umístěn na pevné portálové konstrukci přímo nad bednou nebo kontejnerem. Další možností je jeho umístění přímo na zápěstí robotu. Důležitou součástí bin-pickingu je vyhodnocovací software. Robot musí díl identifikovat z velkého množství 3D dat. Následně je software nucen přepočítat pozici robotu tak, aby bylo možné vybraný díl vyzvednout a zároveň nedošlo ke kolizi robotu např. se stěnou kontejneru nebo bedny. [38], [39]

Důležitou roli při vyjímání dílů z bedny hraje vhodný koncový efektor. V praxi se běžně můžeme setkat s efektor, které jsou opatřeny mechanickými upínacími prvky, magnetickými upínacími prvky nebo podtlakovými upínacími prvky. Nástroj by měl být dostatečně dlouhý, aby dokázal dosáhnout do všech rohů kontejnerů, a zároveň dostatečně štíhlý, aby bylo minimalizováno riziko kolize se stěnami kontejneru. Často jsou nástroje robotů konstruovány tak, aby upínací prvky byly mimo osu příruby robotu (viz obr. 17). Pokud by byly umístěny v ose, pak by při odebírání dílu v blízkosti stěny mohlo dojít ke kolizi příruby robotu se stěnou kontejneru.

V případech, kdy je výrobní takt pracoviště dostatečně dlouhý, může být využita výměna nástrojů. Robot tedy pro vyjmutí dílu z bedny využije vhodný typ chapadla (dlouhý, úzký, kompaktní) a odloží jej do mezistanice. Z té díl vyjme po výměně nástroje a s jeho pomocí může díl zakládat např. do stroje. [38], [39]

3.4.1 Snímání povrchu součástí

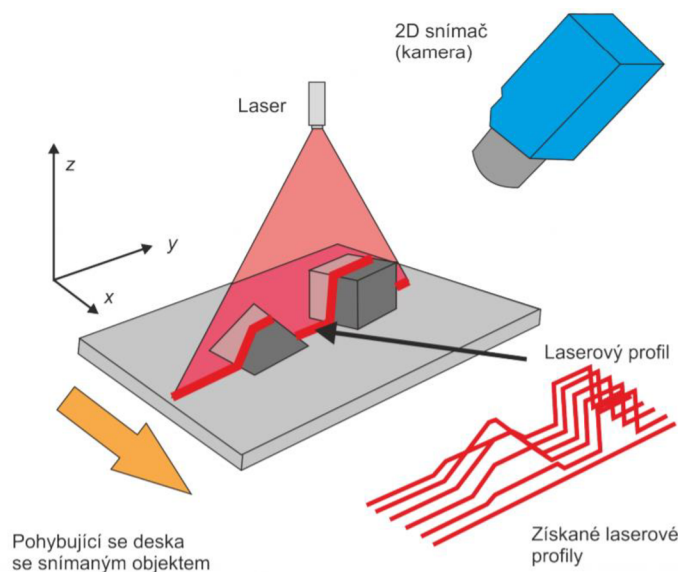
V současnosti existuje několik metod, které jsou používány pro získání informací o třírozměrném prostorovém uspořádání. V praxi jsou však nejvíce používány 2D triangulace pomocí liniového laseru a stereovize.

2D triangulace pomocí liniového laseru

Tato metoda je v průmyslové praxi v současné době nejpoužívanější. Při jejím použití je využíváno liniového laserového paprsku při definovaném pohybu snímaného objektu nebo snímacího ústrojí (kamera s lasery). Snímání zajišťují profilové laserové skenery, které v průběhu pohybu snímají zobrazené laserové profily (viz. obr. 17). Výsledný 3D obraz je složen z takto nasnímaných profilů, které definují rozměr ve dvou osách (x a y). Pro výpočet třetího rozměru je využito principu triangulace. [40]

Laserové zdroje tvoří spolu s kamerou a osvětleným bodem tzv. triangulační trojúhelník. Vzdálenost mezi světelným zdrojem a snímačem se nazývá triangulační báze. Úhel mezi touto bází a zdrojem světla je po celou dobu neměnný. Naopak úhel na straně kamery je v průběhu měření proměnný a je určen konkrétní pozicí nasvícené linie. Pro měření hraje tento proměnný úhel významnou roli, při znalosti délky triangulační báze s velikostí tohoto úhlu lze určit třetí souřadnici z daného objektu. [41]

Výhodou této metody je její nízká závislost na okolním osvětlení, relativně vysoká přesnost měření a možnost vysoké rychlosti pohybu snímaného objektu. Jistou nevýhodou triangulačních metod je, že např. vlivem složitějšího tvaru snímaného dílu nemusí být snímáný laserový profil pro kameru viditelný (viz. obr. 2) a v tomto místě tedy není možné získat potřebná data. [40], [41]



Obr. 17) Princip snímání scény pomocí snímání laserových profilů [40]

Stereovize

Tato metoda je založená na použití dvou a více 2D senzorů (kamer). Její princip vychází z vnímání světa pomocí lidského oka. Efekt prostorového vidění je zajištěn schopností lidského zraku skládat v mozku dva obrazy totožného předmětu, který je viděn ze dvou rozdílných míst. Samotná metoda stereovize je založena na snímání obrazu ze dvou nebo více optických snímačů. V získaných snímcích jsou následně nalezeny společné body a vypočteny jejich vzdálenosti. Výpočet vzdáleností je opět založen na triangulačním principu. [40]

3.4.2 Řešení společnosti FANUC

Firma FANUC využívá pro potřeby bin pickingu optický senzor 3D Area Sensor, který umožňuje trojrozměrnou lokalizaci jednotlivých dílů uložených na europaletách. Pro menší bedny je určen senzor 3DV/400 a 3DV/600, které dokáží oskenovat prostor o rozměrech 400 x 400 x 300 mm, resp. 600 x 600 x 300 mm. 3D area sensor je tvořen projektorem a dvěma kamerami. Úlohou projektoru je krátce promítnout strukturované světlo (světelné pruhy) na kontejner s díly. Je tedy využito 3D triangulace. Pomocí kamer, které danou scénu snímají pod určitými známými úhly, jsou získána obrazová data. Jejich následným zpracováním je spočítán mrak 3D bodů, který je možné dále analyzovat pomocí dvou metod. [39]

První z nich je tzv. pravá 3D metoda, při které je možné např. proložit získanými body roviny, a s jejich pomocí identifikovat daný díl, nebo podle předem naučeného vzoru (importovaný model) rozpoznat seskupené díly. Díky tomu je tedy zjištěna poloha daného dílu, s jejíž pomocí lze definovat pozici a dráhu robotu pro její odebrání. [39]

Druhou metodou je tzv. hybridní metoda. Zde je využíváno fotografie 2D kontury a podle ní je vyhledáván ve 3D mapě odpovídající díl. Tato metoda je přesnější, než v případě pravé 3D metody, avšak je nutné vyhodnocovací software realizovat tak, aby byl schopen na díly „nahlížet“ z více pohledů. Díl totiž může být v kontejneru uložen v jakékoliv pozici a ta zrovna nemusí odpovídat dostupné fotografii. [39]

Po nalezení dílu vyhodnocovací software ověří, zda je daný díl dosažitelný bez možné kolize se stěnou bedny. Při hrozící kolizi je možné přepočítat pozici pro odebrání dílu oproti ideální pozici. Pokud však ani přepočítání nezajistí bezkolizní dráhu pro odebrání dílu, přejde software k vyhodnocení dalšího dílu. [39]

Dále je nutné řešit fakt, že vlivem odebrání vyhodnoceného dílu může dojít ke změně pozice sousedících dílů. Tato situace se dá řešit dvěma způsoby. Prvním z nich je možnost po každém odebrání dílu kontejner znovu oskenovat. Skenování však zabere několik sekund, což v některých případech může způsobit problémy pro splnění požadovaného taktu. Druhou možností je tedy pro následné odebrání ignorovat díly, které sousedily z předchozím odebraným dílem a odebírat vzdálenější nalezené díly. Skenování se pak provede až po odebrání více dílů. Nevýhodou tohoto řešení však je složitost realizace z hlediska programování. [39]



Obr. 18) Řešení Bin Picking firmy FANUC [39]

3.4.3 Řešení firmy BLUMENBECKER

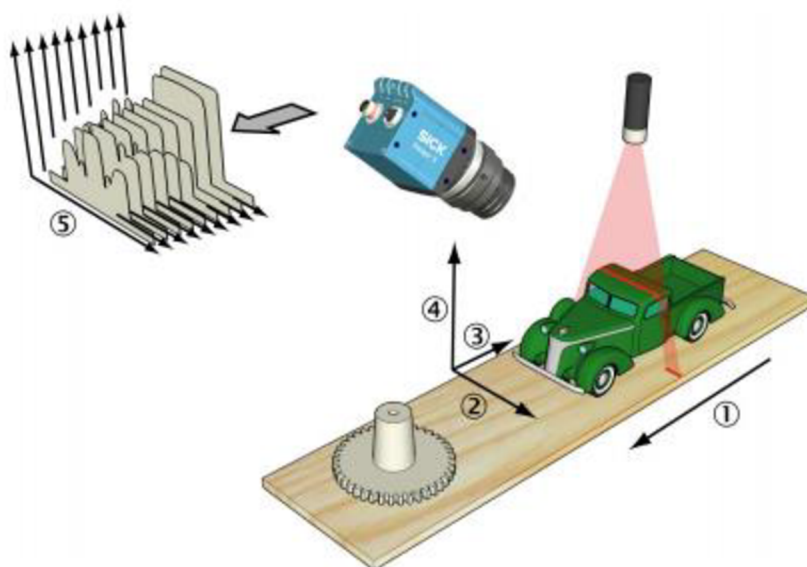
Další firmou, která nabízí svým zákazníkům bin pickingové řešení odebrání dílů je Blumenbecker. Ta k získání obrazových dat využívá metodu 2D triangulace a soustavu složenou z 3D kamery SICK Ranger a liniových laserů.

Princip získání dat je patrný z obr. 19. Liniové lasery osvětlují daný prostor kontejneru s díly. Kamera snímá průsečné profily jednotlivých dílů a laserového paprsku. Aby kamera mohla změřit celý prostor krabice, je nutné zajistit její posuv podél bedny. Tento posuv je nejčastěji zajištěn pomocí portálové konstrukce z hliníkových profilů, na kterém je nad pozicí bedny umístěno lineární vedení s vozíkem. Součástí tohoto vedení je kamera a liniové lasery,

kteře jsou vychýleny o určitý známý úhel tak, aby vyhodnocovací software s pomocí profilů a údajů z enkodéru vytvořit 3D obraz snímané scény [42]

Výsledkem je sbírka profilů, kde každý profil udává informaci o poloze dílu v konkrétním bodě podél celé krabice. Vhodný díl je pak nutné dohledat v získaných datech. K tomu je využíván specializovaný softwarový nástroj MvTech Halcon. Tento typ programu využívá algoritmus pro hledání vzorů v bodovém prostoru a byl zvolen především pro jeho schopnost rychlého vyhodnocování. Samotný software však již neřeší fyzickou dosažitelnost dílu a bezkolizní dráhu robotu. Proto byl dále vytvořen model s inverzní kinematikou šestiosého robotického ramene, který předá fyzickému robotu omezený počet bodů trajektorie k odebrání dílu. Tato dráha je předem zkontrolována simulací zmíněné modelu s inverzní kinematikou. Ideálním řešením by bylo poskytnout robotu celou trajektorii nájezdu i výjezdu, avšak kvůli časové náročnosti takového úkonu bylo řešení omezeno na předání pouze omezeného počtu bodů. [42], [43]

Kontejner je skenován po každém odebrání dílu. Čas nasnímání a vyhodnocení objektu je závislý na tvarové složitosti daného výrobku a délky snímaného kontejneru. Pohybuje se okolo 10 s.



1 – směr posuvu kamery, 2 – šířka snímané plochy, 3 – záporný směr posuvu kamery, 4 – směr výšky kamery, 5 – snímané profily

Obr. 19) Princip snímání objektů pro bin picking firmy Blumenbecker [42]

3.5 Průmyslové značení výrobků

Hotové výrobky je často nutné opatřit vhodnými informacemi (sériové číslo, číslo šarže, trvanlivost, apod.). Existuje celá řada způsobů a technologií průmyslového značení výrobků (laserové značení, inkoustové značení, mikrouderové značení, vypalování, ražení, etiketování atd.).

3.5.1 Laserové značení

Při laserovém značení je na povrchu součásti zanechán mechanicky odolný a trvalý popis. Laserem lze označit všechny druhy materiálů, například kalené i nekalené oceli, litiny, hliníkové slitiny, keramiku, plasty, dřevo, sklo, gumu, kůži, papír atd. Stroje laserové značení

využívají svazku paprsků, který je vychylován v osách x a y pomocí zrcátek. Tato zrcátka jsou umístěna na přesných scannerech. Svazek je následně zaostřen do jednoho bodu na povrchu pomocí čočky. [44], [45]



Obr. 20) Pracovní stanice L-Box V4 pro laserové popisování [46]

3.5.2 Inkoustové značení

Inkoustové značení je využíváno pro označení výrobků různých povrchů a materiálů. Inkoust je ředěn mikroprocesorem a dále přiváděn pod tlakem do protlačovací hlavy. Zde je pomocí vibrací, elektromagnetického pole a elektronické trysky dělen do malých teček. Ty dále pokračují přes nabíjecí elektrodu a vychylovací podložku do otvoru hlavy. Vychylovací podložka upraví směr negativně nabitých teček směrem ke značenému předmětu. Nenabitě tečky se vrací zpět do tiskárny návratovým kanálkem. [47]



Obr. 21) Tiskárna LEIBINGER JETone pro inkoustové značení výrobků [48]

3.5.3 Mikroúderové značení

Tento druh značení umožňuje trvalé označení téměř všech druhů materiálů. Značení je odolné a dobře viditelné. Lze jej aplikovat před povrchovými úpravami nebo barvením materiálu. Pomocí tohoto systému značení je možné označit i extrémně tvrdé, nepravidelné, ploché a zakřivené výrobky. Pro mikroúderové značení je využíváno pneumaticky nebo elektricky poháněných zařízení, které vysokou frekvencí mikroúderů značí výrobky pomocí široké škály znaků, tvarů, 2D kódů atd. [49]

4 ZADANÁ PROBLEMATIKA

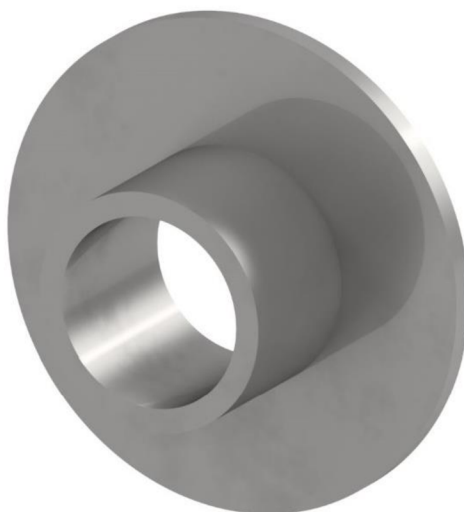
Cílem této diplomové práce je návrh robotického pracoviště pro obsluhu obráběcího stroje a vytvoření jejího simulačního modelu v softwaru Process Simulate. Fiktivní investor se za účelem zvýšení efektivity výrobního procesu rozhodl investovat do automatizace stávajícího výrobního procesu. Jedná se o náhradu ručního zakládání polotovarů a obsluhy obráběcího centra automatizovaným robotickým pracovištěm.

Úkolem průmyslového robotu je vyjmout neuspořádaně rozložené součásti z ocelové bedny za pomoci technologie bin-picking, následně založit polotovar do CNC soustružnického obráběcího centra, po obrobení danou součást ze stroje přesunou k potištění a nakonec umístit součást do výstupní bedny. Při výběru polotovarů z bedny za pomoci technologie bin-picking není úchop součásti zcela přesně vycentrován, takže okamžité založení do stroje je velice problematické, proto je nutné zajistit přeuchycení součásti a její vystředění pomocí přidavné stanice. Dalším problémem je možnost špatné orientace odebíraného dílu ve vstupním kontejneru. Součást je však nutné do stroje zakládat se správnou orientací a proto je nutné špatně orientované polotovary za pomoci vhodné stanice otočit. Pracoviště tedy bude nutné dále vybavit přidruženými stanicemi pro vystředění a případné otočení součásti.

Hlavními vstupními parametry pro realizaci návrhu robotizovaného pracoviště jsou:

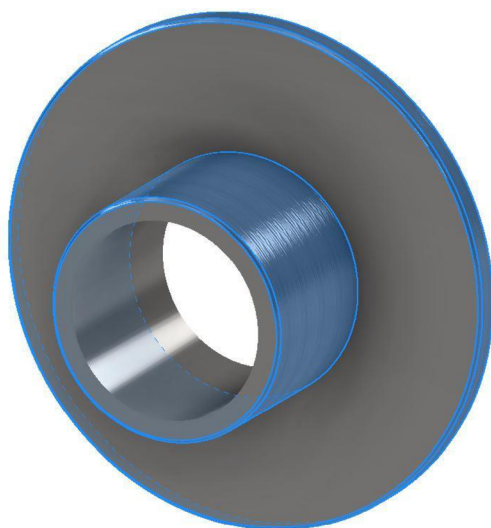
- Podoba a rozměry zadané součásti
- Maximální možné rozměry pracoviště: plocha 5 x 6 m
- Žádaný takt pracoviště: maximálně 65-70 s
- Soustružnické obráběcí centrum EMCOTURN E65
- Doba pracovního cyklu obráběcího centra: otevření/zavření dveří - 2s, obrábění 25 s
- Vyjímání dílů ze vstupního kontejneru pomocí bin-picking technologie
- 1 pracovník obsluhy pracoviště, třísměnný provoz

Polotovarem je rotační ocelová součást, jejíž velký průměr je 160 mm, střední průchozí otvor je 60 mm. Tloušťka jednotlivých stěn součásti je 8 mm. Celková hloubka součásti je 60 mm. Váha neobrobené součásti je 1,791 kg.



Obr. 22) Vstupní polotovar

Tyto polotovary jsou po jednom kusu přemísťovány do soustružnického obráběcího centra EMCOTURN E65, kde jsou po dobu 25 sekund obráběny vnější rotační plochy součásti a sraženy hrany, viz modře označené plochy a hrany na obrázku 23.



