	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Tato diplomová práce popisuje pojem technologie Bin-picking, rozpoznávání obrazu a možnosti uchopení součástí různého tvaru. Zabývá se interakcí mezi průmyslovým robotem, koncovým efektem a rozpoznávacím systémem v průmyslové buňce při náhodném vybírání součástí z bedny.

Praktická část se zabývá konstrukcí chapadla pro zadanou součást specifického tvaru při náhodném vybírání těchto součástí z průmyslové palety. Pro tuto operaci je použit průmyslový robot KUKA KR16 a z bezpečnostního hlediska FTC senzor/kolizní ochrana OPS. Dále je navržena pracovní buňka, která se zabývá konstrukcí a umístěním daných pracovním prvků včetně bezpečnosti.

Klíčová slova

Bin-picking, Koncový efektor, Robotická buňka, Bezpečnost

ABSTRACT

This master's thesis describes the concept of Bin-picking technology, image recognition and the possibility of grasping parts of various shapes. It deals with the interaction between industrial robot, end-effector and recognition cell system in the industrial cell in process of random collection of parts from the box.

The practical part is concerned with construction of end effector for a given part of a specific shape in a random selection/collection of parts from industrial pallets. For this operation is used the KUKA KR16 industrial robot and for safety reasons sensor FTC/collision OPS. Further work is designed working cell which deals with the design and layout of the working elements including security.

Key words

Bin-picking, End effector, Robotic's cell, Safety

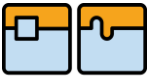
Bibliografická citace:

VEVERKA, I. *Návrh robotické buňky pro aplikaci typu Bin-picking*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2012. 96 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Pochylý

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. Aleše Pochylého a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne
podpis

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

PODĚKOVÁNÍ:

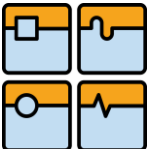
Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Aleši Pochylému za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi byly poskytnuty při zpracování diplomové práce.

OBSAH

1. ÚVOD	14
2. BIN-PICKING V RÁMCI MARKETINGU	15
2.1. Mimořádnost systému Bin-picking.....	15
2.1.1. Složitost správného řešení.....	15
2.1.2. Základní kompetence marketingu	15
2.2. Podporované/dodávané manipulační systémy	17
2.2.1. Vizuální systémy a komponenty.....	17
2.2.2. Detekční technologie.....	18
2.2.3. Algoritmy technologie Bin-picking	18
3. OBECNÁ KONCEPCE PRACOVISTĚ PRO DANÝ TYP APLIKACE	19
3.1. Obecný popis Bin-picking technologie.....	19
3.2. Popis pracoviště Bin-picking systému pro daný typ aplikace	20
3.2.1. Návrh robotické buňky	20
4. POPIS SYSTÉMŮ ROZPOZNÁVÁNÍ OBRAZU (2D, 3D) „BIN PICKING“ TECHNOLOGIE.....	25
4.1. Stereo vize	25
4.1.1. Stereo korelace oblasti.....	26
4.1.2. Aktivní systém stereo vize a robota pro aplikaci Bin-picking	26
4.2. Laserová triangulace	27
4.2.1. Triangulační rozsahové senzory	27
4.2.2. Rozpoznávací systém objektů pomocí laserové triangulace pro daný typ aplikace Bin Picking	28
5. ZPRACOVÁNÍ STUDIE PRO MOŽNOSTI UCHOPOVÁNÍ RŮZNĚ TVAROVĚ SLOŽITÝCH OBJEKTŮ Z BEDNY	30
5.1. Možnosti uchopení součástí jednoduchých tvarů	30
5.1.1. Součást č. 1 – (Uchopení plechového válečku)	31
5.1.2. Součást č. 2 – (Uchopení plechového výlisku – kruh).....	34
5.1.3. Součást č. 3 – (Součást specifitějšího tvaru a větší šířky).....	36
5.1.4. Závěr a zhodnocení uchopování součástí jednoduchého tvaru	39
5.2. Možnosti uchopení součástí složitějších tvarů	40
5.2.1. Součást č. 1 – (Hřídel)	41
5.2.2. Součást č. 2 – (Plechová součást složitějšího tvaru)	44
5.2.3. Součást č. 3 – (Kliková hřídel)	47

5.2.4.	Závěr a zhodnocení uchopování součástí složitějšího tvaru	50
6.	SPECIFIKACE PRAKTICKÉHO PROBLÉMU	51
6.1.	Specifikace součástí	51
6.2.	Výrobní sortiment	51
7.	NÁVRH ZPŮSOBU UCHOPENÍ	52
7.1.	Způsob uchopení na hrubo	52
7.2.	Způsob pře-uchopení v mezi-poloze	53
7.3.	Stanovení silových poměrů pro uchopení součástí	55
7.3.1.	Stanovení silových poměrů pro hrubý výběr součástí	55
7.3.2.	Stanovení silových poměrů pro přesné pře-uchopení součástí	59
7.3.2.1.	Výpočet uchopení pomocí vakuových přísavek	59
7.3.2.2.	Výpočet vysunutí dorazů pro zarovnání součástí	60
7.3.2.3.	Výpočet požadované úchopné síly čelistí	63
7.4.	Alternativní způsob uchopení	64
8.	NÁVRH CHAPADLA	65
8.1.	Model chapadla - varianta A	65
8.2.	Model chapadla – varianta B	67
8.3.	Model chapadla – varianta C	69
8.3.1.	Výpočet silových poměrů	72
8.3.2.	Stanovení skutečné síly pro uchopení čelistmi	72
8.3.3.	Kontrola zvoleného chapadla	73
8.4.	Kompletizace chapadla	74
8.4.1.	Opláštění koncového efektoru	76
8.4.2.	Kontrola nosnosti robota	78
8.4.3.	Ventilový blok	79
9.	NÁVRH MODELU PRACOVISTĚ	80
9.1.	Bezpečnost pracoviště	80
9.1.1.	Bezpečnost pracovní oblasti robota v robotické buňce	81
9.1.2.	Bezpečnostní prvky	83
9.2.	Kompletizace robotického pracoviště	86
10.	ZÁVĚR	89
11.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	90
12.	SEZNAM OBRÁZKŮ	91

13.	SEZNAM TABULEK	94
14.	SEZNAM GRAFŮ	94
15.	SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE.....	95
16.	SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH	95

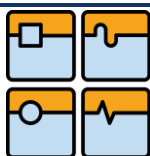
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1. ÚVOD

V dnešní době jsou průmyslové roboty a manipulátory (PRaM) stále více používané v různých odvětvích strojírenského průmyslu (obsluha, manipulace, montáž, svařování, obrábění, atd.). Ale lze je také použít i v dalších odvětvích, kde je potřeba nahradit lidskou práci robotem, který může pracovat neomezeně (24hod./den), přesně a ve stálém cyklu. Ale tento systém je nastaven jen pro manipulace, kde robot předem ví, kde se manipulovaný objekt nachází (mnohdy jde k robotu už seřazený), nebo obsluhuje danou buňku ve stálém cyklu. S touto úvahou přišla otázka navrhnout průmyslové pracoviště, kde robot náhodně vybírá součásti z bedny a zakládá je do požadované koncové polohy nebo do zásobníku.

Tím vznikla technologie zvaná Bin-picking, která je založena na rozpoznávání součástí a jejich následném uchopování, přičemž součásti jsou v bedně umístěny náhodně (bez orientace). Aby tato technologie mohla fungovat, musí obsahovat rozpoznávací zařízení, které je umístěné přímo na robotu (2D) nebo na pohyblivém suportu nad bednou (3D). Tato rozpoznávací technologie získává 3D obraz součástí a posílá informace robotu, který je vybírá z bedny jednu za druhou. Tato technologie je na trhu novou (cca 5 let), dá se tedy říct, že je na začátku rozvoje. Proto je v dnešní době velmi žádaná, jak pro svoji flexibilitu, manévrovatelnost a rychlost.

Cílem této diplomové práce je navrhnout obecnou koncepci pracoviště Bin-picking (náhodné vybírání neorientovaných součástí z bedny průmyslovým robotem) a zpracovat studii uchopování různě tvarově složitých objektů, jak jednoduchých, tak i složitějších tvarů. Konstrukční část je založená na návrhu koncového efektoru pro zadaný typ součásti složitějšího tvaru (plechová součást) ve třech variantách A, B, C. Na základě těchto tří variant bude stanovena jedna nejvhodnější varianta a ta bude rozpracována podrobně. Nedílnou součástí konstrukční části bude také zpracování integrace dílčích systémů pracoviště (model pracovní buňky) včetně řešení bezpečnosti pracoviště a systému.

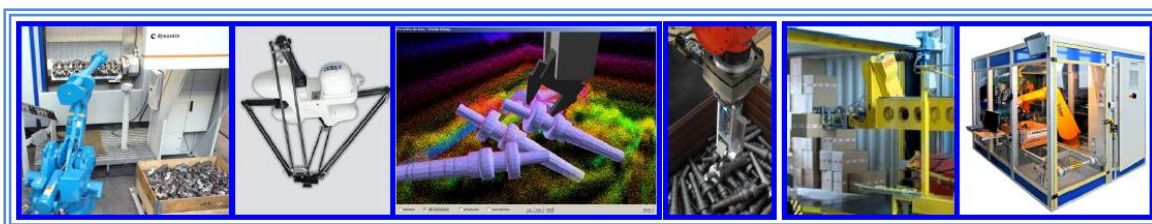


2. BIN-PICKING V RÁMCI MARKETINGU

První úspěšné použití Bin-picking systému v produkci bylo v roce 2005 ve společnosti „German machine vision company“. Další společnosti přinášeli zařízení a prototypy instalované v letech 2008-2009 a s produkcí těchto systémů začali v roce 2010. [1]

2.1. Mimořádnost systému Bin-picking

Jedná se o aplikaci, která rozhodně není jednoduchá a je použita v mnoha různých průmyslových odvětvích nabízející obrovský potenciál pro automatizaci procesů. Složitost ve standardizaci tohoto systému způsobují rozdílné typy košů a boxů. Je známo, že strojní vidění a uchopování má pro každou aplikaci vlastní způsob řešení (tzn. každé technologie tohoto typu má rozdílné řešení – prototypy). V továrenské automatizaci jsou už některé otázky typu Bin-picking vyřešené a funkční, ale na druhou stranu jsou stále aplikace, které nejsou vyřešené (Bin-picking stále prochází vývojem, proto je pořizovací cena stále vysoká a pro hodně firem nedostupná).



Obr. 1.: Bin-picking AMC Hofmann 2011[1]

2.1.1. Složitost správného řešení

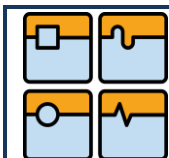
Mnoho Bin-picking aplikací vyžaduje rozdílné řešení, nastavení a různé zkušenosti poskytovatelů tohoto řešení[1]:

- Existuje několik rozdílných detekčních technologií (2D, 3D)
- V závislosti detekce mohou být použity rozdílné algoritmy
- Za účelem realizace možného řešení mohou být použity rozdílné buňkové koncepty
- Vyžaduje speciální pozornost při uchopovacích úkolech
- Řešení v této oblasti vyžaduje mnoho kompetencí:
 - **Machine Vision**
 - **Robotics**
 - **Gripping**
 - **System Integration**

Bin-picking přináší srozumitelnou a detailní analýzu současného stavu technologií robotů, senzorů, uchopovačů a softwarů, které vysvětlují za pomoci textů, fotografií a grafů kombinace řešení širokého rozsahu aplikací v automobilovém, slévárenském, logistickém a jiných průmyslových odvětvích.

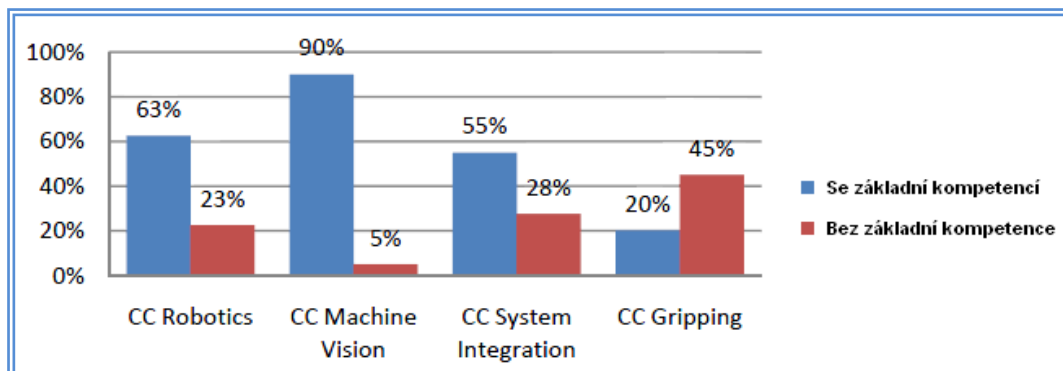
2.1.2. Základní kompetence marketingu

Úspěšná implementace Bin-picking vyžaduje více než jen jednoduchý integrovaný robotický a rozpoznávací systém. Jsou požadované kompetence a



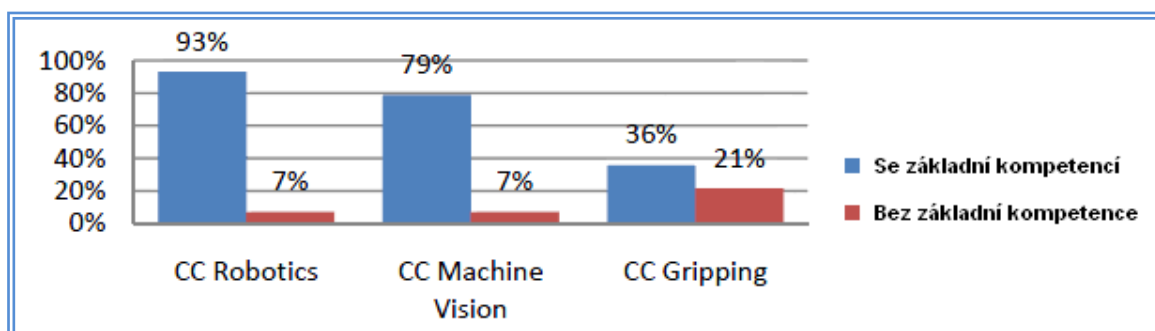
DIPLOMOVÁ PRÁCE

zkušenosti v různých oblastech, proto je důležité podívat se z blízka na marketing a jeho kompetence (Obr. 2), (Obr. 3).



Obr. 2.: Základní kompetence prodejců:[1]

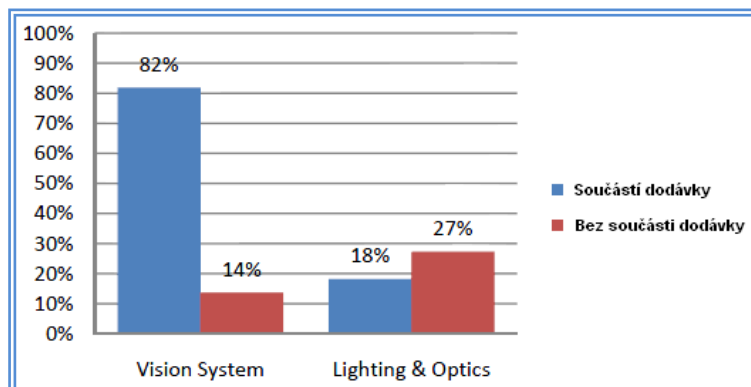
- 55% z dotázaných prodejců se považuje za klíčové dodavatele
- Jen 20% všech společností považuje technologii uchopování za hlavní kompetenci
- 7 z 8 zúčastněných výrobců robotů potvrzuje za základní technologii strojní vidění



Obr. 3.: Základní kompetence systémových integrátorů:[2]

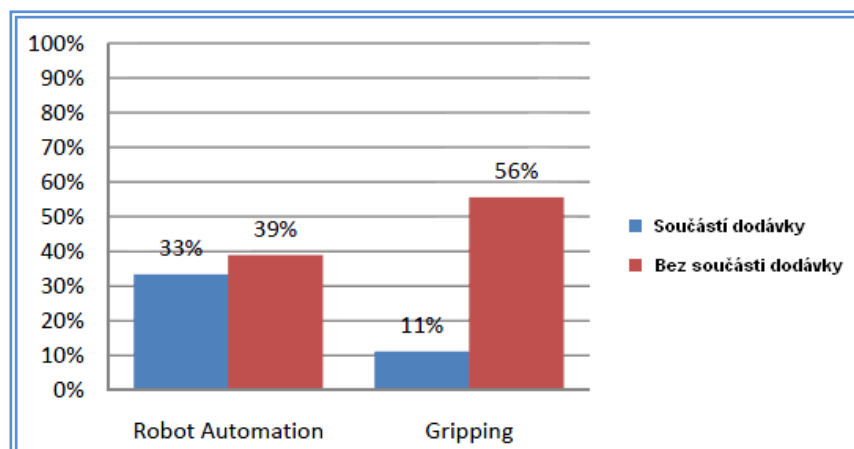
- 79% Strojních integrátorů považuje za hlavní kompetenci strojní vidění

Dokonce když společnosti poskytují řešení, produkty a komponenty, komplexní aplikace řešení vyžadují dobré porozumění aplikací a ostatních zahrnutých technologií – tím podána detailnější informace o kompletním rozsahu v rámci všech zahrnutých prodejců. Např. v (Obr. 4.) a (Obr. 5) ukazují ostatní technické oblasti, které se stanou hlavní kompetencí společností strojního vidění a automatizačních společností.



Obr. 4.: Automatizační společnosti [1]

- 82% robotických a automatizačních společností potvrdilo dodávání vizuálních systémů
- Jen 18% z nich považuje Lighting a Optics za jejich hlavní kompetenci

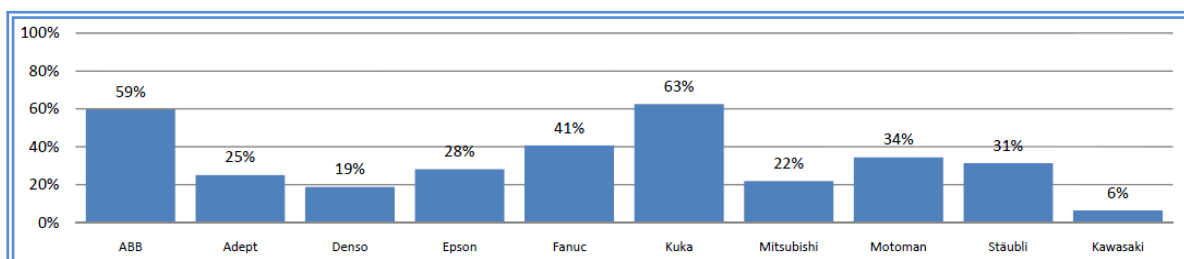


Obr. 5.: Společnosti strojního vidění [1]

- 33% společností zásobuje robotiku a automatizaci
- 11% společností zásobuje uchopovací zařízení(řešení)

2.2. Podporované/dodávané manipulační systémy

V aplikacích Bin-picking jsou používány standardizované roboty. Přídavné znaky, jako automatizované generativní části robota jsou poskytovány pomocí integrátorů podporujících několik typů robotů. (Obr. 6) ukazuje výrobce robotů, kteří jsou aktivně využíváni v aplikacích typu Bin-picking.



Obr. 6.: Aktivní výrobci robotů podporující Bin-picking [1]

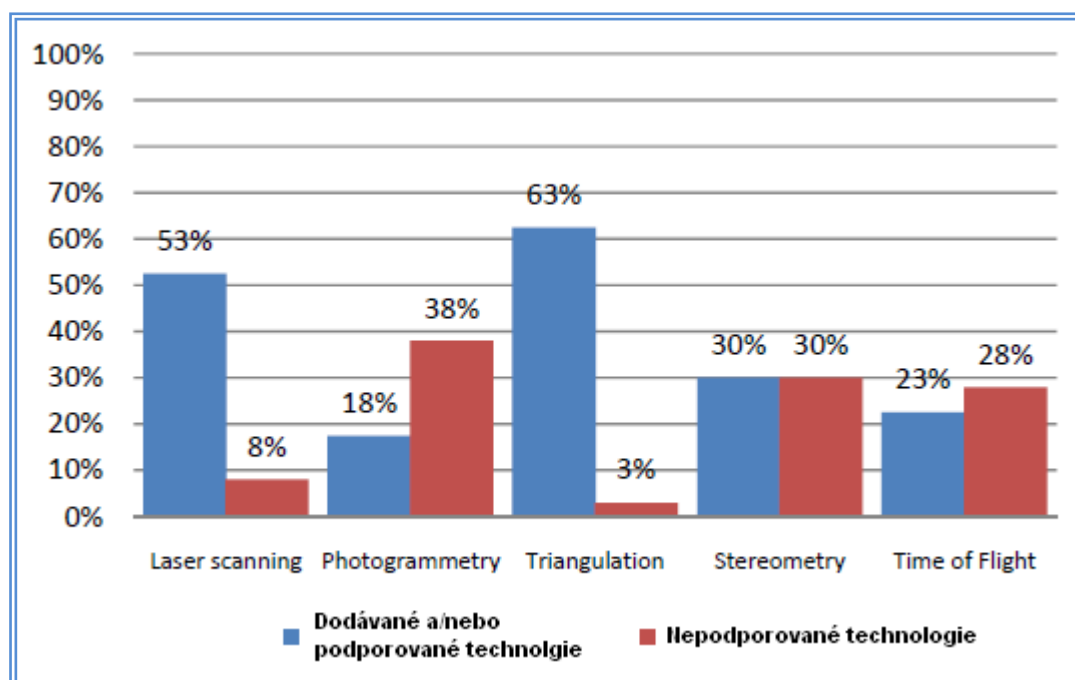
2.2.1. Vizuální systémy a komponenty

Trh poskytuje pro strojní vidění velký výběr standardních produktů a komponentů, které používají integrátoři a koncový uživatelé. Výzvou Bin-picking aplikací je realizace nových, inovačních, specifických produktů a technologií. K získání hrubých pozičních dat jsou používány „Time-of-flight“ kamery nebo laserové skenery, které jsou schopny určit přesnější pozici součásti (jsou založené na algoritmech „bodových mračen“ [1]).

- 53% společností potvrzuje, že poskytují svůj vlastní systém vizuálního rozpoznávání
- 38% společností potvrzuje, že využívají systém vizuálního rozpoznávání od společnosti SICK (hlavně produkty typu „Sick IVP Ranger a Sick LMS“).

2.2.2. Detekční technologie

2-D svět robotického rozpoznávání je jednoduchý v porovnání s množstvím rozdílných technologií dostupných pro 3-D detekci součástí. Nejedná se o žádné jednoduché technologie, ale vždy záleží na správném výběru několika parametrů specifické aplikace. (Obr. 7) znázorňuje dostupné technologie pro 3-D detekci a také kolik společností tyto samotné technologie využívá nebo podporuje.



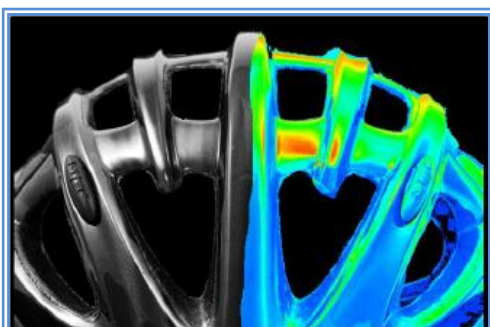
Obr. 7.: Používané a/nebo podporované detekční technologie [1]

- Nejrozšířenější používaná technologie je triangulace (63%) a laserové skenování (53%).

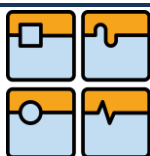
2.2.3. Algoritmy technologie Bin-picking

Většina 3-D detekčních technologií je řízena/obsluhována pomocí standardních algoritmů, které jsou rozvíjeny a rozšiřovány od standardních 2-D rozpoznávacích algoritmů (2-D strojního vidění). Vzhledem k rychlosti trhu a vývoje technologie, jsou v dnešní době požadované 3-D algoritmy, které pracují s *obrysy* a tzv. „*bodovými mračky* [points of cloud]“ (Obr. 8). Máme také algoritmy typu „*Korelace šedé škály obrazu a extrakce znaků (rysů)*“, ale ty nejsou tak často používané u technologie Bin-picking [1].

- Analýza bodových mračen je relativně novou technologií v oblasti Bin-picking, kterou využívá 43% společností.



Obr. 8.: Srovnání 3-D nástroje pro analýzu bodových mračen [1]



3. OBECNÁ KONCEPCE PRACOVNÍŠTĚ PRO DANÝ TYP APLIKACE

V mnoha průmyslových procesech jsou součásti dodávány smíchané v krabicích. Obvykle musely být tyto součásti vybírány z krabice ručně do automatizovaného procesu, což bylo velmi časově náročné a neefektivní. V dnešní době je tento princip nazýván Bin-picking technologií, která s pomocí vizuálního systému vybírá součásti z bedny nahodile s větší efektivností v kratším čase. Ale jedná se stále o velmi obtížnou operaci (systém). Termín Bin-picking je určen pro manipulaci objektů, který se zejména týká průmyslových robotů, 3D strojního rozpoznávání objektů a koncových efektorů.

3.1. Obecný popis Bin-picking technologie

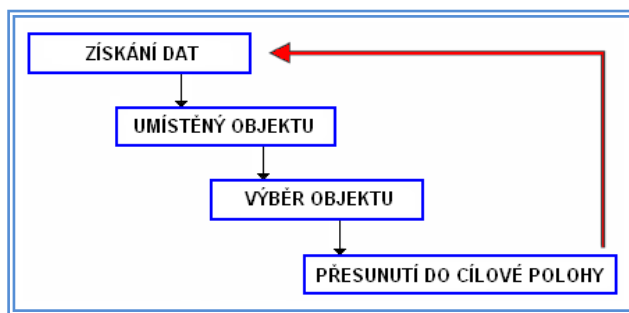
Obecná myšlenka je velmi jednoduchá: „Je založená na stejném principu, jako když má dvou roční dítě svoji oblíbenou hračku, kterou dáte do krabice spolu s dalšími hračkami. Dítě vybere na 99% určitě tu svoji oblíbenou. Pro dítě je to velmi jednoduchý úkol, stačí jeden pohled a dítě ví, co chce vzít“. Technologie Bin-picking pracuje na stejném principu, ale technologie je stále velmi náročná.

Dá se říct, že Bin-picking pracuje na dvou hlavních přístupech[2]:

- Obecný postup se týká univerzálního systému, který je schopen vyrovnat se s předměty různé velikosti, tvaru, formy, hmoty, atd.
- Zaměření se na jedny výrobky, které jsou omezeny počtem objektů podobných geometrií a vlastností.