Obr. 23) Obrobená součást s vyznačenými obrobenými plochami a hranami

Jak již bylo zmíněno výše, polotovary budou soustruženy v soustružnickém obráběcím centru firmy EMCO s označením EMCOTURN E65. Rozměry stroje jsou 3480 x 2080 x 2060 mm a jeho celková hmotnost činí 6500 kg. Maximální otáčky hlavního vřetena jsou 5000 otáček za minutu, maximální výkon 22kW a maximální moment 305 Nm. Maximální průměr součásti, který je ještě stroj schopen obrobit je 500 mm. Posuvy jsou možné ve směrech os X, Y, Z. [50]



Obr. 24) Soustružnické obráběcí centrum EMCOTURN E65 [50]

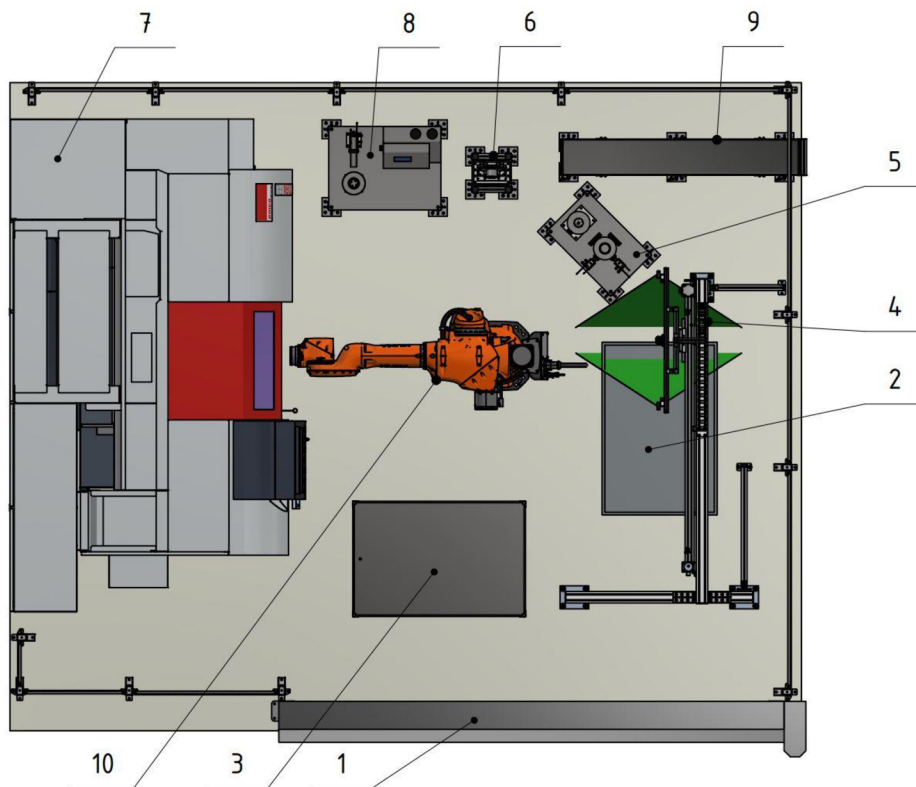
5 NÁVRH A VÝBĚR USPOŘÁDÁNÍ PRACOVISTĚ

V první fázi je nutné vypracovat varianty uspořádání robotizovaného pracoviště. V této fázi jsou na základě zadaných požadavků zákazníka vypracovány relevantní návrhy rozložení daného pracoviště za pomoci zjednodušených modelů jednotlivých částí buňky. Navržené varianty jsou konzultovány se zákazníkem, jehož požadavky a připomínky mají hlavní vliv na volbu vhodného požadovaného řešení.

Polotovary vstupují do robotické buňky neuspořádaně rozložené v ocelové bedně, která je na paletě. Technologie bin-picking pomůže robotu určit díl, jehož poloha je nejvhodnější k uchopení pomocí koncového efektoru. Součástí pracoviště jsou stanice pro vystředění, otočení a znovu uchopení součásti, které zajistí přesnou a správnou orientaci součásti pro založení do soustružnického obráběcího centra. Po obrobení je součást přemístěna k potišťování, které zajistí inkoustová tiskárna. Nakonec je součást umístěna do výstupní ocelové bedny, která je opět uložena na paletě. Obsluha však také může požadovat vydání aktuálně obrobenej součásti ke kontrole. V takovém případě součást nebude po potišťování přesunuta do výstupní bedny, ale k výdejnímu místu, kde si jej obsluha přebere ke kontrole rozměrů součásti.

5.1 První varianta

Rozložení jednotlivých peripetií první návrhové varianty zaujímá téměř celou vymezenou zástavbovou plochu, která byla určena pro robotické pracoviště a je znázorněno na obr. 25. Vstup a výstup materiálu je zajišťován obsluhou, kdy polotovary a zároveň již hotové výrobky jsou umístěny v ocelových bednách na europaletách (pozice 2 a 3). Tyto kontejnery jsou do buňky přiváženy skrz rychloběžná průmyslová vrata (1). Pozice jednotlivých neuspořádaných polotovarů ve vstupní bedně jsou snímány pomocí bin-picking technologie. Kamera a laserové snímače jsou umístěny na portálové konstrukci (4). Polotovaz s nevhodnější pozicí je přemístěn robotem (10) ke stanici pro znovu uchopení součásti (5). Podle aktuální orientace je součást umístěna na vodorovnou plochu stolu nebo na středící trn. Stůl je navíc doplněn dorazy a pneumatickým válci, které při vysunutí zajistí přesnou polohu polotovaru pro následné znovu uchopení průmyslovým robotem. Pokud je součást vhodně orientována, je následně po opětovném uchopení přemístěna přímo do obráběcího stroje (7). V případě nevhodné orientace je nutné součást přesunout k otočení za pomoci otočné stanice (6). Zde je polotovaz otočen o 180° a následně přesunut robotem do stroje. Po obrobení je součást umístěna k potištní (8). Potištnou součást pak robot přesune do výstupní bedny (3) nebo v případě požadavku pro přeměření na skluzový dopravník (9), který umožní obsluze odebrat součást ke kontrole, aniž by musela vstupovat do prostoru pracoviště.

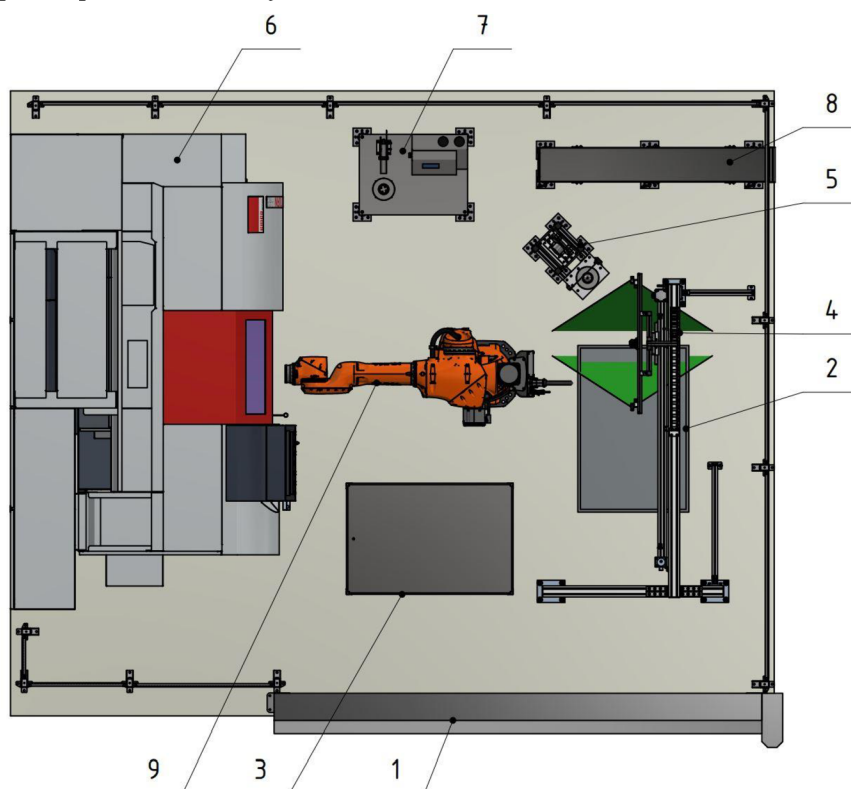


1 – rychloběžná průmyslová vrata, 2 – bedna s polotovary, 3 – bedna s hotovými součástmi,
4 – portálová konstrukce bin-picking, 5 – stanice pro vystředění součásti, 6 – stanice pro
otočení součásti, 7 – obráběcí centrum, 8 – stanice pro potištní součásti, 9 – skluzový
dopravník, 10 – průmyslový robot

Obr. 25) Layout první návrhové varianty

5.2 Druhá varianta

Druhá návrhová varianta vychází z první (layout na obr. 26). Vstup je tvořen opět pomocí rychloběžných průmyslových vrat (1), skrz které je možné přivést bedny s materiálem. Nad kontejnerem s polotovary je opět na portálové konstrukci (4) umístěna kamera a laserové snímače pro snímání polohy součástí v bedně. Rozdíl oproti první variantě je však v počtu stanic pro opětovné uchopení a otočení součástí. Tyto stanice jsou ve druhé návrhové variantě sloučeny do jedné (5), která je tvořena otočným přípravkem a středícím trnem, které zajistí vystředění a vhodnou orientaci pro založení do obráběcího stroje. Díky tomu dojde ke zkrácení času vystředění součásti i jejího přesouvání k otočení. Zároveň se díky spojení dvou stanic do jedné a eliminaci dalších pomocných prvků (jako pneumatické válce, stůl atd.) sníží pořizovací náklady a zlepší se přehled obsluhy nad buňkou.

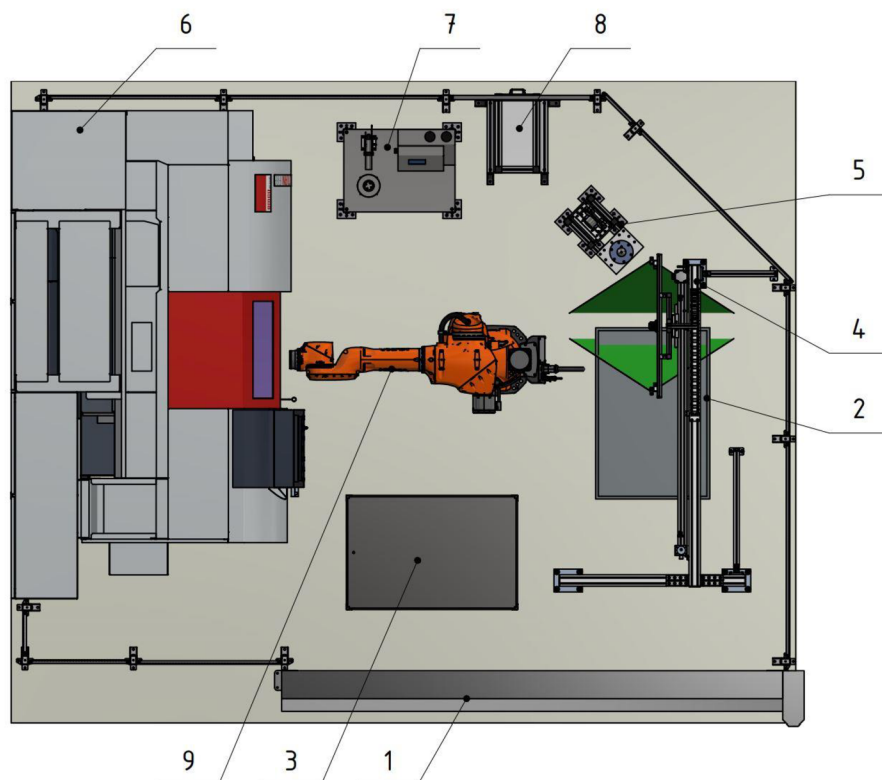


- 1 – rychloběžná průmyslová vrata, 2 – bedna s polotovary, 3 – bedna s hotovými součástmi,
 4 – portálová konstrukce bin-picking, 5 – stanice pro vystředění a otočení součástí,
 6 – obráběcí centrum, 7 – stanice pro potíštění součástí, 8 – skluzový dopravník,
 9 – průmyslový robot

Obr. 26) Layout druhé varianty

5.3 Třetí varianta

Třetí návrhová varianta se liší od druhé způsobem odběru obrobenej součásti obsluhou ke kontrole. V tomto případě byl skluzový dopravník nahrazen sestavou s jednoduchým výsuvem (8). Díl určený ke kontrole je po potíštění místo do výstupní bedny vložen do zásuvky. Po vložení si obsluha pouze jednoduchým vysunutím výsuvu ven z prostoru buňky kontrolovaný díl odebere. Díky této změně dojde ke zmenšení zástavbové plochy pracoviště. Navíc konstrukce a realizace výsuvné zásuvky se jeví jako jednodušší a levnější než v případě skluzu.



1 – rychloběžná průmyslová vrata, 2 – bedna s polotovary, 3 – bedna s hotovými součástmi, 4 – portálová konstrukce bin-picking, 5 – stanice pro vystředění a otočení součásti, 6 – obráběcí centrum, 7 – stanice pro potíštění součásti, 8 – sestava s výsuvnou zásuvkou, 9 – průmyslový robot

Obr. 27) Layout třetí varianty

Pro výběr vhodné varianty budou zvoleny vhodné parametry pro hodnocení. Těmto parametrům bude přidělena váha na stupnici od 1 do 10. Každá varianta bude na základě zvolených parametrů hodnocena body od 1 (nejhorší) do 3 (nejlepší). Zvolené parametry, jejich váhy a hodnocení pro jednotlivé varianty jsou uvedeny v tabulce 1. Součet přidělených bodů vynásobených váhou jednotlivých parametrů určil jako nejvhodnější třetí variantu, která tedy bude v dalších částech práce rozpracována.

Tab. 1) Výběr varianty na základě přidělených bodů pro hodnotící parametry

Hodnocený parametr	Váha	První varianta	Druhá varianta	Třetí varianta
Takt buňky	10	2	3	3
Plocha zástavby	8	1	1	2
Odhad ceny	9	1	2	3
Přehled obsluhy nad buňkou	4	2	3	3
Přístup do buňky	3	2	2	2
Počet stanic a přípravků	6	1	2	2
SUMA		57	86	103

6 NÁVRH DÍLČÍCH ČÁSTÍ PRACOVIŠTĚ

6.1 Návrh koncového efektoru

Hlavní úlohou průmyslového robotu je manipulace s obrobky rotačního charakteru, jejich vyjmutí z ocelových beden za pomoci technologie bin-picking, založení dílu do stroje a jeho následné vyložení. Robotická buňka nebude vybavena automatickou výměnou nástrojů. Cílem je tedy navrhnout koncový efektor, který dokáže zvládnout všechny zmíněné úkoly co nejefektivněji.

V kapitole 3.2.2 byly představeny druhy manipulačních koncových efektorů s mechanickými, magnetickými nebo podtlakovými uchopovacími prvky. Vzhledem k tomu, že polotovary jsou ve vstupní ocelové bedně rozloženy neuspořádaně (jejich poloha vůči efektoru není stále stejná) je vhodné v tomto případě zvolit chapadlo s mechanickými nebo magnetickými uchopovacími prvky. Použití podtlakových uchopovacích prvků by zde bylo značně problematické nejen při samotném vyjímání dílu z bedny, ale také při zakládání součásti do stroje, kde je zapotřebí vysoké přesnosti uchopování dílu robotem. Další nevýhodou podtlakových hlavice je také velká spotřeba stlačeného vzduchu. Z důvodu menší uchopovací přesnosti a riziku přichycení třísek při vyjímání dílu z pracovního prostoru obráběcího stroje se také hlavice s magnetickými uchopovacími prvky jeví jako nevhodná varianta. Z těchto důvodů tedy bylo zvoleno použití výstupních hlavice s mechanickými uchopnými prvky. [1]

V úvahu připadá jak možnost použití paralelního chapadla, ale také středícího chapadla, které je převážně určeno pro přesnou manipulaci se součástmi rotačního tvaru. Pro vyjmutí součásti z bedny je vhodné součást uchopovat za vnitřní malý průměr průchozího otvoru, za který bude možné polotovar vzít, i když bude součást otočená přední stranou dolů. Vzhledem k různým polohám obrobku v bedně je vhodnější použití pouze paralelního chapadla se dvěma prsty. Víceprsté středící chapadlo by při nevhodné orientaci obrobku nemuselo být schopné součást vůbec uchopit.

Použití středícího chapadla se jeví jako opodstatněné pro přesné uchopení součásti z místa otočné/středící stanice. Následně je součást přemístována do sklíčidla obráběcího stroje, kde je žádoucí, aby přesnost úchopu byla co největší. Nevýhodou však mohou být větší rozměry středících chapadel a jejich vyšší cena. Jak bylo zmíněno v kapitole 3.4, je žádoucí, aby konstrukce koncového efektoru pro bin-picking aplikaci byla štíhlá a zároveň dostatečně tuhá. Dostatečnou přesnost uchopení lze zajistit i pomocí paralelního chapadla se dvěma prsty, kde potřebnou přesnost zajistí uchopení za vnější menší průměr součásti pomocí tvarového styku. Ten zajistí prizmatické prvky na prstech chapadla.





Koncový efektor tedy bude tvořen třemi chapadly, kde jedno bude sloužit pro výběr objektů z ocelových beden a také k uložení již obrobených a potištěných výrobků do výstupního kontejneru. Zbylé dvě hlavice budou sloužit pro založení, resp. k vyjmutí dílu ze sklíčidla obráběcího stroje. Díky tomu bude možné spojit operace založení a vyložení dílu ze stroje.

6.1.1 Volba chapadel a návrh prstů

Paralelní chapadla používají dva typy pohonů – elektrický a pneumatický. Elektrický typ pohonu umožňuje řízení zdvihu jednotlivých čelistí chapadla. Pneumatický pohon tuto možnost neumožňuje, ale oproti tomu se vyznačuje schopností vyvodit vyšší uchopovací síly a nižší cenou, než jak je tomu u elektrického pohonu. V této aplikaci není zapotřebí řízení zdvihu čelistí, proto je zvoleno použití chapadel s pneumatickým pohonem.

Pro správnou volbu chapadla je nutné určit potřebnou uchopovací sílu. Pro její výpočet je uvažována hmotnost polotovaru 1,791 kg. Maximální zrychlení robotu je bráno 20 ms^{-2} a součinitel statického tření mezi ocelovými prsty a ocelovou součástí je 0,1. Pro zvýšení součinitele tření je možné opatřit prsty chapadla plastovými destičkami. Hodnota součinitele tření oceli na plast je 0,2. Bezpečnostní koeficient je podle doporučení literatury volen 2. [51]

Chapadlo určené pro vyjímání dílů z krabice nebude k uchopování využívat tvarového styku prstu se součástí. Na obrázku 28 jsou znázorněny varianty pohybu robotu s uchopeným objektem. Ke každé této variantě je také uvedena rovnice pro výpočet potřebné uchopovací síly. Pro výpočet je nutné zvolit nejhorší variantu pohybu, kterou je svislý pohyb robotu vzhůru. Při tomto pohybu jsou vektory gravitačního zrychlení a zrychlení robotu sčítány.

		$F_G = m(a_z + g) \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$	
		$F_{G,z} = mg \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$	$F_{G,x} = ma_x \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$
		$F_{G,z} = mg \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$	$F_{G,y} = ma_y S$

Obr. 28) Výpočet zatížení jednoho prstu chapadla

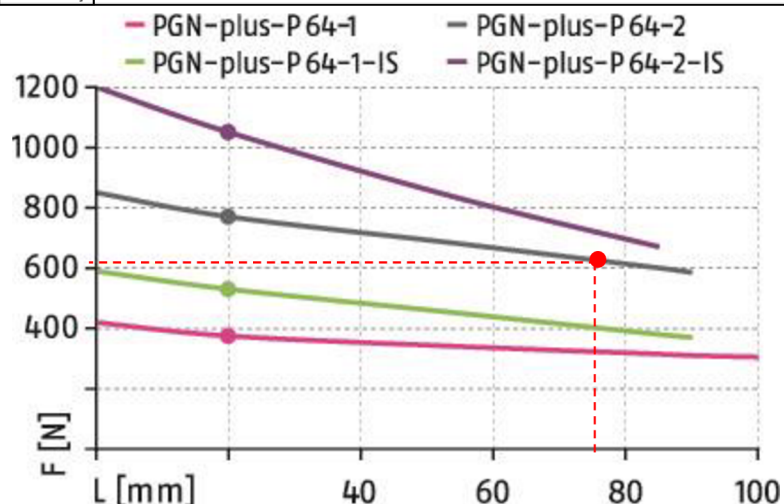
Potřebnou uchopovací sílu chapadla bez využití tvarového styku tedy vypočítáme podle vztahu 6.1:

$$F_G = \frac{m(a + g)}{\mu} \cdot S = \frac{1,791 \cdot (20 + 9,81)}{0,2} \cdot 2 = 533,9 \text{ N} \quad (6.1)$$

- kde: F_G – potřebná uchopovací síla [N]
 m – hmotnost uchopené součásti [kg]
 a – maximální zrychlení na konci ramene robotu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]
 g – gravitační zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]
 μ – součinitel statického smykového tření [-]
 S – součinitel bezpečnosti [-].

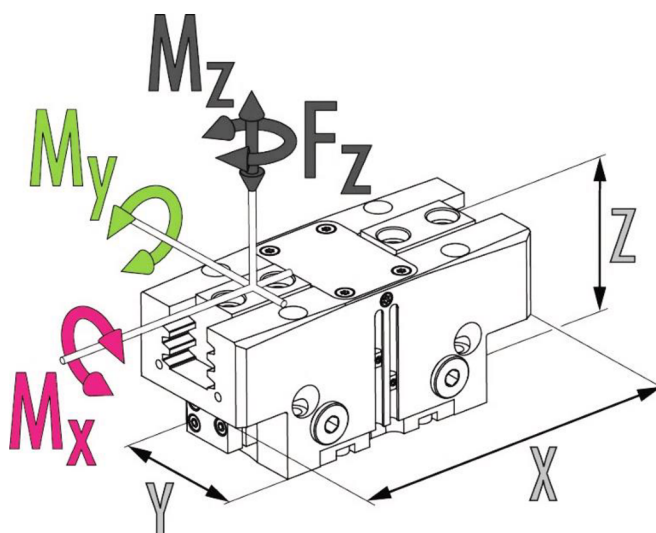
V dnešní době lze paralelní pneumatická chapadla volit z portfolií mnoha výrobců. V této práci jsou využity produkty od společnosti Schunk.

Jelikož je součást uchopována za vnitřní průměr, je nutné volit chapadlo s otevírací silou větší, než je výše vypočítaná hodnota potřebné uchopovací síly. Tento parametr splňuje chapadlo PGN-plus-P 64-2, jehož otevírací síla odpovídá 770 N. Velikost této síly však klesá v závislosti na délce prstů chapadla. Maximální povolená délku prstů pro tento typ chapadla činí 90 mm. Pro délku navržených prstů 76 mm, která byla v programu Autodesk Inventor změřena, je daná otevírací síla chapadla podle diagramu na obr. 29 rovna přibližně 610 N. Uvedený zdvih 3 mm na jednu čelist je postačující. Jmenovitý provozní tlak je stanoven na 6 bar. [52]



Obr. 29) Závislost otevírací síly na délce prstů chapadla [52]

Pro vybrané chapadlo je také nutné ověřit velikost momentů a axiální síly, které působí na čelisti chapadla, jak je vidět na obr. 30. Maximální dovolené hodnoty těchto momentů jsou výrobcem stanoveny na: $M_x = 47 \text{ Nm}$, $M_y = 60 \text{ Nm}$, $M_z = 53 \text{ Nm}$ a $F_z = 1300 \text{ N}$. [52]



Obr. 30) Momenty působící na čelist chapadla [52]

Velikosti momentů určíme pomocí vztahů 6.2 až 6.5:

$$M_x = (m + m_\xi) \cdot (a + g) \cdot r_x = (1,791 + 0,262) \cdot (20 + 9,81) \cdot 0,073 = 4,52 \text{ Nm} \quad (6.2)$$

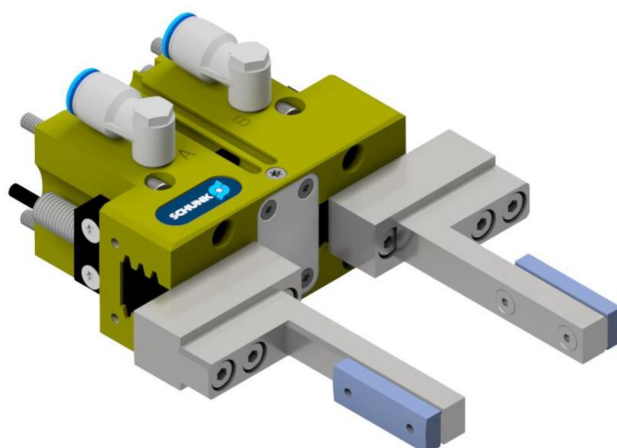
$$M_y = (m + m_\xi) \cdot (a + g) \cdot r_y = (1,791 + 0,262) \cdot (20 + 9,81) \cdot 0,073 = 4,52 \text{ Nm} \quad (6.3)$$

$$M_z = (m + m_\xi) \cdot (a + g) \cdot r_z = (1,791 + 0,262) \cdot (20 + 9,81) \cdot 0,023 = 1,84 \text{ Nm} \quad (6.4)$$

$$F_z = (m + m_\xi) \cdot (a + g) = (1,791 + 0,262) \cdot (20 + 9,81) = 61,20 \text{ N} \quad (6.5)$$

Z výpočtů je patrné, že získané hodnoty axiální síly a zatěžujících momentů ani zdaleka nedosahují maximální dovolené hodnoty, což znamená, že chapadlo splňuje všechny podmínky k použití. Na obr. 31 je zobrazeno chapadlo s navrženými prsty, které jsou doplněny plastovými destičkami pro zvýšení tření. Díky tomu je možné vyvinout větší uchopovací sílu. Tyto destičky

mají pouze omezenou životnost, takže je nutné je po určitém provozním intervalu vyměnit. To by však vzhledem k jednoduchému šroubovému spojení nemělo být problematické.



Obr. 31) Chapadlo s prsty pro vyjmutí polotovárů z bedny

Zbylé dvě hlavice pro založení, resp. vyložení součásti z obráběcího stroje již využívají k chopení součásti tvarový styk. Prsty jsou vybaveny prizmatickými čelistmi, které umožní přesné a zároveň bezpečnější uchopení součásti, než jak tomu bylo u chapadla výše. Pro zvýšení koeficientu tření jsou prizmatické čelisti doplněny o uchopovací podložku HKI od firmy Schunk, jejíž součinitel tření s ocelí je 0,3. Tato podložka zajistí šetrnější manipulaci s již obrobenými součástmi a je spojena s prsty chapadla pomocí lepeného spoje. Má však omezenou životnost, takže bude nutné ji po určitém časovém intervalu vyměnit. Pro výpočet uchopovací síly opět zvolíme nejhorší variantu pohybu, což je i v tomto případě pohyb svisle vzhůru. Potřebnou uchopovací sílu tedy stanovíme podle vztahu 6.6: [53]

$$F_G = \frac{m(a + g) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\mu} \cdot S = \frac{1,791 \cdot (20 + 9,81) \cdot \sin\left(\frac{155}{2}\right)}{0,3} \cdot 2 = 347,5 \text{ N} \quad (6.6)$$

kde: F_G – potřebná uchopovací síla [N]

m – hmotnost uchopené součásti [kg]

a – maximální zrychlení na konci ramene robotu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

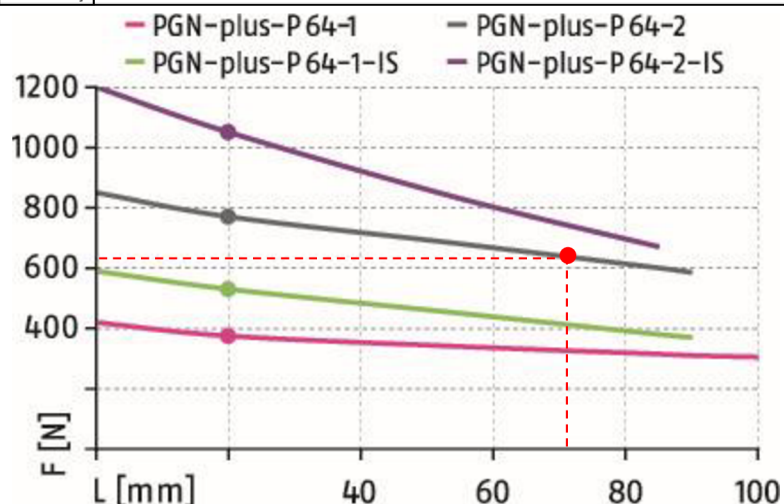
g – gravitační zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

μ – součinitel statického smykového tření [-]

S – součinitel bezpečnosti [-].

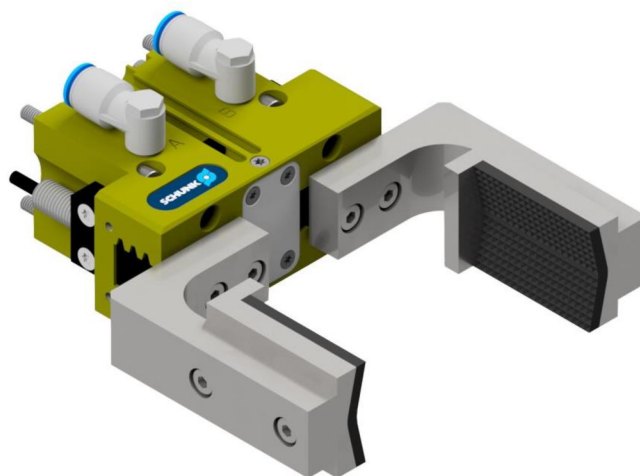
α – úhel uchopovacích čelistí [$^\circ$].

Vypočítaná hodnota uchopovací síly je 347,5 N, proto je možné opět zvolit hlavici PGN-plus-P 64-2. Vzhledem k tomu, že manipulovaná součást je rotační, postačí zdvih 3 mm na jednu čelist. Sílu při délce navržených prstů 71 mm lze opět určit pomocí diagramu, který je zobrazen na obr. 32 a je přibližně rovna 625 N.



Obr. 32) Závislost uchopovací síly na délce prstů [52]

Při kontrole momentů u chapadla pro vyjmutí dílu z bedny, která byla provedena výše v této práci, byly vypočítány hodnoty zatěžujících momentů. Jelikož se jedná o stejnou hlavici, délka prstů je kratší, než ve zmíněném případě a rezerva k dosažení maximální hodnoty zatěžných momentů je velká, lze předpokládat, že i v tomto případě bude tato podmínka bez problémů splněna. Kontrolní výpočet tedy nebude znovu prováděn.



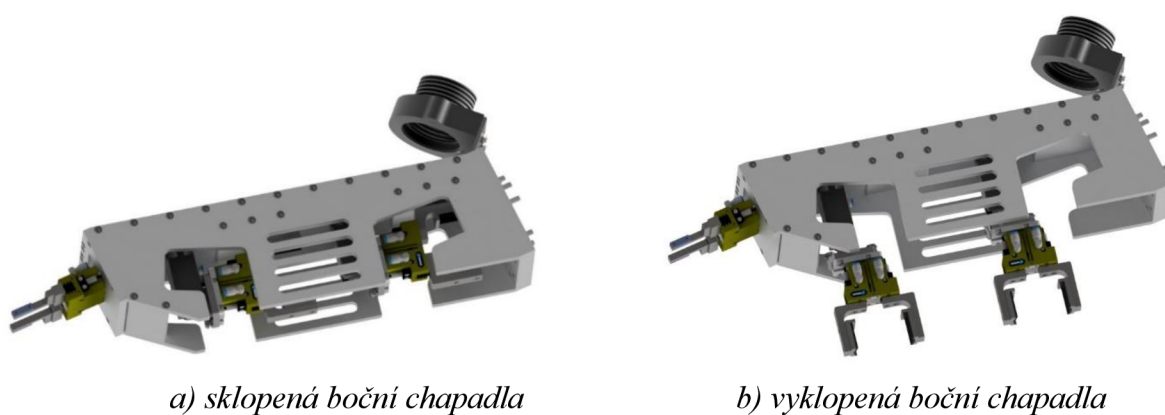
Obr. 33) Chapadlo s prsty pro obsluhu obráběcího centra

6.1.2 Návrh koncového efektoru

Koncový efektor je navržen tak, aby co nejvíce splňoval požadavky, které jsou na něj kladeny z hlediska bin-pickingové aplikace. Pro výběr z ocelové bedny, jejíž stěna má výšku 400 mm je potřeba, aby byl efektor dostatečně dlouhý a bylo možné dosáhnout i na polotovary u dna. Konstrukce by však také měla být co nejvíce štíhlá a to z důvodu snížení rizika nárazu do stěna a zlepšení možnosti pohybu v prostoru bedny. Zároveň je však nutné dbát na dostatečnou tuhost a robustnost efektoru. Nedostatečná tuhost by totiž mohla vést k nepřesnostem při upínání do sklíčidla stroje.

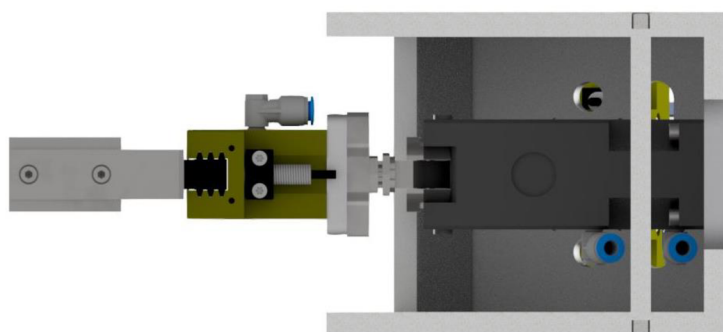
Konstrukci celého koncového tvoří hliníkové desky o tloušťce 10 a 12 mm. Ty jsou spojeny pomocí kolíků, které zajistí jejich přesnou polohu, a také šroubů M6 s vnitřním

vybráním. Desky jsou opatřeny výřezy a drážkami pro odlehčení celé konstrukce. Efektor je složen celkově ze tří manipulačních hlavice. Chapadlo pro vyjímání dílů z bedny je umístěno na čelní ploše celé konstrukce. Konstrukce desek je navržena tak, aby tato hlavice ležela mimo osu příruby robotu, což by mělo snížit riziko kolize příruby robotu se stěnou bedny. Zbýlá dvě chapadla jsou umístěna na pneumatických výklopných jednotkách od firmy Gimatic (viz příloha DP-vyklopne-jednotky). Tato jednotka umožňuje vyklopení hlavice o 90°. Při vybírání dílů z bedny jsou tedy tyto dvě chapadla sklopena do vnitřního prostoru efektoru. Díky tomu jsou tedy před kolizí se stěnou bedny chráněny hliníkovými deskami, které tvoří samotnou konstrukci efektoru. Po vytažení dílu z krabice jsou pak vyklopeny ven z konstrukce a slouží pro přesunutí materiálu do, resp. z prostoru obráběcího centra. Celý princip je naznačen na obr. 34.



Obr. 34) Princip vyklopení bočních chapadel

V prostoru chapadla je nutné brát zřetel na množství pneumatických hadic a kabelů, které přivádí stlačený vzduch k samotným hlavicím, resp. poskytují zpětnou vazbu, v jaké poloze se aktuálně čelisti chapadel nachází. Ty jsou přiváděny do prostoru chapadla pomocí krytu kabelů, který je spojen s efektoem pomocí ohýbaného plechu. Horní deskou jsou pak kabely a hadice přes vyfrézovaný otvor přivedeny do vnitřního prostoru efektoru. Ve vnitřním prostoru chapadla je vytvořen oddělený prostor pro vedení přívodů k jednotlivým hlavicím, viz obr. 35.



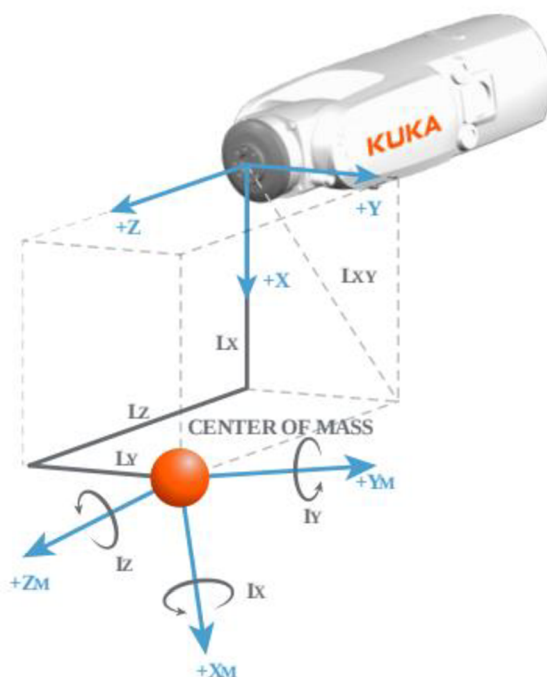
Obr. 35) Pohled na vnitřní prostor chapadla

Pro montáž efektoru na robot je využita příruba s devíti šrouby velikosti M8, kolíkem o průměru 8 mm a středícím čepem o průměru 62 mm.

6.2 Výběr robotu

Pro tento typ aplikace je vhodné zvolit šestiosý průmyslový robot s dostatečnou nosností a dosahem. Jiný typ robotu není vhodný. Ačkoliv je na trhu s šestiosými roboty mnoho různých výrobců, v této práci je robot zvolen z portfolia firmy KUKA. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky má k dispozici RCS (Robot Controller Simulation) modul. Jedná se o virtuální kopii skutečného řídicího systému průmyslového robotu. S jeho pomocí lze zpřesnit výsledné časy simulačního modelu tak, aby se co nejvíce blížily realitě.

K volbě robotu byl využit software KUKA Compose. Ten je schopný na základě zadaných parametrů chapadla, jako je jeho hmotnost (m), poloha těžiště chapadla vůči středu příruby robotu (L_x , L_y , L_z) nebo momenty setrvačnosti vůči jednotlivým osám (I_x , I_y , I_z) provést statickou a dynamickou analýzu robotů se zvoleným dosahem (schéma jednotlivých zatížení je vidět na obr.34). S její pomocí je uživatel schopen vybrat vhodný model průmyslového robotu pro danou aplikaci. Je možné provést analýzu až pro tři modely robotů najednou. Jednotlivé parametry chapadla potřebné pro zadání byly zjištěny pomocí softwaru Autodesk Inventor. Poloha těžiště, celková hmotnost chapadla a hodnoty momentů setrvačnosti byly určeny pro případ, kdy jsou boční chapadla vyklopena ven z efektoru a zároveň jsou v jejich čelistech uchopeny polotovary, což je nejhůrší možná varianta, která v průběhu manipulace z hlediska zatížení robotu může vzniknout (viz. obr. 36). Zjištěné hodnoty jsou vidět v tabulce 2. [54]



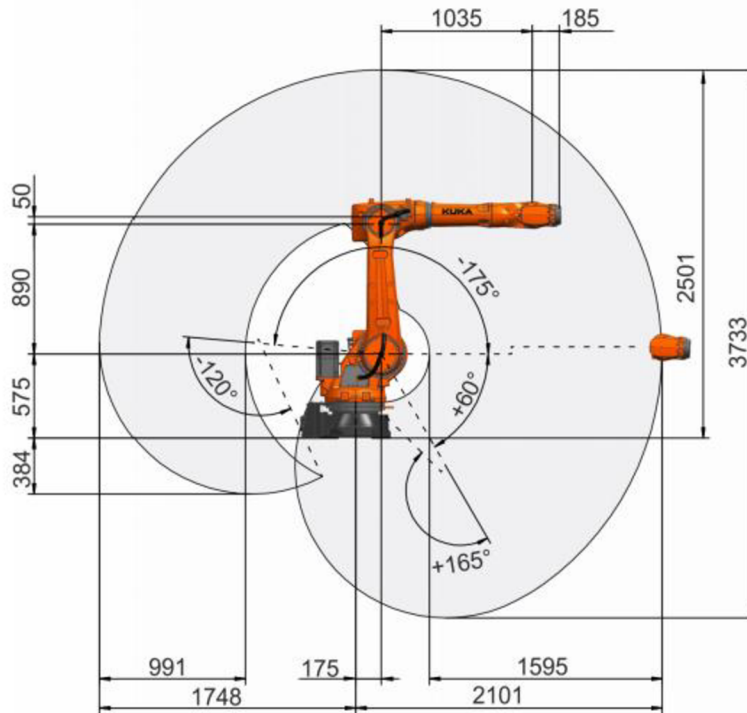
Obr. 36) Schéma zatížení příruby robotu [54]

Tab. 2) Vstupní parametry chapadla pro software KUKA Compose

m [kg]	L_x [mm]	L_y [mm]	L_z [mm]	I_x [kg·m ²]	I_y [kg·m ²]	I_z [kg·m ²]
16,475	-15	0	282,786	0,61	0,80	0,24

Pro porovnání byly zvoleny dva modely robotů, konkrétně KR 22 R1610-2 (nosnost 22 kg, dosah 1612 mm) a KR 30 R2100 (nosnost 30 kg, dosah 2101 mm). Po provedení analýzy

je vidět, že z dynamického hlediska je robot KR 22 R1610-2 přetížen, tudíž jej nelze pro danou aplikaci použít (viz příloha DP-Robot-KUKA-Compose). Robot KR 30 R2100 ze statického i dynamického hlediska vyhovuje. Jeho dosah 2100 mm je také dostačující. Řídicí systém robotu je KR C4. Můžeme tedy vidět, že i když je hmotnost chapadla s uchopenými polotovary 16,475 kg, tak nosnost zvoleného robotu je téměř dvojnásobná. Lze tedy prohlásit, že celková hmotnost chapadla není dostačujícím parametrem pro správnou volbu robotu. [55]



Obr. 37) Pracovní prostor robotu KR 30 R2100 [55]

6.3 Bin picking

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.4, na trhu se v dnešní době vyskytuje více řešení technologie bin picking. Pro účely této práce bylo zvoleno řešení od firmy Blumenbecker, jehož základní princip fungování je popsán v kapitole 3.4.2.