Bin-picking problém se týká mnoha technických oborů, které se zaměřují na získání dat, lokalizaci objektu, představu odhadu (získání obrazu součásti) a vyjmutí součásti z bedny. Data jsou získávána různými metodami a principy (algoritmy). Základní rozdělení je založené na tom, jak složitou součást chceme uchopovat. Součásti jednoduchých tvarů jsou nebo mohou být rozpoznávány 2-D rozměrovými systémy. Tyto systémy jsou přesné, ale nestačí pro uchopování součástí složitějších tvarů, protože mají složitější strukturu a pro jejich rozpoznání je potřeba 2,5 a 3-D rozměrových systémů. Např.: pro detekci 2-D rozměru je používána Stereo Vision technologie, která si 3-D obraz dopočítá pomocí dvou 2-D obrazů a pro detekci 2,5 a 3-D rozměru je používána technologie triangulace, která se skládá z jedné kamery a laserového skeneru.

Na (Obr. 9) jsou znázorněny běžné kroky Bin-picking automatizovaného procesu v průmyslových aplikacích. Nejdůležitějším komponentem je algoritmus umístění objektu v obraze (přesná pozice objektu) a poté musí tento systém zjistit případné kolize s okolním prostředím nebo boxem pro získání cesty jak nasměrovat robota do cílové polohy k uchopení součástí.



Obr. 9.: Interaktivní robotický proces Bin-picking – po této operaci následuje umístění předmětu do cílové polohy. [2]

Při použití velkého rozsahu dat, kdy je vzdálenost kamery známá je přístup dat schopen použít tuto informaci pro nalezení objektu v tří-rozměrné vizualizaci s vysokou přesností. 3-D modely jsou projektovány v obrazové rovině a to v porovnání s odhadem obrazu vizualizace.

3.2. Popis pracoviště Bin-picking systému pro daný typ aplikace

Systém je určen pro manipulaci objektů, které jsou uchopovány a umísťovány do požadované cílové polohy (např.: na pásový dopravník automatické linky nebo do tzv. „zásobovače“). Manipulace je uskutečněna na základě průmyslových robotů (s 6 stupni volnosti), 3D systému rozpoznávání objektů, který může být namontován přímo na přírubu robota (stereo vize) nebo na pohyblivé lineární ose (suportu) nad bednou se součástmi. Uchopování součástí je pomocí koncového efektoru, který je pro každou součást prototypem, protože každá součást má rozdílný tvar a je tedy důležité zvolit vhodný způsob uchopování (např. standardní chapadlo nebo vakuové chapadlo) vzhledem ke složitosti součástí.

3.2.1. Návrh robotické buňky

Robotická buňka pro technologie Bin-picking se může skládat z těchto komponent:

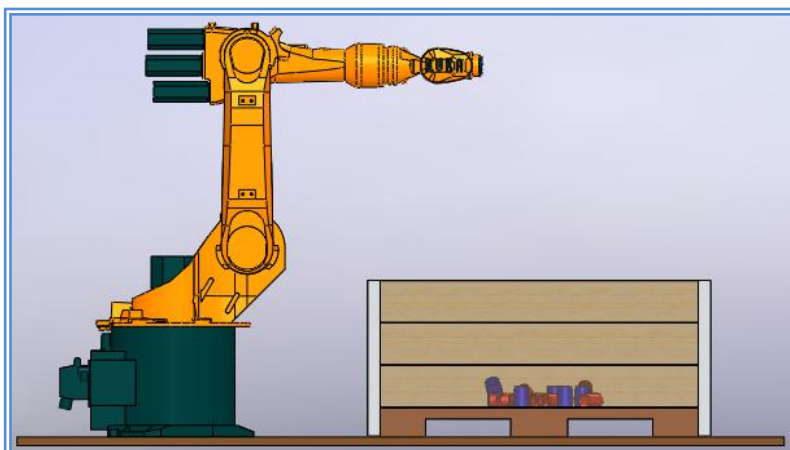
- Průmyslový robot (6° volnosti)
- Průmyslová paleta (bedna)
- Koncový efektor
- Rozpoznávací systém
- Pomocná poloha (tzv. mezi-poloha)
- Další přídatná zařízení (tzv. stíráseč, bezpečnostní opatření)

Průmyslový robot:

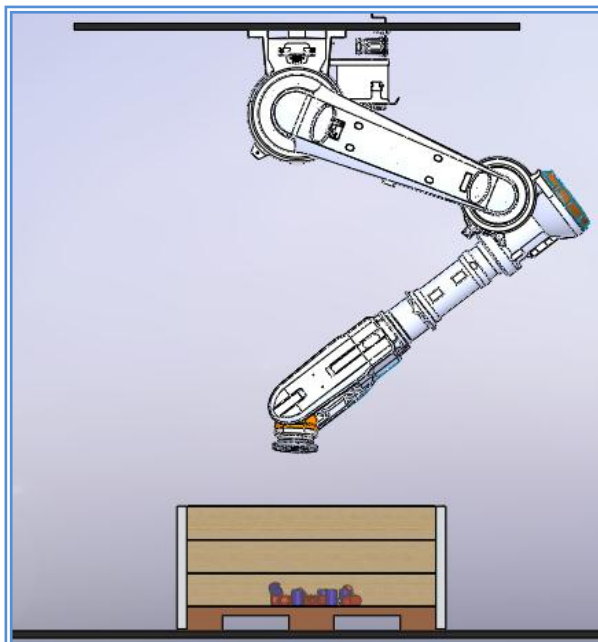
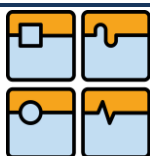
Průmyslový robot je jedním z nejdůležitějších komponentů pro manipulaci a uchopování součástí z bedny. Volba průmyslového robota záleží na specifikaci uchopování a vhodnosti pro danou aplikaci. Pro bezpečné uchopování, manipulaci a vyvarování se kolizím jsou používáni roboti s 6°volnosti a více.

Polohu robota v buňce můžeme rozdělit na dva základní principy:

- Robot umístěný v rovině bedny (Obr. 10)
- Robot umístěný na pohyblivé lineární ose nad bednou (Obr. 11)



Obr. 10.: Průmyslový robot umístěný na podlaze (v rovině bedny) [Vlastní tvorba]

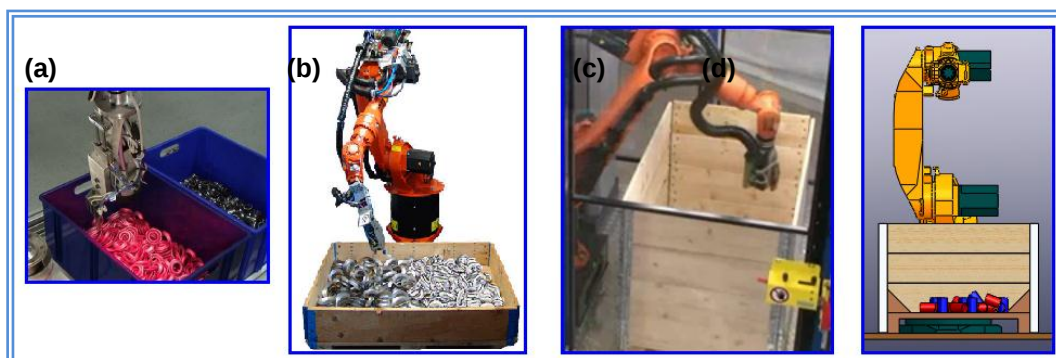


Obr. 11.: Průmyslový robot umístěný na pohyblivé lineární ose nad bednou [Vlastní tvorba]

Průmyslová paleta:

Průmyslová paleta doslova slouží k ohraničení oblasti vybíraných součástí, které jsou rozmístěny nahodile (bez orientace). Dle množství součástí a složitosti technologie můžeme palety rozdělit:

- Krabice a bedny (Obr. 12a) – jsou určeny především k testovacím operacím vybírání daných součástí nebo mohou být používány na předváděcích akcích (např. veletrhy) – v praxi nepoužívané
- Průmyslové palety malé výšky (Obr. 12b) – Jsou používány, pokud se jedná o součásti malého rozměru, plechové díly (Obr. 31), z důvodu bezpečnosti nebo to vyžaduje zákazník.
- Průmyslové palety větší výšky (Obr. 12c) – Jsou používány v 90% průmyslových aplikací reálného pracoviště. Lze je naplnit velkým množstvím součástí (efektivní pracoviště).
- Průmyslové palety se zkosenými hranami (Obr. 12d) – Zkosené hrany jsou použity k odsouvání součástí ze spodních hran palety (z důvodu bezpečného uchopení)

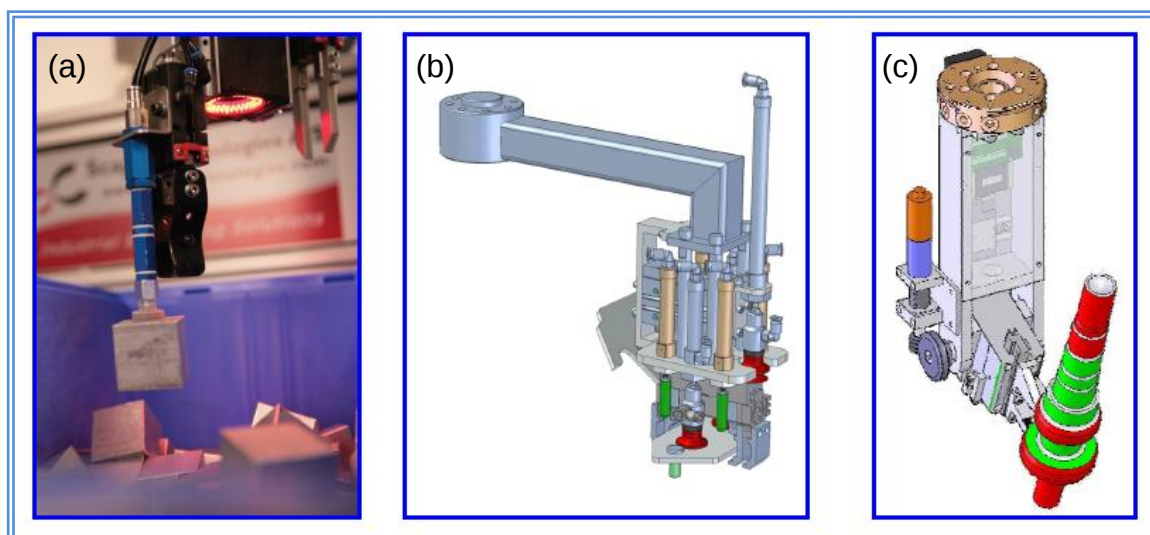


Obr. 12.: (a) Bedna [3], (b) Paleta malé výšky [3], (c) Paleta větší výšky [3], (d) Paleta se zkosenými rohy [Vlastní tvorba].

Koncový efektor:

Koncové efekty systému Bin-picking slouží k uchopení součástí a její následné manipulaci pomocí robota do koncové polohy (např. z bedny na pás, zásobníku). Konstrukce koncového efektoru se odvíjí od tvaru uchopované součásti, průmyslové palety a bezpečnosti uchopení. Koncové efekty můžeme rozdělit dle následujících kritérií:

- Dle složitosti součásti (standardní stavba): - návrh efektoru je zpravidla pro každou součást prototypem. Každou součást lze uchopovat různým způsobem a různými komponenty (např.: vakuová přísavka (s kloubem nebo pružinou), pneumatické čelisti (chapadlo), vakuová houba, atd.).
- Efekty s výsuvným pístem (teleskop) – Jsou používány z důvodu bezpečnosti uchopení součástí a vyvarování se kolizím s bednou. Když je součást umístěna v rohu bedny, koncový efektor nemusí najíždět přímo k součásti, ale uchopit ji z větší vzdálenosti pomocí pístu, pneumatického lineárního vedení nebo teleskopu (Obr. 13a). Určeny pouze pro stavbu jednoduchého efektoru.
- Efekty s vyosením: - jsou používány pro vybírání součástí z vysoké palety, uchopování součástí komplikovanějšího tvaru (převážně plechové součásti) a vyvarování se kolizím s rohy palety. Může se jednat o koncové efekty složitějšího tvaru a použitelnosti (Obr. 13b)
- Koncové efekty dlouhé délky – jsou používány pro uchopování z vysoké palety a při zjednodušení uchopování součástí v rozích palety (Obr. 13c)



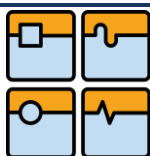
Obr. 13: Koncové efekty: **(a)** S výsuvným pístem [3], **(b)** S vyosením [4], **(c)** Dlouhé délky + případné natáčení čelistí[5].

Rozpoznávací systém:

Technologie Bin-picking používá k rozpoznávání dva základní principy:

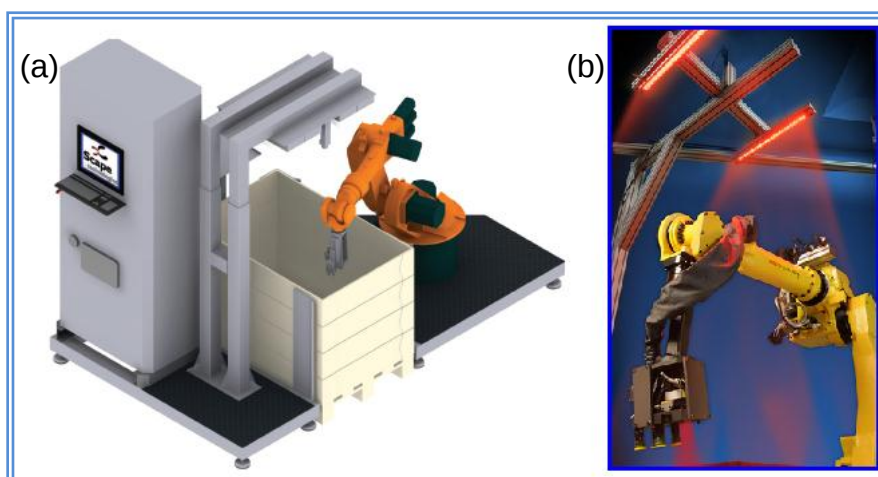
- Stereo vize:

Tento systém rozpoznávání je převážně umístován přímo na koncovém efektoru (malý zástavný prostor). Skládá se ze dvou 2D kamer (levé a pravé), které jsou umístěny přímo na koncovém efektoru (Obr. 22) z důvodu zpracování obrazu (potřeba skenování obrazu z blízkosti k získání kvalitnějšího rozlišení).



➤ **Laserová triangulace:**

- U technologie Bin-picking se převážně jedná o pohyblivou lineární osu (1DOF), která je umístěná přímo nad průmyslovou paletou s objekty. Systém se skládá ze skenovací kamery a dvou lineárních laserových projektorů (skenerů), které slouží k získání přímého 3-D obrazu. Skladbu pohyblivé lineární osy můžeme vidět na (Obr. 14a, b) nebo (Obr.26).



Obr. 14.: Použití laserové triangulace v systému Bin-picking: (a) 3-D Scape Technologies [3], (b) Reálná aplikace 3-D rozpoznávání na pevném suportu

- Ve zbylých případech je možno využít fixní 3-D kameru (Obr. 15), která je umístěna a připevněna na pevném nebo pohyblivém suportu (např. 3-D kamera SICK)



Obr. 15.: 3-D rozpoznávací kamera SICK (kamera s laserovým skenerem) [6]

Mezi-poloha (pomocná pozice):

Pomocná pozice je zahrnována do Bin-picking systému, pokud se jedná o uchopování součástí složitějšího tvaru, které musí být např. přesně zasunovány do požadované koncové polohy. To v některých případech nelze a součást je vybrána tzv. na hrubo a umístěna do pomocné mezi-polohy, kde dochází k přesnému přechopení součástí a uložení do požadované polohy.

Pomocná pozice může také sloužit k odložení součástí, které jsou do sebe zaklíněny (robot musí být vybaven zátěžovým zařízením)

Další přídatná zařízení:

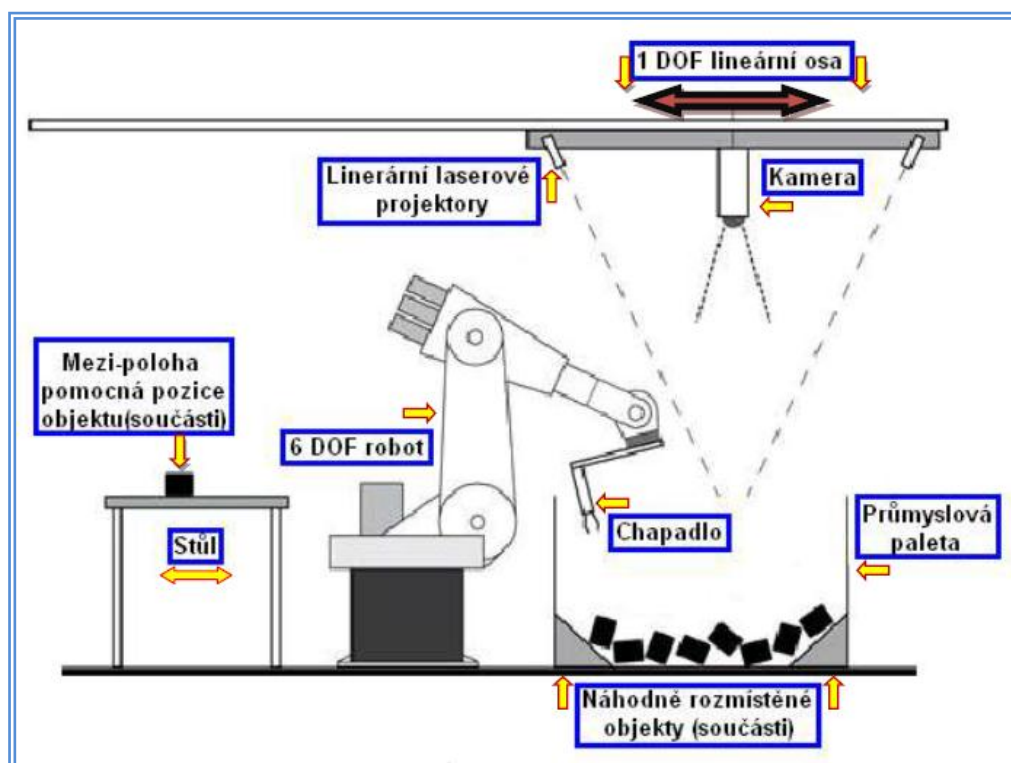
- Ztráseč součástí:
Jedná se o zařízení, které je umístěno pod průmyslovou paletou. Používá se k roztřesení bedny, když rozpoznávací systém nemůže rozpoznat dané součásti. Požití v případech, zaklíněných součástí nebo posunutí součástí do středu palety (nutno vybavit paletu zkosenými rohy (Obr. 12d))
- Ochranné oplocení:
Používá se z důvodu bezpečnosti pracoviště (Obr. 16)



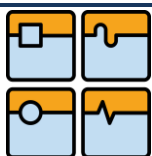
Obr. 16.: Oplocení robotické buňky systému Bin-picking [7]

- Řídicí systém, ruční ovládání robota

Ukázka možného uspořádání robotické buňky pro technologii Bin-picking:



Obr. 17.: Model možného uspořádání robotické buňky [7]



4. POPIS SYSTÉMŮ ROZPOZNÁVÁNÍ OBRAZU (2D, 3D) „BIN PICKING“ TECHNOLOGIE

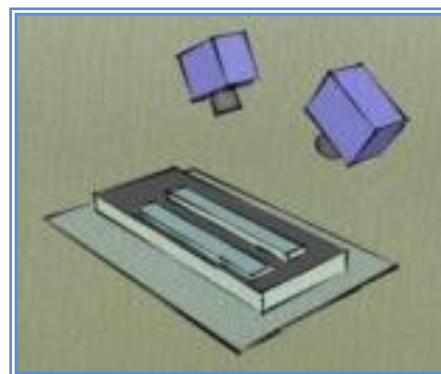
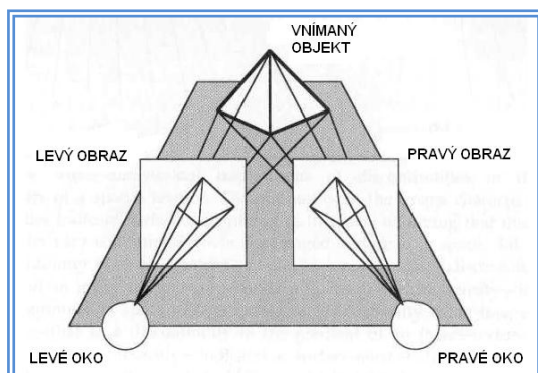
V dnešní době existuje celá řada rozpoznávacích systémů, které jsou používány ve strojírenském průmyslu. Tyto zařízení jsou nazývány rozsahové senzory a slouží k zachycení 2-D, 3-D rozsahu dat obrazu. Tyto senzory slouží ke spolehlivému nalezení trajektorie, vyhnutí se překážkám a uchopení objektu.

Bin-picking technologie používá dva základní principy založené na rozpoznávání obrazu, a to:

- Stereo vize
- Laserová triangulace

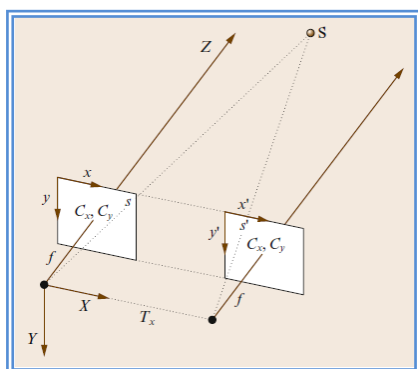
4.1. Stereo vize

Stereo vize je založena na dvou kamerách (převážně upevněných přímo na robotu), které jsou umístěny pod dvěma různými úhly snímající stejný objekt/oblast a tím lze získat dvě různé perspektivy (pohledy) stejného objektu (stejný princip založený na lidském rozpoznávání objektů – tzv. binokulární vize (Obr. 18)). Získáme tím tedy levý a pravý obraz oblast (2D) a pomocí těchto dvou obrazů může být podle geometrického principu triangulace dopočítáný 3D obraz součásti[2],[8],[9].



Obr. 18.: Obecný princip vnímaného objektu pomocí Stereo vize[8],[9]

Bod scény a dva body kamer tvoří trojúhelník a pomocí rozhraní mezi těmito dvěma kamerami a úhlem tvořeného paprsky kamer může být získána vzdálenost k objektu. Ideální geometrie stereo vize (Obr. 19) má celkový systém souřadnic soustředěný v ohniskovém bodě levé kamery. Hlavní paprsky prochází obrazovou rovinou v bodech „ C_x , C_y “, které jsou stejné u obou kamer. Ohnisková vzdálenost je tedy stejná. Vektor mezi ohniskovými body je totožný s osou „ X “.



Obr. 19.: Ideální stereo geometrie [10]

C_x, C_y – roviny obrazů

s, s' – epipolární přímky

$x, y; x', y'$ – souřadnice scén

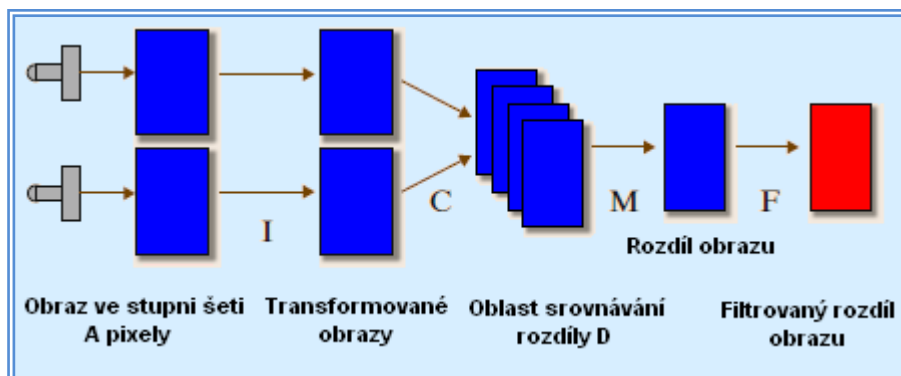
T_x – rozhraní mezi obrazy

S – střed ohniska

f – optické osy

4.1.1. Stereo korelace oblasti

Tato metoda porovnává malé vsuvky mezi obrazy za použití korelace (souvztažnosti). Typická metoda korelace má pět základních kroků (Obr. 20) [10]:



Obr. 20.: Základní stereo zpracování[10]

- 1) Oprava geometrie – V tomto kroku je opraveno zkreslení obrazu ze vstupních dat pomocí osnovy „standardní formy“.
- 2) Transformace obrazu – Změna šedé škály na vhodnější formu.
- 3) Korelace/srovnání oblasti – Krok, kde je každá malá oblast porovnávána s jinou oblastí.
- 4) Extrakce extrémů – Extrémní hodnota korelace/srovnání zjištěná v každém pixelu je porovnávána mezi levými a pravými obrazy
- 5) Postfiltrace – Jeden nebo více filtrů vyčistí šum v rozdílu obrazového výsledku

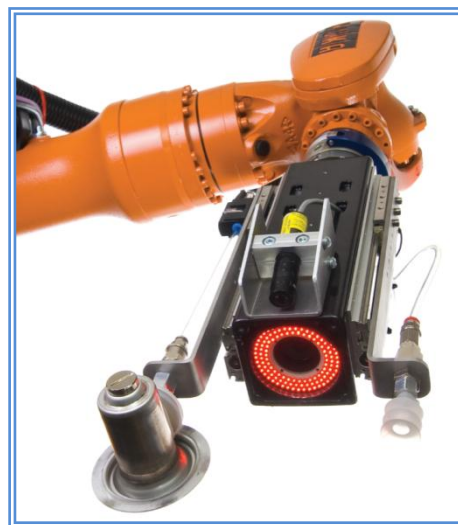
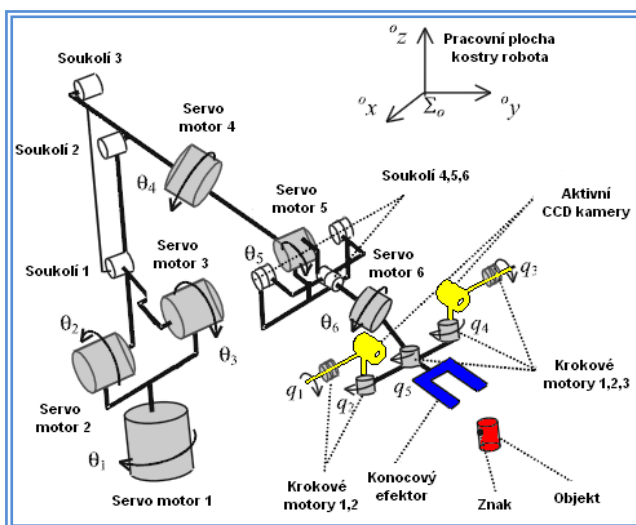
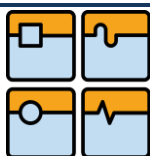
4.1.2. Aktivní systém stereo vize a robota pro aplikaci Bin-picking

Kontrola sledování, fixace a uchopování robota založená na rozpoznávání (vidění) je velmi důležitá pro navigaci, rozpoznávání objektu a vizuální posílení. V současnosti je tato metoda založená převážně na CCD kamerách, robotické kinematice a dynamice.