Základem je portálová konstrukce z hliníkových profilů 80x40 mm, které jsou součástí produktového portfolia firmy Alutec KK. Na příčný profil je umístěno lineární vedení s kamerou SICK Ranger a liniovými lasery stejného výrobce. Díky tomu je kamera schopna snímat objekty po celé délce vstupní ocelové bedny, která je umístěna pod příčným profilem konstrukce. Pro umístění bedny obsluhou na požadované místo jsou svislé konstrukční profily odděleny od sebe tak, aby bylo možné vytvořenou mezerou mezi nimi umístit kontejner s polotovary pomocí paletizačních vozíků. Celá konstrukce je do země ukotvena pomocí ocelových kotev. Dostatečnou tuhost konstrukce pro lineární vedení zajišťují výztuže z hliníkových profilů 40x40 mm. Celá konstrukce je zobrazena na obr. 38.



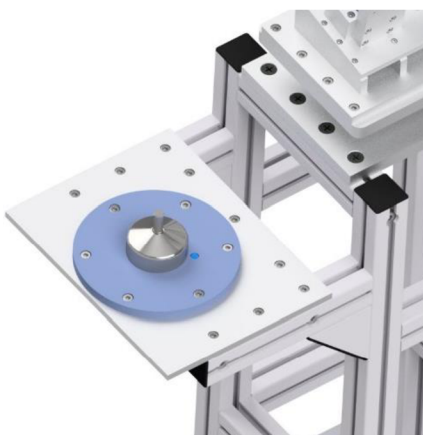
Obr. 38) Sestava bin pickingového portálu

6.4 Stanice pro vystředění a otočení součástí

Úkolem stanice je zajistit vystředění součásti pro její následné znovu uchopení chapadlem průmyslového robotu a její otočení o 180° v případě nevhodné orientace polotovaru pro jeho založení do obráběcího stroje.

Základní konstrukci stanice tvoří hliníkové profily 40x40 mm, jejichž dodavatelem je opět firma Alutec KK. Součástí konstrukce jsou dvě desky, které stanici pomyslně rozdělují na část pro vystředění součásti a na část pro její otočení.

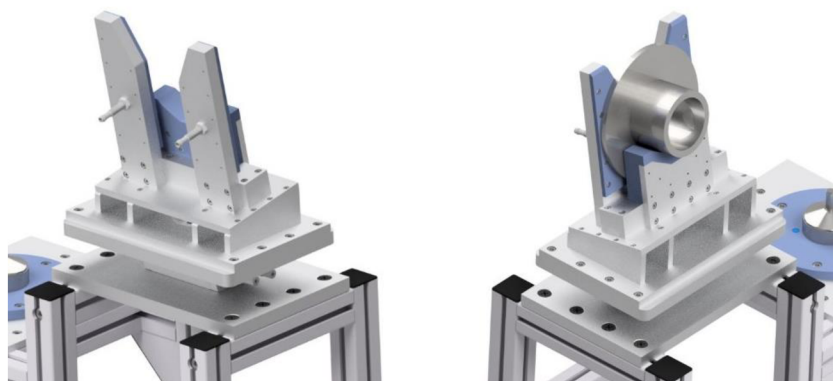
Vystředění je zajištěno pomocí středícího kolíku, který dokáže zajistit přesnou polohu pro opětovné uchopení. Zpětnou vazbu pro řídicí systém poskytuje indukční senzor IME08-02BPSVT0SS17, se spínací vzdáleností 2 mm. Tento senzor je určen pro lícovanou montáž, takže při jeho umístění bylo nutné, pro jeho správnou funkci, dbát montážních pokynů výrobce. Jeho poloha je pak zobrazena na obr. 39. [56]



Obr. 39) Detail středícího kolíku

Část pro otočení součásti je tvořena přípravkem ze vzájemně spojených hliníkových desek různých tloušťek. Základní deska je umístěna na pneumatickém dvoupolohovém kyvném

motoru s ozubeným hřebenem a pastorkem DRRD 20 od firmy Festo, který umožňuje otočení celé konstrukce o 180°. Na základní desce je umístěna sestava přípravku, který tvoří hliníkové desky. Přední desky přípravku svírají s vodorovnou základní deskou úhel 100°, aby bylo zaručeno co nejpřesnější dosednutí součásti do prizmatického vybrání čelistí zadní desky. Mezi nimi je mezera pro prsty robotu vkládající díl do přípravku. Na povrchu hliníkových desek jsou přišroubovány ještě pryžové desky z důvodu zamezení možnosti poškození povrchu součásti. Na obr. 40 jsou zvýrazněny modrou barvou. Na předních deskách jsou také umístěny dva indukční snímače SICK IM08-03BPS-VT1 se spínací vzdáleností 3 mm. Tyto snímače poskytují zpětnou vazbu řídicímu systému o přítomnosti součásti v přípravku. Jejich zdvojení zajišťuje zpětnou vazbu o tom, že je polotovar v přípravku vložen správně. Kabely snímačů jsou vedeny středem kyvného motoru skrz průchozí otvor. Při otáčení přípravku tedy nejsou nebezpečně natahovány a ani nezpůsobují komplikace pro samotné otočení. [57], [58]



a) Přední část přípravku se snímači

b) Zadní část přípravku s vloženým dílem

Obr. 40) Přípravek na otočení součásti

Celá konstrukce je pevně ukotvena k podlaze pomocí kotevních šroubů a ukotvovacího prvku číslo 534040 od firmy Alutec KK tak, aby se zamezilo možné nežádoucí změně polohy celé konstrukce. Pohled na celou konstrukci je na obr. 41.

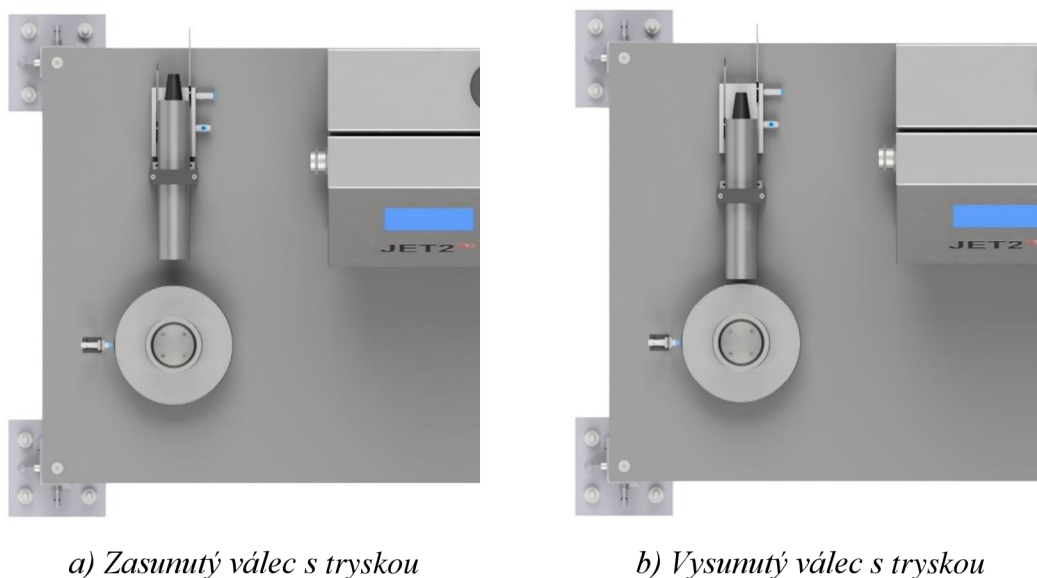


Obr. 41) Stanice pro vystředění a otočení součásti

6.5 Stanice pro potištění součástí

Po vyjmutí ze sklíčidla obráběcího centra je obrobená součást přesunuta pomocí robotu k potištění. Zde jsou pomocí inkoustové tiskárny Leibinger Jet2Neo na součást tištěny údaje o výrobku, jako sériové číslo apod. [59]

Stanice je tvořena stolem, složeným z hliníkových profilů 40x40 mm a horní stolovou hliníkovou deskou o tloušťce 10 mm. Tiskárna je volně stojící na stolové desce. Její tryska je upevněna pomocí čelistí s kruhovým vybráním k pneumatickému válci Festo DGTZ-GF-16-30-P-A se dvěma písty a zdvihem 30 mm. Součást je robotem umísťována na odkládací místo tvořené trnem, který je umístěn na pneumatickém kyvném motoru Festo DRRD-12-180-FH-Y9A. Ten zajišťuje otáčení dílu kolem své osy, které je nutné pro potištění součásti potřebnými informacemi. Zpětnou vazbu o přítomnosti součásti na trnu zajišťuje indukční snímač Sick IME08-06NPSZT0K. Jakmile je součást detekována na odkládacím místě, je dán pokyn k zahájení potištění. Pneumatický válec přisune trysku k dílu. Po přisunutí válce je díl otáčen kolem své osy o nastavený úhel pomocí kyvného pneumatického motoru a pomocí inkoustu, který je nanášen tryskou, je díl potištěn. Po dokončení tištění válec trysku přesune opět do výchozí polohy. Princip vysunutí a zasunutí trysky je vidět na obr. 42. [60], [61], [57]

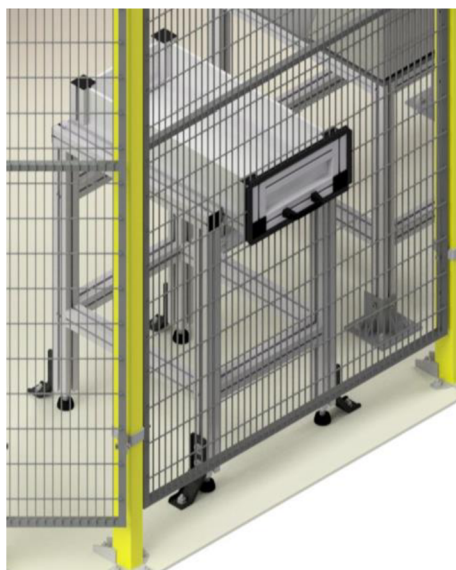


Obr. 42) Princip vysouvání/zasouvání trysky

6.6 Výsuv pro vyjmutí součástí ke kontrole

Po potištění je úkolem robotu přesunout součást do výstupního ocelového kontejneru. Obsluha však může požadovat také vydání dílu ke kontrole. V takovém případě robot přesune robot do výsuvné zásuvky.

Konstrukce tohoto výsuvu je opět tvořena hliníkovými profily firmy Alutec KK, konkrétně se jedná o profil s rozměry 45x45 mm. Dno a stěny zásuvky jsou desky z tvrzeného PVC. Samotné vysunutí zásuvky zajišťuje kuličkový celovýsuv firmy STRONG, s délkou vysunutí 500 mm a nosností 40 kg. Čelo zásuvky je srovnáno s rovinou výplně oplocení (viz. obr. 43a). [62]



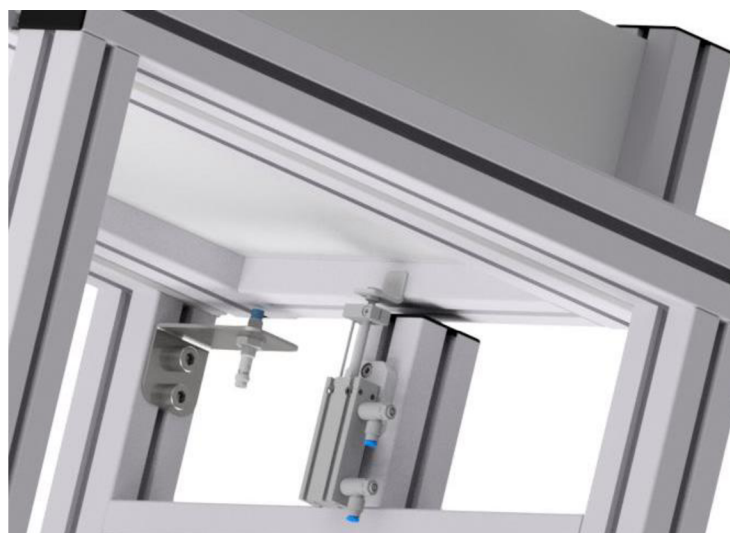
a) Zásunutá zásuvka



b) Vysunutá zásuvka

Obr. 43) Detail výsuvu zásuvky

Indukční snímač Sick IME08-04NPOZT0K umístěný na levé zadní noze poskytuje zpětnou vazbu řídicímu systému o zavření zásuvky. Nežádoucím vysunutí zásuvky brání pneumatický válec Festo DPDM, který je ve výchozí poloze vysunutý. Teprve až při stisknutí tlačítka pro vydání daného obrobeneho kusu ke kontrole se pneumatický válec zasune a tím umožní vysunutí celé zásuvky ven z pracovního prostoru buňky. [63], [64]

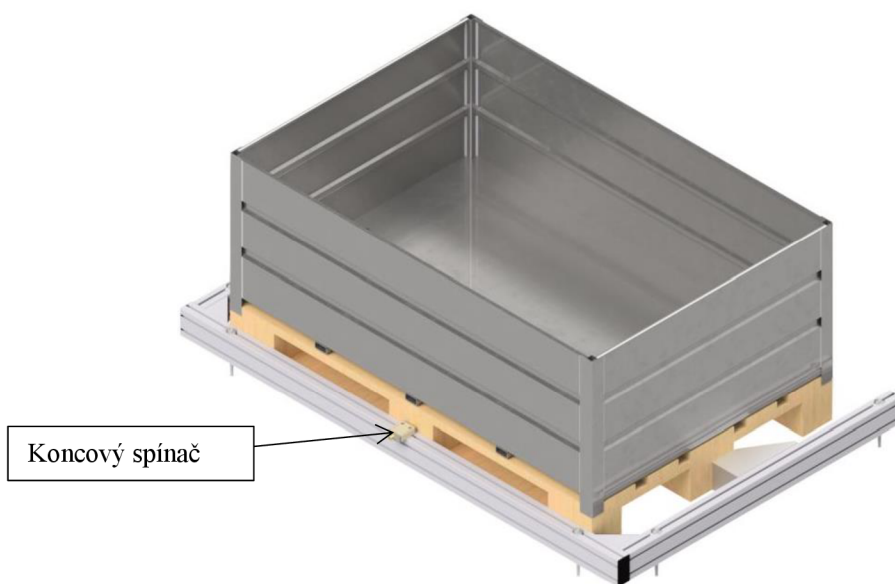


Obr. 44) Pohled na vysunutý pneumatický válec a indukční snímač výsuvu

6.7 Vstupní a výstupní kontejnery

Již obrobené součásti jsou stejně jako polotovary přepravovány v ocelových bednách které jsou umístěny na europaletách. Výška stěny tohoto kontejneru je 400 mm. Požadovanou polohu palet v robotické buňce zajišťují rámy z hliníkových profilů 80x40 mm. Ty jsou navíc opatřeny mechanickými koncovými spínači s plunžrem od firmy Omron, které poskytují zpětnou vazbu

řídícímu systému o přítomnosti palet. Pokud palety nejsou správně umístěny nebo nejsou v buňce vůbec přítomny, není možné robotickou buňku spustit v automatickém režimu. [65]



Obr. 45) Výstupní paleta

6.8 Bezpečnostní prvky pracoviště

Robotizované pracoviště musí při svém provozu splňovat nejen všechna funkční kritéria (jako dodržení požadovaného taktu nebo bezkoliznost robotických operací s jednotlivými prvky pracoviště), ale také všechna bezpečnostní kritéria, která musí být splněna po celou dobu životnosti pracoviště. Proto je nutné již při prvotním návrhu pracoviště brát v úvahu bezpečnostní požadavky, jako je např. výška oplocení, bezpečná vzdálenost robotu od oplocení, atd. Požadavky na dodržení bezpečnosti jsou dány příslušnými normami. Identifikaci všech potenciálních nebezpečí vyžaduje použití procesního přístupu. Vypracování kompletní analýzy rizik přesahuje rámec této práce.

6.8.1 Ochranné oplocení

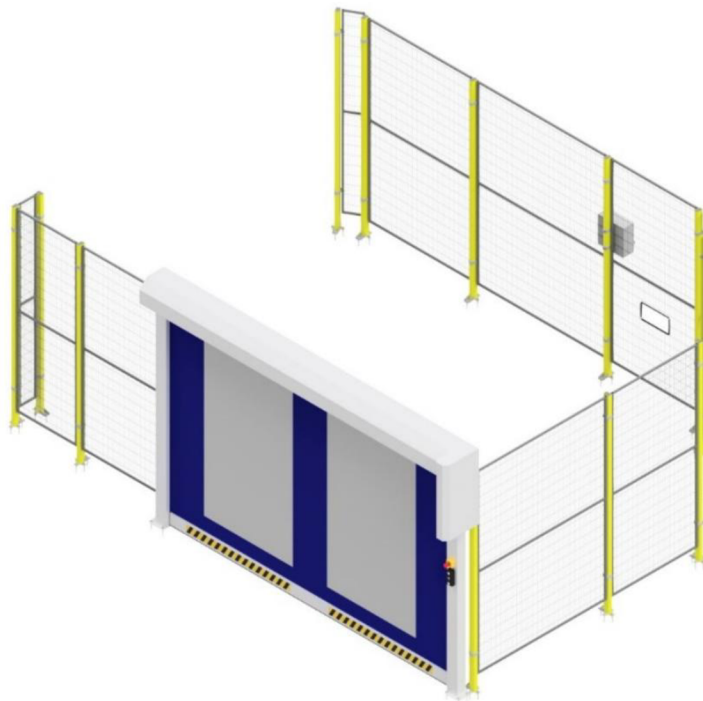
Ochranné oplocení je nezbytnou součástí robotizovaného pracoviště. Slouží k ochraně obsluhy nejen před pohybujícím se robotickým ramenem, ale také jeho koncovým efektem a dalšími prvky pracoviště, které mohou být při potenciálním kontaktu s obsluhou nebezpečné.

Podoba oplocení je dána samotným tvarem pracoviště. V dnešní době lze vybírat z nabídek několika firem, jako Troax nebo Axellent, které nabízejí vlastní konstrukční systém oplocení. Díky tomu lze oplocení co nejvíce přizpůsobit konkrétním požadavkům pracoviště, což vedle splnění bezpečnostních požadavků vede také úspoře zastavěného prostoru výrobní haly.

V této diplomové práci bylo ochranné oplocení sestaveno z konstrukčního systému firmy Troax. Tato společnost nabízí panely různých šířek (od 200 do 1500 mm), výšek (1250 a 2050 mm) a druhů (drátěné, s polykarbonátovou výplní a plechovou výplní). Drátěné panely jsou cenově nejdostupnější. Hodí se zejména pro aplikace, kde např. není zapotřebí obsluhu chránit před odletujícími třískami z různých technologických procesů (např. robotické odjehlování součástí pomocí externích nástrojů), a kde je také možné zaručit dostatečnou

vzdálenost robotu od oplocení, danou normou ČSN EN ISO 13857. Polykarbonátová výplň nabízí nejen ochranu při technologických procesech, ale také vizuální přehled nad pracovištěm. Plechové panely jsou vhodné především pro svařovací aplikace, kde je nutné prostor kolem průmyslového robotu zcela uzavřít. [66]

Navržené oplocení je vzhledem k charakteru aplikace složeno z drátěných panelů ST20 o výšce 2050 mm a sloupků rozměrech 40x60 mm a výšce 2200 mm. Samotné panely jsou na sloupcích umístěny ve výšce 150 mm nad zemí. Celková výška oplocení je tedy 2200 mm. Podle normy ČSN EN ISO 13857 je tato výška oplocení dostatečná ve všech místech pracoviště. Požadovaná minimální bezpečná vzdálenost 120 mm podle stejné normy je také dodržena ve všech místech pracoviště. V místě konstrukce výsuvu je vytvořen otvor tak, aby čelo zásuvky bylo zarovnáno s oplocením. Konce odřezaných drátů, které by mohly způsobit zranění při manipulaci s výsuvem, jsou zakryty pomocí speciálních, kovem vyztužených plastových krytů. Tyto kryty jsou součástí portfolio doplňků k oplocení, které firma Troax ke svému konstrukčnímu řešení nabízí. Celková podoba oplocení je vidět na obr. 46. [66], [67]



Obr. 46) Ochranné oplocení pracoviště

Vstup do buňky je zajištěn pomocí rychloběžných průmyslových vrat Albany RP300, jejichž výrobcem je firma ASSA ABLOY. Celková šířka vstupního otvoru je 3000 mm. Jsou vybaveny vlastními bezpečnostními prvky, které jsou navrženy dle ČSN EN ISO 13849 a ČSN EN ISO 14119. Koncové snímače, které monitorují, zda jsou vrata zavřena, jsou umístěny v bočním rámu. Optická závora, také umístěná v bočním rámu zamezuje nežádoucímu spuštění vrat na obsluhu, pohybující se v jejich prostoru. [68]

6.8.2 Ovládací panel a nouzové zastavení

Součástí pracoviště je také ovládací panel, který umožňuje obsluze kontrolu nad pracovištěm. Mezi klíčové bezpečnostní prvky patří tlačítka nouzového zastavení. Při stisknutí těchto tlačítek je pracovní proces buňky okamžitě zastaven. Tato tlačítka je nutné umístit na dobře dostupná

místa. V návrhu pracoviště jsou umístěna dvě tlačítka nouzového zastavení, kde první z nich je součástí rámu rychloběžných vrat a druhé je umístěno na ovládacím panelu na oplocení v blízkosti výsuvu.



Obr. 47) Tlačítko nouzového zastavení [69]

6.8.3 Signální věž

Signální věž slouží k poskytování informací o aktuálním stavu buňky. Věž je složena z LED modulů různých barev, kde každá z nich značí jiný stav pracoviště. Do návrhu pracoviště byla zvolena signální věž LR5 od firmy Teprostroj s LED moduly barev zelená, červená a oranžová. Zelená barva značí bezproblémový chod pracoviště, oranžová upozorňuje na nestandardní stav některého prvku daného pracoviště a červená barva značí chybu. Signální věž je umístěna na vrcholu sloupku oplocení v blízkosti rozvaděče tak, aby byla dobře viditelná. [70]



Obr. 48) Signální věž Teprostroj LR5 [70]

7 SIMULAČNÍ MODEL PRACOVISTĚ

V následující kapitole je popsán postup tvorby simulačního modelu pracoviště, který je realizován v prostředí softwaru Process Simulate, verze 16.0.2. S pomocí modelu lze optimalizovat uspořádání pracoviště, ověřit, zda při jednotlivých operacích nedochází ke kolizím robotu s jednotlivými periferiemi pracoviště a v neposlední řadě také zjistit výsledný takt buňky, což je jeden z cílů této práce. Simulaci je možné tvořit jako časově řízenou nebo událostně řízenou (pomocí signálů). V této práci byla zvolena časově řízená simulace.

7.1 Vytvoření studie

Při spuštění softwaru Process Simulate se jako první zobrazí uvítací okno, s jehož pomocí můžeme otevřít již vytvořené nebo rozpracované studie, ale také založit novou. K tomu slouží tlačítko *Create New Study*. Před jeho stisknutím je však nutné nastavit přístupovou cestu k projektu *System Root*. Zde budou ukládány jednotlivé modely pracoviště. Pokud se některý model nachází mimo zadaný adresář, pak jej software nedokáže ve studii zobrazit.

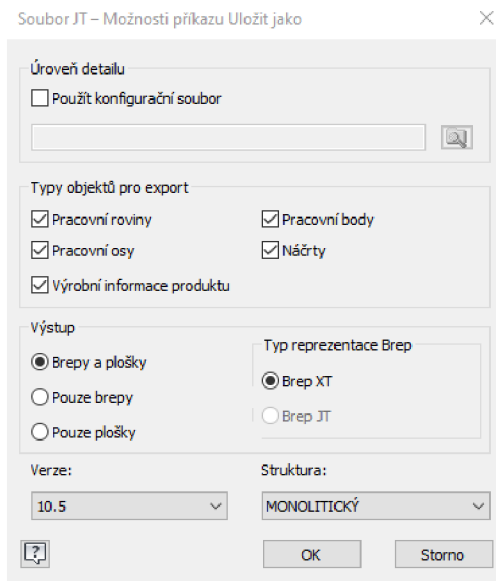
7.2 Importování modelů a jejich definice

Jelikož CAD modely jednotlivých částí pracoviště byly zpracovány pomocí softwaru Autodesk Inventor, je nutné je do prostředí Process Simulate vhodně importovat. Pro import použijeme možnost exportování modelu ze softwaru Autodesk Inventor ve vhodném formátu. Tím je formát *.jt*, který je nutné uložit do složky se shodným názvem a koncovkou *.cojt*. Zmíněnou složku je nutné uložit v adresáři vytvořené studie, aby bylo možné daný model definovat a později otevřít ve studii.

Pro export souboru s koncovkou *.jt* z prostředí Autodesk Inventor Professional 2021 zvolíme možnost *Soubor* → *Uložit kopii jako*. Zde je nutné vybrat požadovaný adresář vytvořené studie a vytvořit zde složku se stejnojmenným názvem jako exportovaný model s koncovkou *.cojt*. Do této složky je následně uložen exportovaný model s koncovkou souboru *.jt*. Pro nastavení exportu před samotným uložením je možné otevřít položku *Možnosti*. Zde je možné nastavit potřebné detaily exportu (viz. obr. 45). Tento postup importování modelů byl využit i v této práci.

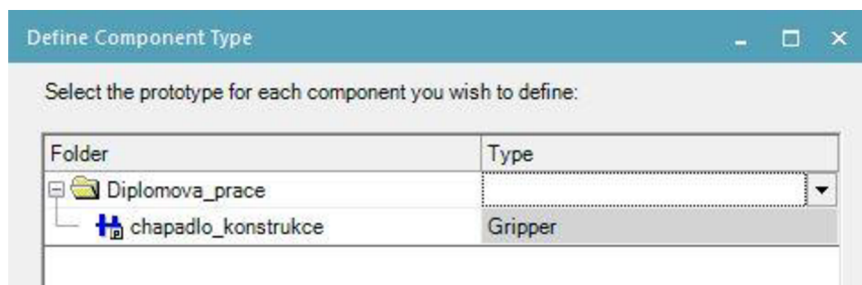
Další možností je přímý import souborů do studie. K tomu složí položka *Import/Export* → *Convert and Insert CAD files* v záložce *File* v prostředí softwaru Process Simulate. Tento postup však vyžaduje instalaci dodatečných CAD Translators, jejíž úlohou je právě správný převod souboru, který byl vytvořen v 3D modelářském softwaru do požadovaného formátu pro prostředí Process Simulate.

Process Simulate také disponuje vlastním nástrojem pro tvorbu 3D modelů. Jeho použití však je vhodné pouze pro komponenty jednoduchých tvarů. Pro modely složitějších tvarů a složitých sestav je s výhodou využíváno vytvoření modelu v dostupných softwarech pro 3D modelování (Inventor, Catia, Solidworks, Creo apod.), a jeho následný import do programu Process Simulate pomocí výše zmíněných možností.



Obr. 49) Nastavení exportu modelu do formátu JT

Pro otevření importovaného modelu je nejprve nutné definovat jeho typ. K tomu slouží nástroj *Modeling* → *Components* → *Define Component Type*. Zde je možné vybírat z poměrně rozsáhlého množství typů komponent, jako jsou: Container, Conveyor, Device, Gripper, Gun, Robot apod. Pro příklad je na obr. 46 uveden výběr typu komponenty pro importovaný model navrženého chapadla. Po definování typu komponenty je již možné pomocí *Modeling* → *Components* → *Insert Component* vložit požadovaný model do studie.



Obr. 50) Definice typu komponenty

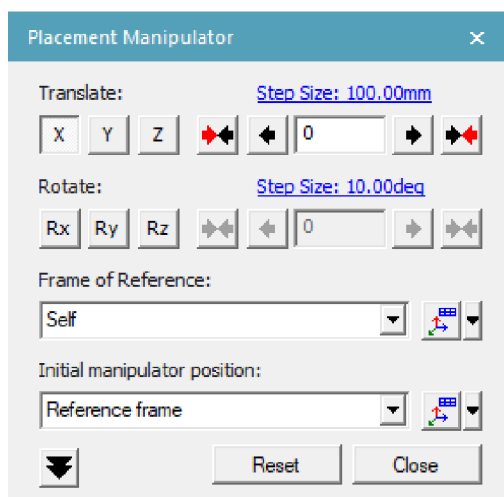
7.3 Tvorba souřadných systémů, přesouvání komponent

Již importované modely je dále možné upravovat přímo v prostředí Process Simulate. Aby dané úpravy byly svázané právě se zvolenou komponentou, je nutné nejprve zvolit *Modeling* → *Scope* → *Set Modeling Scope*. Díky tomu jsou veškeré následující úpravy spojeny pouze se zvolenou komponentou. Mezi hlavní úpravy komponent patří definice souřadných systémů (*Frame*). Tyto souřadné systémy jsou vytvářeny na vhodných místech jednotlivých komponent, jako je například střed přírubby chapadla pro montáž na robot, TCP, místo uchopení součásti, místa odkládacích přípravků apod. Tyto vytvořené souřadné systémy značně ulehčí práci nejen při přesouvání jednotlivých komponent, ale také při tvorbě robotických a jiných operacích. Pro vytvoření *Frame* je nutné zvolit *Modeling* → *Layout* → *Create Frame*. Zde je možné souřadný systém vytvořit čtyřmi základními způsoby:

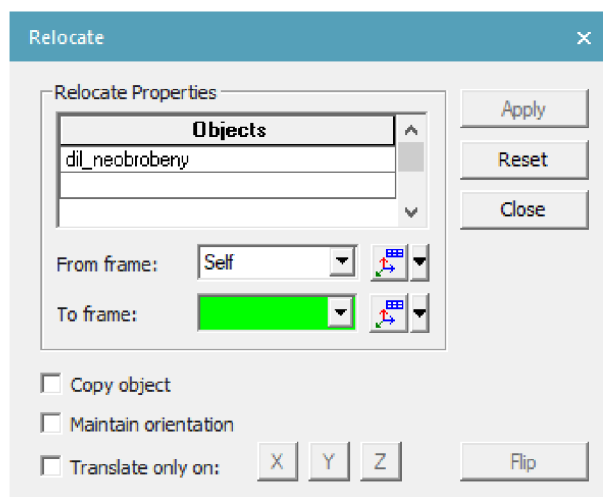
- zadáním šesti hodnot pozice a natočení vůči již danému souřadnému systému
- zadáním tří konkrétních bodů, kde první z nich je místo počátku souřadného systému a další dva body definují směr os
- vytvoření souřadného systému ve středu kruhu, který je dán třemi body po obvodu
- vytvoření souřadného systému mezi dvěma body.

Pro ukončení úprav zvolené komponenty je potřeba kliknout na *Modeling* → *Scope* → *End Modeling*. Aby vytvořené souřadné systémy zůstali ve studii viditelné i po ukončení úprav dané komponenty, je nutné ještě před ukončením úprav zvolené souřadné systémy označit a s pomocí *Modeling* → *Entity Level* → *Set Object To Be Preserved* je nastavit jako viditelné.

Po importování všech komponent pracoviště je nutné jejich modely přesunout do požadovaných pozic podle navrženého layoutu buňky. K přesouvání modelů je možné využít dvou funkcí. První z nich je funkce *Placement Manipulator*, kde pro přesunutí jednotlivých komponent stačí zadat požadovanou hodnotu a směr posunu nebo rotace os X, Y a Z. Tato funkce také nabízí přesunutí komponenty pomocí uchopení zobrazeného souřadného systému modelu a jeho následným tažením do příslušného směru. Druhou funkcí je *Relocate*, která nabízí možnost přesunu součásti z počáteční do koncové polohy pomocí definovaných souřadných systémů.



a) Funkce *Placement Manipulator*



b) Funkce *Relocate*

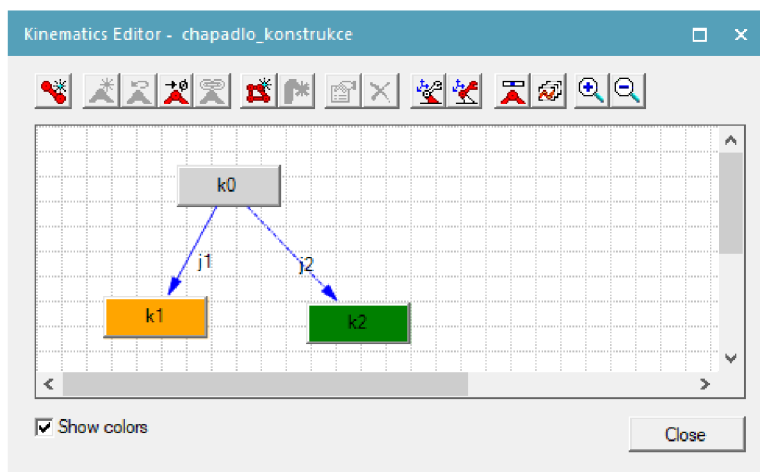
Obr. 51) Nástroje pro manipulaci s komponentami

7.4 Definice kinematiky komponent

Další hojně využívanou úpravou importovaných modelů je definice jejich kinematiky. Funkce *Kinematics Editor* v záložce *Modeling* → *Kinematic Device* slouží pro vytvoření kinematické struktury dané součásti. Díky ní lze simulovat úkony, jako je otevírání a zavírání čelistí chapadla, pohyblivých krytů obráběcích strojů, otáčení otočných stolů nebo vysouvání a zasouvání pneumatických válců.

Pro tvorbu kinematické struktury je nutné součást opět odemknout pro úpravy pomocí *Modeling* → *Scope* → *Set Modeling Scope*. V prostředí *Kinematics Editoru* pro tvorbu pohyblivých částí využívány bloky, které lze vytvořit pomocí tlačítka *Create Link*. Tyto bloky lze spojit jednoduchým tažením pohybovou vazbou tak, jak je naznačeno na obr. 52. Je zde

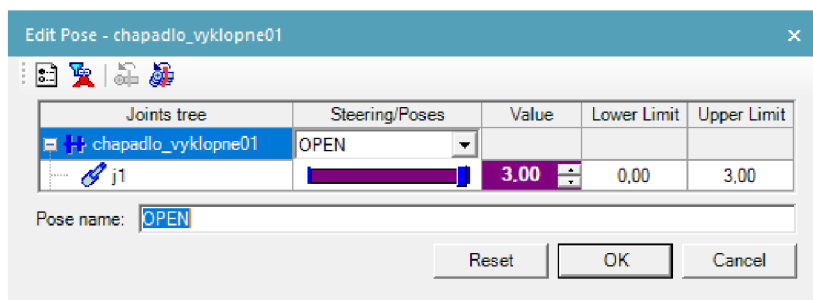
uvedeno kinematické schéma navrženého pneumatického chapadla. Blok k_0 představuje základní nepohyblivý blok. Tomuto bloku mohou být přiřazeny všechny nepohyblivé části konstrukce chapadla nebo může zůstat, jako v tomto případě, prázdný. V blocích k_1 a k_2 jsou obsaženy všechny pohyblivé prvky uchopovací hlavičky (prsty, čelisti, šrouby apod.). Šipky j_1 a j_2 představují pohyblivé vazby bloků k_1 a k_2 vůči základnímu bloku k_0 , které mohou být buď rotační nebo translační. V uvedeném příkladu se jedná o vazby translační. Pro zadání směru slouží výběr dvou bodů, které spolu tvoří směrový vektor posuvu. Maximální délka posuvu jednoho prstu chapadla je výrobcem stanovena na 3 mm. Vazbu j_2 je dále nutné propojit s vazbou j_1 tak, aby k jejich posuvu docházelo ve shodný čas. To lze realizovat pomocí položky *Joint Dependency*.



Obr. 52) Kinematické schéma pneumatického paralelního chapadla

Při tvorbě rotační vazby je postup takřka identický, jako v případě tvorby translačního posuvu. Pouze při výběru typu vazby v dialogovém okně je nutné místo vazby *Prismatic* zvolit možnost *Revolute*. V této práci byla tato vazba využita při tvorbě kinematického schématu modelu navržené stanice pro vystředění a otočení součásti, kde je otočení realizováno pomocí pneumatického kyvného pohonu.

Po definování kinematiky je vhodné pomocí nástroje *Pose Editor* uložit základní polohy jednotlivých zařízení. Pro pneumatické chapadlo jsou to například dvě krajní polohy, kdy jsou čelisti rozevřeny nebo naopak uzavřeny. Takto uložené polohy jsou pak dále s výhodou využívány při programování jednotlivých operací nebo při použití OLP příkazů.

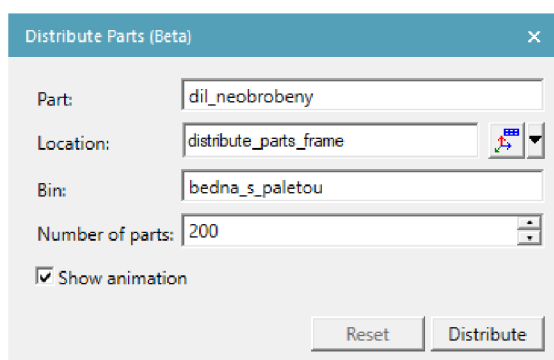


Obr. 53) Uložení pozic v Pose Editoru

7.5 Náhodné rozmístění dílů do vstupního kontejneru

Jak již bylo zmíněno, simulace je v této práci vytvořena s programem Process Simulate verze 16.0.2. V kapitole 3.3.1 bylo uvedeno, že tato verze programu již disponuje beta verzí nástroje pro reálnou simulaci fyziky. S tím byl program rozšířen o další nové funkce, mezi které patří možnost nasimulování „nasypaní dílů“ do kontejneru. S pomocí této funkce je možné dostat zcela neuspořádané rozložení jednotlivých kusů v bedně tak, jak by tomu bylo u reálného pracoviště.

Pro nasypání dílů do bedny je potřeba zvolit *Modeling* → *Physics* → *Distribute Parts*, v dialogovém okně zvolit model součásti, dále Frame (odkud mají být díly sypány), kontejner (do kterého mají být rozmístěny) a jejich celkový počet (viz. obr. 54).