Aktivní stereo vize může jednoduše realizovat selektivní pozorování a zabránit aby objekt vyšel ze zorného pole CCD kamer, proto může robot dosáhnout lepší flexibility při sledování, fixaci a uchopování v neznámém prostředí [9]. Na (Obr. 21) je ukázán aktivní systém stereo vize a robota, který se skládá ze dvou CCD kamer a pěti impulzních (krokových) motorů. Kamery tedy mají 5 stupňů volnosti a robot má 6 servo motorů, tím pádem 6 stupňů volnosti, které dohromady tvoří systém 11 stupňů volnosti.

Protože se kamery a robot mohou pohybovat nezávisle od sebe a nebo i společně, mohou pozorovat objekt volně v rámci pracovního prostoru „ Σ_0 “.

Reálný pohled na aktivní stereo vizuální systém je ukázán na (Obr. 22) v rámci firmy Scape Technologies (Stereo kamery jsou vždy upevněny přímo na robota z důvodu efektivity a rychlosti prováděné operace).

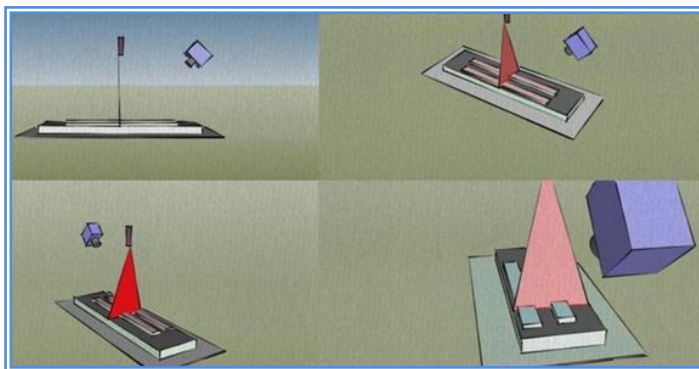
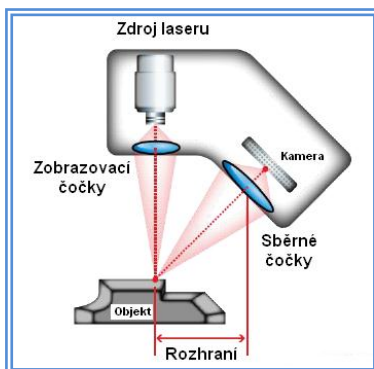


Obr. 21.: Aktivní systém stereo vize a robot (model) - vlevo[11]

Obr. 22.: Stereo vize v praxi - vpravo [3]

4.2. Laserová triangulace

Tato technologie je založená na světelném obrazu (laseru), který je promítán na objekt. Kamera je vzhledem k paprsku umístěna pod úhlem k odhadování 3-D rozměru na základě přirozeného obrazu. Výsledné laserové světlo lze vidět přes prostorově oddělené čočky, jak ukazuje (Obr. 23).



Obr. 23.: Obecný princip 3-D laser triangulace [9],[12]

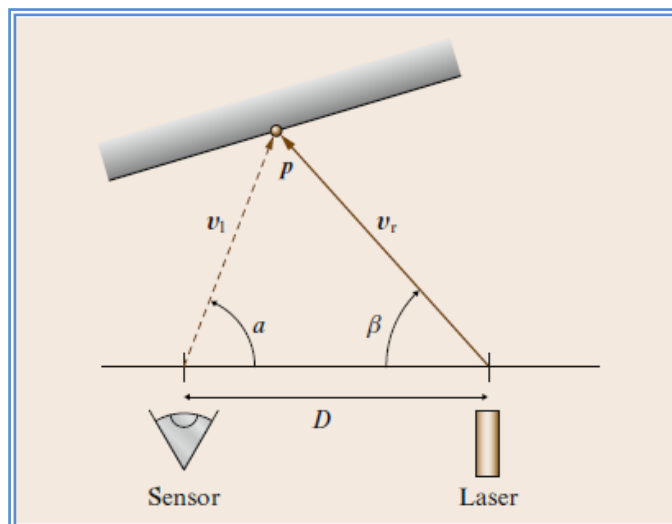
4.2.1. Triangulační rozsahové senzory

Triangulační senzory jsou založené na principech podobných stereo sensorům. Klíčový koncept je znázorněn na (Obr. 24), kde je laserový paprsek projektován do jedné pozice na pozorovaný povrch. Rozpoznání relativních pozic, orientace laseru, senzorů a jednoduchá trigonometrie umožní vypočítat 3-D pozici osvětleného bodu povrchu [10].

Laserové digitalizmy založené na triangulaci se dělí do dvou kategorií:

- Jednoduchý bod může být projektován v průběhu času na digitalizovaný objekt (polygonální zrcadlo je použito ke skenování paprsku a projektování ekvivalentu laserové linie).

- Přímá transformace laserového paprsku do projekční linie na laserovém zdroji (přímé projektování linie na digitalizovaný objekt).



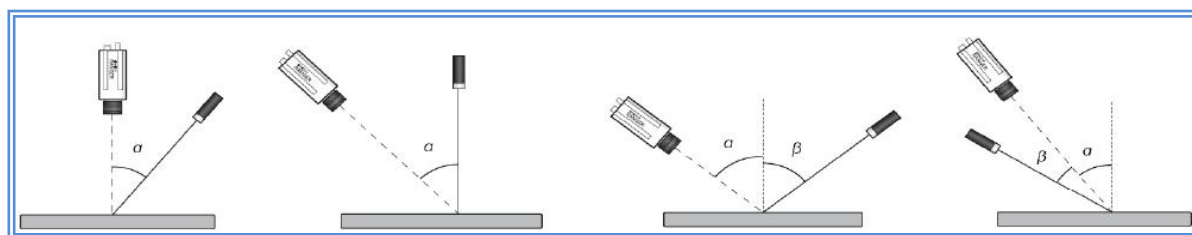
Obr. 24.: Triangulace využívající laserový bod[10]

Kritické aspekty laserové triangulace [10]:

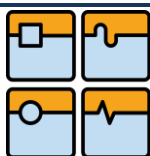
- Vzdálenost základní linie (rozhraní)
 - Větší rozhraní zvětšuje měřicí přesnost
 - Kratší rozhraní snižuje okluzní efekty
- Stabilita mechanického zařízení (uspořádání, skenování)
- Kvalita čočkového systému (zobrazování a sběr)
- Kvalita kamery a rozlišení
- Kvalita světlem-projektovaného bodu
- Množství laserového světla vráceného do kamery
- Nasycení
- Laserový skvrnový efekt-nejednotnost intenzity laserového paprsku

4.2.2. Rozpoznávací systém objektů pomocí laserové triangulace pro daný typ aplikace Bin Picking

Výše je v krátkosti popsána obecná technologie laserové triangulace v rámci rozpoznávání součástí ve strojírenském průmyslu. Při vybírání součástí složitějšího tvaru z průmyslové palety, Bin-pickingtechnologie z této koncepce vychází pomocí kombinace umístění kamery a laserů (Obr. 25), aby došlo k detekci celého prostoru palety.

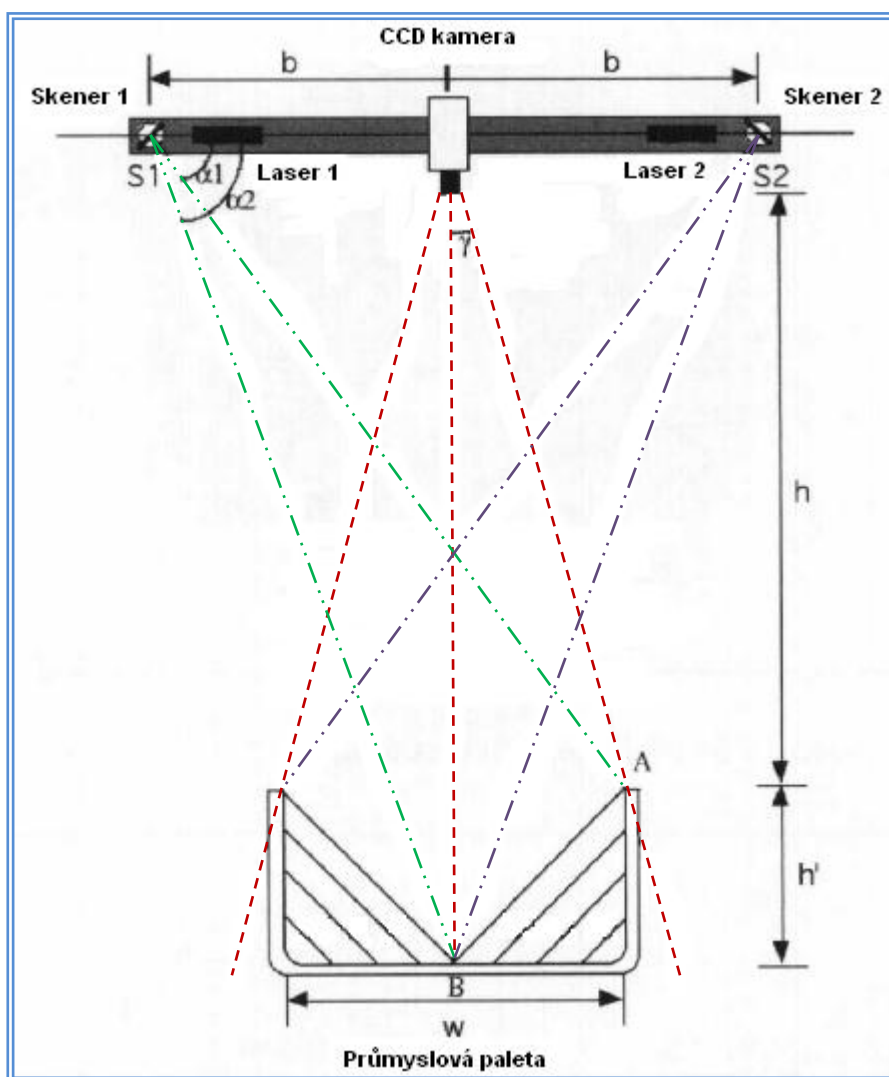


Obr. 25.: Možné kombinace kamery a laseru metody triangulace [6]



V (Obr. 25) můžeme vidět možné kombinace umístění laseru a kamery. Tyto možnosti jsou však vhodnější pro aplikace typu rozpoznávání objektů, které např. leží na pásovém dopravníku a vždy dochází k detekci každé součásti individuálně.

V těchto případech jsou součásti složitějších tvarů umístěny v průmyslové paletě nahodile v několika vrstvách. Rozpoznávací systém je tedy sestaven z jedné kamery a dvou laserů (viz. kombinace z (Obr. 25)), aby došlo k detekci celého obrazu průmyslové palety (Obr. 26).



Obr. 26.: Zobrazovací systém rozpoznávání součástí technologie Bin-picking (náhodného vybírání součástí z průmyslové palety) – tzv. odclonění [13]

Dva lasery jsou použity z důvodu 100% detekce celého obrazu. Levý a pravý laser naskenuje obrazy v různých úhlech a pomocí kamery a příslušného algoritmu je vypočítán celkový obraz, který je dále schvalován a posílán robotu k uchopení dané součásti z palety.

Pozn.: Tento systém rozpoznávání bude použit v konstrukční části této diplomové práce

5. ZPRACOVÁNÍ STUDIE PRO MOŽNOSTI UCHOPOVÁNÍ RŮZNĚ TVAROVĚ SLOŽITÝCH OBJEKTŮ Z BEDNY

5.1. Možnosti uchopení součástí jednoduchých tvarů

Uchopování součástí jednoduchých tvarů z bedny technologie Bin-picking je v dnešní době velmi dobře zpracovávána a používána ve velkém množství průmyslových podniků a ne je tam. Jedná se o základní tvary součástí, jako jsou např.: válcové, trubkové součásti (malé délky a šířky) a nebo plechové součásti a výlisky jednoduchých tvarů jak je ukázáno na (Obr. 27).

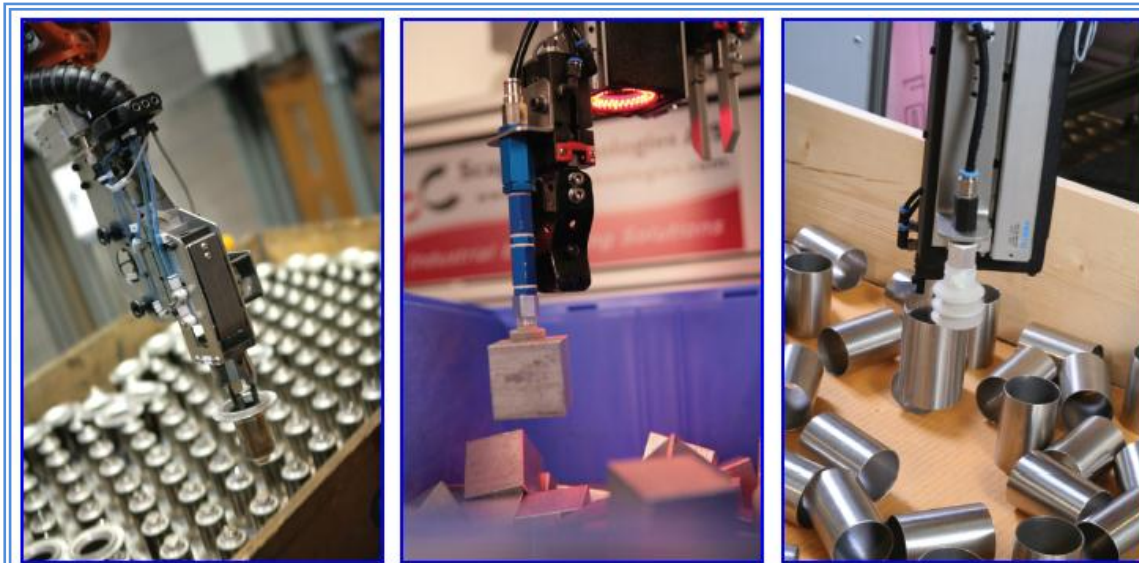


Obr. 27.: Ukázka součástí jednoduchého tvaru pro Bin-picking[3]

Tyto součásti jsou uchopovány pomocí koncových efektorů jednodušší skladby (Obr. 28), které upínají tyto součásti pomocí přísavky nebo čelistí. Vždy máme dvě základní koncepce koncové polohy a to:

- Náhodný výběr součásti z bedny bez požadovaného přesného uchopení součásti (v tomto případě lze např. součásti podobných tvarů vybírat jedním navrženým efektem – víceúčelový efektor)
- Náhodný výběr součásti z bedny s požadovaným přesným uchopením součásti z důvodu přesného zakládání do koncové polohy nebo do stroje (v tomto případě je pro každou součást navržen vlastní uchopovací mechanismus – atypický efektor)

Nyní bude popsáno uchopování 3 součástí jednoduchého tvaru na základě vlastní úvahy a celkové vyhodnocení uchopování těchto součástí.

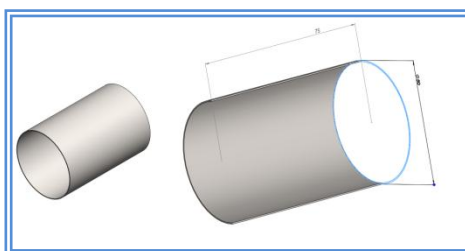


Obr. 28.: Ukázka koncových efektorů pro uchopení součástí jednoduchých tvarů [3]

5.1.1. Součást č. 1 – (Uchopení plechového válečku)

Jedná se o součást velmi jednoduchého tvaru o velmi malých rozměrech a hmotnosti (Obr. 29) [14]. Předpoklady pro uchopení této součásti jsou:

- Rozměr součásti (průměr 50mm, délka 75mm)
- Součásti by měly být vybírány pomocí daného příslušenství bez potřeby pokročilé manipulační stanice (mezi-polohy).
- Součásti nemusí mít přesně stanovený bod uchopení (není stanovena přesná poloha koncové polohy součásti).



Obr. 29.: Součást č.1 – tvar a rozměr [Vlastní tvorba]

Obecné uchopení součásti:

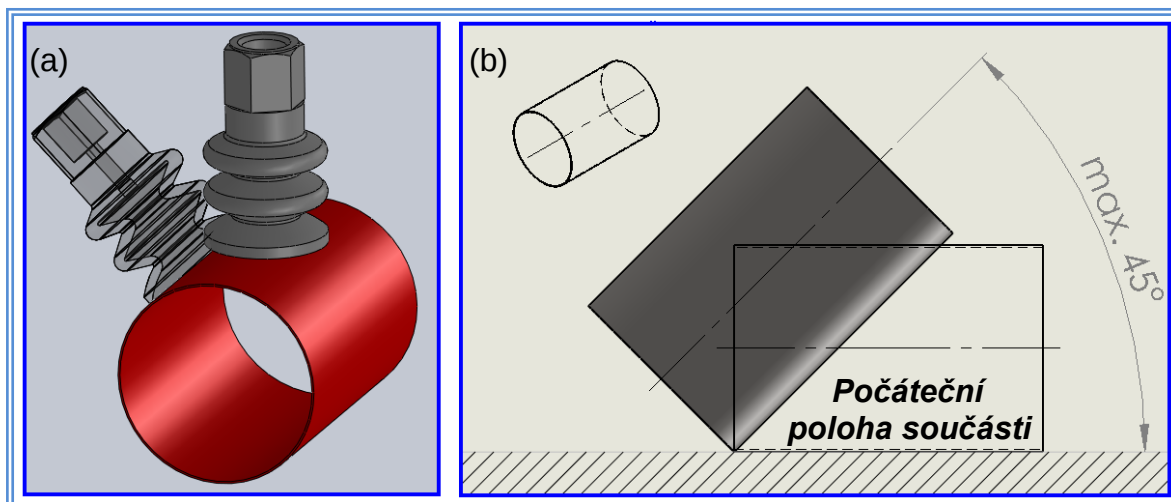
Možné způsoby uchopení jedné součásti:

- Vakuová přísavka
- Pneumatické čelisti (kleště)
- Magnet

Vzhledem k jednoduchosti součásti budou uvažovány dvě různé možnosti uchopení (vnější válcová plocha nebo za vnitřní průměr). Součásti jsou orientovány nahodile, jak ukazuje (Obr. 28 – vpravo)

➤ Uchopení pomocí vakuové přísavky:

Vakuová přísavka bude použita pro uchopení součásti pouze v případě, když součást bude orientována ve vodorovné poloze (uchopení tedy bude za vnější válcovou plochu) jak je ukázáno na (Obr. 30a). Dále bude uvažováno uchopení součásti přísavkou pouze v poloze do $\alpha < 0^\circ - 45^\circ$ od povrchu (Obr. 30b).

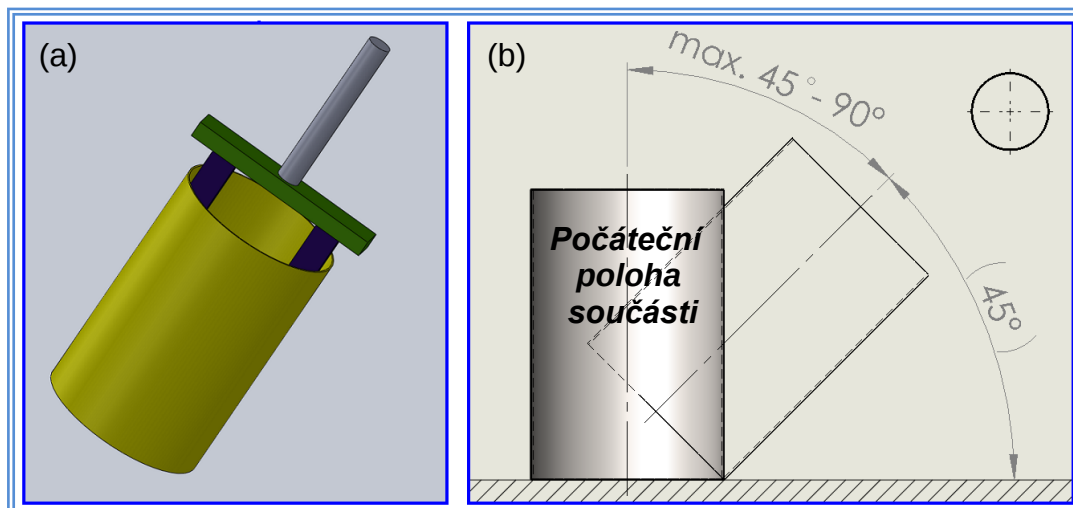


Obr. 30.: (a) Možný způsob uchopení přísavkou, (b) max. úhle natočení součásti pro uchopení přísavkou (zvoleno), [Vlastní tvorba]

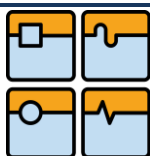
Součást nemá přesně stanovenou koncovou polohu umístění, je tedy možno brát v úvahu uchopení za kteroukoliv část vnějšího povrchu i pod úhlem. Podmínkou však je, že přísavka musí vždy uchopit součást tečně k povrchu, aby nedocházelo k úniku média a snižování tlaku.

➤ Uchopení pomocí pneumatických čelistí:

Pneumatické čelisti budou sloužit k uchopení za vnitřní válcovou plochu, v případech, kdy součást bude orientována svisle (v tomto případě by bylo komplikované součást uchopovat přísavkou), jak ukazuje (Obr. 31a). Zde bude také uvažováno uchopení součásti čelistmi pouze v poloze $\alpha > 45^\circ - 90^\circ$ od svislé polohy (Obr. 31b).



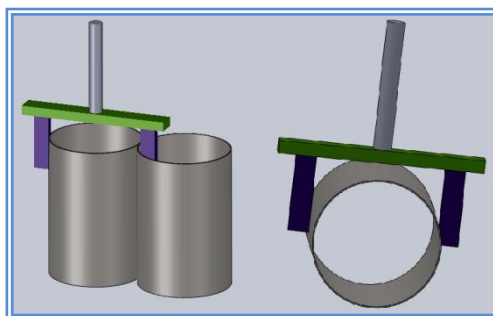
Obr. 31.: (a) Možný způsob uchopení čelistmi, (b) max. úhle natočení součásti pro uchopení čelistmi (zvoleno) [Vlastní tvorba]



➤ Uchopení pomocí magnetu:

V tomto případě je tato metoda zavrhnuta, protože součást by byla pomocí magnetu určitě uchopitelná, ale mohlo by docházet ke kolizím nebo upnutí více součástí na jeden krok manipulace.

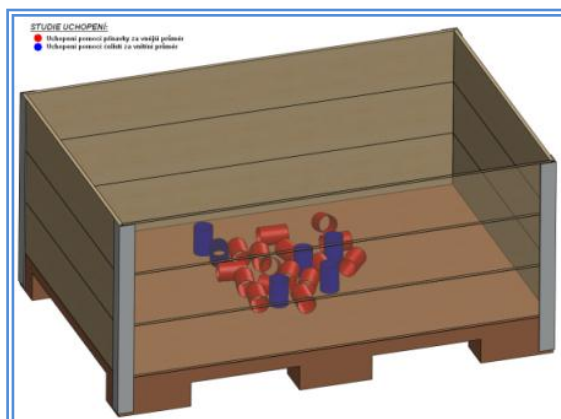
- Součásti by mohli být uchopovány dalším způsobem a to pomocí čelistí, které by uchopovali součást jak ve vodorovné tak svislé poloze. Mohlo by ale docházet k problému s tím, že by mohli být uchopeny dvě součásti ve svislé poloze najednou nebo ke kolizi (upadnutí) součásti při upnutí za vnější válcovou plochu (Obr. 32).



Obr. 32.: Možné kolize při upnutí pomocí čelistí za vnější průměry[Vlastní tvorba]

Bezpečnost uchopení a rizika:

- Byl zvolen systém uchopování (Obr. 28 vpravo) pomocí víceúčelového efektoru (přísavky pro vnější povrch a čelisti pro upnutí za vnitřní povrch roztažením) z důvodu efektivnosti (Obr. 31).
- Z důvodu bezpečného upnutí a vyvarování se kolizím s bednou bude koncový efektor vybaven lineárním pístem pro uchopení součásti (Obr. 28)
- Možnosti na (Obr. 32) by byli taky možné, ale mohlo by docházet k upnutí více součástí najednou nebo komplikovanému upnutí součásti v rozích bedny.
- Největším rizikem v této metodě může být upínací síla, jak tlak přísavky, tak upínací síla čelistí. Přísavka musí uchopovat součást tečně (nebude docházet k unikání média) a čelisti by mohli mít zdrsňený povrch na upínací straně.
- Další riziko je, že součásti mohou mít rozdílnou výšku a průměr – počítat s tímto rizikem při návrhu rozpoznávání a uchopování součástí.

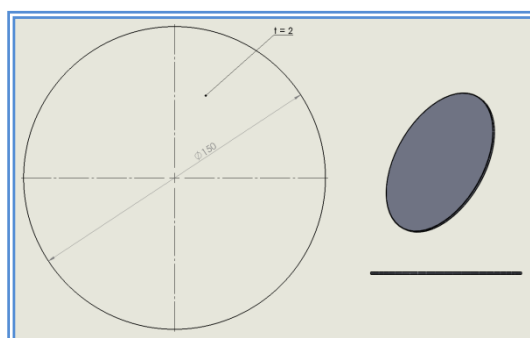


Obr. 33.: Znáznornění součástí, které budou uchopovány pomocí přísavky a čelistí z bedny[Vlastní tvorba]

5.1.2. Součást č. 2 – (Uchopení plechového výlisku – kruh)

Tato součást je taky velmi jednoduchého tvaru o velmi malé tloušťce a hmotnosti (Obr. 34). Předpoklady pro uchopení této součásti jsou:

- Rozměr součásti (průměr 150mm, tloušťka 2mm)
- V prvním případě vyřešit obecné uchopování součásti
- Poté se zaměřit na uchopování součásti z bedny v případě dalšího přesného umístění součásti do požadované polohy: potřeba mezi-polohy
- Pro obecné uchopení nebo pro uchopení do mezi-polohy neuvažovat přesné uchopení



Obr. 34.: Součást č. 2 – tvar a rozměr [Vlastní tvorba]

Obecné uchopení součásti:

Možné způsoby uchopení součásti:

- Magnetický efektor
- Vakuová přísavka

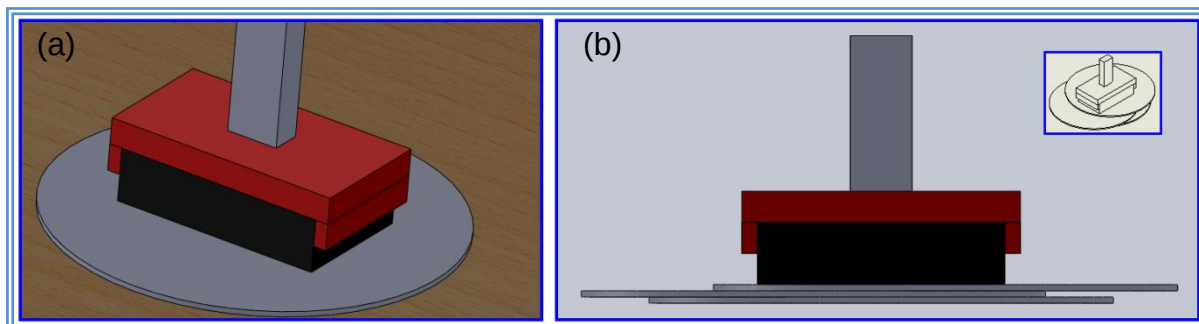
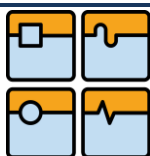
V tomto případě nebudeme používat čelisti, které by byli pro uchopení této součásti ve svislé poloze částečně potřebné. Budeme ale uvažovat, že součásti jsou v této poloze umístěny jen v rozích (Obr. 35) a postupným vybíráním ze středu se součásti v rozích budou naklápět do vodorovné polohy (pokud by některé součásti zůstali ve svislé poloze, byl by do robotické buňky pro vybírání zahrnut tzv. ztráseč nebo by byla součást umístěna do vodorovné polohy ručně.



Obr. 35.: Reálný pohled na rozmístění součástí č.2 v bedně[3]

➤ Uchopení pomocí magnetického efektoru:

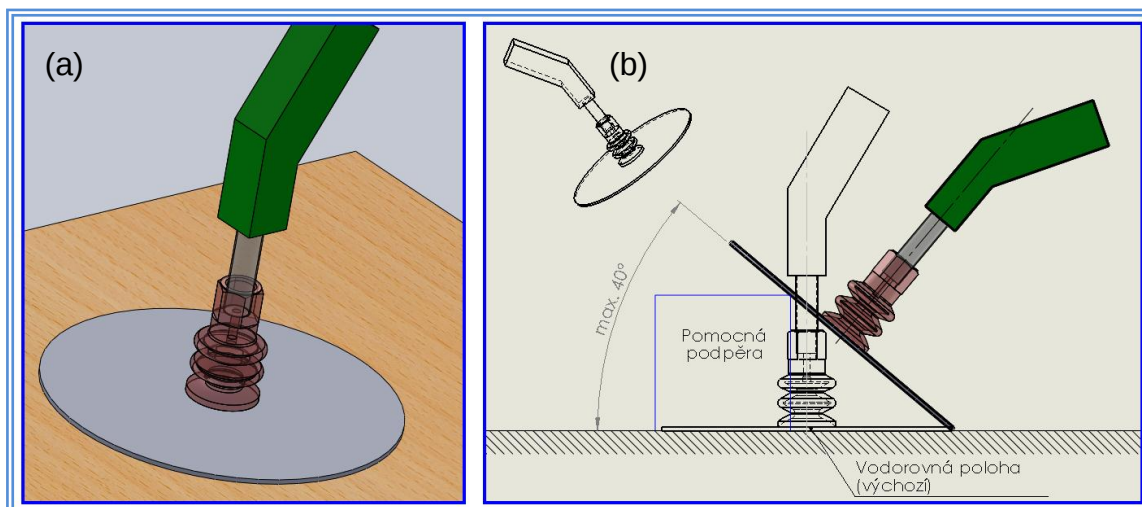
Uchopení magnetem je pro tyto součásti neefektivní z důvodu, budou-li součásti uchopovány z bedny, mohlo by dojít k uchopení několika součástí najednou (Obr.36b). Tato metoda se hodí jen pro obecné uchopení jedné součásti, jak je ukázáno na (Obr. 36a).



Obr. 36.: (a) Obecné uchycení jedné součásti pomocí magnetického efektoru, (b) Nevýhoda uchycení pomocí magnetu – uchycení více součástí (nevyhovující) [Vlastní tvorba]

➤ Uchopení pomocí vakuové přísavky:

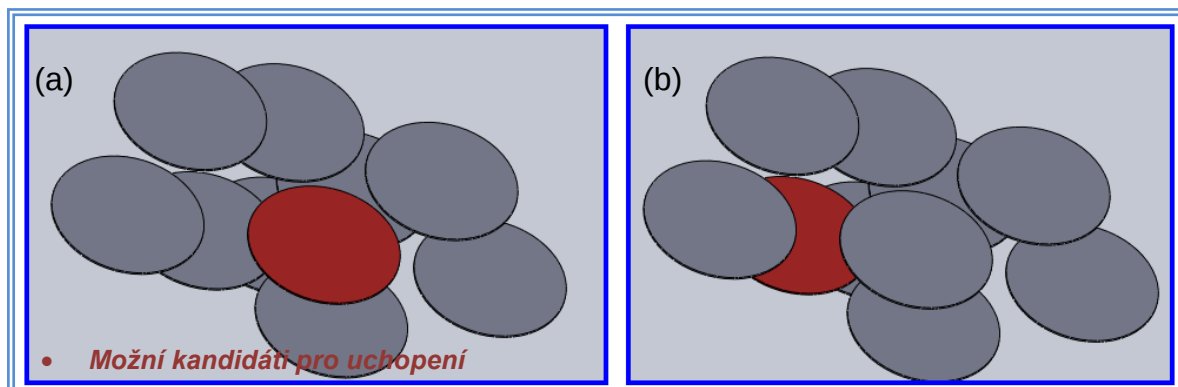
Jedná se uchopování součástí, které jsou orientovány pouze vodorovně nebo s max. úhlem naklonění (volím $\alpha < 40^\circ$), jak můžeme vidět na (Obr. 37a-b). Pokud se bude jednat o obecné uchopení jedné součásti, lze ji přímo vybírat za fixní polohu (např. střed), pokud však bude uvažována mezi-poloha, lze součást vybírat za jakýkoliv bod na povrchu této součásti.



Obr. 37.: (a) Uchycení přísavkou za střed součásti, (b) Maximální poloha natočení součásti pro uchopení [Vlastní tvorba]

Pro uchopení náhodně orientovaných součástí z bedny budeme uvažovat dva způsoby:

- *Uchopení součásti za fixní bod* (Obr. 38a): - Nejvhodnější kandidát pro uchopení součásti z bedny (přímo z bedny uchopen za fixní polohu pro koncový bod manipulace)
- *Uchopení součásti do mezi-polohy* (Obr. 38b): - Součást bude vybírána za jakýkoliv bod na povrchu součásti. Poté bude vložena do mezi-polohy a uchopena za fixní polohu.



Obr. 38.: Možné pořadí uchopování součástí, (a) Pro uchopování součástí za fixní polohu přímo z bedny, (b) Pro uchopování součástí, které budou uchopeny za fixní polohu v mezi-poloze (systém nemusí znát celý obraz součástí, stačí jen část)[Vlastní tvorba]

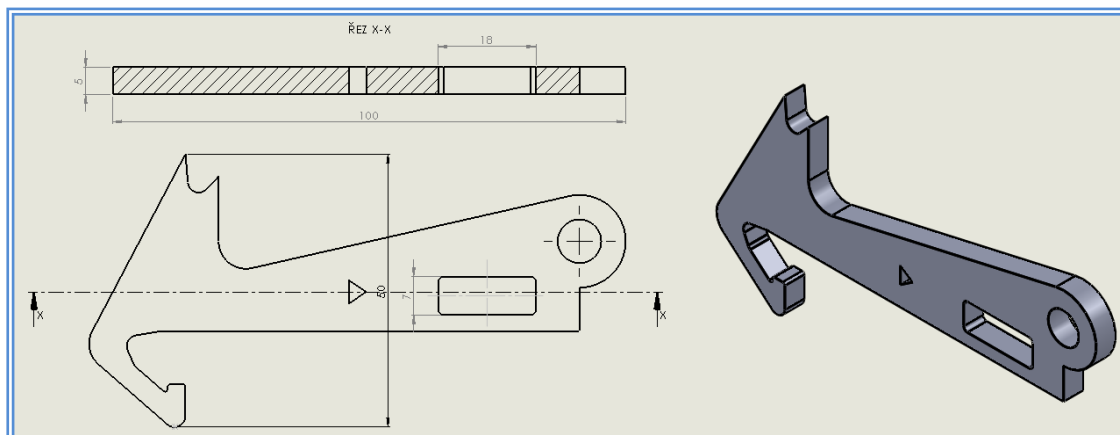
Bezpečnost uchopení a rizika:

- Pro bezpečné uchopení jedné součásti z bedny byl zvolen efektor využívající vakuovou přísavku
- V tomto případě jsou součásti vybírány z nízké bedny – nemusíme tedy řešit problém s vyosením nebo kolizemi s bednou
- Z hlediska odstředivé síly bude použit větší tlak přísavky, aby nedocházelo k odpadnutí součásti z efektoru během pohybu (z důvodu rychlé manipulace robota)
- Dále nebude uvažováno vybírání součástí z bedny čelistmi, které by byli vhodné pro výběr součástí, které jsou orientovány kolmo v rozích bedny – mohlo by docházet ke kolizím s bednou. Raději zahrnout do systému tzv. ztřásač.

5.1.3. Součást č. 3 – (Součást specifitějšího tvaru a větší šířky)

Tato součást je specifitějšího tvaru o větší tloušťce a hmotnosti než součást č. 1, 2 (Obr. 39). Předpoklady pro uchopení této součásti jsou:

- Celkové rozměry součásti (délka 100mm, šířka 50mm a tloušťka 5mm)
- Zaměřit se jen na obecné uchopení součásti z bedny
- Není požadována mezi-poloza. Součást nemá přesně stanovenou koncovou polohu, je pouze umísťována na automatizovaný pásový dopravník
- Více se zaměřit na uchopování součástí z okrajů bedny (když bude součást kolmo, mohlo by docházet ke kolizím) – případně zařadit do systému tzv. střáseč.



Obr. 39.: Součást č. 3 – tvar a rozměr [Vlastní tvorba]

Obecné uchopení součásti:

Možné způsoby uchopení jedné součásti:

- Pneumatické čelisti – vnější plochy (vodorovná poloha)
- Pneumatické čelisti – vnitřní plocha (vodorovná poloha)
- Pneumatické čelisti – vnější plochy (svislá poloha)
- Vakuová přísavka

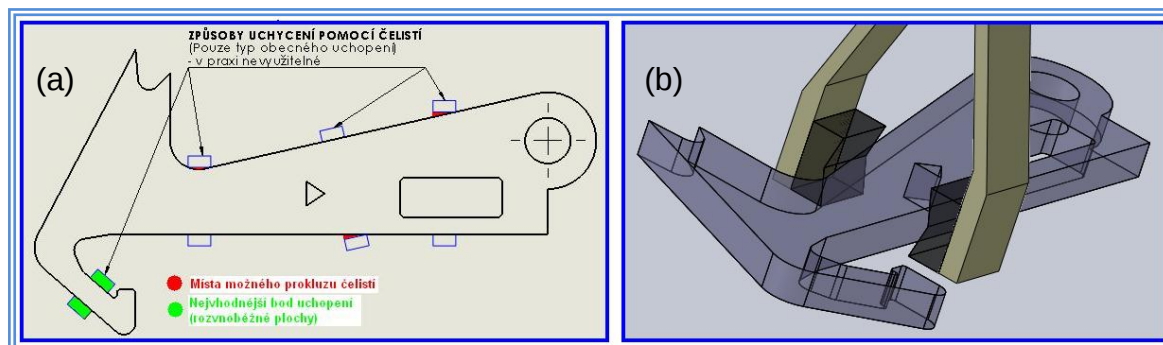
V tomto případě jsou součásti orientovány nahodile v různých polohách (Obr.40). Pro jednu součást budeme uvažovat uchopování výše uvedenými způsoby. Pro realizaci vybírání součástí z bedny bude zvolen nejefektivnější a nejvhodnější způsob upínání.



Obr. 40.: Reálný pohled na rozmístění součástí č.3 v bedně [16]

➤ Uchopení pomocí pneumatických čelistí – vnější plochy (vodorovná poloha):

Uchopení za vnější plochy je v tomto případě možné, ale mohlo by docházet k riziku upadnutí součásti s čelistí z důvodu: protilehlé povrchy pro upnutí nejsou rovnoběžné (např.: na jedné straně bude součást uchopena celou plochou čelisti, ale protilehlá strana jen hranou druhé čelisti (Obr. 41a)). Možné řešení, jak zdokonalit upnutí za vnější hrany je ukázán na (Obr. 41b).

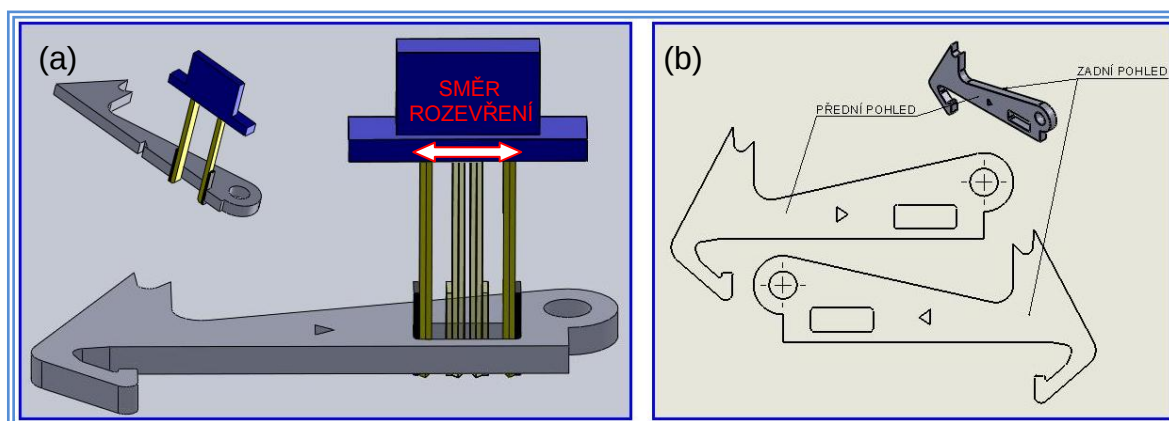


Obr. 41.: (a) Možné místa uchopení (zeleně je znázorněn nejmožnější způsob uchopení – nevýhoda těžiště), (b) Pohled na zefektivnění upínací části čelisti – zkosení upínacích polštářků (popřípadě by mohli mít upínací plochy zdrsňený povrch) [Vlastní tvorba]

➤ Uchopení pomocí pneumatických čelistí – vnitřní otvor (vodorovná poloha):

Pomocí přísavky je možnost uchopit součást za vnitřní otvor (čtverec), jak ukázáno na (Obr. 42a). Protilehlé upínací plochy jsou rovnoběžné, dojde tedy k pevnému rozevření čelistí a součást bude upnuta bez rizika upadnutí součásti. Výhodou je, že se nemusíme bát rizika uchopení dvou součástí najednou a také kolizí v bedně s ostatními součástkami.

Jedinou nevýhodou tohoto uchopení je, že součásti lze uchopovat ze dvou stran (Obr. 42b) - bližší uchopení, popřípadě mezi-poloha by záležela na přesné specifikaci koncové polohy součásti po výběru z bedny.



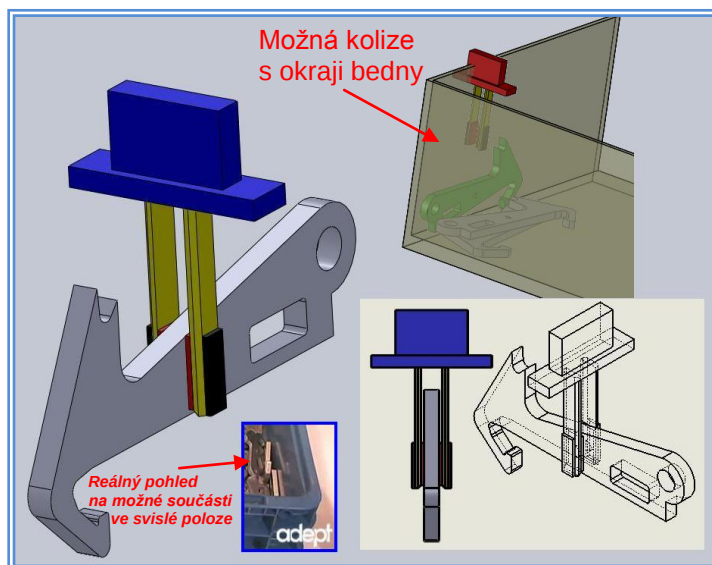
Obr. 42.: (a) Uchopení pomocí čelistí za vnitřní otvor [Vlastní tvorba], (b) Dva možné pohledy pro uchopení součásti [Vlastní tvorba]

➤ Uchopení pomocí pneumatických čelistí – vnější plochy (svislá poloha):

Jak můžeme vidět na (Obr. 40) součásti mohou být v bedně orientovány i ve vodorovné poloze. Tyto součásti lze také uchopovat pomocí čelistí (svírání čelistí). Možné riziko kolize s bednou, když tato součást bude umístěna v rozích (Obr. 43).

➤ Uchopení pomocí vakuové přísavky:

Přísavky by mohla vybírat součást jen za vodorovnou polohu (svislá ne). Problém s povrchem součásti pro uchopení přísavkou (velké množství otvorů, malý prostor pro přísátí – možnost upadnutí). Možné řešení dvěma přísavkami, ale stále je problém s uchopením obou pohledů – jsou nesouměrné)



Obr. 43.: Uchopení pomocí pneumatických čelistí za vnější svislou polohu (vpravo nahoře znázorněna možná kolize s bednou). [Vlastní tvorba]

Bezpečnost uchopení a rizika:

- Při uchopení pomocí čelistí za vnější vodorovnou polohu vzniká problém s pevným uchopením součásti – protilehlé plochy nejsou rovnoběžné.
- 5% součástí je v bedně orientováno svisle a to převážně v rozích bedny – možné kolize s bednou (Obr. 43 vpravo nahoře).
- Přísavka je pro tuto metodu nevhodná z důvodu malé plochy pro upnutí – možný únik média a snížení upínacího tlaku
- Z bezpečnostního hlediska pevného upnutí a vyvarování se kolizím s bednou a sousedními součástmi byla zvolena metoda upínání pomocí čelistí na vnitřní čtvercový otvor (Obr. 42a)
- Určitá rizika by mohla vzniknout při 100% vyjmutí součástí z bedny – možné kolize s bednou při krajních polohách. Nejbezpečnější varianta použití tzv. ztřáseče.

5.1.4. Závěr a zhodnocení uchopování součástí jednoduchého tvaru

Uchopení součástí jednoduššího tvaru není složitým úkolem. Jedná se pouze o dobře zvolený způsob uchopení z hlediska bezpečnosti. Protože se jedná o součásti velmi malé hmotnosti, tato podmínka je ve všech případech splněna na základě předchozích testování. Předností je manipulace i při vysokých rychlostech a možná variabilita použití jednoho efektoru pro více součástí různého tvaru. Upínací prvek pro uchopení se ve většině případů skládá z jednoduché přísavky nebo paralelních čelistí. Pro rozpoznávání součástí je používán systém Stereo vize z důvodu vhodného rozpoznávání součástí jednoduchého tvaru a nižší ceny.

Hlavní výhodou je, že tento systém uchopení součástí jednoduchého tvaru nevyžaduje mezi-polohu, součásti tedy mohou být vybírány přímo z bedny do požadované koncové polohy.

5.2. Možnosti uchopení součástí složitějších tvarů

Uchopování součástí složitějšího tvaru z bedny technologie Bin-picking se stále vypořádává s určitými problémy. Jedná se především o přesné uchopení součásti a umístění do požadované polohy přímo z bedny. Ve většině případů je tedy do robotické buňky zahrnuta mezi-poloha, která slouží doslovně k pře-uchopení součásti do požadované polohy [tj. 1) hrubý výběr z bedny na mezi-polohu, 2) pře-uchopení, 3) umístění do požadované polohy]. Jedná se o uchopování součástí složitějších tvarů a hmotností jako jsou např.: složité hřídele, ohýbané plechové součásti, ojnice, disky kol, různé tvarové trubky atd. jak je ukázáno na (Obr. 44).



Obr. 44.: Ukázka součástí složitějšího tvaru pro Bin-picking[17]

Tyto součásti jsou uchopovány pomocí koncových efektorů složitější konstrukce (Obr. 45), které jsou vždy konstruovány jen pro jeden daný typ součásti. Pro různé tvary součástí jsou vždy navrženy požadované koncové efektory, které se můžou skládat např. z dvou pracovních jednotek (pro hrubý výběr a přesné uchopení). Složitější součásti můžeme dělit do dvou koncepcí uchopení:

- **Přímý výběr:** Součást je přímo z bedny vybrána za požadovanou plochu do koncové polohy (pro symetrické součásti)
- **Hrubý výběr s mezi-polohou:** Součást má více uchopovacích bodů pro hrubý výběr do mezi-polohy, kde je součást pře-uchopena do požadované cílové polohy (převážně pro ohýbané plechové součásti – nesymetrické)

Nyní bude popsáno uchopení 3 součástí složitějšího tvaru na základě vlastní úvahy a celkové vyhodnocení uchopování těchto součástí.

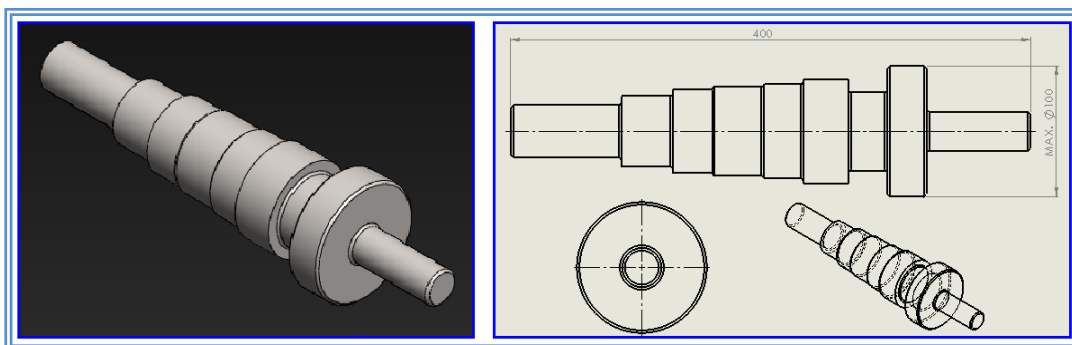


Obr. 45.: Ukázka koncových efektorů pro uchopování součástí složitějšího tvaru [Web]

5.2.1. Součást č. 1 – (Hřídel)

Jedná se o součást válcového tvaru, která má specifický tvar, jak můžeme vidět na (Obr. 46) [5], [18]. Předpoklady pro uchopení této součásti jsou:

- Rozměr součásti (max. průměr 100mm, délka 400mm)
- Součást bude přímo uchopována z bedny do požadované koncové polohy
- Uvažovat uchopování součásti ve vodorovné (90%) i svislé (10%) poloze
- Bezpečnost uchopení součásti a vyvarování se kolizím bez vyosení efektoru



Obr. 46.: Součást č. 1 – tvar a rozměr [Vlastní tvorba]

Obecné uchopení součástí:

Možné způsoby uchopení součástí:

- Pneumatické čelisti (kleště)

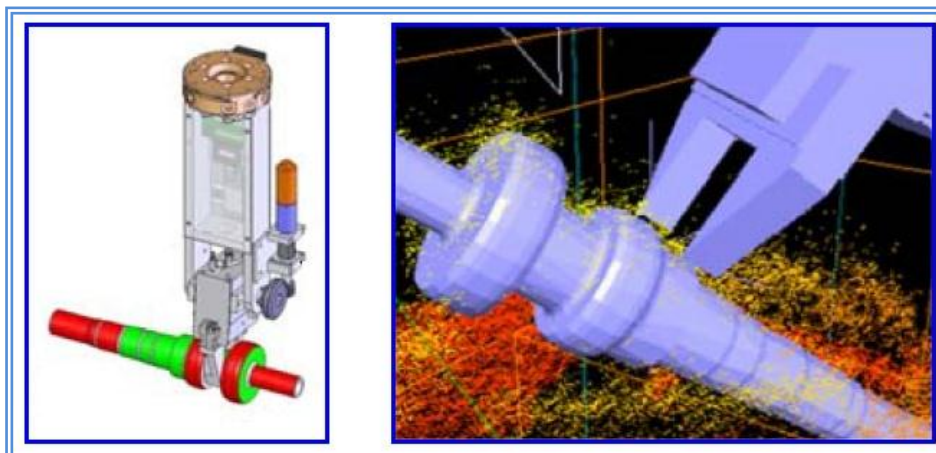
Vzhledem k povrchu (tvaru) součásti můžeme uvažovat dva způsoby uchopení součástí. Vždy se bude jednat o uchopení pomocí čelistí (za vnější válcovou plochu nebo sevřením za boční plochy maximálního průměru hřídele. Součástí jsou orientovány náhodně s 90% šancí ve vodorovné poloze, jak můžeme vidět na (Obr. 47).



Obr. 47.: Reálný pohled na rozmístění součástí č. 1 v bedně [18]

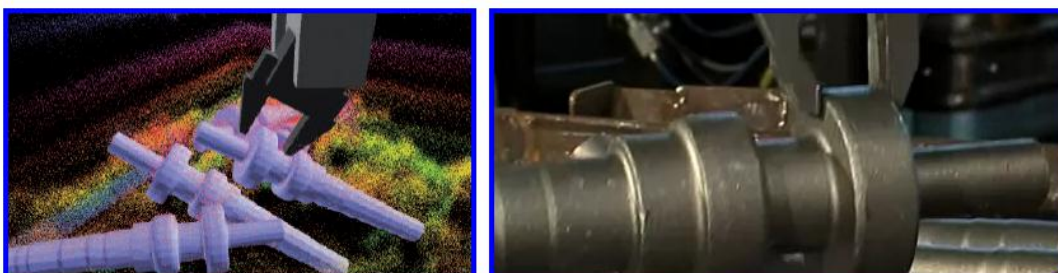
➤ Uchopení pomocí pneumatických čelistí (vodorovná poloha):

Součást může být uchopena dvěma způsoby. První způsob je zaměřen na uchopení součásti za vnější válcové plochy, jak ukazuje (Obr. 48). Zeleně jsou znázorněny válcové plochy, které jsou možné k uchopení. Červeně znázorněné plochy jsou pro uchopení možné, ale mohlo by docházet ke kolizím nebo upadnutí součástí (vzhledem k odstředivé síle při manipulaci a uchopení součásti na okrajích – mimo těžiště). Tyto plochy budou tedy brány jako nevyhovující.



Obr. 48.: Znázornění uchopení za možné válcové plochy hřídele [5]

Součást bude uchopována tímto způsobem pouze v případech, pokud nebude v bedně dobře viditelná plocha k uchopení za boční stěny maximálního průměru (Obr. 49). Tato možnost uchopení je efektivnější z hlediska pevného uchopení součásti (při uchopení za válcovou plochu může docházet k výkyvům součásti).