Obr. 54) Funkce pro neuspořádané rozložení dílů do kontejneru

7.6 Definice nástrojů robotu

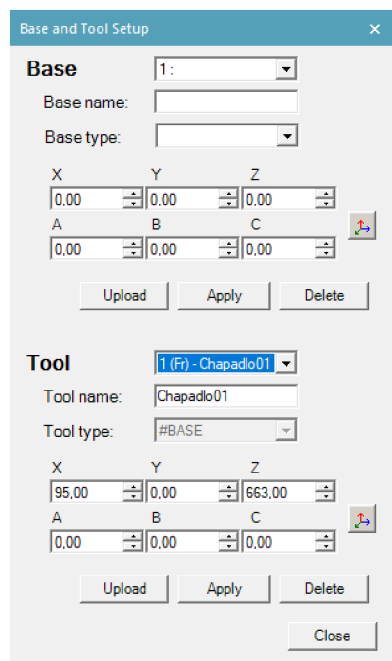
Jelikož navržený koncový efektor disponuje celkem třemi úchopnými hlavicemi, je nutné každému chapadlu definovat vlastní TCP a samotný nástroj definovat jako Gripper. K tomu slouží funkce *Tool Definition*. V její nabídce je nutné zvolit typ daného nástroje (v případě chapadla je volena možnost *Gripper*), souřadné systémy Base, TCP (Tool Center Point) a uchopovací prvky chapadla, které přicházejí do kontaktu s manipulovanou součástí. Po definování typu nástroje je možné připojit nástroje na přírubu robotu. Samotná konstrukce chapadla je pro tento případ rozdělena na jednotlivé prvky:

- Konstrukci hliníkových desek s připojenou hlavicí pro výběr z bedny
- Výklopné pneumatické jednotky
- Chapadla pro obsluhu obráběcího centra

Hliníková desková konstrukce s chapadlem pro výběr z bedny je s pomocí příkazu *Mount Tool* připojena přímo na přírubu robotu. Výklopné jednotky, které byly definovány jako komponenta *Device*, je možné na své místo v konstrukci přemístit pomocí vytvořených souřadných systémů a funkce *Relocate*, a následně pomocí příkazu *Attach* spojit se samotnou konstrukcí. Vyklopení těchto jednotek je řízeno v simulaci pomocí OLP příkazů. Příkazy *Relocate* a *Attach* byly použity také pro přemístění a připojení zbylých dvou uchopovacích hlavic k deskové konstrukci.

Pomocí příkazu *Robot Setup* → *Base and Tool Setup* definujeme jednotlivé nástroje přímo pro řídicí systém robotu. Díky tomu bude možné jednotlivé nástroje používat při tvorbě robotických manipulací. Jednotlivé nástroje jsou zde očíslovány a je možné jim přidělit

uživatelské názvy. Opět je zde nutné definovat TCP. Na obr. 55 je pak vidět průmyslový robot s připojeným chapadlem v prostředí Process Simulate.



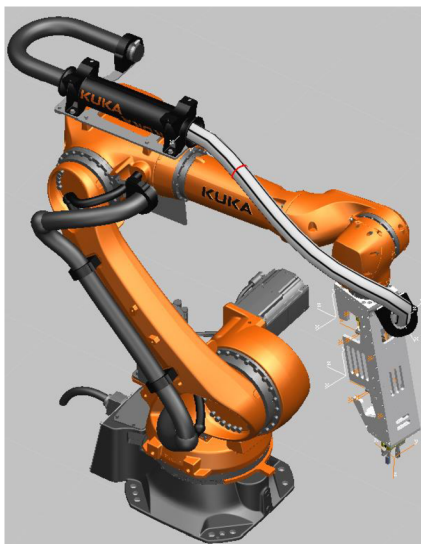
Obr. 55) Definice nástrojů robotu

7.7 Simulace kabeláže na robotu

Jelikož jsou navržená chapadla poháněna pneumatickým pohonem, je nutné k nim přivést nejen stlačený vzduch pneumatickými hadicemi, ale také další kabeláž ke snímačům koncových poloh hlavic a výklopných jednotek. Průmyslový robot KUKA může být vybaven speciální kabelážní výbavou od stejného výrobce, kterou je možné umístit přímo na robotické rameno. Přívodní kabely a hadice jsou navíc chráněny kabelovou ochranou potřebného průměru.

Pro detailnější simulaci je vhodné využít také možnost simulace kabeláže, kterou software nabízí. Díky ní je možné ověřit, zda v průběhu robotických operací není kabeláž nebezpečně namáhána, zkroucena nebo zda nedochází k její kolizi ostatními periferiemi pracoviště.

Model kabelážní výbavy průmyslového robotu KR 30 R2100 je možné pomocí funkcí *Relocate* a *Attach* přesunout na třetí osu robotu, respektive ji s ní spojit. Pro definici kabeláže slouží funkce *Modelling* → *Cable* → *Cable Editor*. Zde je nutné definovat počáteční a koncový *Frame* kabeláže, její délku, poloměr a materiálové charakteristiky. Kabelážní výbava robotu dále umožňuje vysunutí kabeláže za účelem prodloužení její délky, které ve skutečnosti obstarává pružina v hrdle výbavy. Tuto délku vysunutí je možné nastavit v záložce *Modelling* → *Cable* → *Cable Editor* → *Attachments*. Podoba robotu s nasazenou výbavou a definovanou kabeláží je patrná z obr. 56.



Obr. 56) Robot s nasazenou kabelážní výbavou

7.8 Tvorba programu pracoviště

Po rozmístění všech modelů dílčích periferií pracoviště na požadovaná místa, definici jejich kinematických řetězců a vytvoření kabeláže je možné začít s tvorbou požadovaného programu buňky. Při tvorbě simulace jsou využívány operace, které lze najít v záložce *Operation* → *Create Operation*. Jednotlivé robotické operace a také operace dalších prvků pracoviště jsou poté v *Sequence Editor* řazeny podle návaznosti, což přehledně zobrazuje Ganttův diagram. Pro úpravu jednotlivých trajektorií robotických operací je používán *Path Editor*. Zde je možné vytvářet a upravovat jednotlivé lokace, přes které má vést trajektorie pohybujícího se robotu. Pomocí *Collision Viewer* lze detekovat nežádoucí kolize mezi konkrétními prvky. V okamžiku kolize je daný prvek vykreslen červenou barvou. Lze však také nastavit, aby v okamžiku vzniklé kolize byla celá simulace v konkrétním místě zastavena.

7.8.1 Pick and Place operace

Hlavním úkolem průmyslového robotu v navrženém pracovišti je manipulace s polotovary a následně také i s již obrobenými a potišťnými součástmi. Pro přesouvání dílů z jednoho místa na druhé je vhodné použít operaci *Operation* → *New Operation* → *New Pick and Place Operation*. Při jejím zvolení je nutné vybrat robot, který má operaci vykonat a pozice uchopení součásti, resp. jejího následného odložení. Vygenerovaná operace tedy obsahuje tyto dvě lokace s již definovanými OLP příkazy pro pohyb prstů chapadla, čekání na koncové polohy prstů chapadla a také uchopení (odložení) součásti pomocí dříve definovaných *Gripping Entities*. Uchopovaná součást musí být v *Pick* lokaci v přímém kontaktu s *Gripping Entities*, jinak není možné ji pomocí chapadla uchopit.

Po přidání vygenerované operace do *Path Editor* je možné přidávat další pozice trajektorie pomocí příkazů:

- *Add Location Before* – přidá pozici před současnou zvolenou pozicí
- *Add Location After* – přidá pozici za současnou zvolenou pozicí
- *Add Current Location* – přidá pozici, ve které se robot aktuálně nachází
- *Add Location By Pick* – přidá pozici výběrem souřadného systému

- *Add Multiple Locations By Pick* – přidá pozice výběrem více souřadných systémů

Pro správnou úpravu trajektorií je potřeba v *Path Editor* přizpůsobit zobrazované sloupce podle zvoleného řídicího systému robotu, což je v tomto případě KUKA-KRC. V tomto případě byly zvoleny sloupce:

- *OLP Commands* – umožňuje vytváření příkazů pro ovládání nástrojů, čekání na signály, odesílání signálů apod.
- *Attachments* – udává informaci zda daná lokace je připojena k jistému prvku – při posunutí tohoto prvku dojde k posunutí také dané lokace
- *Config* – umožňuje nastavení konfigurace robotu v daném bodu trajektorie
- *Motion* – pomocí rozevíracího seznamu je možné zvolit požadovaný typ pohybu robotu
- *Tool Nr* – zde je možné zvolit požadovaný nástroj, podle jehož TCP se robot pohybuje do místa zvolené lokace
- *Speed* – nastavení rychlosti robotu
- *Zone* – nastavení velikosti aproximace v mm koncového bodu robotem, při hodnotě FINE robot dosáhne konkrétní pozice

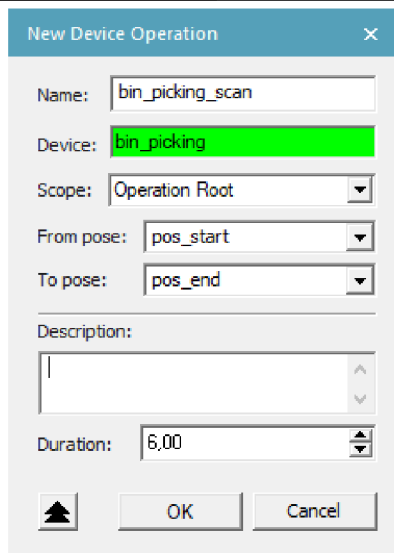
Paths & Locations	OLP Commands	Attachment	Config	Motion	Tool Nr	Speed	Zone	Base Nr
manipulace_01_dil_01								
Home			S 2 T 42	PTP	1 (Fr) - Ch...	100 %	FINE	0 - WorldF...
m01_01			S 2 T 10	PTP	1 (Fr) - Ch...	100 %	C_DIS 10...	0 - WorldF...
vychozni_bod_nad_kontej...			S 2 T 42	PTP	1 (Fr) - Ch...	100 %	FINE	0 - WorldF...
najezd_pick			S 2 T 10	PTP	1 (Fr) - Ch...	100 %	FINE	0 - WorldF...
pick	# Destination chapadlo_kons		S 2 T 10	LIN	1 (Fr) - Ch...	0.2 m/s	FINE	0 - WorldF...
odjezd_pick			S 2 T 10	LIN	1 (Fr) - Ch...	0.2 m/s	FINE	0 - WorldF...
m01_02			S 2 T 42	PTP	1 (Fr) - Ch...	100 %	C_DIS 50 ...	0 - WorldF...
najezd_place			S 2 T 10	PTP	1 (Fr) - Ch...	100 %	FINE	0 - WorldF...
place	# Destination chapadlo_kons		S 2 T 10	LIN	1 (Fr) - Ch...	0.2 m/s	FINE	0 - WorldF...
odjezd_place			S 2 T 10	LIN	1 (Fr) - Ch...	0.2 m/s	FINE	0 - WorldF...
end			S 2 T 10	PTP	1 (Fr) - Ch...	100 %	FINE	0 - WorldF...

Obr. 57) Definovaná trajektorie v Path Editor

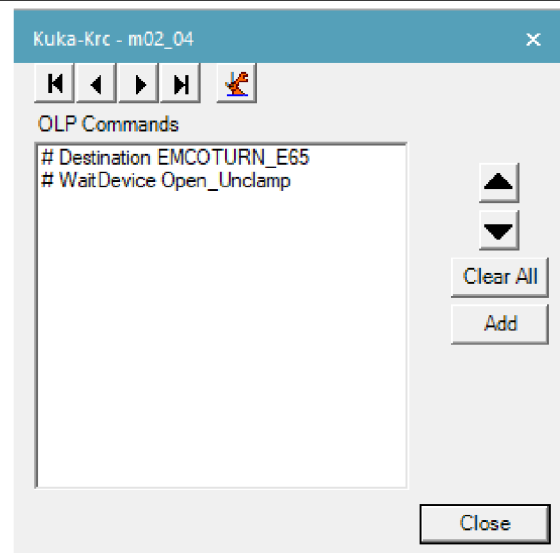
7.8.2 Device operace

V navrženém pracovišti se vyskytují i další prvky s pohyblivými mechanismy (přípravek pro otočení součástí, lineární vedení bin pickingového portálu, dveře obráběcího centra, výsuvné pneumatikové válce apod.), kterým je nutné přiřadit operace simulující tyto pohyby. Pro tento účel jsou tyto konkrétní komponenty definovány jako *Device* a k jejich pohybu slouží operace *Operation* → *Create New Operation* → *New Device Operation*. Zde je nutné vybrat konkrétní zařízení a pozici, kterou má při dokončení této operace zaujmout. S výhodou se zde využívají vytvořené pozice v *Pose Editoru* tak, jak bylo popsáno v kapitole 7.4. Vytvořené operace pak lze v *Sequence Editor* umístit na požadované místo v sekvenci dalších robotických operací.

Druhou možností jak řídit jednotlivá zařízení je řízení pomocí OLP příkazů, kdy průmyslový robot po dosažení konkrétní lokace, kde je OLP příkaz zadán, vyšle signál např. pro otevření dveří obráběcího centra. Při tomto typu řízení není nutné vytvořit novou operaci. OLP příkazy jsou zadávány v *Path Editor* při úpravě konkrétní robotické operace.



a) Definice nové Device Operation



b) Otevírání dveří OC pomocí OLP příkazů

Obr. 58) Možnosti simulace pohybu ostatních prvků pracoviště

7.8.3 Human operace

Software Process Simulate dále také disponuje doplňkem, s jehož pomocí je možné realizovat simulaci operací, které v reálu bude vykonávat obsluha. Díky tomu je tedy možné ověřit např. zda je dané místo pro obsluhu dosažitelné, v jakou polohu bude muset pracovník zaujmout při konkrétním úkolu nebo analyzovat a optimalizovat ergonomii daného pracoviště. Pro práci s člověkem v prostředí Process Simulate slouží záložka *Human*, ve které jsou zahrnuty všechny související funkce.

Pro vytvoření modelu člověka je nutné zvolit *Human* → *Tools* → *Create Human*. Zde je možné nastavit jednotlivé vlastnosti, jako např. pohlaví, výšku, váhu atd. Jednotlivé lidské úkony pak lze realizovat přes funkci *Human* → *Simulation* → *Task Simulation Builder*. S pomocí této funkce lze člověku přidělit úkony, mezi které patří:

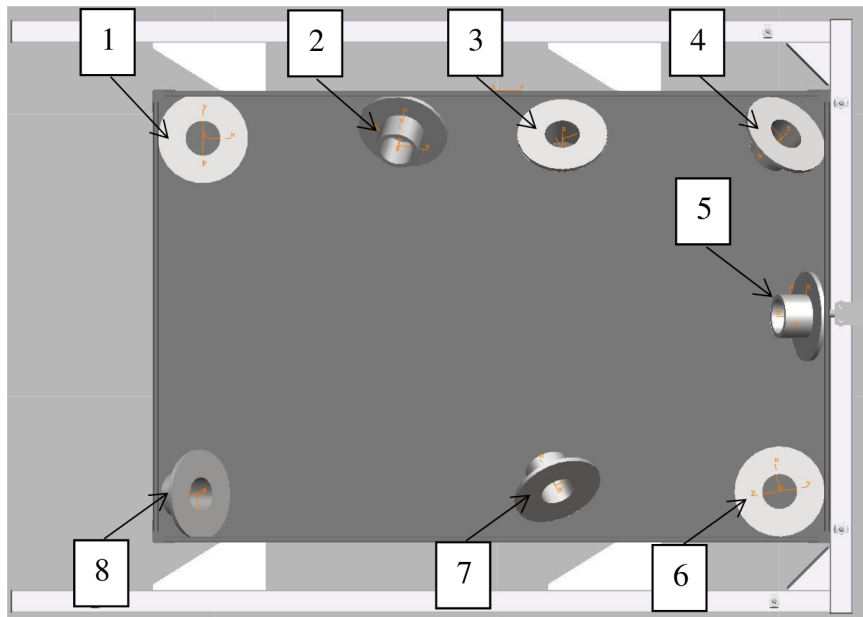
- přesunutí z místa na místo
- uchopení objektu
- položení objektu
- zaujmutí určité pozice
- stání
- sezení
- čekání
- dotek
- vyvinutí určité síly

7.8.4 Optimalizace pozice robotu

Pro optimalizaci pozice robotu je vhodné využít vestavěných funkcí softwaru Process Simulate. Jedná se především o funkce *Reach test* a *Smart Place*. Funkce *Reach test* umožňuje ověřit dosah robotu do všech bodů vytvořené trajektorie. S pomocí funkce *Smart Place* je možné přesunout robot nebo jinou část pracoviště tak, aby byl zaručen dosah do všech vyšetřovaných bodů trajektorie.

7.9 Analýza kritických pozic součástí v kontejneru

V prostředí softwaru je také možné provést analýzu pozic součástí ve vstupní bedně, které by mohly způsobit problémy. Jde hlavně o možnou kolizi koncového robotu se stěnami ocelového kontejneru při nájezdu/odjezdu do pozice pro uchopení součásti. Proto je možné v další vytvořené studii rozmístit součásti do problémových pozic a následně pomocí vytvoření *Pick and Place* operací ve spolupráci s *Collision Viewer* určit, zda díl v dané pozici je možné pomocí efektoru odebrat. Na obr. 59 je zobrazeno osm poloh součástí na samotném dnu kontejneru, u kterých by mohly nastat komplikace při jejich odebrání.



Obr. 59) Pozice dílů podrobených analýze

Z následné analýzy vyplynulo, že s pozicemi dílů 1, 2, 5, 6 a 8 nemá při odebrání robot žádný problém. U dílů v polohách 3, 4 a 7 je otvor součásti, za který je díl uchopován, orientován směrem ke stěně bedny. Díl tedy není možné uchopit prsty chapadla ve směru osy otvoru. Polotovár tedy musí být robotem odebrán v mírném úhlu mezi osou otvoru a prsty chapadla. Nepřesnosti uchopení jsou pak eliminovány na středícím trnu, který je součástí stanice pro vystředění a otočení.

7.10 Výstupy ze simulační studie

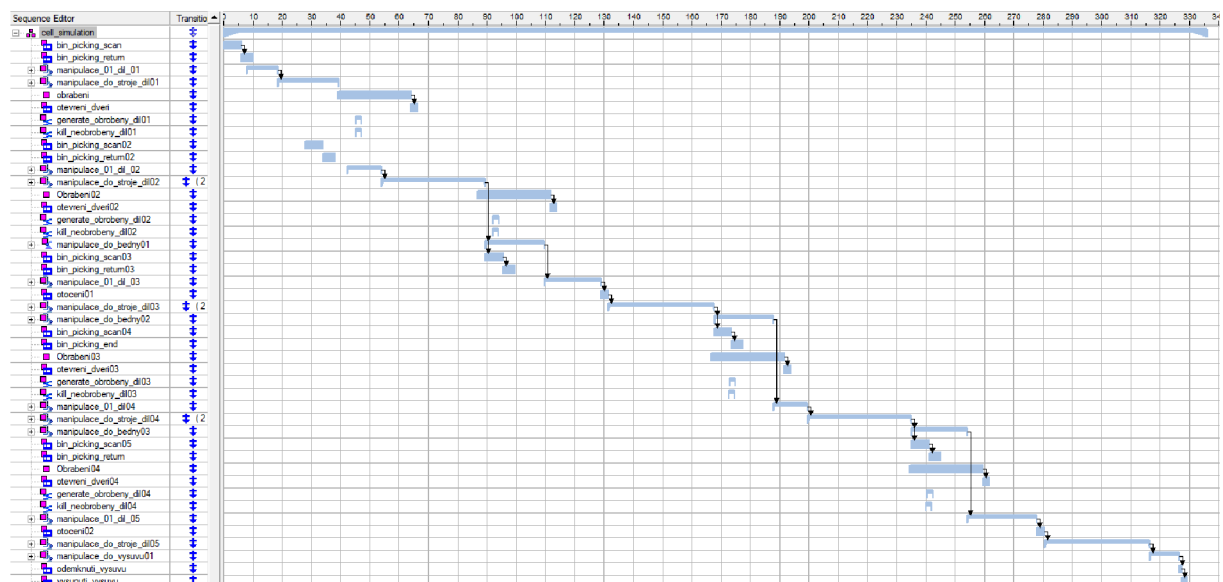
Aplikací všech postupů, které byly popsány v kapitolách 7.1 až 7.9 je získán funkční model pracoviště. Všechny pozice jednotlivých periférií jsou optimalizovány, je také zaručena bezkoliznost robotických operací a dosah robotu do všech pracovních pozic. Je možné tedy prohlásit, že pracoviště je funkční.