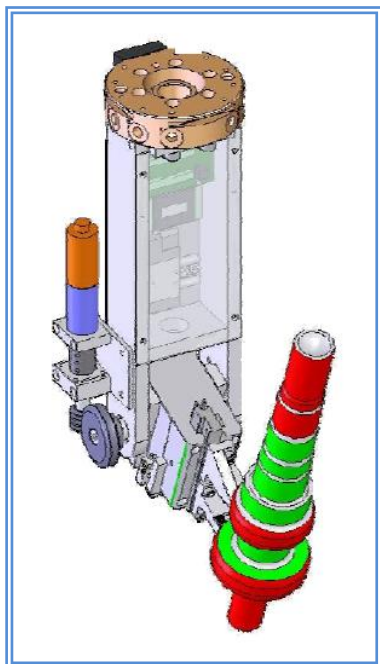


Obr. 49.: Znázornění uchopení za čelní plochy hřídele [5], [18]



➤ Uchopení pomocí pneumatických čelistí (svislá poloha):

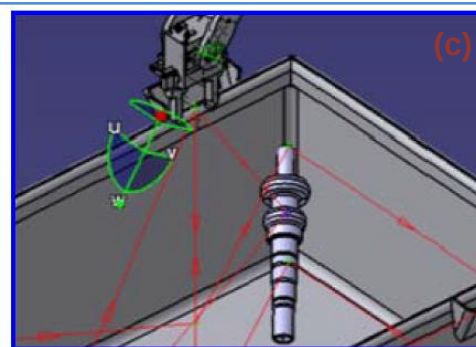
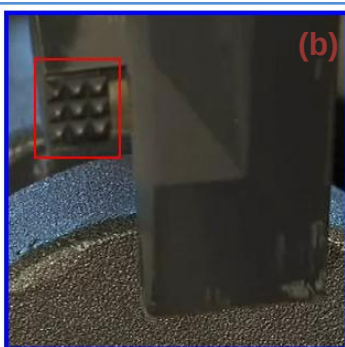
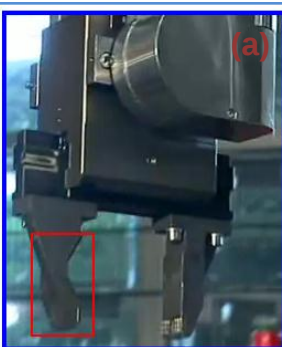
Součásti bude v této poloze uchopována stejně jako ve vodorovné poloze pomocí čelistí za boční stěnu maximálního průměru (Obr. 50). Součást však lze bezpečně uchopit pouze maximálním průměrem nahoru.



Obr. 50.: Znázornění uchopení součástí za čelní plochu hřídele ze svislé polohy [5]

Bezpečnost uchopení a rizika:

- Bezpečnost uchopení válcových ploch je vyřešeno speciálním designem úchopu – pevná fixace součásti (Obr. 51a)
- Bezpečnost uchopení pomocí čelních ploch je zajištěno pomocí zdrsňení povrchu (Obr. 51b) vnitřních částí čelistí (upínací část)
- Možné rizika při uchopení součástí z bedny: Problém je vyřešen prodlouženým designem koncového efektoru včetně otočných čelistí v rozsahu 180° kolem jedné osy (Obr. 50) – snadné uchopení součástí z jakékoliv polohy i v rozích.
- Možné kolize se stěnami bedny – ukázka kalkulace trajektorie (Obr. 51c) bez kolizí.



Obr. 51.: Bezpečnost uchopení, (a) speciální design čelistí (tzv. výkroj pro fixní uchopení hřídele [18], (b) Uchopovací packy (zdrsňný povrch) [18], (c) Strategie trajektorie při uchopení [5]

5.2.2. Součást č. 2 – (Plechová součást složitějšího tvaru)

Jedná se o plechovou součást komplikovanějšího tvaru, jak můžeme vidět na (Obr. 52) [20]. Tvar plechové součásti je docílen ohýbáním a lisováním do požadovaného výchozího tvaru. Předpoklady pro uchopení této součásti jsou:

- Rozměr součásti (nespecifikovaný – dle daného modelu součásti (Obr. 52))
- Součást je z bedny vybírána pouze na hrubo
- Součásti jsou odkládány na pomocný stůl dle orientace vytažení
- Orientace vytažení – uvažovat uchopení za dvě možné strany součásti (např. „vrchní pohled, spodní pohled“)
- Bezpečnost uchopení součásti a vyvarování se kolizím bez vyosení efektoru



Obr. 52.: Součást č. 4 –reálný tvar součásti [20]

Obecné uchopení součásti:

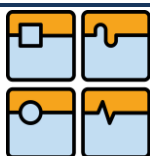
Možné způsoby uchopení součásti:

- Vakuová přísavka

V tomto případě jsou také součásti orientovány nahodile, jak můžeme vidět na (Obr. 53 vlevo). Jako technologie uchopování byla zvolena pouze vakuová přísavka, protože uchopování pomocí čelistí by bylo kritické (komplikovaný tvar součásti). Pro uchopení pomocí vakuové přísavky budeme uvažovat dvě možné plochy („vrchní pohled nebo spodní pohled součásti“ (Obr. 52 – spodní pohled součásti), (Obr 53 vpravo)).

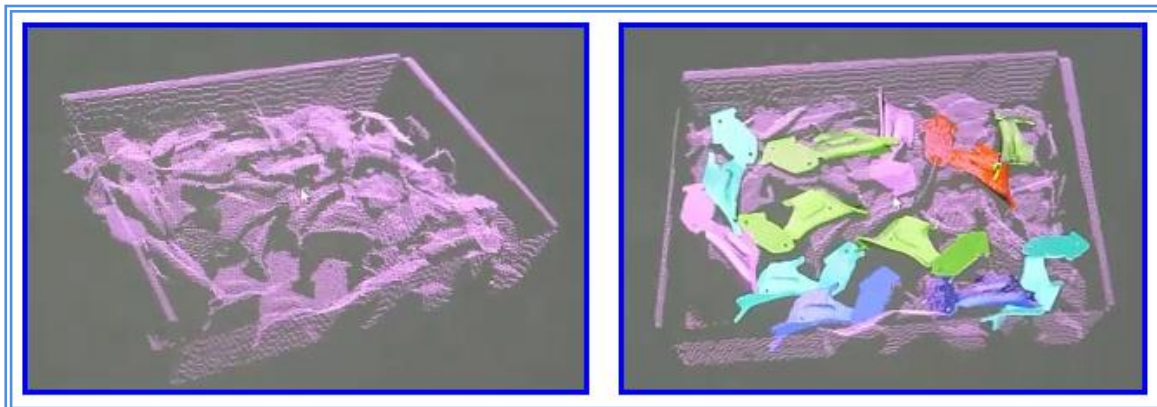


Obr. 53.:Levý obr. – Reálný pohled na rozmístění součástí č. 2 v bedně;Pravý obr. – znázornění dvou možných ploch k uchopení (červeně - spodní pohled; zeleně - vrchní pohled) [20]



➤ Strategie rozpoznání plechových součástí v bedně:

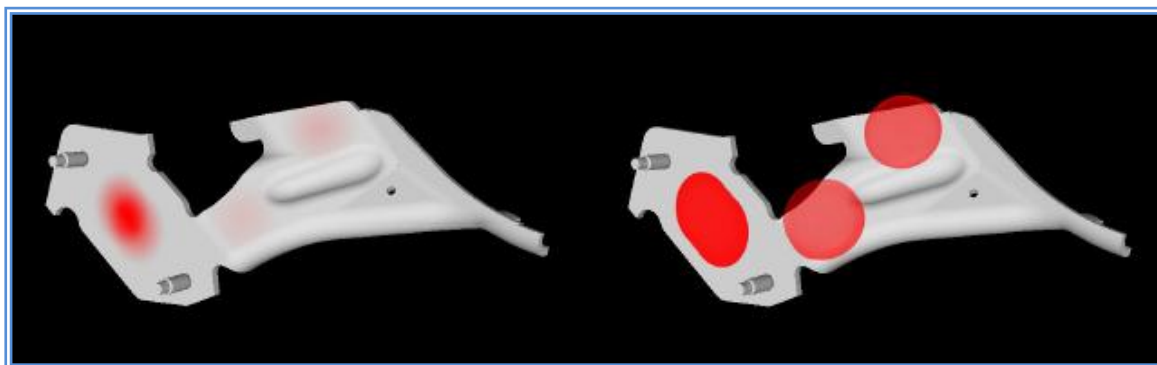
Součásti mají komplikovanější tvar, je tedy potřeba použít vhodný způsob rozpoznávání součástí. V první fázi je získán hrubý odhad (Obr. 54a), poté následuje výběr ze zúženého počtu nejlépe rozpoznatelných součástí (Obr. 54b) – zeleně jsou znázorněny nejvhodnější kandidáti k výběru.



Obr. 54.: (a) Hrubý obraz scény [20], (b) Možní kandidáti pro výběr – zeleně znázorněni nejvhodnější kandidáti [20].

➤ Uchopení pomocí vakuové přísavky:

Strategie hrubého výběru součástí z bedny není založena na přesném bodu uchopení. Součást nemá žádné fixní body (např.: otvor, díru, protějšší rovnoběžné plochy k uchopení, atd.). Proto byla zvolena k uchopení součástí vakuová přísavka s větší flexibilitou a průměrem z důvodu nerovností součástí. Jak už bylo řečeno, součást neobsahuje žádný přesný bod k uchopení, budeme tedy uvažovat nejvhodnější oblast k uchopení pomocí přísavky (Obr. 55) – červeně jsou znázorněny nejvhodnější oblasti možného uchopení. Na (Obr. 55) jsou znázorněny pouze oblasti jednoho pohledu, protože oblasti možného uchopení druhé pohledu je identická s prvním pohledem (uvažován pouze opačný tvar součásti).



Obr. 55.: Vlevo – analýza hustoty uchopení, Vpravo – analýza pravděpodobnosti uchopení (tmavě červená – vysoká pravděpodobnost) [21]

Koncová poloha součásti byla uvažována s hrubým výběrem a uložením součásti na pomocný stůl s rozdílnými orientacemi. Robot bude ukládat součásti do tzv. kopek, kde každá kopka bude mít pro daný pohled stejnou orientaci (Obr. 56). Bude tedy uvažováno a požadováno dělit součásti dle dvou úchopných ploch, které mají dvě různé polohy (čtyři možné strany uchopení – čtyři možné kopky součástí)



Obr. 56.: Znázornění koncových bodů vybrané součásti – ukládání do čtyř různých kopek (Obrázek uvnitř – umístění pomocného stolu pro umístění součástí) [20]

Při rozpoznávání a uchopení této součásti musíme počítat s určitým problémem. Musí být znám a také musí být rozpoznatelný celý objekt k uchopení (Obr. 57).

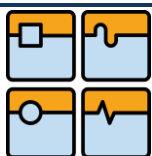


Obr. 57.: Požadovaná struktura k rozpoznání součásti [21]

Součást je uchopována mnoha způsoby, doslova řečeno za možné oblasti bodů (Obr. 55), přesto je v 85% uchopována za oblast bodů (část součásti) dle (Obr. 58).



Obr. 58.: Ukázka nepravděpodobnější plochy k uchopení (85%) [20]

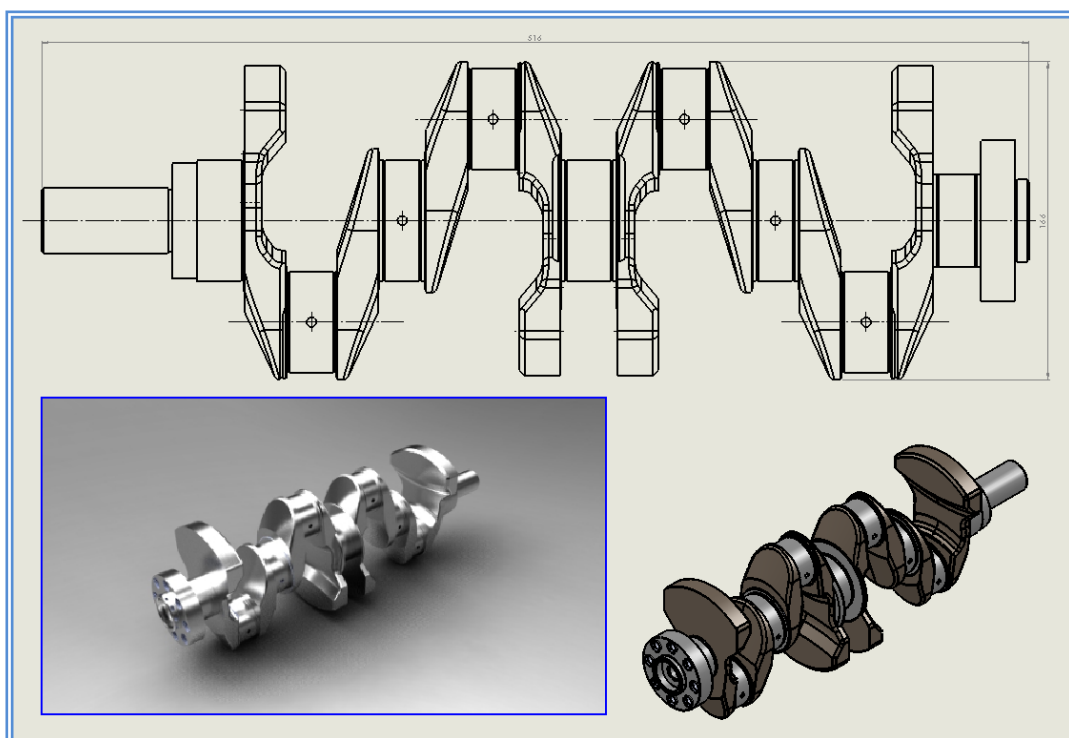
**Bezpečnost uchopení a rizika:**

- Součást je v 85% vybírána za plochu, která je znázorněná na (Obr. 58) z důvodu rovné plochy pro uchopení. Zbylé oblasti k uchopení jsou také možné, vzniká však větší riziko upadnutí součásti.
- Protože součást je v 85% uchopována mimo těžiště nebo za nerovné oblasti, je vhodné navrhnout větší tlak při uchopení součásti pomocí vakuové přísavky – zvoleno stálé sání média při vybrání součásti a uložení do konečné polohy.
- Riziko uchopení vzniká při možné poloze součásti v kolmé poloze – možný vznik kolize s bednou nebo nemožné uchopení součásti (možnost návrhu ztráseče součástí).

5.2.3. Součást č. 3 – (Kliková hřídel)

Součást je komplikovaného tvaru, skládající se z 5-ti válcových ploch, které jsou umístěny soustředně a ze 4 válcových ploch, které jsou mimo hlavní osu součásti (Obr. 59) [22]. Součást slouží pro uchycení 4 ojnic + pístů čtyř válcového motoru. Předpoklady pro uchycení součásti jsou:

- Přibližný rozměr součásti (max. šířka 166mm, délka 516 mm)
- Součást je z bedny vybírána za pevné body – koncová poloha součásti neznámá
- Orientace součásti v bedně je nahodilá – počítat s podmínkou nahodilého uspořádání jen ve vodorovné poloze
- Neuvažovat uchopení ve svislé poloze
- Vyvarovat se kolizím s průmyslovou paletou – vysoká výška palety
- Bezpečnost uchopení



Obr. 59.: Součást č. 3 – tvar a rozměr[Vlastní tvorba]

Obsah

Obecné uchopení součástí:

Možné způsoby uchopení součástí:

- Pneumatické čelisti (masivnější stavby)

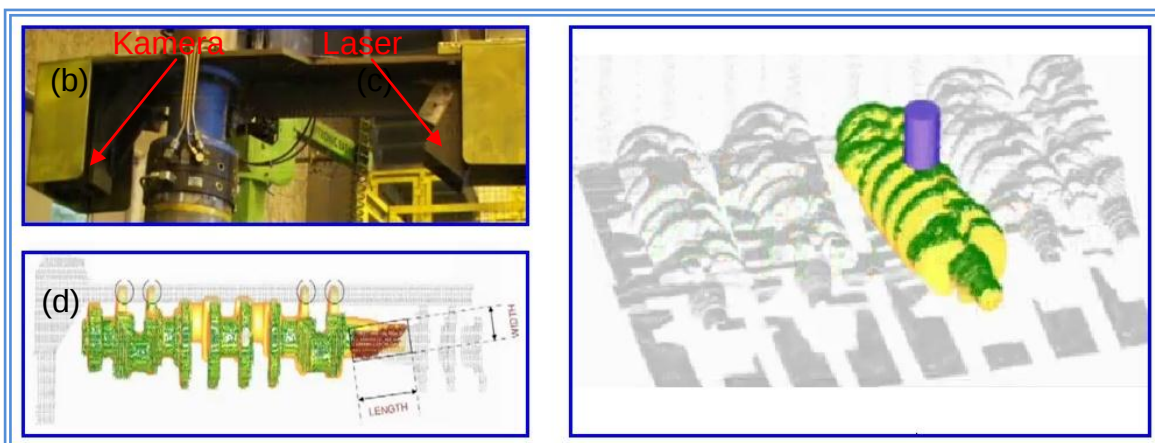
Součásti jsou v bedně orientovány pouze ve vodorovné nahodilé poloze (Obr. 60). Tedy, součást se nevyskytuje v bedně ve svislé poloze. Pro uchopení součásti je zvolena technologie uchopení pomocí pneumatických čelistí specifického tvaru. Budeme uvažovat uchopování pouze za válcové plochy určené pro uložení klikové hřídele nebo válcové plochy pro uložení ojnice (Obr. 59). Ostatní plochy pro uchopení jsou nevyhovující.



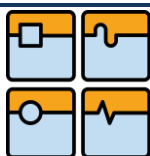
Obr. 60a.: Reálný pohled na rozmístění součástí č. 3 v bedně – náhodné rozmístění součástí pouze ve vodorovné poloze [22]

➤ Strategie rozpoznávání klikových hřídelů v bedně:

Pro tento složitý tvar součásti je zvolen systém přímého 3-D rozpoznávání umístěný přímo na přírubě robota (Obr. 60b). Pomocí této metody je získán celý obraz součásti (Obr. 60c), kde můžeme vidět zelené oblasti, které jsou nejvhodnější pro uchopení. Pro přesné uchopení za danou válcovou plochu je potřeba získat hraniční body mezi hranicí jedné válcové plochy (Obr. 60c – oblasti v kroužku). Konečným bodem je získání souřadnic pro najetí koncového efektoru do středu součásti pro bezpečné uchopení. (Obr. 60d)

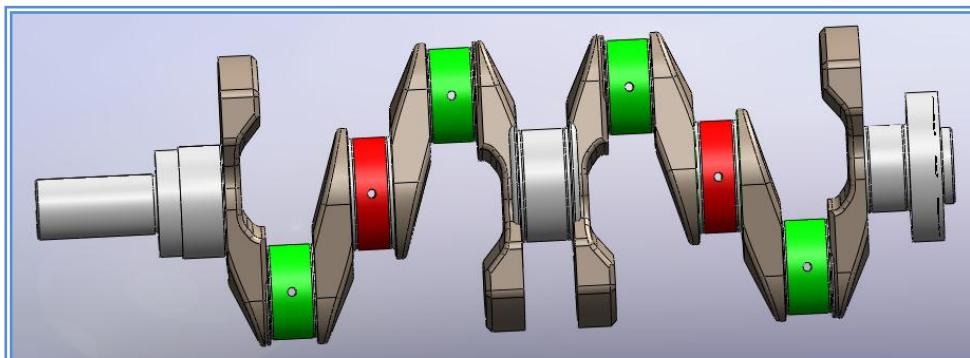


Obr. 60b,c,d.: Rozpoznávací systém, (b)Koncový efektor [22], (c) Oblast možného uchopení [22], (d) Strategie uchopení – střed součásti [22]



➤ Uchopení pomocí pneumatických čelistí:

Strategie uchopení součásti bude možná pouze za válcové plochy určené pro uložení klikové hřídele (Obr. 61 – červeně znázorněno) nebo za válcové plochy pro uložení ojnic (Obr. 61 – zeleně znázorněno).



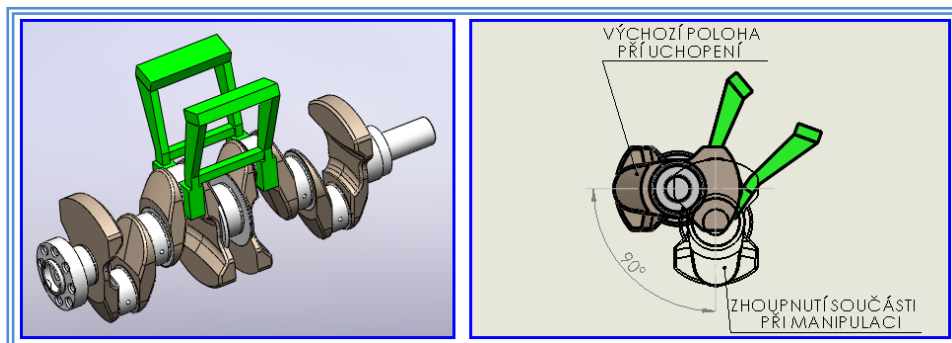
Obr. 61.: Strategie možných oblastí pro uchopení [Vlastní tvorba]

Budeme tedy uvažovat tyto dvě metody. Obě metody mohou být uchopovány stejným koncovým efektem, rozdílné vzdálenosti mezi jednotlivými čelistmi. Uchopení bude založeno na najetí koncového efektoru na střed součásti a pomocí speciálního designu efektoru dojde k sevření součásti (Obr. 62).

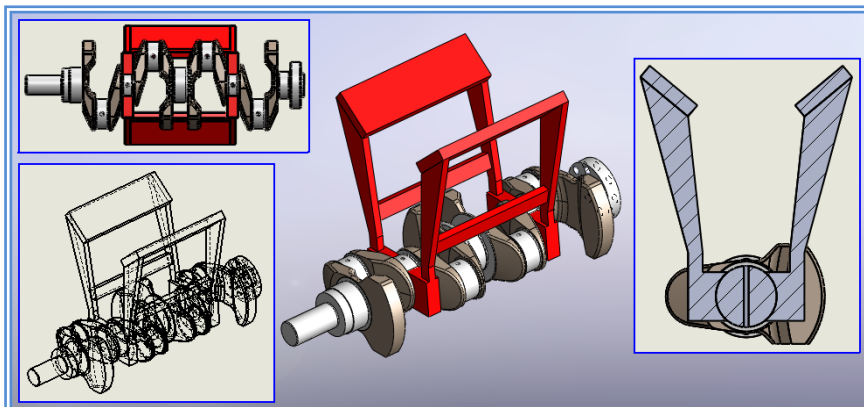


Obr 62.: Speciální design koncového efektoru pro uchopení klikové hřídele z bedny [22]

- Uchopení součásti za válcové plochy určené pro uložení ojnic je znázorněno na (Obr. 63a). Nevýhodou tohoto způsobu je uchopení mimo osu součásti a vždy dojde k zhrounutí (Obr. 63b). Mohlo by dojít k poškození rozpoznávacího systému nebo součásti.
- Uchopení součásti za válcové plochy určené pro uložení klikové hřídele je znázorněno na (Obr. 64). Výhodou způsobu je uchopení součásti za hlavní osu souměrnosti, nebude tedy docházet k zhrounutí.



Obr. 63.: (a) Možný způsob uchopení [Vlastní tvorba], (b) Možné riziko zhrounutí součásti při uchopení za válcové plochy znázorněné zeleně v (Obr. 61) [Vlastní tvorba]



Obr 64.: Možný způsob uchopení za válcové plochy znázorněné červeně v (Obr. 61) [Vlastní tvorba]

Bezpečnost uchopení a rizika:

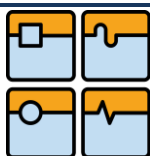
- Z důvodu bezpečnosti uchopení a vyvarování se kolizím je zvolen způsob uchopení součásti za válcové plochy pro uložení klikové hřídele.
- Tímto způsobem docílíme pevného uchopení (vyšší upínací silou nebude docházet k pohybu součásti okolo vlastní osy)
- Kdyby byla součást zakládána do požadované koncové polohy, je třeba navrhnout mechanismus zajištění součásti proti pohybu.
- Dále může mít koncový efektor zdrsňený povrch na upínací ploše čelistí – prokluz můžeme snížit na nulu
- Riziko upnutí vzniká v případě na (Obr. 63) při upnutí mimo hlavní osu součásti – pokud by však prokluz nebyl velký a byla by požadovaná koncová poloha, jak ukazuje obrázek, součást by tímto způsobem mohla být také uchopována (Z efektivního hlediska budeme stále uvažovat způsob uchopení dle (Obr. 64)).

5.2.4. Závěr a zhodnocení uchopování součástí složitějšího tvaru

Uchopení součástí složitějšího tvaru se stále vypořádává s určitými problémy. Systém uchopení je založený na stejném principu jako u součástí jednoduššího tvaru, ale u součástí složitějšího tvaru je problém s přímým uchopením z bedny do požadované koncové polohy. Ve většině případů je tedy třeba do systému zahrnout mezi-polohu, kde dojde k přesnému pře-uchopení součásti.

Protože se jedná o součásti větší hmotnosti nebo uchopení součásti mimo těžiště, je třeba uvažovat menší rychlost manipulace. Co se týče koncového efektoru, každý efektor je specifický pro danou součást (použití tedy jen pro jeden daný typ součásti – vyšší cena). Skladba koncového efektoru je komplikovanějšího tvaru a použitých komponent.

Ve většině případů je používán systém rozpoznávání pomocí laserové triangulace z důvodu komplikovanějších tvarů součástí. Tento systém je cenově náročnější, ale použití Stereo vize je nevhodný z důvodu komplikovanějšího rozpoznávání a delšího času jednoho cyklu.

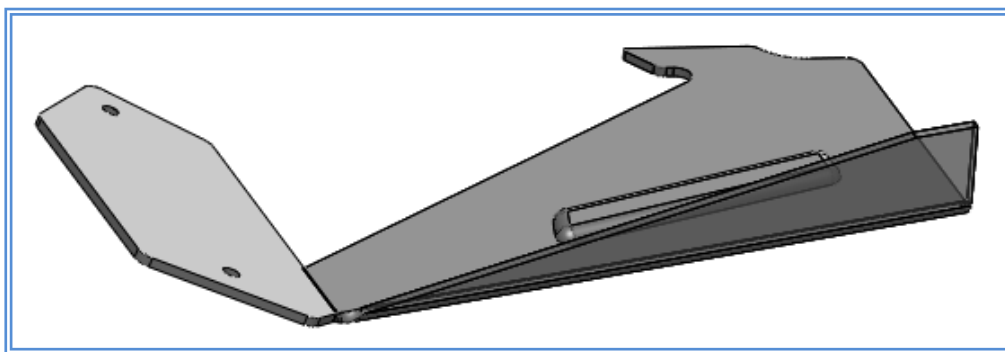


6. SPECIFIKACE PRAKTICKÉHO PROBLÉMU

Cílem praktické části diplomové práce je navržení postupu uchopení daných součástí (které jsou v průmyslové paletě umístěny neorientovaně) z počáteční polohy do požadované koncové polohy. Dále navrhnout chapadlo pro bezpečné uchopení součástí s uvažovanou kolizní ochranou OPS a FTC senzorem.