Dalším důležitým výstupem ze simulační studie, který je nutné dodržet, je takt buňky. Jelikož díly jsou ve vstupní bedně rozloženy neuspořádaně a mohou být robotem odebrány v různých orientacích, je vhodné čas vyrobění jednoho dílu rozdělit na dva případy. První z nich je situace, kdy je orientace polotovaru vhodná pro vložení dílu do obráběcího centra okamžitě po jeho vystředění. Ve druhém případě je orientace polotovaru nevhodná a daný díl musí být po vystředění ještě otočen. Manipulační čas operace, kdy robot přemístí díl z bedny do

obráběcího stroje se tedy v těchto dvou případech bude lišit, jelikož ve druhém případě je nutné vykonat jednu manipulační operaci (přesun dílu ze středícího trnu do přípravku pro otočení) navíc. Z toho tedy můžeme vyvodit, že čas manipulace při nutném otočení součásti bude delší, než v případě, kdy otočení součásti nutné není.

Takt je od zadavatele stanoven maximálně na 70 sekund. To je tedy doba, za kterou musí být vyroben jeden díl. Simulace byla vytvářena nejprve za pomoci simulační kontroléru KUKA, který je součástí přímo softwaru Process Simulate. Tento ovladač je vhodný především pro tvorbu robotických operací, ověření celkové funkčnosti a bezkoliznosti. Daleko přesnější představy o výsledných časech jednotlivých operací je možné získat až při použití RCS modulu.

Výsledné časy jednotlivých operací a zároveň také čas výsledného taktu lze stanovit pomocí *Sequence Editor*, kde jsou jednotlivé operace přehledně zobrazeny pomocí Ganttova diagramu (viz obr. 60). Celkový čas pro výrobu 5 kusů, z nichž u dvou bylo nutné součást nejen vystředit, ale i otočit je 336,5 sekund. Celkový takt je tedy 67,3 sekund na jednu součást. Zjištěný takt již vyhovuje požadavkům (menší než 70 sekund).



Obr. 60) Ganttův diagram bez použitého RCS modulu

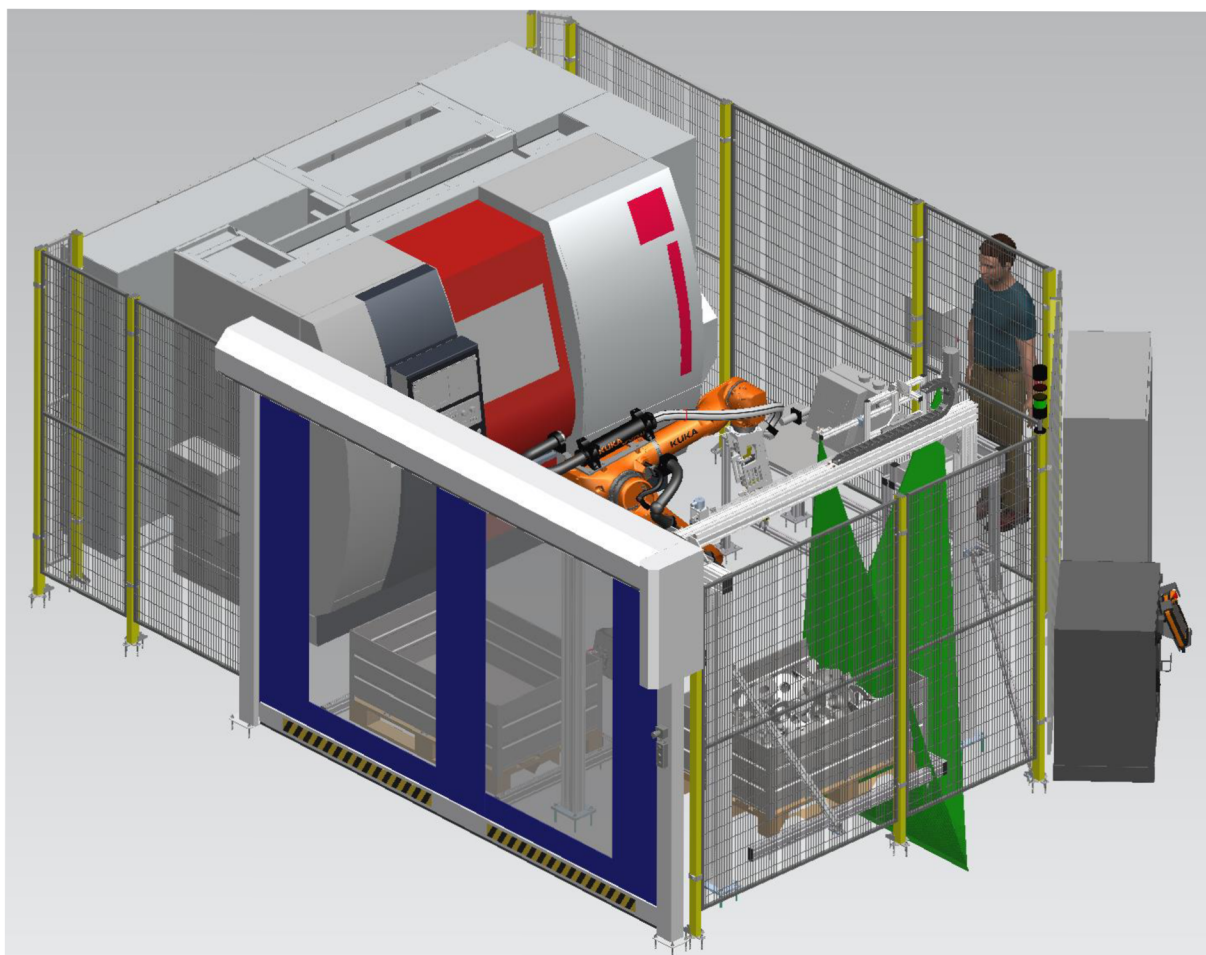
Při použití RCS modulu je možné očekávat rapidní snížení celkových časů jednotlivých manipulací a tím získat reálný takt. Pro totožnou simulaci s 5 kusy, z nichž dva je nutné otočit, je výsledný čas simulace při použití RCS modulu zkrácen na 261,56 sekund. Výsledný takt je tedy 52,3 sekund.

Výsledné časy simulací bez i s použitím RCS modulu jsou přehledně zobrazeny v tabulce 3.

Tab. 3) Výsledné takty pracoviště

	Zadaná hodnota	Simulace bez RCS	Simulace s RCS
Takt	Max. 70 s	67,3 s	52,3 s

Na obr. 61 je pak zobrazena konečná podoba celého pracoviště.



Obr. 61) Konečná podoba pracoviště

8 TECHNICKO-EKONOMICKÉ POSOUZENÍ

V této kapitole je vytvořeno technicko-ekonomické posouzení navrženého robotizovaného pracoviště. Ve čtyřech níže uvedených tabulkách jsou rozpracovány finanční náklady spojené s realizací.

8.1 Náklady na provoz současného pracoviště

V současné době je nutná přítomnost jednoho pracovníka obsluhy v tří směnném provozu. Náklady na provoz spočívají ve mzdách všech pracovníků, včetně jejich zdravotního a sociálního pojištění. Je počítáno s fondem pracovní doby pro rok 2021 (včetně státních svátků), což činí 2088 pracovních hodin za rok. Hodinová sazba obsluhy je stanovena na 110 Kč za hodinu. Při třisměnném provozu se jedná o náklady na mzdy pro 3 zaměstnance obsluhy. Současné celkové roční náklady na provoz pracoviště jsou přehledně zpracovány v tabulce 4.

Tab. 4) Roční náklady na provoz současného pracoviště

č.	Položka	náklady na 1 zaměstnance/měsíc [Kč]	počet jednotek	náklady celkem [Kč]
1	hrubá měsíční mzda	29500	3	88500
2	zdravotní pojištění (9% z hrubé mzdy)	2655	3	7965
3	sociální pojištění (24,8% z hrubé mzdy)	7316	3	21948
	celkové měsíční náklady			118413
	celkové roční náklady			1420956

8.2 Náklady na navržené robotizované pracoviště

Pro vyčíslení celkových nákladů na navržené pracoviště je nutné určit dílčí náklady, a to konkrétně náklady na nakupované díly, vyráběné prvky a vynaloženou práci při celkové realizaci projektu. Ceny jednotlivých produktů byly stanoveny na základě dostupných informací z internetových portálů, ze soukromých komunikací se zástupci jednotlivých dodavatelů a také vlastním odhadem. Při skutečné realizaci by bylo nutné ceny jednotlivých prvků přepočítat dle reálných cen.

V tabulce 4 jsou uvedeny ceny nakupovaných položek, jejichž součet je nakonec navýšen o 10% marži.

Tab. 5) Nakupované položky

č.	Položka	výrobce	cena za jednotku [Kč]	počet jednotek	cena celkem [Kč]
1	Průmyslový robot KR 30 R2100+ KR C4 + Smart Pad	KUKA	1036400	1	1036400
2	Paralelní chapadlo PGN-plus-P 64-2	SCHUNK	24500	3	73500
3	Sestava bin picking technologie	BLUMENBECKER	700000	1	700000
4	Pneumatický kyvný pohon DRRD-12	FESTO	16118	1	16118
5	Pneumatický kyvný pohon DRRD-20	FESTO	16229	1	16229
6	Indukční snímač IMI, typ: IM08-03BPS-VT1	SICK	1530	2	3060
7	Indukční snímač IME, typ: IME08-02BPSVT0SS17	SICK	760	1	760
8	Tiskárna Leibinger Jet2NEO	LEIBINGER	124500	1	124500
9	Pneumatický válec DGTZ-GF-10-30-P-A	FESTO	4865	1	4865
10	Indukční snímač IME, typ: IME08-06NPSZT0K	SICK	1530	1	1530
11	Kuličkový plnovýsuv STRONG, 92005	STRONG	193	1	193
12	Pneumatický válec DPDM	FESTO	2120	1	2120
13	Indukční snímač IME, typ: IME08-04NPOZT0K	SICK	760	1	760
14	Ochranné oplocení	TROAX	40795	1	40795
15	Rychloběžná vrata Albany RP300	ASSA ABLOY	78350	1	78350
16	Mechanický koncový spínač D4C	OMRON	285	2	570
17	Signální věž LR5-302KTNW-RYG	TEPROSTROJ	2250	1	2250
18	Výklopná jednotka RBT 30	GIMATIC	9931	2	19862
19	Tlačítko Emergency Stop 3SU1150-1HA20-1FH0	SIEMENS	1690	1	1690
20	HMI Panel SIMATIC KTP 900	SIEMENS	28950	1	28950
21	Rozvaděč + PLC	SIEMENS	250000	1	250000
22	Pneumatické příslušenství	FESTO	11350	1	11350
	CELKEM				2413852
	CELKEM s marží 10%				2655237

Tab. 6) Vyráběné prvky

č.	Položka	cena za jednotku [Kč]	počet jednotek	cena celkem [Kč]
1	Rám chapadla z hliníkových desek	28670	1	28670
2	Prst vyklopných chapadel	2420	4	9680
3	Prst chapadla pro výběr z bedny	1630	2	3260
4	Sestava stanice pro vystředění a otočení	12917	1	12917
5	Sestava stanice pro potištní	11230	1	11230
6	Rám výsuvu + zásuvka	9325	1	9325
7	Doraz palety podélný	2988	1	2988
8	Doraz palety příčný	2890	1	2890
	CELKEM			80960

Tab. 7) Provedená práce

č.	Položka	Hodinová sazba	počet jednotek [h]	celkem [Kč]
1	Konstrukce	1050	210	220500
2	Projekce elektro	1050	52	54600
3	Offline programování	1050	75	78750
4	Montáž strojní na místě	750	120	90000
5	Montáž elektro na místě	750	80	60000
6	Programování PLC	1050	75	78750
7	Programování robotů na místě	1050	40	42000
8	Školení obsluhy	750	24	18000
	CELKEM			642600

Po sečtení celkových nákladů na realizaci navrženého pracoviště je celková částka ještě navýšena o 15% zisk firmy (viz. tabulka 7).

Tab. 8) Souhrnná výše investice

č.	Položka	Cena celkem [Kč]
1	Cena nakupovaných položek	2655237
2	Cena vyráběných položek	80960
3	Cena odvedené práce	642600
	Celková investice bez zisku	3378797
	Celková investice s 15% ziskem	3885617

8.3 Výpočet návratnosti investice

Návratnost lze spočítat jako podíl nákladů na zřízení navrženého robotického pracoviště ku celkovým ročním nákladům na provoz současného pracoviště. Doba návratnosti se běžně pohybuje v řádu let. Pro její výpočet je využit vztah 8.1.

$$T_s = \frac{IN}{CF} = \frac{3885617}{1420956} = 2,73 \text{ let} \quad (8.1)$$

kde: T_s – doba návratnosti investice [let]
IN – investiční náklady na realizaci [Kč]
CF – současné celkové náklady na provoz pracoviště [Kč].

Z výpočtu je zřejmé, že doba návratnosti investice navržené robotické buňky je 2 roky a 8,76 měsíců. Jak již však bylo zmíněno, ceny některých položek jsou určeny pouze osobním odhadem a proto je nutné tento výpočet brát pouze jako orientační.

9 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zpracovat návrh robotizovaného pracoviště pro obsluhu obráběcího centra, s jehož pomocí je soustružena požadovaná součást rotačního typu. Vstup materiálu do buňky je realizován pomocí ocelové bedny, ve které jsou polotovary rozmístěny neuspořádaně. Průmyslový robot následně uchopí nejvhodnější součást k uchopení, která byla vyhodnocena pomocí technologie strojového vidění, tzv. bin-picking. Po obrobení je ještě součást přesunuta k potištní a následně umístěna do výstupní bedny.

V první části práce byl shrnut současný stav řešené problematiky. Následně byly na základě obdrženého zadání vypracovány tři návrhové varianty řešení dané aplikace. Tyto varianty byly poté na základě zvolených parametrů hodnoceny a jako nejvhodnější byla zvolena třetí varianta. Nutné vystředění a případné otočení součásti před jejím umístěním do obráběcího centra je zde realizováno na stanici s pomocí středícího trnu, resp. pomocí přípravku pro otočení umístěném na pneumatickém kyvném pohonu. Při požadavku obsluhy ke kontrole dílu, robot umístí součást do jednoduchého výsuvu, který oproti skluzovému dopravníku, který byl navržen v první a druhé variantě, zaujímá menší zástavbový prostor a zároveň díky své jednoduché konstrukci disponuje také nižší výrobní cenou.

Funkčnost navrženého pracoviště byla poté ověřena v prostředí softwaru Process Simulate. Vytvořené modely jednotlivých peripetií pracoviště byly rozmístěny v simulačním prostředí programu a jejich polohy byly optimalizovány tak, aby byl zajištěn efektivní chod pracoviště. Dále byly definovány veškeré kinematické struktury pohybujících se mechanismů. U vytvořených robotických operací byla ověřena bezkoliznost průmyslového robotu s ostatními prvky pracoviště. Důležitým bodem bylo ověření celkového taktu výsledné buňky. Ten byl stanoven na max. 70 sekund. V případě, kdy pro simulaci nebyl využit RCS modul, byl takt roven 67,3 s. Ukázalo se, že daný takt by i v tomto případě byl dodržen. Při použití RCS modulu je hodnota taktu 52,3 s. Autor doporučuje v případě, kdy je nutné zjistit nebo ověřit přesnější takt, pracovat s RCS modulem od samotného začátku tvorby simulačního modelu, pro okamžité zjištění reálných časů.

V poslední části práce bylo zpracováno ještě technicko-ekonomické posouzení pracoviště. Celková výše investice byla stanovena na 3 885 617,- Kč. Při porovnání s náklady na stávající pracoviště byla vypočtena návratnost investice na 2 roky a necelých 9 měsíců. Tyto hodnoty je však nutné brát s určitou rezervou, jelikož při stanovení cen jednotlivých položek bylo nutné uchýlit se k osobnímu odhadu, který nemusí zcela odpovídat realitě. Pro určení skutečné výše investice a jednotlivých nákladů doporučuje autor práce vypracovat komplexnější rozbor.

V této práci bylo pracováno s časovým řízením simulačního modelu. Pro cíle této práce (ověření funkčnosti a taktu) je tento způsob řízení vyhovující. Při praktické realizaci je však vhodnější použít událostní řízení. Díky němu je možné model pracoviště řídit za pomoci signálů, které je následně možné využít přímo na skutečném pracovišti. Při událostním řízení je dále možné zpracovat kompletní virtuální zprovoznění pracoviště, s jehož pomocí lze eliminovat chyby v programech robotu i řídicího PLC, již ve fázi návrhu pracoviště. Vypracováním virtuálního zprovoznění lze snížit náklady, které by bylo nutné vynaložit při úpravě chyb přímo u zákazníka.

Praktická realizace pracoviště dále vyžaduje vypracování dalších částí, jako je např. program pro robot, program pro řídicí PLC, kompletní elektrodokumentace nebo analýza a posouzení rizik, které však přesahují rámec této práce.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk, ed. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. První. Brno: VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] ŽÁČEK, Michal. Průmyslové roboty: Jaké jsou jejich druhy?. *Factory Automation* [online]. 2018 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-jake-jsou-jejich-druhy/>
- [3] Rozdíly mezi kartežskými, šestiosými a SCARA roboty. *E-konstruktor* [online]. 2014 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/rozdily-mezikartežskými-sestiosými-a-scara-roboty>
- [4] Roboty SCARA: Jak zjistit, zda je robot SCARA tou správnou volbou pro vaši aplikaci. *FANUC* [online]. Praha: FANUC Czech s.r.o. [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/scara-series/selection-support>
- [5] Detailní informace pro: IRB 910SC. *ABB* [online]. Curych: ABB, 2021 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/cs/3HAC056161-001/irb-910sc>
- [6] Dvouramenný robot s programem pro biolaboratoře. *MM Spektrum* [online]. Praha, 2014 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/novinka/dvouramenny-robot-s-programem-pro-biolaboratoře.html>
- [7] IRB 14000 YuMi. *ABB* [online]. Curych: ABB, 2021 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/yumi>
- [8] Industrial robots. *ABB* [online]. Curych: ABB, 2021 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots>
- [9] IRB 2600. *ABB* [online]. Curych: ABB, 2021 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2600>
- [10] ZBÍRALOVÁ, Kristýna. Co je to Delta robot a jak funguje?. *Factory Automation* [online]. FANUC Czech s.r.o., 2019 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/delta-robot-jak-funguje/>
- [11] IRB 360 FlexPicker. *ABB* [online]. Curych: ABB, 2021 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-360>
- [12] DUCHOSLAV, Petr. 8 výhod svařovacích robotů. *Factory Automation* [online]. Praha: FANUC Czech s.r.o., 2017 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/8-vyhod-svarovacich-robotu/>
- [13] Svařování elektrickým obloukem. *FANUC* [online]. Praha: FANUC Czech s.r.o. [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD-elektrick%C3%BDm-obloukem>
- [14] ARC Mate 120iD. *FANUC* [online]. Praha: FANUC Czech s.r.o. [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru>

robot%5%af/sva%5%99ov%3%a1n%3%ad-elektrick%3%bdm-
obloukem/arcmate-120id

- [15] Řada FANUC Paint: Pokročilé šestiosé lakování. *FANUC* [online]. Praha: FANUC Czech s.r.o. [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%3%A1nka-filtru-robot%5%AF/%5%99ada-paint>
- [16] Lakovací robot P-250iB/15. *FANUC* [online]. Praha: FANUC Czech s.r.o. [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%3%a1nka-filtru-robot%5%af/%5%99ada-paint/p-250ib-15>
- [17] Obratnější paletizace: Specializovaná řešení pro jakoukoli požadovanou činnost. *FANUC* [online]. Praha: FANUC Czech s.r.o. [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/aplikace/paletizace>
- [18] Paletovací roboty firmy KUKA. *KUKA* [online]. Augsburg: KUKA AG, 2020 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty-slu%5%BEby/robotick%3%A9-syst%3%A9my/pr%5%AFmyslov%3%A9-roboty/paletovac%3%AD-robot>
- [19] DUCHOSLAV, Petr. Co je to kolaborativní robot?: 5 věcí, které byste o něm měli vědět. *FANUC* [online]. Praha: FANUC Czech s.r.o., 2017 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-je-to-kolaborativni-robot-5-veci-ktere-byste-o-nem-meli-vedet/>
- [20] Robot FANUC CR-4iA. *FANUC* [online]. Praha: FANUC Czech s.r.o. [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%3%a1nka-filtru-robot%5%af/spolupracuj%3%adc%3%ad-roboty/collaborative-cr4ia>
- [21] SERVIND S.R.O. Mirka uvádí první globální Automatizovaný průmyslový program umožňující pokročilé řešení robotických povrchových úprav. *Technický týdeník* [online]. Praha: Business media, 2020 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/mirka-uvadi-prvni-globalni-automatizovany-prumyslovy-program-umoznujici-pokrocile-reseni-robotickych-povrchovych-uprav_51177.html
- [22] PGN-plus-P. *Schunk* [online]. Lauffen/Neckar: SCHUNK GmbH & Co. KG, 2021 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/series/pgn-plus-p/
- [23] EGM-B-Q-70-1x2. *Schunk* [online]. Lauffen/Neckar: SCHUNK GmbH & Co. KG, 2021 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/45322-0306380-egm-b-q-70-1x2/
- [24] ZHP, Přisavka s vestavěným ejektorem. *SMC* [online]. Tokio: SMC Corporation, 2021 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <https://www.smc.eu/cs-cz/produkty-a-podpora/zhp-prisavka-s-vestavenym-ejektorem~135148~cfg>
- [25] Virtuální zprovoznování strojů s pomocí Process Simulate. *Konstruktor* [online]. Nová média, 2015 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.konstruktor.cz/virtualni-zprovoznovani-stroju-s-pomoci-process-simulate/>