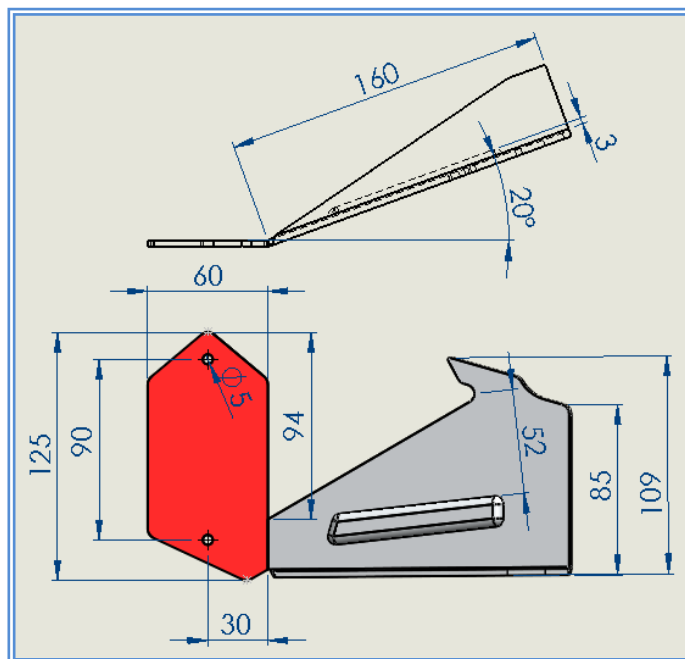
6.1. Specifikace součásti

Tato součást je specifitějšího tvaru. Jedná se o plechový výlisek, který je znázorněn na (Obr. 65). Tato součást je určena jako součástka karoserie BMW automobilů.



Obr. 65.: 3-D model zadané součásti[Vlastní tvorba]

Na (Obr. 66) jsou detailně znázorněny základní rozměry součásti pro specifikace uchopení součásti.



Obr. 66.: Základní rozměry zadané součásti (pouze orientační)[Vlastní tvorba]

6.2. Výrobní sortiment

Součást námi požadovaného tvaru je identická pro všechny typy BMW karosérií. Bude tedy uvažována jen jedna velikost této součástky.

7. NÁVRH ZPŮSOBU UCHOPENÍ

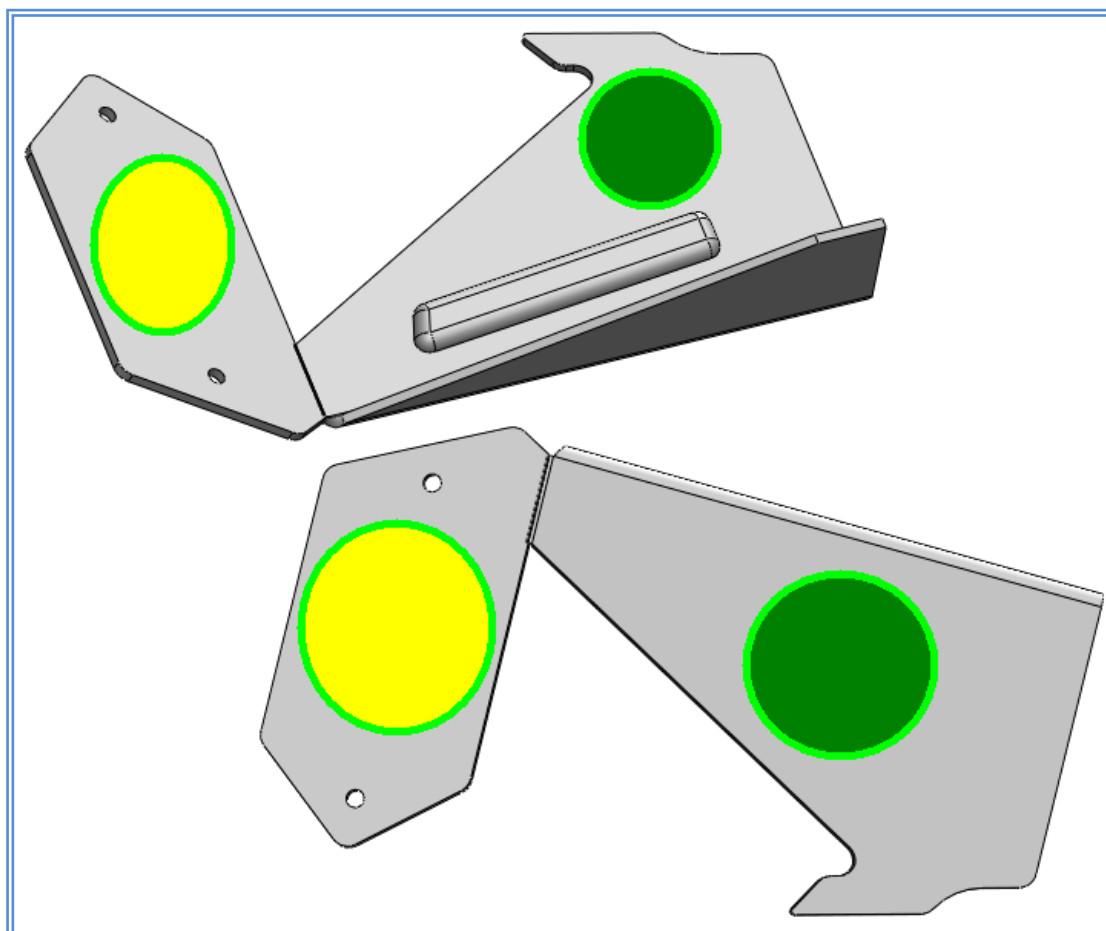
Způsob uchopení bude z části založený na uchopení a rozpoznávání součástí z kapitoly č. 5 (součást složitějšího tvaru č. 3 – plechový výlisek). V tom případě byl uvažován pouze hrubý výběr součástí z bedny, který bude identický i s výběrem naší součásti. My budeme uvažovat umístění součásti do známé požadované koncové polohy (požadována mezi-poloha)

Vzhledem ke složitosti součásti a různým orientacím v bedně je zvolen způsob uchopení:

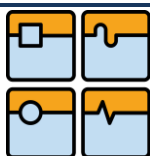
- Uchopení na hrubo z bedny do mezi-polohy
- Přesné pře-uchopení v mezi-poloze
- Umístění součásti do požadované koncové polohy

7.1. Způsob uchopení na hrubo

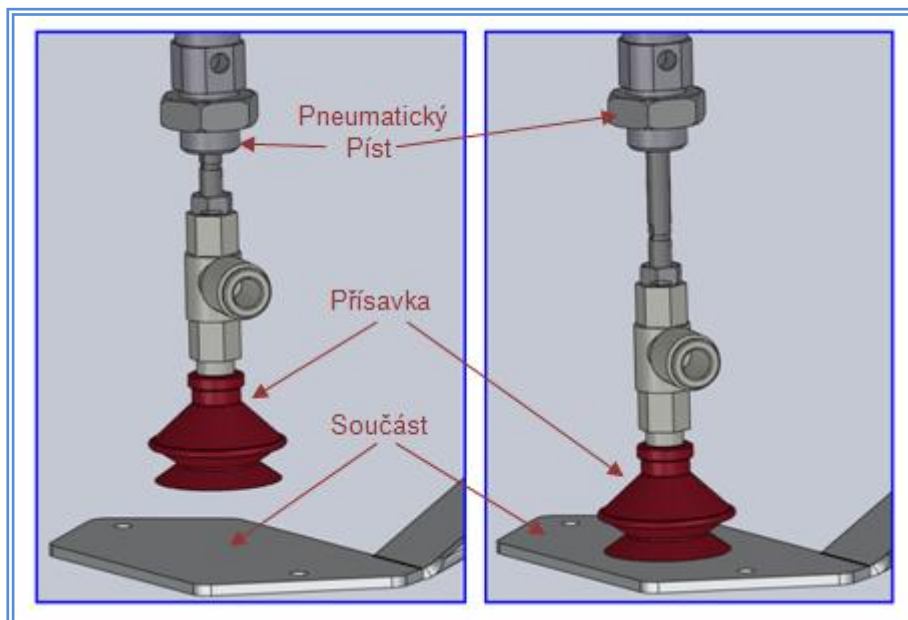
Pro možný způsob uchopení v mezi poloze volím jednoduchou vakuovou přísavku. Budou uvažovány možné oblasti bodu uchopení. Na (Obr. 67) jsou znázorněny nejvhodnější oblasti pro uchopení součásti ve dvou pohledech. Žlutě jsou označeny nejvhodnější oblasti pro uchopení mnou zvolených nejvhodnějších oblastí.



Obr. 67.: Vhodné oblasti pro hrubý výběr pomocí jednoduché přísavky (Žlutě – nejvhodnější oblasti k uchopení, Zeleně – další možné oblasti k uchopení.[Vlastní tvorba]



Možný způsob uchopení za výše uvedené oblasti je znázorněn pomocí ilustrativní přísavky na (Obr. 68). Vpravo je znázorněn příjezd přísavky s pístem nad softwarem zvolenou nejvhodnější oblast pro uchopení v kolmém směru. V druhé fázi dojde k vysunutí pístu a přisátí součástky. Poté následuje umístění do mezi-polohy.



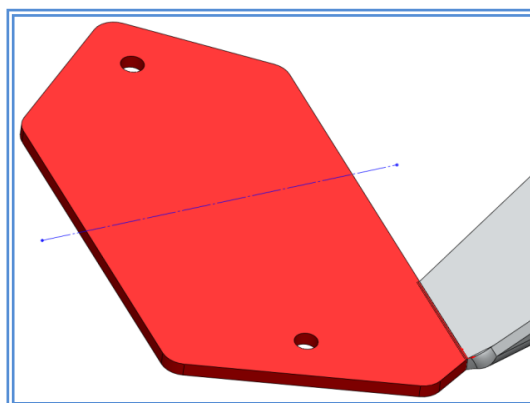
Obr. 68.: Ukázka možného hrubého uchopení součásti pomocí jedné přísavky[Vlastní tvorba]

7.2. Způsob pře-uchopení v mezi-poloze

Pro uchopení součásti v mezi-poloze do požadované koncové polohy byly zvoleny následující komponenty:

- 2 vakuové přísavky
- Dorazy
- Paralelní čelisti

Oblast (body, plocha) přesného uchopení je znázorněno na (Obr. 69). Součást bude uchopována najetím koncového efektoru na střed uvažované plochy (Obr. 69 – znázorněna osou). Tato část součásti je pro přesné uchopení nejvhodnějším kandidátem. Ostatní plochy jsou komplikované nebo nevyhovující.

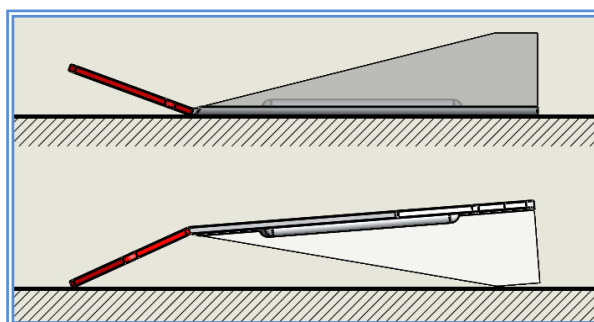


Obr. 69.: Vhodná oblast pro přesné uchopení součásti v mezi-poloze [Vlastní tvorba]

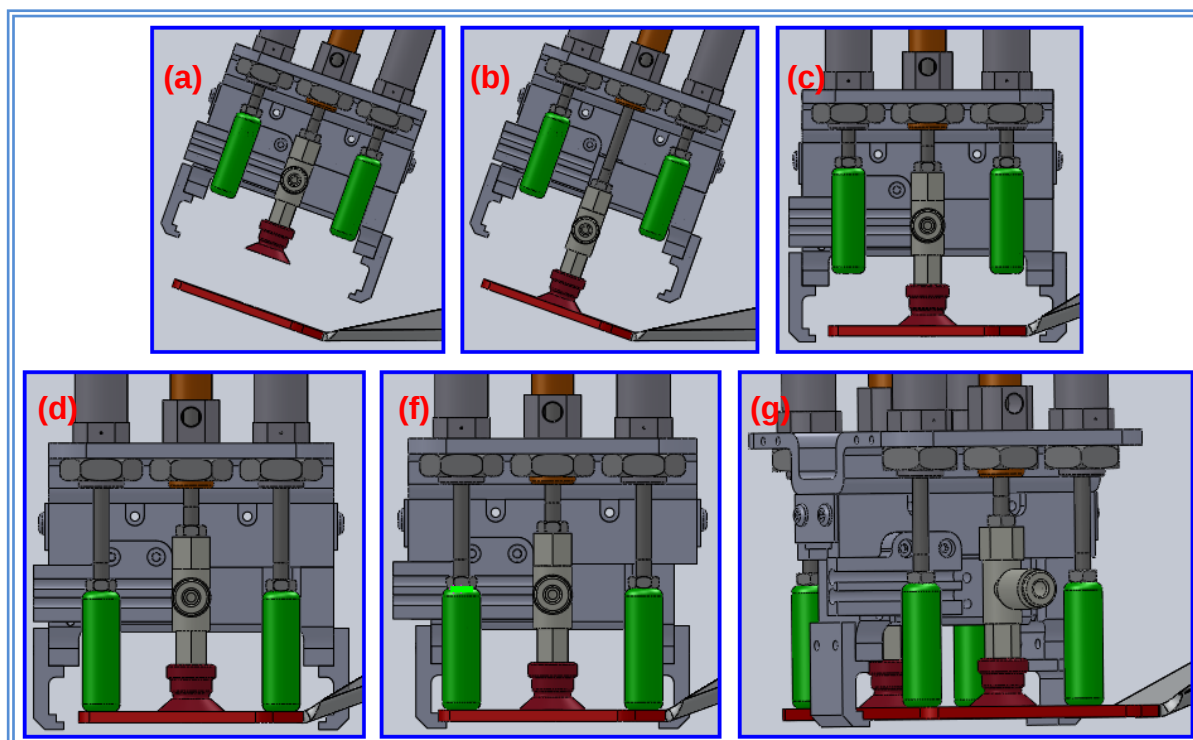
Dle dvou možných poloh součásti na (Obr. 70) je navrhnut postup přesného uchopení součásti. Tyto kroky musí následovat v přesném cyklu, jak je ukázáno na (Obr. 71), aby se docílilo požadované polohy pro přesné založení do zásobníku těchto součástí.

Cyklus přesného uchopení má následující postup:

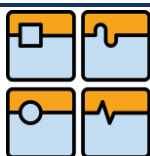
- Manipulace koncového efektoru kolmo na oblast uchopení (Obr. 71a)
- Vysunutí dvou přísavek pomocí pneumatických pístů a přisátí součásti (Obr. 71b)
- Zpětné navrácení pneumatických pístů do počáteční polohy (Obr. 71c)
- Z důvodu nerovnosti, dojde k vysunutí dorazů a seřazení upínací plochy do vodorovné polohy (Obr. 71d)
- Následně dojde k paralelnímu sevření upínací plochy (Obr. 71e) pomocí pneumatických čelistí (po sevření čelistmi dojde k vypnutí přívodu média do přísavek)
- Manipulace do koncového bodu a umístění součásti



Obr. 70.: Dvě možné pozice po umístění z hrubého výběru (tedy dvě polohy pro uchopení z mezi-polohy)[Vlastní tvorba]



Obr. 71 (a-e): Postup uchycení součásti v mezi-poloze[Vlastní tvorba]

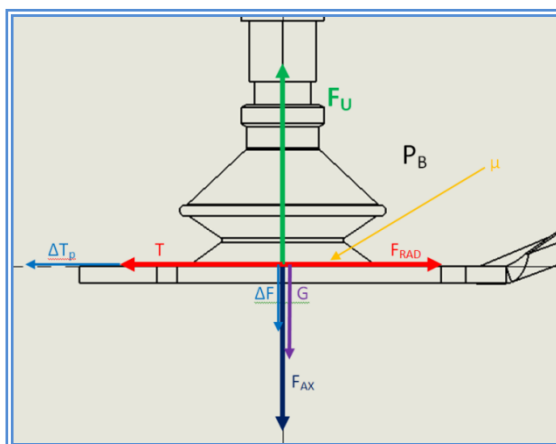


7.3. Stanovení silových poměrů pro uchopení součásti

Hlavní problém výše uvedených způsobů uchopení (hrubého výběru a přesného pře-uchopení) je stanovení úchopné síly přísavky, dorazů a čelistí. To bude předmětem následujících výpočtů.

7.3.1. Stanovení silových poměrů pro hrubý výběr součásti

Na (Obr. 72) jsou znázorněny silové poměry mezi uchopovaným předmětem a vakuovou přísavkou. Jednotlivé symboly a vstupní hodnoty jsou popsány v následujících tabulkách. Pro výpočet bude uvažován nejvzdálenější bod úchopu od těžiště.



Obr. 72.: Rozložení sil působících při uchopení součásti pomocí přísavky [Vlastní tvorba]

➤ Rovnovážný stav:

- Odvozené vztahy pro výpočet [23], [24]:

$$p = \frac{F_U - m \times (g + a)}{A} [\text{bar}] \quad [7.1]$$

$$D_H = \sqrt{\frac{4 \times m \times g \times s \times 1000}{\pi \times p \times z}} [\text{mm}] \quad [7.2]$$

$$F_U = p \times A = p \times \frac{D^2 \times \pi}{4} [\text{N}] \quad [7.3]$$

Tab. č. 1 Vstupní hodnoty 1 [Vlastní tvorba]

Zkratka + význam	Množství
p (vstupní tlak)	-80(kPa)
m (hmotnost součásti)	0,18kg
Materiál	Hliník
g (gravitační zrychlení)	8,91

Tab. č. 2 Použité zkratky 1 [Vlastní tvorba]

Zkratka	Význam
p	Vstupní tlak
F _U	Úchopná síla přísavky
A	Plocha upnutí
D _H	Průměr přísavky pro hrubý výběr
s	Bezpečnostní faktor (s=2-3)
z	Počet přísavek

Pro mnou zvolený vstupní podtlak $p = -80 \text{ kPa}$ ($0,8 \text{ bar}$) byl vypočítán minimální průměr přísavky $D_H = 8,3 \text{ mm}$ (dle tabulky zvolen $D_H = 32 \text{ mm}$). Průměr přísavky s rozměrem 32 mm byl zvolen větší z důvodu požadované úchopné síly pro podmínku bezpečnosti uchopení mimo těžiště.

Volba požadované úchopné síly:

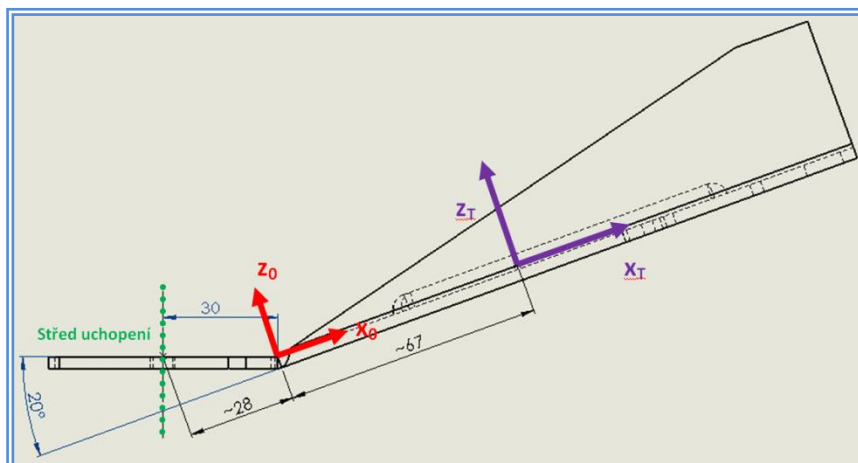
Tab. č.3 Teoretická nosná síla přísavek [N] [Vlastní tvorba], [24]

Ø přísavky[mm]	2	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	50
Plocha přísavky [cm ²]	0,031	0,126	0,283	0,503	0,785	1,33	2,01	3,14	4,91	8,04	12,6	19,6
Vakuum [kPa]	~85	0,264	1,07	2,41	4,28	6,67	11,3	17,1	26,7	41,7	68,3	107
	~80	0,248	1,01	2,26	4,02	6,28	10,6	16,1	25,1	39,3	64,3	101
	~75	0,233	0,945	2,12	3,77	5,89	9,98	15,1	23,6	36,8	60,3	94,5
	~70	0,217	0,882	1,98	3,52	5,5	9,31	14,1	22	34,4	56,3	88,2
	~65	0,202	0,819	1,84	3,27	5,1	8,65	13,1	20,4	31,9	52,3	81,9
	~60	0,186	0,756	1,7	3,02	4,71	7,98	12,1	18,8	29,5	48,2	75,6
	~55	0,171	0,693	1,56	2,77	4,32	7,32	11,1	17,3	27	44,2	69,3
	~50	0,155	0,63	1,42	2,52	3,93	6,65	10,11	15,7	24,6	40,2	63
	~45	0,14	0,567	1,27	2,26	3,53	5,99	9,05	14,1	22,1	36,2	56,7
	~40	0,124	0,504	1,13	2,01	3,14	5,32	8,04	12,6	19,6	32,2	50,4

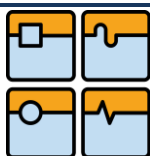
Dle (Tab. č.3) a parametrů $p = -80 \text{ kPa}$, $D_H = 32 \text{ mm}$ byla získána požadovaná síla pro uchopení $F_U = 64,3 \text{ N}$. Na základě rovnice [7.3] byla zkontrolována hodnota skutečné úchopné síly $F_U = 64,31 \text{ N}$.

➤ Kontrola dynamické podmínky rovnovážného stavu:

Na (Obr. 73) jsou znázorněny požadované vzdálenosti nejvzdálenějšího bodu uchopení pro kontrolu dynamické podmínky.



Obr. 73.: Nákres nejvzdálenějšího bodu od těžiště s potřebnými rozměry [Vlastní tvorba]



- Odvozené vztahy pro výpočet [23]:

$$F_U \geq n_1 \times k_1 \times F_S [N] \quad [7.4]$$

$$k_1 = 1(r \div R) \quad [7.5]$$

$$F_G = m \times g [N] \quad [7.6]$$

Tab. č. 4 Vstupní hodnoty 2 [Vlastní tvorba]

Zkratka + význam	Množství
r (vzdálenost mezi bodem uchopení a těžištěm)	68 mm
R (vnější poloměr přísavky)	16mm

Tab. č. 5 Použité zkratky 2 [Vlastní tvorba]

Zkratka	Význam
n_1	Koeficient bezpečnosti proti odtržení ($n_1 = 4-5$)
k_1	Excetrický koeficient pro počáteční síly
F_G	Tíhová síla
F_S	Součet ostatních sil

Na základě rovnic [7.5], [7.6] byly vypočítány požadované hodnoty pro $k_1 = 6,94$ a $F_G = 1,77N$. Při rovnovážném stavu bude do soustavy ostatních působících sil zahrnuta pouze tíhová síla součásti F_G . Můžeme tedy stanovit výslednou podmínku rovnováhy, kdy $64,3N \geq 49,2N$ – podmínka VYHOVUJE.

➤ Výpočet úchopné síly při pohybu (s působením dalších vlivů):

- Odvozený vztah pro výpočet [23]:

$$F_{U_{Poh.}} = \left(p \times A \times n \times \eta \times z \times \frac{1}{s} \right) + m \times g [N] \quad [7.7]$$

Tab. č. 6 Použité zkratky 3 [Vlastní tvorba]

Zkratka	Význam
$F_{UPoh.}$	Síla při pohybu součásti
n	Deformační koeficient ($n=0,6 - 0,9$)
η	Systémová účinnost ($\eta= 10-100\%$)

Dle potřebných hodnot z předchozích výpočtů s uvažování deformačního koeficientu $n=0,9$ a systémové účinnosti $\eta=1$ je stanovena úchopná síla při pohybu součásti $F_{UPoh.} = 30,7N$. Z hlediska dynamické podmínky je $30,7N \geq 49,2N$ NEVYHOVUJÍCÍ. V následujícím výpočtu budeme tedy uvažovat druhý způsob výpočtu při zrychlení ramene robota.

➤ Výpočet s uvažováním pohybu ramena robota:

V předchozím případě byl uvažován rovnovážný stav součásti (tedy pouhé uchopení součásti), kde byl zvolen mnohem větší průměr přísavky, než vypočtená hodnota z důvodu splnění dynamické podmínky dle rovnice [7.4]. V tomto případě bude uvažován v systému pohyb robota, kterým bude stanovena skutečná požadovaná síla.

- Působení sil ve směru „z“: F_{AX} , F_U , z důvodu podtlaku p_B působí F_B , ΔF .
- Působení sil ve směru „x“: F_{RAD} , T , z důvodu tření působí ΔT_p
- Potřebné vztahy pro výpočet [24]:

$$\Delta T_p = \Delta F \times f_K [N] \quad [7.8]$$

$$F_{Uteor} = \frac{F_{RAD}}{f_K} + F_{AX} + F_B [N] \quad [7.9]$$

$$F_{Uskut} = n \times \left(\frac{F_{RAD}}{f_K} + F_{AX} \right) [N] \quad [7.10]$$

$$F_U = n_2 \times \frac{F_{RAD}}{f_K} + n_1 \times F_{AX} [N] \quad [7.11]$$

$$D_H = \sqrt{\frac{4 \times F_U}{\pi \times \Delta p}} \times 1000 [mm] \quad [7.12]$$

Tab. č. 7 Vstupní hodnoty 3 [Vlastní tvorba]

Zkratka + význam	Množství
a_{TAX} (max. zrychlení robota – axiální směr)	12-14 m*s ²
a_{TRAD} (max. zrychlení robota – radiální směr)	12-14 m*s ²
f_K (koeficient tření (ocel-ocel))	0,5

Tab. č. 8 Použité zkratky 4 [Vlastní tvorba]

Zkratka	Význam
ΔT_p	Třecí síla
ΔF	Síla od působení plochy přísavky
F_{RAD}	Síla působící v radiálním směru
F_{AX}	Síla působící v axiálním směru
F_B	Síla od působení podtlaku přísavky
n	Obecný koeficient bezpečnosti
n_2	Koeficient bezpečnosti proti posunutí ($n_2 = 6-8$)
Δp	Vstupní podtlak

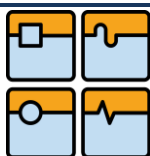
Bude také uvažovat rovnovážný stav soustavy, kde $\Delta F=0$ a síla F_B je velmi náročná pro určení. Budeme tedy vycházet z poznatku, že $F_B \ll F_{AX}$ a tuto sílu lze zanedbat. Při aplikaci koncového efektoru na rameno robota je zřejmé, že robot dosahuje maximálních hodnot zrychlení v jakémkoli směru pohybu a je tedy možno uvažovat $a_{TAX} = a_{TRAD} = a_T$.

Dle předchozí podmínky můžou být stanoveny hodnoty potřebných sil F_{AX} a F_{RAD} pro výpočet požadované úchopné síly [24].

$$F_{AX} = m \times g + m \times a_T = m \times (g + a_T) [N] \quad [7.13]$$

$$F_{RAD} = m \times a_T [N] \quad [7.14]$$

Pro výpočet F_{AX} byla uvažována dolní mez max. zrychlení 12m/s² a tato síla je rovna $F_{AX} = 3,93N$. Při výpočtu F_{RAD} byla uvažována horní mez max. zrychlení 14m/s², kde byla získána hodnota $F_{RAD} = 2,52N$.