- [26] SIEMENS: Support Center. *Siemens* [online]. Mnichov: Siemens, 2021 [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: https://docs.sw.siemens.com/en-US/product/288782031/doc/PL20200330134427278.tecnomatix_eMS_sc.xid1126991/html/xid1445553
- [27] *Tecnomatix 14.1.1: What's New?*. Mnichov, 2018.
- [28] *Tecnomatix 16.0: What's New?*. Mnichov, 2020.
- [29] *Tecnomatix 16.0.1: What's New?*. Mnichov, 2020.
- [30] *Tecnomatix 16.0.2: What's New?*. Mnichov, 2020.
- [31] RobotStudio. *ABB* [online]. Curych: ABB, 2021 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/robotstudio>
- [32] RobotStudio: Soubor nástrojů pro uživatele průmyslových robotů. *ABB* [online]. Curych: ABB, 2021 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/abe6ef6eaf88456ab7ddf389a0f3a941/RobotStudio_produktovy%20list.pdf
- [33] ROBOGUIDE: Inteligentní 3D simulace robotu. *FANUC* [online]. Praha: FANUC Czech s.r.o., 2021 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD/roboguide>
- [34] ROBOGUIDE: Inteligentní 3-D robotické simulace. In: *FANUC* [online]. Praha: FANUC Czech s.r.o., 2018 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/brochures/mbr-02857-ro%20roboguide%20brochure/roboguide%20brochure%20cz.pdf?la=cs>
- [35] KUKA.Sim. *KUKA* [online]. Augsburg: KUKA AG, 2020 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/software/pl%C3%A1nov%C3%A1n%C3%AD-projektov%C3%A1n%C3%AD-servis-bezpe%C4%8Dnost/kuka_sim
- [36] DELMIA Robotics. *4D Sys* [online]. Flint Township: 4D Systems [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://4dsysco.com/delmia/delmia-robotics>
- [37] Delmia V5 Robotics. *Digital factory* [online]. Plzeň, 2011 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.digipod.zcu.cz/index.php/oblasti-nasazeni/robotika/delmia-v5-robotics>
- [38] Bin Picking pro automatické polohování přesných objektů. *Blumenbecker* [online]. Praha: Blumenbecker Group [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.blumenbecker.com/cz/prumyslova-automatizace/prumyslove-roboty/bin-picking>
- [39] Nebojte se bin pickingu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2020, **2020**(3), 46 [cit. 2021-02-08]. ISSN 1212-2572. 200319. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nebojte-se-bin-pickingu.html>
- [40] NOVOTNÝ, František, Vlastimil HOTAŘ, Marcel HORÁK, Marie STARÁ a Michal STARÝ. *ÚVOD DO AUTOMATIZACE A ROBOTIZACE VE STROJÍRENSTVÍ* [online].

1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2020 [cit. 2021-04-28]. ISBN 978-80-7494-545-8. Dostupné z: <https://publi.cz/download/publication/1275?online=1>
- [41] KALLOVÁ, Ilona a Karel HORÁK. Optické metody měření 3D objektů. *Elektrorevue* [online]. 2005, **2005(5)** [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/05023/index.html>
- [42] Ranger3: 3D vision. *Sick* [online]. Waldkirch: Sick AG, 2021 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/docs/3/63/063/Operating_instructions_Ranger3_3D_Vision_en_IM0080063.PDF
- [43] Robotický výběr objektů z kontejneru – Bin Picking. *Automa: Časopis pro automatizační techniku* [online]. 2014, (5), 10-11 [cit. 2021-03-29]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: https://automa.cz/cz/web-clanky/roboticky-vyber-objektu-z-kontejneru-%E2%80%93-bin-picking-52498_07770/
- [44] Popisovací lasery. *Pramark* [online]. Praha: Pramark, c2011-2017 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.pramark.cz/popisovaci-lasery>
- [45] Značení laserem. *SIC Venim* [online]. Ostrava: SIC-VENIM, 2018 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.venim.cz/znaeni-laserem>
- [46] Laserové popisovací zařízení SIC-MARKING ve verzi pracovní stanice L-Box V4. *SIC Venim* [online]. Ostrava: SIC-VENIM, 2018 [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: <https://www.venim.cz/znaeni-laserem/pracovni-stanice-l-box-v4>
- [47] ZNAČENÍ INKOUSTEM: nebo ink-jet ... když jste se rozhodli skoncovat s etiketami. *LIFTEC* [online]. Praha: LIFTEC CZ, 2021 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://www.liftec.cz/technologie/znaceni-inkoustem/>
- [48] LEIBINGER JETone. *Leonardo Technology* [online]. Hlohovec: Leonardo Technology, c2002-2020 [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: <http://www.lt.cz/produkty/znaceni-inkoustem-inkjet/tiskarny-leibinger-leibinger-jetone>
- [49] Mikroúderové značení. *LIFTEC* [online]. Praha: LIFTEC CZ, 2021 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://www.liftec.cz/technologie/mikrouderove-znaceni/>
- [50] EMCOTURN E65. *EMCO* [online]. Hallein-Taxach: EMCO GmbH, 2019 [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: <https://www.emco-world.com/en/products/turning/cat/11/d/2/p/31%2C11/pr/emcoturn-e65.html>
- [51] WOLF, Andreas, Ralf STEINMANN a Henrik SCHUNK. *Grippers in motion: The Fascination of Automated Handling Tasks*. První. Berlin: Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2005. ISBN 3-540-25657-1.
- [52] PGN-plus-P 64-2. *Schunk* [online]. Lauffen/Neckar: SCHUNK GmbH & Co. KG, 2021 [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/47813-0318497-pgn-plus-p-64-2/
- [53] HKI 1E. *Schunk* [online]. Lauffen/Neckar: SCHUNK GmbH & Co. KG, 2021 [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/35453-0324160-hki-1e/

- [54] KUKA Compose. *KUKA* [online]. Augsburg: KUKA AG, 2021 [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://compose.kuka.com/>
- [55] KR IONTEC. *KUKA* [online]. Augsburg: KUKA AG, 2021 [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-iontec>
- [56] Indukční snímače IME. *Sick* [online]. Waldkirch: Sick AG, 2021 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/indukcni-snimace/indukcni-snimace/ime/ime08-02bpsvt0ss17/p/p246240?ff_data=JmZmX2lkPXAyNDYyNDAmZmZfbWFzdGVySWQ9cDI0NjI0MCZmZl90aXRsZT1JTUUwOC0wMkJKU1ZUMFNTMTcmZmZfcXVlcnk9JmZmX3Bvcz00JmZmX29yaWdQb3M9MTI5JmZmX3BhZ2U9MSZmZl9wYWdlU2l6ZT04JmZmX29yaWdQYWdlU2l6ZT04JmZmX3NpbWk9MTAwLjA=
- [57] Kyvné pohony s ozubeným hřebem/pastorkem. *Festo* [online]. Esslingen am Neckar [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_010502
- [58] Indukční snímače IMI. *Sick* [online]. Waldkirch: Sick AG, 2021 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/indukcni-snimace/indukcni-snimace/imi/im08-03bps-vt1/p/p650002?ff_data=JmZmX2lkPXA2NTAwMDImZmZfbWFzdGVySWQ9cDY1MDAwMiZmZl90aXRsZT1JTAA4LTAzQlBTLVZUMSZmZl9xdWVyeT0mZmZfcG9zPTUmZmZfb3JpZ1Bvcz05MzQmZmZfcGFnZT0xJmZmX3BhZ2VTaXplPTgmZmZfb3JpZ1BhZ2VTaXplPTgmZmZfc2ltaT05Ny4w
- [59] LEIBINGER JET2neo. *Leonardo Technology* [online]. Hlohovec: Leonardo Technology, c2002-2020 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <http://www.lt.cz/produkty/znaceni-inkoustem-inkjet/tiskarny-leibinger-leibinger-jet2neo>
- [60] Válc se dvěma písky DGTZ. *Festo* [online]. Esslingen am Neckar, 2021 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_DGTZ?CurrentPartNo=8100572
- [61] Indukční snímače IME. *Sick* [online]. Waldkirch: Sick AG, 2021 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/indukcni-snimace/indukcni-snimace/ime/ime08-06npszt0k/p/p375910?ff_data=JmZmX2lkPXAzNzU5MTAmZmZfbWFzdGVySWQ9cDM3NTkxMCZmZl90aXRsZT1JTUUwOC0wNk5QU1pUMESmZmZfcXVlcnk9JmZmX3Bvcz0xJmZmX29yaWdQb3M9MzYmZmZfcGFnZT0xJmZmX3BhZ2VTaXplPTgmZmZfb3JpZ1BhZ2VTaXplPTgmZmZfc2ltaT0xMDAuMA==
- [62] STRONG kuličkový celovýsuv 500 mm 40kg. *Démos* [online]. Ostrava: Démos trade, 2021 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.demos-trade.cz/strong-kulickovy-celovysuv-500-mm-40kg/>
- [63] Kompaktní válce DPDM. *Festo* [online]. Esslingen am Neckar, 2021 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_DPDM_1
- [64] Indukční snímače IME. *Sick* [online]. Waldkirch: Sick AG, 2021 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/indukcni-snimace/indukcni-snimace/ime/ime08-02bpsvt0ss17/p/p246240?ff_data=JmZmX2lkPXAyNDYyNDAmZmZfbWFzdGVySWQ9cDI0NjI0MCZmZl90aXRsZT1JTUUwOC0wMkJKU1ZUMFNTMTcmZmZfcXVlcnk9JmZmX3Bvcz00JmZmX29yaWdQb3M9MTI5JmZmX3BhZ2U9MSZmZl9wYWdlU2l6ZT04JmZmX29yaWdQYWdlU2l6ZT04JmZmX3NpbWk9MTAwLjA=

snimace/ime/ime08-04npozt0k/p/p228418?ff_data=JmZmX2lkPXAYMjg0MTgmZmZfbWFzdGVySWQ9cDIyODQxOCZmZl90aXRzZT1JTUUwOC0wNE5QT1pUMESmZmZfcXVlcnk9JmZmX3Bvcz0xMyZmZl9vcmlnUG9zPTI1MyZmZl9wYWdlPTImZmZfcGFnZVNpemU9OCZmZl9vcmlnUGFnZVNpemU9OCZmZl9zaW1pPTEwMC4w

- [65] D4C: Kompaktní koncový spínač v kovovém pouzdře. *Omron* [online]. Kjóto: Omron Corporation, 2021 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://industrial.omron.cz/cs/products/d4c>
- [66] *ČSN EN ISO 13857: Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných zón horními a dolními končetinami*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [67] *Troax* [online]. Kladno: Troax CZ [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.troax.com/cz/cs>
- [68] Machine Protection Door Albany RP300/RP300 Wide: ASSA ABLOY Entrance Systems. *ASSA ABLOY: Entrance Systems* [online]. Stockholm: ASSA ABLOY [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: https://www.assaabloyentrance.com/AAES/PRODUCTS_2.1/PRODUCT-DOCUMENTATION/EXPORT-EMEA/high-performance-doors/machine-protection-doors/product-documentation/2.Product%20Leaflets/EN_AAES_HPDS_TDB_RP300Wide_lowres.pdf
- [69] Siemens hřibové tlačítko nouzového vypnutí. *Conrad* [online]. Hirschau: Conrad Electronic, 2020 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: https://www.conrad.cz/p/siemens-hribove-tlacitko-nouzoveho-vypnuti-tlacitko-cervena-zluta-uvolneni-1-ks-2262168?&vat=true&gclid=Cj0KCQjw4ImEBhDFARIsAGOTMj-qRsl02StPHqu0sUDNOa5Q6G845MhehENZMcF_oN_EsowWUOywt3saAl-MEALw_wcB
- [70] Signální věž LR5. *Teprostroj* [online]. Břeclav: Teprostroj, 2020 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://teprostroj.com/39-signalizace-a-osvtleni/signalni-veze/1434-signalni-vez-lr5>

11 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1 Seznam zkratek

CAD	Computer-Aided Design
CNC	Computer Numerical Control
KRL	KUKA Robot Language
LED	Light-Emitting Diode
OLP	Off-line Programming
PLC	Programmable Logic Controller
RCS	Robot Controller Simulation
RRT	Kinematický řetězec rotace, rotace, translace
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
TCP	Tool Center Point
XML	Extensible Markup Language

11.2 Seznam tabulek

Tab. 1) Výběr varianty na základě přidělených bodů pro hodnotící parametry	44
Tab. 2) Vstupní parametry chapadla pro software KUKA Compose	51
Tab. 3) Výsledné takty pracoviště	71
Tab. 4) Roční náklady na provoz současného pracoviště	73
Tab. 5) Nakupované položky	74
Tab. 6) Vyráběné prvky	75
Tab. 7) Provedená práce	75
Tab. 8) Souhrnná výše investice	75

11.3 Seznam obrázků

Obr. 1) Příklad karteziánského robotu [3]	19
Obr. 2) Robot typu SCARA [5]	20
Obr. 3) Dvouramenný kolaborativní robot IRB 14000 YuMi [7]	20
Obr. 4) Šestiosý robot ABB IRB 2600 [9].....	21
Obr. 5) Delta robot ABB IRB 360 Flex Picker [11]	21
Obr. 6) Svařovací robot FANUC ARC Mate 120iD [14].....	22
Obr. 7) Lakovací robot FANUC P-250iB/15 [16]	22
Obr. 8) Paletizační robot KUKA KR 700 PA [18]	23
Obr. 9) Kolaborativní robot FANUC CR-4iA [20]	23
Obr. 10) Technologická výstupní hlavice MIRKA pro broušení [21].....	24
Obr. 11) Paralelní pneumatické chapadlo firmy SCHUNK [22].....	25

Obr. 12) Magnetické chapadlo Schunk [23].....	26
Obr. 13) Přisavka s vestavěným ejektorem firmy SMC [24]	27
Obr. 14) Kombinovaná výstupní hlavice [1].....	27
Obr. 15) Monitorování zkroucení kabelů pomocí barev [27].....	29
Obr. 16) Rozšíření OLP příkazů pro ABB RAPID [28].....	30
Obr. 17) Princip snímání scény pomocí snímání laserových profilů [40].....	34
Obr. 18) Řešení Bin Picking firmy FANUC [39].....	35
Obr. 19) Princip snímání objektů pro bin picking firmy Blumenbecker.....	36
Obr. 20) Pracovní stanice L-Box V4 pro laserové popisování [46]	37
Obr. 21) Tiskárna LEIBINGER JETone pro inkoustové značení výrobků [48]	37
Obr. 22) Vstupní polotovar.....	39
Obr. 23) Obrobená součást s vyznačenými obrobenými plochami a hranami	40
Obr. 24) Soustružnické obráběcí centrum EMCOTURN E65 [50].....	40
Obr. 25) Layout první návrhové varianty	42
Obr. 26) Layout druhé varianty	43
Obr. 27) Layout třetí varianty	44
Obr. 28) Výpočet zatížení jednoho prstu chapadla.....	46
Obr. 29) Závislost otevírací síly na délce prstů chapadla [52]	47
Obr. 30) Momenty působící na čelist chapadla [52]	47
Obr. 31) Chapadlo s prsty pro vyjmutí polotovarů z bedny	48
Obr. 32) Závislost uchopovací síly na délce prstů [52].....	49
Obr. 33) Chapadlo s prsty pro obsluhu obráběcího centra	49
Obr. 34) Princip vyklopení bočních chapadel	50
Obr. 35) Pohled na vnitřní prostor chapadla.....	50
Obr. 36) Schéma zatížení příruby robotu	51
Obr. 37) Pracovní prostor robotu KR 30 R2100 [55].....	52
Obr. 38) Sestava bin pickingového portálu	53
Obr. 39) Detail středícího kolíku	53
Obr. 40) Přípravek na otočení součásti.....	54
Obr. 41) Stanice pro vystředění a otočení součásti	54
Obr. 42) Princip vysouvání/zasouvání trysky.....	55
Obr. 43) Detail výsuvu zásuvky	56
Obr. 44) Pohled na vysunutý pneumatický válec a indukční snímač výsuvu	56
Obr. 45) Výstupní paleta	57
Obr. 46) Ochranné oplocení pracoviště.....	58
Obr. 47) Tlačítko nouzového zastavení [69]	59
Obr. 48) Signální věž Teprstroj LR5 [70]	59
Obr. 49) Nastavení exportu modelu do formátu JT.....	62
Obr. 50) Definice typu komponenty.....	62
Obr. 51) Nástroje pro manipulaci s komponentami	63
Obr. 52) Kinematické schéma pneumatického paralelního chapadla.....	64
Obr. 53) Uložení pozic v Pose Editoru.....	64
Obr. 54) Funkce pro neuspořádané rozložení dílů do kontejneru	65
Obr. 55) Definice nástrojů robotu.....	66
Obr. 56) Robot s nasazenou kabelážní výbavou.....	67
Obr. 57) Definovaná trajektorie v Path Editor	68
Obr. 58) Možnosti simulace pohybu ostatních prvků pracoviště	69

Obr. 59) Pozice dílů podrobených analýze	70
Obr. 60) Ganttův diagram bez použitého RCS modulu	71
Obr. 61) Konečná podoba pracoviště.....	72

12 SEZNAM PŘÍLOH

DP-21-00-01	layout pracoviště
DP-21-01-00	výkres sestavy koncového efektoru
DP-21-01-01	výkres podsestavy bočního chapadla 01
DP-21-01-02	výkres podsestavy bočního chapadla 02
DP-21-01-03	výkres podsestavy předního chapadla
DP-21-02-00	výkres sestavy stanice pro vystředění a otočení
DP-21-02-01	výkres podsestavy přípravku pro otočení součásti
DP-21-03-00	výkres sestavy stanice pro potišťění
DP_model_Rusnak	model pracoviště formát .jt
DP_video_Rusnak	simulační video pracoviště
DP-robot-KUKA-compose	analýza zatížení robotu s pomocí softwaru KUKA Compose
DP-vyklopne_jednotky	katalogový list výklopných jednotek Gimatic