Dle rovnice [7.11] je získána skutečná úchopná síla $F_U=59,97\text{N}$ a dosazením této síly do rovnice [7.12] je vypočten min. průměr přísavky $D_H=30,9\text{mm}$. Na základě těchto dvou výpočtů byl zvolen nejbližší vyšší průměr přísavky **$D_H=32\text{mm}$** a z toho plynoucí úchopná síla (Tab. č.3) **$F_U=64,3$** .

Dle rovnice [7.4] byla stanovena stejná dynamická podmínka, jako v předchozím případě, kde byl zvolen mnohem větší průměr přísavky než byl požadovaný. V tomto případě byl tento průměr získán přímo s uvažováním pohybu robota a zvolen nejbližší vyšší průměr přísavky. Tedy **$64,3\text{N} \geq 49,2\text{N}$ – podmínka VYHOVUJE.**

7.3.2. Stanovení silových poměrů pro přesné pře-uchopení součástí

Při tomto výpočtu budeme vycházet ze vztahů z předchozí kapitoly pro stanovení silových poměrů pro hrubý výběr součástí. V tomto případě však budou uvažovány dvě přísavky. Lišit se budou pouze výpočty pro potřebnou sílu dorazů a úchopnou sílu pneumatických čelistí.

7.3.2.1. Výpočet uchopení pomocí vakuových přísavek

➤ Rovnovážný stav:

Tab. č.9 Použité zkratky 5 [Vlastní tvorba]

Zkratka	Význam
D_P	Průměr přísavky pro přesné pře-uchopení (2x)
F_{U1}	Úchopná síla pro jednu přísavku

Pro mnou stejný zvolený podtlak jako v předchozím případě $p=-80\text{kPa}$ a pomocí rovnice [7.2] byl vypočítán min. průměr přísavky pro uchopení v mezi-poloze **$D_P=5,93\text{mm}$** . Dle tabulky zvolen průměr **$D_P=20\text{mm}$** . Tento průměr byl také záměrně zvolen větší z důvodu požadované úchopné síly pro podmínku bezpečného uchopení mimo těžiště.

Volba požadované úchopné síly:

Tab. č.10 Teoretická nosná síla přísavek-pouze výše z tab.č.3 [N] [Vlastní tvorba], [24]

Ø přísavky[mm]		2	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	50
Plocha přísavky [cm ²]		0,031	0,126	0,283	0,503	0,785	1,33	2,01	3,14	4,91	8,04	12,6	19,6
Vakuum [kPa]	~85	0,264	1,07	2,41	4,28	6,67	11,3	17,1	26,7	41,7	68,3	107	167
	~80	0,248	1,01	2,26	4,02	6,28	10,6	16,1	25,1	39,3	64,3	101	157
	~75	0,233	0,945	2,12	3,77	5,89	9,98	15,1	23,6	36,8	60,3	94,5	147
	~70	0,217	0,882	1,98	3,52	5,5	9,31	14,1	22	34,4	56,3	88,2	137
	~65	0,202	0,819	1,84	3,27	5,1	8,65	13,1	20,4	31,9	52,3	81,9	127

Dle (Tab. č.10) a parametrů $p=-80\text{kPa}$, $D_P=20\text{mm}$ byla získána požadovaná síla pro uchopení $F_{U1}=25,1\text{N}$. Protože jsou uvažovány dvě přísavky je potřeba výslednou

sílu vynásobit dvěma, tedy $F_U=50,2\text{N}$. Na základě rovnice [7.3] byla zkontrolována hodnota skutečné úchopné síly $F_{U1}= 25,12\text{N}$ a následným vynásobením $F_U=50,24\text{N}$.

➤ Kontrola dynamické podmínky rovnovážného stavu:

Pro výpočet budou uvažovány vzdálenosti dle (Obr. 74) a vztahy [7.4], [7.5], [7.6].

Na základě rovnic [7.4], [7.5] a uvažování dvou přísavek byly vypočítány požadované hodnoty pro $k_1= 5,75$ a tíhová síla zůstane stejná jako v předchozím případě $F_G= 1,77\text{N}$. V rovnovážném stavu bude také uvažována jen tíhová síla, jako v předchozím případě. Můžeme tedy stanovit výslednou podmínku dynamické rovnováhy dle rovnice [7.6], kdy $50,2\text{N} \geq 40,6\text{N}$ – **podmínka VYHOVUJE**.

➤ Výpočet úchopné síly při pohybu (s působením dalších vlivů):

V tomto případě budeme vycházet ze stejné rovnice [7.7], deformačního koeficientu $n=0,9$ a systémové účinnosti $\eta=1$. Hodnota $F_{UPoh.}= 24,4\text{N}$ a dynamická podmínka [7.4] je rovna $24,4\text{N} \geq 40,6\text{N}$ – **NEVYHOVUJE**. Budeme tedy uvažovat výpočet pomocí druhého způsobu s uvažováním pohybu ramena robota.

➤ Výpočet s uvažováním pohybu ramena robota:

Při výpočtu budeme vycházet z předchozích rovnic [7.8], [7.9], [7.10], [7.11], [7.12], [7.13], [7.14].

Pomocí rovnic [7.13], [7.14] byly stanoveny stejné hodnoty požadovaných sil jako v předchozím případě $F_{AX}=3,93\text{N}$ a $F_{RAD}= 2,52\text{N}$. Dle rovnice [7.11] je získána skutečná úchopná síla pro dvě přísavky $F_U=59,97\text{N}$. Podělením rovnice [7.11] dvěma je získána skutečná úchopná síla $F_{U1}= 29,98\text{N}$ pro jednu přísavku a následné vypočítání min. průměru přísavky $D_P= 21,84\text{mm}$ pomocí rovnice [7.12].

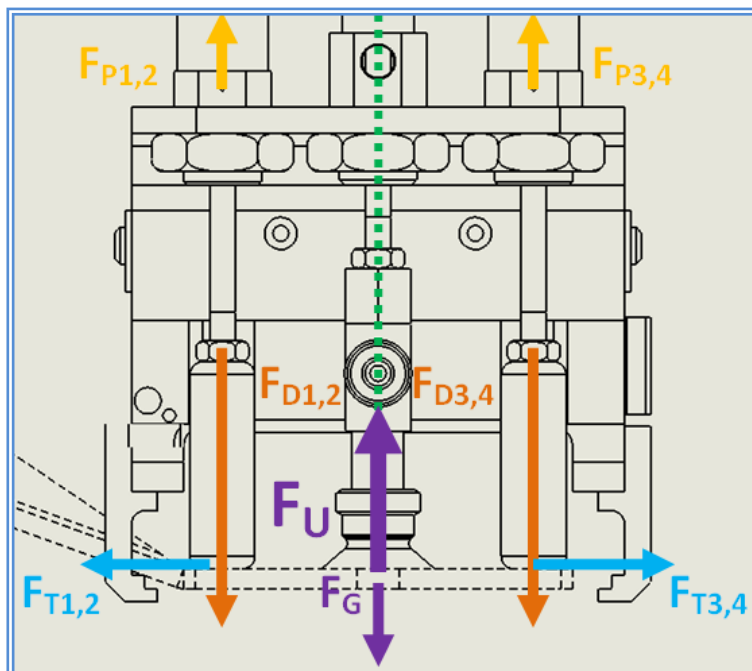
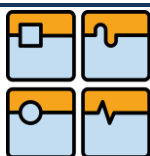
Na základě těchto dvou výpočtů byl zvolen průměr přísavky $D_P=20\text{mm}$ a z toho plynoucí úchopná síla (Tab. č. 3) $F_U= 25,1 \times 2= 50,2$. Průměr D_P jedné přísavky byl zvolen nižší, protože uchopení pomocí dvou přísavek bude sloužit pouze k uchopení a podzvednutí od např. plochy stolu. Poté dojde k zajištění pomocí pneumatických čelistí. Pro uchopení pomocí dvou přísavek tedy není potřeba uvažovat zrychlení ramene robota a podmínka dynamické rovnováhy je tedy identická s rovnovážným stavem $50,2\text{N} \geq 40,6\text{N}$ – **podmínka VYHOVUJE**.

7.3.2.2. Výpočet vysunutí dorazů pro zarovnání součástí

Při tomto výpočtu nebudeme uvažovat žádné výpočty, pouze uvažování podmínky rovnováhy sil. Na (Obr. 74) můžeme vidět působení možných sil při vysunutí pístů k zarovnání uchopné plochy do vodorovné polohy.

Tab. č.11 Použité zkratky 6 [Vlastní tvorba]

Zkratka	Význam
F_P	Síla zpětné pružiny pneumatického pístu
F_D	Síla výsunu pneumatického válce
F_T	Třecí síla



Obr. 74.: Silové poměry při vysunutí dorazů[Vlastní tvorba]

Při uchopení součásti a následném vysunutí dorazů bude docházet k minimálnímu tření. Když je součást vychýlena, dochází k tření na straně jedné a následně i na straně druhé v menším poměru opačného směru. Síla je tedy minimální $F_{T1,2} - F_{T3,4} = F_T < 0$, lze ji tedy zanedbat.

Lze tedy stanovit následující podmínku:

$$F_U \geq (n_1 \times k_1 \times F_S) + (F_D - F_P)[N \geq N] \quad [7.15]$$

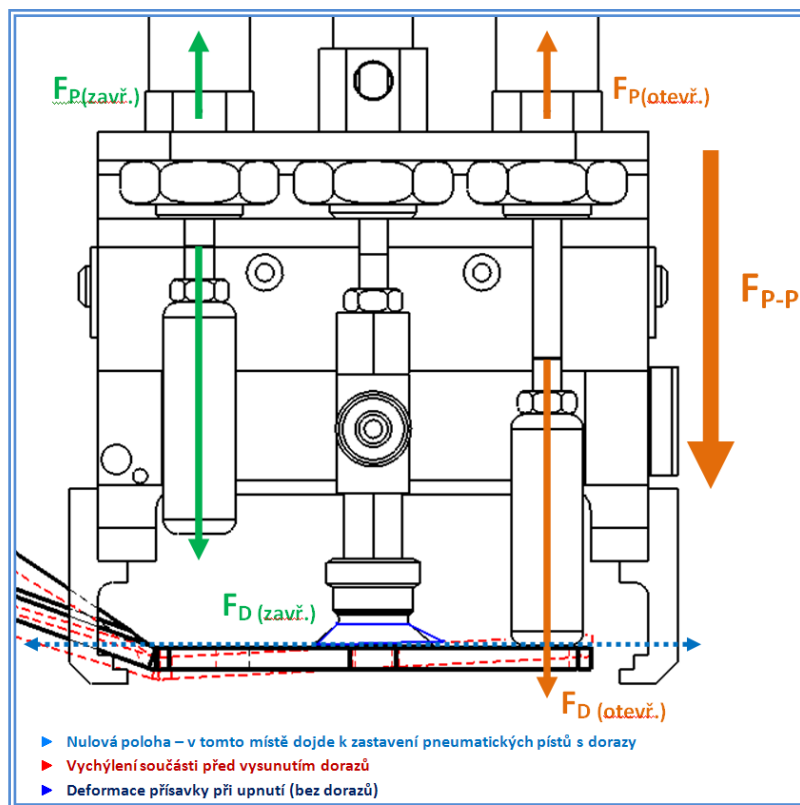
Síly F_D a F_P jsou síly působící z pneumatického válce. Tyto dvě síly se mezi sebou odečítají a vychází z nich výsledná síla působící na součást. Tato síla však neslouží k tomu, aby součást od přísavky odtrhnula, ale pouze ji zarovná. Tedy dorazy budou zastaveny v nulové poloze ve stejné poloze jako uchopovací plocha přísavky. Tyto síly F_D a F_P po dosažení nulového bodu nebudou působit na celkovou podmínku rovnováhy [7.15].

$$F_U \geq (n_1 \times k_1 \times F_S)[N \geq N] \quad [7.16]$$

V tomto případě [7.16] se jedná o předchozí podmínku, která je splněna **50,2N ≥ 40,6N**.

V tomto kroku musí být dále zaručena další a poslední podmínka, kdy výsuvná síla musí být dostatečně velká pro vysunutí pístů a zarovnání součásti do vodorovné polohy (pouze před nulovou polohou). Záleží však na požadovaném vstupním tlaku, který se u tohoto pístu pohybuje v rozmezí **0,22-1 MPa (10- 2,2bar)**. Z toho plynoucí síla jednoho pístu může být v rozmezí **9- 45N**. My budeme používat písty pro zarovnání čtyři, tedy tato podmínka je bezpečně splněna.

Nyní bude pro ukázkou vypočítána síla působící z pneumatického pístu pro samotný výsun a zarovnání do vodorovné polohy. Na (Obr. 75) můžeme vidět působící síly jednoho pístu.



Obr. 75.: Znázornění působících sil při uzavření a otevření pneumatického pístu s dorazy[Vlastní tvorba]

- Odvozené vztahy pro výpočet[24]:

$$F_{D(otevř.)} = p \times A \times R \quad [N] \quad [7.17]$$

$$F_{P-P} = F_{D(otevř.)} - F_{P(otevř.)} [N] \quad [7.18]$$

Tab. č.12Použité zkratky 7 [Vlastní tvorba]

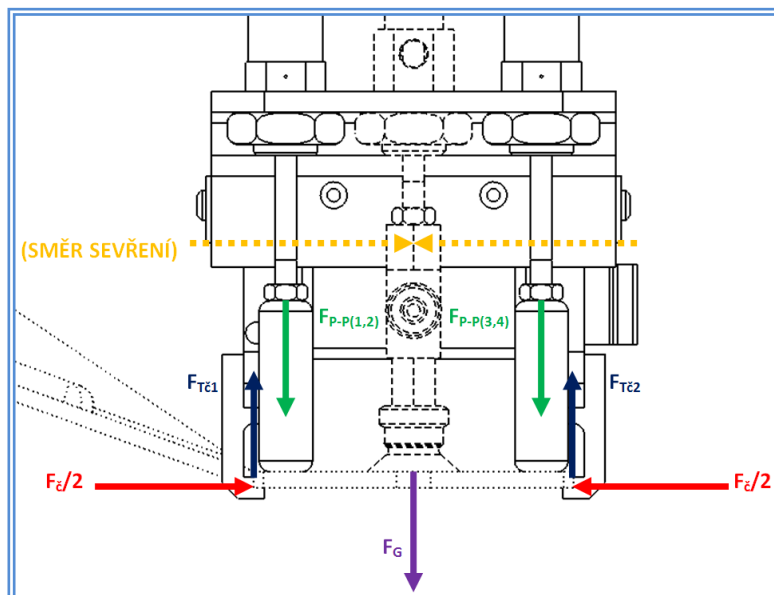
Zkratka	Význam
p	Vstupní tlak v barech (p= 2,2- 10 bar)
A	Plocha pístu
R	Tření (cca 10%)
$F_{P(zavř.)}$	Síla zpětné pružiny při zavření ($F_{P(zavř.)}= 2,45 \text{ N}$)
$F_{P(otevř.)}$	Síla zpětné pružiny při otevření ($F_{P(otevř.)}= 4,41 \text{ N}$)
$F_{D(zavř.)}$	Síla působící při zavření pístnice
$F_{D(otevř.)}$	Síla působící při otevření pístnice
F_{P-P}	Celková síla pneumatického válce

Dosazením do rovnice [7.17] při uvažování vstupního tlaku $p= -8\text{bar}$, je získána síla při výsunu pístu $F_{D(otevř.)} = 36,2\text{N}$. Tato síla spolu se silou $F_{P(otevř.)} = 2,45\text{N}$ je dosazena do [7.18] a je získána $F_{P-P} = 33,75\text{N}$. Podmínka pro vyrovnaní součástí je tedy splněna s uvažováním čtyř pístnic, kdy $F_{P-P(\text{celk.})} = 135\text{N}$.



7.3.2.3. Výpočet požadované úchopné síly čelistí

V této části uchopení bude na součást působit pouze síla čelistí a dorazů, jak můžeme vidět na (Obr. 76). Přísavka v této části uchopení nebude působit – neaktivní.



Obr. 76.: Znázornění působících sil při sevření pneumatickými čelistmi[Vlastní tvorba]

- Odvozené vztahy pro výpočet [23]:

Statické podmínky:

$$F_{\check{c}(skut.)} \times \mu > G \quad [7.19]$$

$$F_{\check{c}(skut.)} > \frac{m \times g}{\mu} = F_{\check{c}} \quad [7.20]$$

S bezpečnostním faktorem při nominálním pohybu:

$$F_{\check{c}(skut.)} > \frac{m \times g}{\mu} \times s \quad [7.21]$$

$$F_{\check{c}(skut.)} > \frac{m \times g}{0,1 \sim 0,2} \times s = (10 \sim 20) \times m \times g \quad [7.22]$$

S uvažováním zrychlení ramene robota:

$$F_{\check{c}(skut.)} > \frac{m \times (g + a)}{\mu} \times s \quad [7.23]$$

Tab. č. 13 Vstupní hodnoty 4 [Vlastní tvorba]

Zkratka + význam	Množství
$F_{\check{c}(skut.)}$ (skutečná síla čelistí při sevření (katalogová hodnota)	62 N
a_T (max. zrychlení ramene robota)	12-14 m/s ²
μ (tření mezi čelistí a součástí)	0,1~0,2

Tab. č. 14 Použité zkratky 8 [Vlastní tvorba]

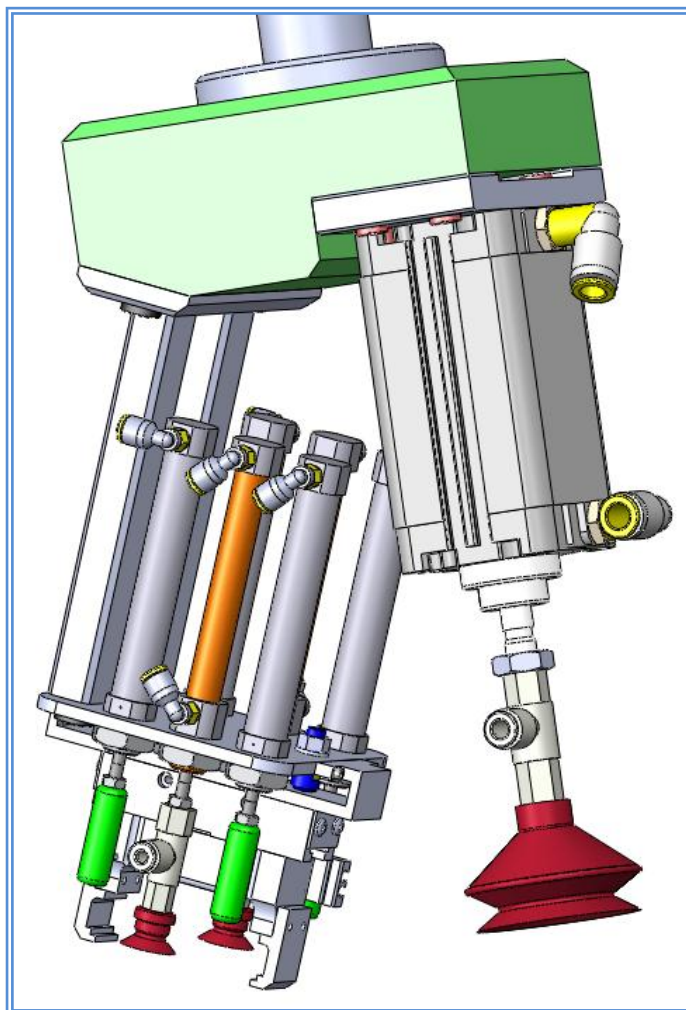
Zkratka	Význam
$F_{\check{c}}$	Min. požadovaná síla pro uchopení součásti
s	Bezpečnostní faktor (s= 2)

V tomto případě uchopení nebude uvažována síla $F_{p,p}$ z důvodu působení síly v předchozím kroku (také protože písty s dorazy v této části stojí) a sílu $F_{Tč.}$, protože jsme použili vlastní tvar úchopných čelistí a součást bude čelistmi ze spodní části podepřena, jak můžeme vidět na (Obr. 77). V našem případě tedy nebudeme uvažovat tření mezi čelistmi a součástí μ .

Při statické podmínce, kdy nebudeme uvažovat námi zmíněné tření „ μ “ a dosazení do rovnice [7.20] je získána hodnota **62N>1,77N – podmínka splněna**. Při uvažování bezpečnostního faktoru dosadíme do rovnice [7.22] a získaná hodnota je **62N>3,53N – podmínka splněna**. Posledním ověřením bude uvažování zrychlení ramene robota dosazením do rovnice [7.23]. Tímto výpočtem je získán poměr **62N>8,57N – nejkritičtější podmínka splněna**.

7.4. Alternativní způsob uchopení

Při návrhu koncového efektoru byl uvažován také jiný způsob uchopení součásti (Obr. 77). Tento způsob uchopení byl navržen, tak aby tělo koncového efektoru bylo v ose s připevňovací přírubou robota (bez vyosení). Tento koncový efektor se skládá z identických úchopných prvků pro přesné pře-uchopení součásti, lišící se pouze uchopením pro hrubý výběr součásti, kdy byl použit pneumatický teleskopický válec s výsunem **20 cm**.



Obr. 77.: Bezpečnější způsob uchopení[Vlastní tvorba]

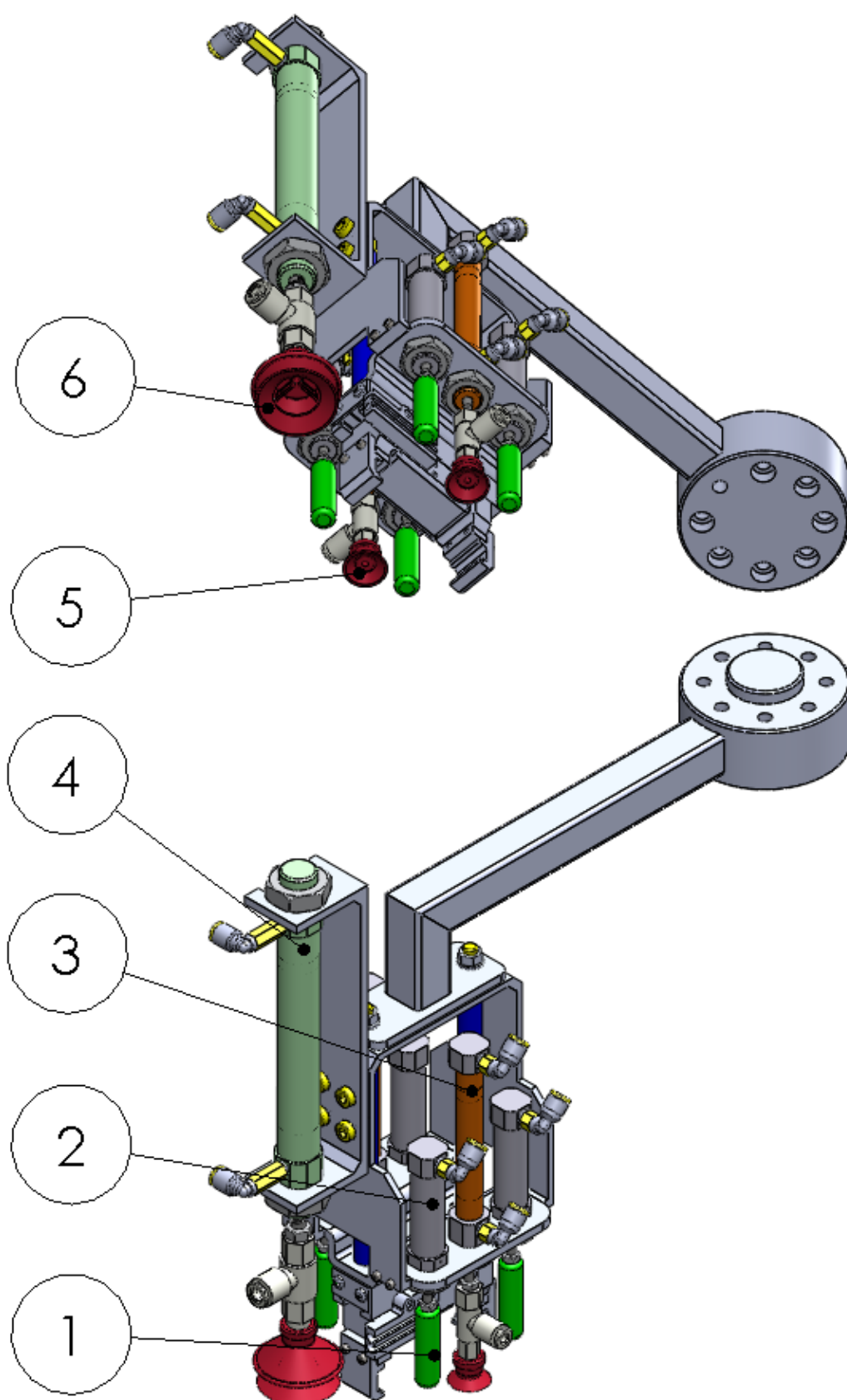
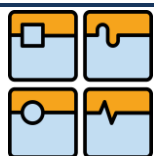
Výhodou tohoto systému uchopení je velký výsun pneumatického teleskopického válce, kdy nemusí koncový efektor zajíždět tak hluboko do bedny a větší bezpečnost uchopení pomocí přísavky pro hrubý výběr. Tento způsob však nebyl zvolen z hlediska velké zástavbové výšky, šířky (cca 40cm x 22cm) a z toho plynoucí velké hmotnosti koncového efektoru.

8. NÁVRH CHAPADLA

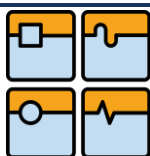
V této části bude popsán návrh chapadla s uvažovaným vyosením z důvodu bezpečnosti kolizí koncového efektoru s bednou. Budeme uvažovat jednu variantu uchopení, která bude následně ve dvou krocích zdokonalena (varianta B,C) z hlediska efektivity a praktičnosti uchopení. Všechny tyto návrhy budou využívat stejný princip uchopení součástí, jak bylo popsáno v předešlé kapitole.

8.1. Model chapadla - varianta A

V prvním případě byl uvažován návrh konstrukce chapadla, který je jednodušší z hlediska stavby konstrukce a pevného upevnění pracovních komponent (pneumatických pístů). Tento návrh chapadla můžeme vidět na (Obr. 78).



Obr. 78.: Model chapadla – Varianta A [Vlastní tvorba]



Jako úchopné chapadlo bylo v této variantě zvoleno chapadlo společnosti **SCHUNK KGG 70** (Obr. 78, poz.1), které jsem vybral z důvodu malých zástavbových rozměrů a malého zdvihu **12mm** na jednu čelist, které splňuje rozměry vysunutí pro uchopení naší součástky. Jako komponent pro výsuvný pohyb přísavky pro hrubý výběr byl zvolen pneumatický dvojčinný jednostranný píst společnosti **SMC C85E16-80** (Obr. 78, poz.4) s průměrem pístu 16mm a zdvihem 80mm a stejný typ pneumatického válce byl zvolen také pro výsuv přísavek pro přesné pře-uchopení **SMC C85F10-50** (Obr. 78, poz.3) s průměrem pístu 10mm a zdvihem 50mm. Jako poslední činný komponent pro výsuv dorazů byl zvolen pneumatický jednočinný píst se zpětnou pružinou typu **SMC C85F8-10S** (Obr. 79, poz.2) s průměrem pístu 8mm a zdvihem 10mm.

V tomto případě byl navržen vlastní speciální tvar úchopných čelistí, pro podepření součásti ze spodní strany (nebude uvažováno tření) a také nebude docházet k působení ohybového momentu, protože čelisti jsou v ose pohybu.

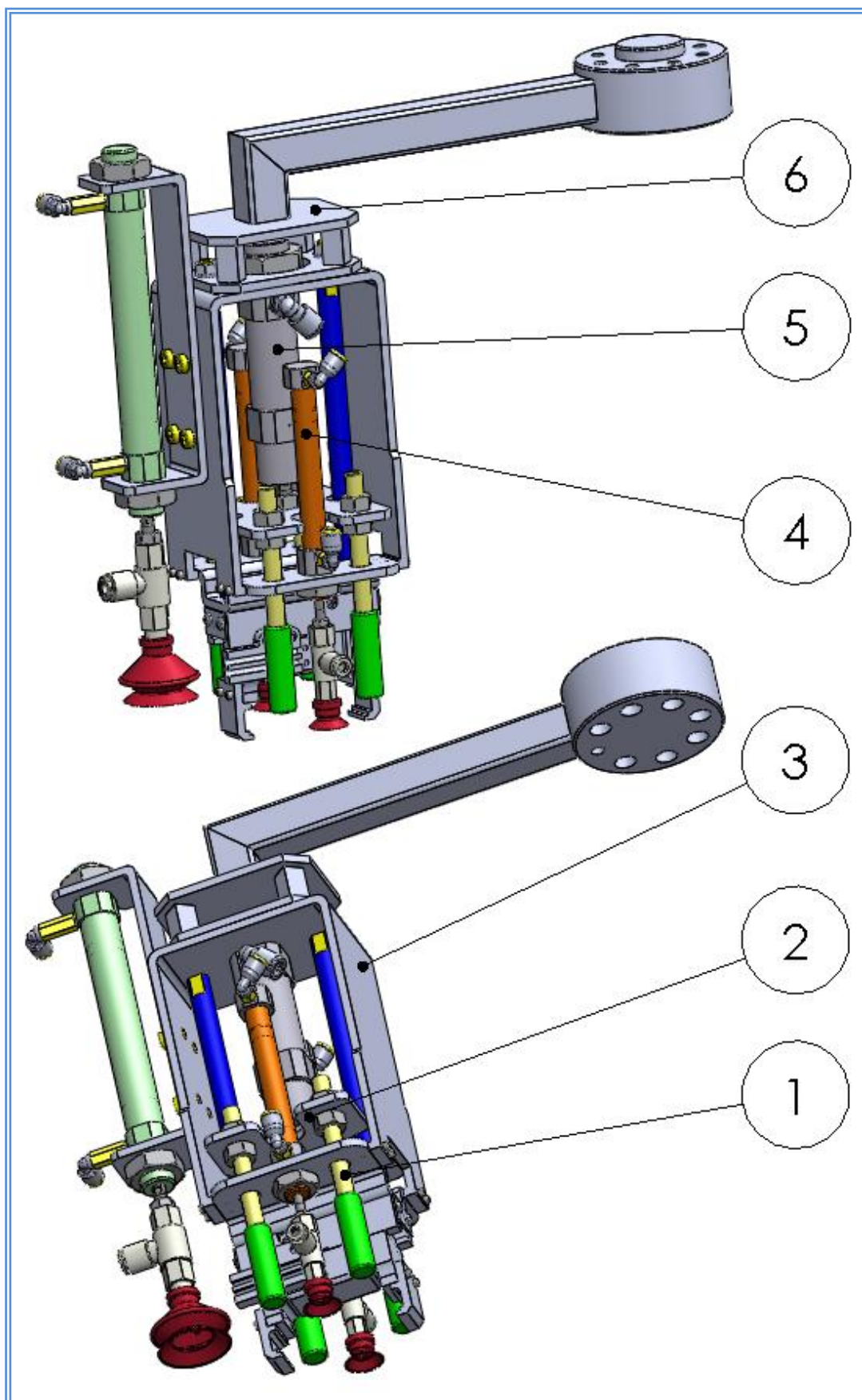
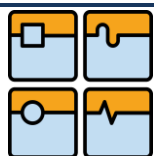
Jako vakuové komponenty byly zvoleny přísavky od společnosti SMC: Pro hrubý výběr byla vypočítána přísavka o průměru 32 mm typového označení **SMC ZPR32BS-08-A8** (Obr. 78, poz.5) s měchovým tvarem z důvodu lepší přilnavosti a pro přesné pře-uchopení byla vypočítána přísavka o průměru 20mm typového označení **SMC 16US-04-A5** (Obr. 78, poz.6) plochého tvaru.

Problémem této varianty může být s vysouváním pneumatických jednočinných pístů se zpětnou pružinou pro dorazy. Protože každý píst je řízen samostatně s odděleným přívodem média a může docházet k rozdílným výsunům pro seřazení součásti. Tento problém lze odstranit snímačem polohy např. společnosti **SMC D-band**, ale musel by být použit pro každý píst zvlášť. Což vede ke zbytečné složitosti a navýšení ceny koncového efektoru.

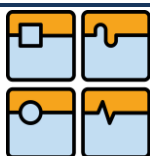
Možný způsob řešení je navrhnout soustavu pro vysunutí dorazů s použitím jednoho pneumatického válce s nižším výsunem (cca 10mm), větší průměrem pístu a přídatných komponent, které budou pohánět výsuv na jeden krok s jedním snímačem polohy SMC D-band.

8.2. Model chapadla – varianta B

V druhé variantě bylo uvažováno chapadlo na stejném principu jako varianta A, došlo pouze k odstranění jednočinných pneumatických válců pro dorazy a byly nahrazeny jedním, který pohání všechny čtyři dorazy při jednom pohybu. Tento návrh chapadla můžeme vidět na (Obr. 79).



Obr. 79.: Model chapadla – Varianta B [Vlastní tvorba]

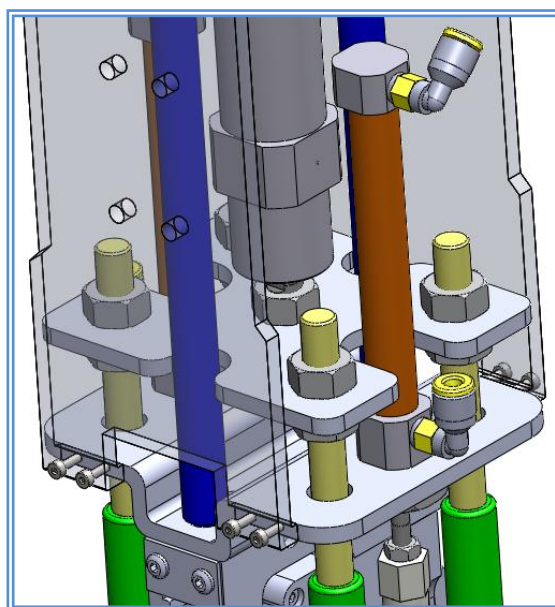


Při návrhu této varianty došlo k náhradě čtyř pneumatických jednočinných pístů pro dorazy za jeden pneumatický jednočinný válec **SMC C85E20-10S** (Obr. 79, poz.5) s průměrem pístu 20mm a zdvihem 10mm. Pro tento píst byla navrhuta deska (Obr. 79, poz.2) specifického tvaru, ke které byl shora připevněn náš požadovaný píst a v protisměru čtyři vodící tyče (Obr. 79, poz.1), které byly pojištěny proti posunu maticemi. Na konce vodících tyčí jsou připevněny dorazy pomocí závitového spoje (dorazy mají vnitřní závit).

Na základě tvaru a umístění pneumatického válce SMC C85E20-10S (Obr. 79, poz.5) došlo ke změně tvaru rámu chapadla (Obr. 79, poz.3) a připevňovacího ramene (Obr. 79, poz.6)

Komponent pro výsuvný pohyb přísavky pro přesné pře-uchopení byl zachován z předchozího návrhu chapadla A. Jedná se o dvojčinný pneumatický píst **SMC C85F10-50** (Obr. 79, poz.4).

Na (Obr. 80) můžeme detailněji vidět změny návrhu chapadla oproti variantě A s využitím jednoho pístu pro vedení dorazů.



Obr. 80.: Detailnější pohled na návrh výsuvu pro dorazy varianty B[Vlastní tvorba]

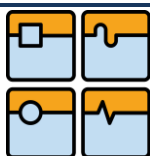
8.3. Model chapadla – varianta C

V třetí a poslední variantě byl uvažován návrh chapadla z hlediska jednodušší funkčnosti a bezpečnosti oproti variantě A i B. Tato varianta je nejvhodnější pro uchopení součásti a to především z hlediska zakomponování dorazů napevno, výsuvu soustavy těles pro hrubý výběr, pevná přísavka pro hrubý výběr nahrazena přísavkou s pružinou, snímače vakua a snímače polohy pístů. Tento návrh chapadla můžeme vidět na (Obr. 81).



DIPLOMOVÁ PRÁCE





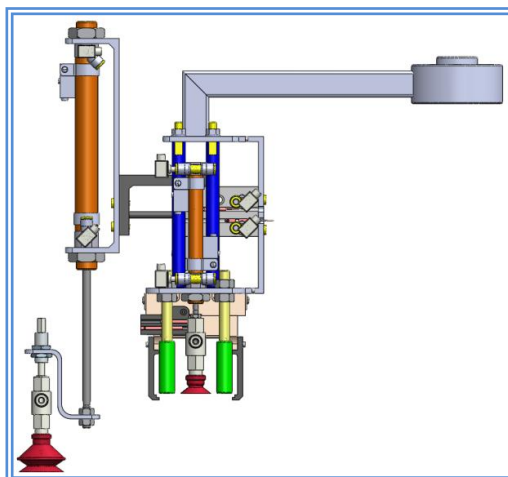
V této variantě bylo použito chapadlo společnosti **SCHUNK KGG 70**, jako v předchozích variantách A i B. Došlo pouze ke změně tvaru úchopných čelistí (Obr. 81, poz.10), které byly prodlouženy z důvodu upevnění vodících tyčí s dorazy (Obr. 81, poz.9) napevno. Dorazy jsou nainstalovány tak, aby spodní plocha dorazů byla v rovině s nulovou polohou přísavky pro hrubý výběr. Z důvodu bezpečnosti byl do této varianty zahrnut kompaktní suport **SMC MXH10-30-M9B** (Obr. 81, poz.2) s průměrem pístu 10 mm a zdvihem 30mm, který slouží k výsuvnému pohybu soustavy pro hrubý výběr. Na základě použití tohoto kompaktního válce došlo ke změně tvaru rámu, který je z hlediska výroby jednodušší a možnosti použití čtyř rozpěr (Obr. 81, poz.1) z důvodu větší stability chapadla.

Došlo také ke změně v úchopné části pro hrubý výběr, kde byl použit pneumatický dvojčinný píst společnosti **SMC C85E16-100** s průměrem pístu 16mm a zdvihem 100mm, na který byl připevněn profil ve tvaru S (Obr. 81, poz.7) pro připevnění těla přísavky s pružinou. Tělo přísavky a přísavka bylo použito jako jeden komponent od společnosti **SMC ZPR32BSK10-04-A10** (Obr. 81, poz.8) s pístem pro odpružení 10mm, zdvihem 10mm a průměrem přísavky 32mm. V této variantě byla pro hrubý výběr součásti zvolena také přísavka s měchem z důvodu lepší přilnavosti jako ve variantě A i B.

Do poslední varianty chapadla byly také zakomponovány senzory vakua, polohy jak pro pneumatické písty, kompaktní suport tak i úchopné čelisti. Senzor kontroly tlaku a vakua byl zvolen od společnosti **SMC PSE540-R04-C2** (Obr. 81, poz.4), který je vybaven oddělenou vyhodnocovací jednotkou. Senzor polohy pro pneumatický píst byl zvolen s možností upevnění pomocí sponky typu **SMC D-C73** (Obr. 81, poz.6), který je vhodný pro pneumatické písty řady C85. Dále byl pro kompaktní válec zvolen senzor polohy **SMC MXH10-30-M9B_F9_M9** (Obr. 81, poz.3) a pro úchopné čelisti **SCHUNK MMA-P-22-M5** (Obr. 81, poz.5), které jsou doporučovány prodejcem.

Tato varianta byla vybrána jako vyhovující, proto bude v následujícím textu této práce popsána podrobněji.

Na (Obr. 82) můžeme vidět výsun kompaktního válce a pneumatického pístu při hrubém výběru součástí.



Obr. 82.: Ukázka výsuvu kompaktního válce a pneumatického pístu při výběru nahrubo[Vlastní zpracování]

8.3.1. Výpočet silových poměrů

Veškeré silové parametry jsou shodné s parametry stanovenými v předchozí kapitole 7.3.. Je potřeba zkontrolovat změnu skutečné úchopné síly čelisti dodávané prodejcem při vzdálenosti uchopení 40 mm od nulové polohy čelisti.

8.3.2. Stanovení skutečné síly pro uchopení čelistmi

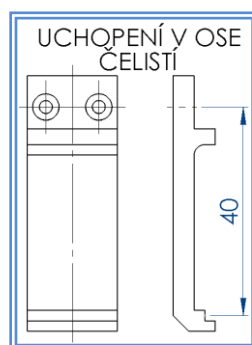
V kapitole 7.3.2.3. byl uvažován výpočet úchopné síly bez uvažování délky čelisti, pro kterou prodejce udává max. sílu při zavření čelistí 62N [25].

Pro stanovení skutečné úchopné síly pro požadovanou délku čelistí je nutné znát základní parametry chapadla, především pak uchopovací sílu. Základní parametry chapadla jsou uvedeny v (Tab. č.15).

Tab. č.15 Parametry chapadla SCHUNK KGG 70 [Vlastní tvorba], [25]

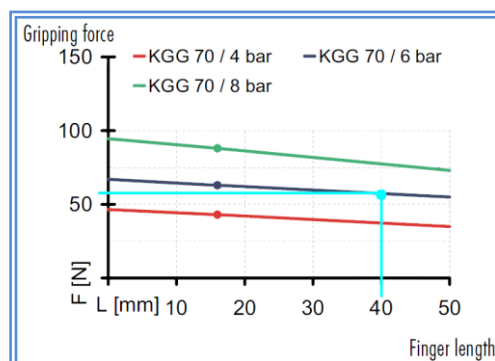
Veličina		Hodnota
Zdvih na čelist	[mm]	12
Síla při zavření	[N]	62
Síla při otevření	[N]	85
Hmotnost	[kg]	0.15
Nominální tlak	[bar]	6

Společnost SCHUNK nabízí graf závislosti uchopovací síly pro danou délku čelistí. Sílu při dané délce čelistí je nutné upravit dle tohoto grafu. Rozměr úchopného bodu od nulového bodu (bod upevnění) čelistí je zobrazen na (Obr. 83).

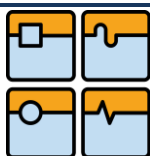


Obr. 83.: Základní rozměry čelisti pro stanovení skutečné úchopné síly [Vlastní tvorba]

Zanesením této hodnoty do (Graf. č.1) byla zjištěna skutečná úchopná síla $F_U = 59N$.



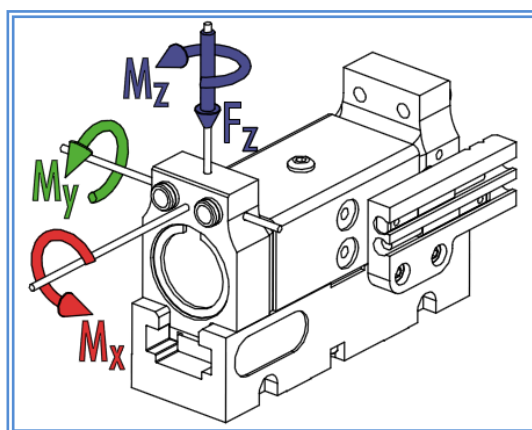
Graf. 1.: Závislost délky čelisti na uchopovací síle pro chapadlo SCHUNK KGG 70 [25]



Skutečná úchopná síla klesla minimálně, podmínka pro uchopení z předchozí kapitoly 7.3.2.3. pro výpočet požadované úchopné síly je stále splněna.

8.3.3. Kontrola zvoleného chapadla

Společnost SCHUNK udává pro chapadlo KGG 70 maximální přípustné momenty a síly, které mohou působit na jednu čelist chapadla. Působení a směr těchto momentů a sil můžeme vidět na (Obr. 84) [25].



Obr. 84.: Znázornění působení zatížení na čelist chapadla SCHUNK KGG 70[25]

V (Tab. 16) můžeme vidět maximální hodnoty síly a momentů působících na chapadlo.

Tab. č.16 Maximální hodnoty zatížení chapadla SCHUNK KGG 70 [Vlastní tvorba], [25]

Veličina	Hodnota	Jednotka
M_x	1,5	Nm
M_y	3,5	Nm
M_z	4	Nm
F_z	220	N

➤ Odvozené vztahy pro výpočet [23]:

- Vodorovná poloha:

$$M_x = m \times g \times L [\text{Nm}] \quad [7.24]$$

$$M_y = F \times L [\text{Nm}] \quad [7.25]$$

$$M_z = F \times A [\text{Nm}] \quad [7.26]$$

- Svislá poloha:

$$M_y = (F + m \times g) \times L [\text{Nm}] \quad [7.27]$$

$$M_z = (F + m \times g) \times A [\text{Nm}] \quad [7.28]$$

Význam jednotlivých veličin a jejich požadované hodnoty jsou znázorněny v následující (Tab. č. 17).

Tab. č. 17 Vstupní hodnoty pro výpočet momentů chapadla KGG 70 [Vlastní tvorba]

Zkratka + význam	Množství
F (Uchopná síla na jednu čelist při zavření)	29,5N
m (hmotnost uchopované součásti)	0,18kg
L (Vzdálenost mezi uchopením a nulovou polohou čelisti)	40mm
A (Vyosení čelistí)	Neuvažováno

Dle předchozích výpočtů byly stanoveny maximální požadované zatížení pro jednu součást, kdy $M_x = 0,07\text{Nm}$, $M_y = 1,18\text{Nm}$ a $M_z = 0\text{Nm}$.

Na základě porovnání hodnot zatížení z (Tab. č.16) a skutečných požadovaných hodnot zatížení pro jednu součást $M_x = 0,07\text{Nm}$, $M_y = 1,18\text{Nm}$ a $M_z = 0\text{Nm}$ je patrné, že se hodnoty pohybují pod maximálními hodnotami stanovenými výrobcem.

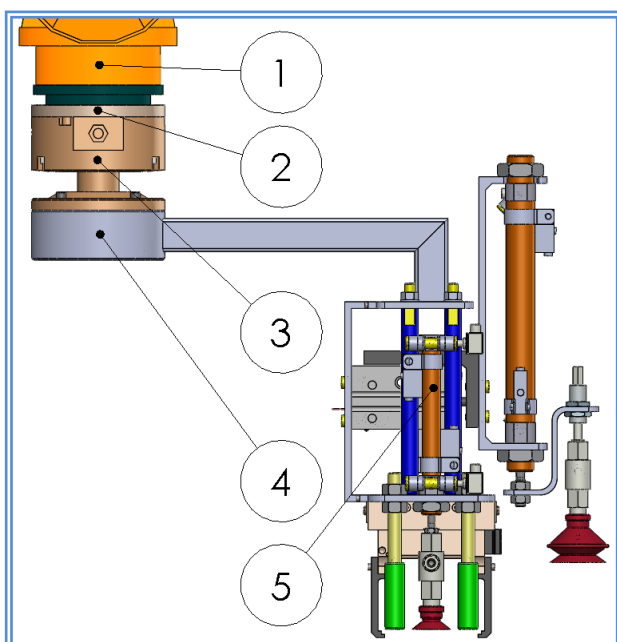
8.4. Kompletizace chapadla

Při návrhu chapadla varianty A, B, C bylo uvažováno tzv. přímé upevnění koncového efektoru na přírubu robota. Dle požadavků vedoucího diplomové práce bude do systému uchopení začleněna kolizní ochrana a FTC senzor (varianta C).

Funkce použitých zařízení:

- Kolizní ochrana – použití z důvodu větší bezpečnosti a ochrany silo-momentového senzoru
- Silo-momentový senzor FTC – slouží k získání informací o silovém působení na koncový efektor

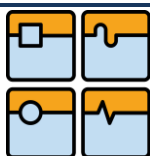
V prvním případě je uvažováno uchopení pouze jedné součásti. Pokud by došlo k uchopení dvou součástí, systém bude nastaven (uchopení přísavkou), tak aby došlo k upadnutí součástí zpět do bedny. Není tedy potřeba FTC senzoru. Pro tento případ je použita kolizní ochrana společnosti **SCHUNK OPS 80** (Obr. 85).



Seznam použitých zařízení:

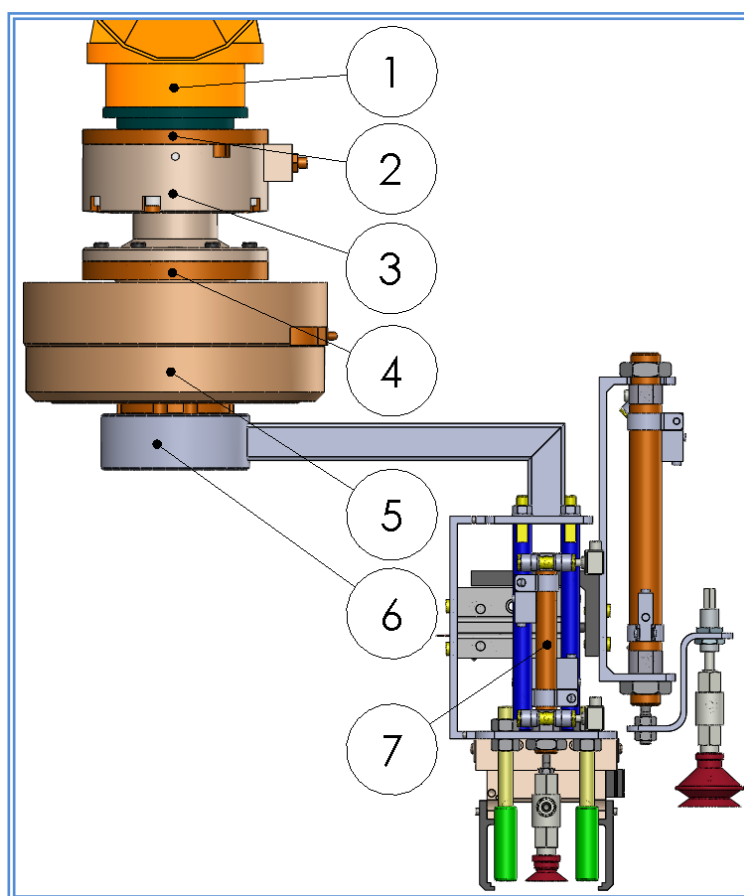
- 1 Průmyslový robot KUKA KR 16
- 2 Redukční příruba na ISO A50 SCHUNK A-OPS-R-A50
- 3 Kolizní ochrana SCHUNK OPS 80
- 4 Příruba pro připojení koncového efektoru
- 5 Koncový efektor

Obr. 85.: Model koncového efektoru s kolizní ochranou SCHUNK OPS 80. [Vlastní tvorba]



V druhém případě je uvažována možnost pokud dojde k uchopení dvou součástí najednou, FTC senzor pozná změnu nadměrné hmotnosti oproti jedné součásti a na základě řídicího systému budou tyto součásti umístěny např. do mezi-polohy, kde dojde k ručnímu oddělení součástí a zpětnému navrácení do bedny. V této variantě je použita kolizní ochrana **SCHUNK OPS 100** a senzor **SCHUNK FTC 50** (Obr. 86).

Tato varianta byla zvolena jako vhodnější z důvodu možnosti uchopení dvou součástí najednou a bude dále uvažována v celkovém modelu pracoviště.



Obr. 86.: Model koncového efektoru s kolizní ochranou SCHUNK OPS 100 a senzorem FTC 50
[Vlastní tvorba]

Seznam použitých zařízení:

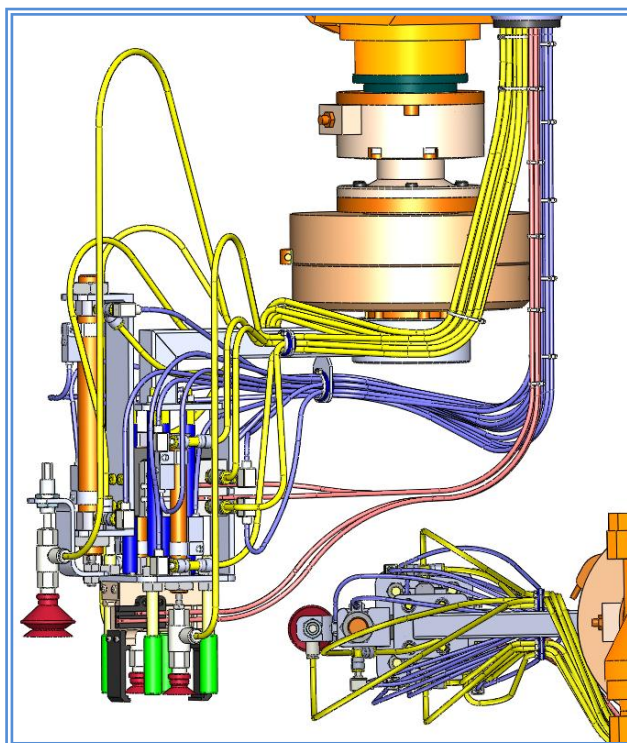
- 1 Průmyslový robot KUKA KR 16
- 2 Redukční příruba na ISO A50 SCHUNK A-OPS-R-A50
- 3 Kolizní ochrana SCHUNK OPS 100
- 4 Redukční příruba na ISO A50 SCHUNK A-OPS-A50
- 5 FTC senzor SCHUNK FTC-50
- 6 Příruba pro připojení koncového efektoru
- 7 Koncový efektor

V ideálních případech by měla být kolizní ochrana umístěna na přírubě silo-momentového senzoru před koncem silo momentového řetězce. V našem případě by

mohlo docházet k překročení měření momentů, které je senzor SHUNKC FTC 50 schopen měřit do hodnoty 7Nm. Kolizní ochrana je z tohoto důvodu umístěna před silo-momentový senzor.

8.4.1. Opláštění koncového efektoru

Při návrhu koncového efektoru bylo uvažováno také teoretické uspořádání a vedení hadiček pro přívod medií. Na (Obr. 87) můžeme vidět možný přívod hadiček pro vakuum a senzory, který je však z bezpečnostního hlediska nevyhovující (hadičky jsou vedeny neuspořádaně a zvětšují tak zástavbový prostor efektoru).

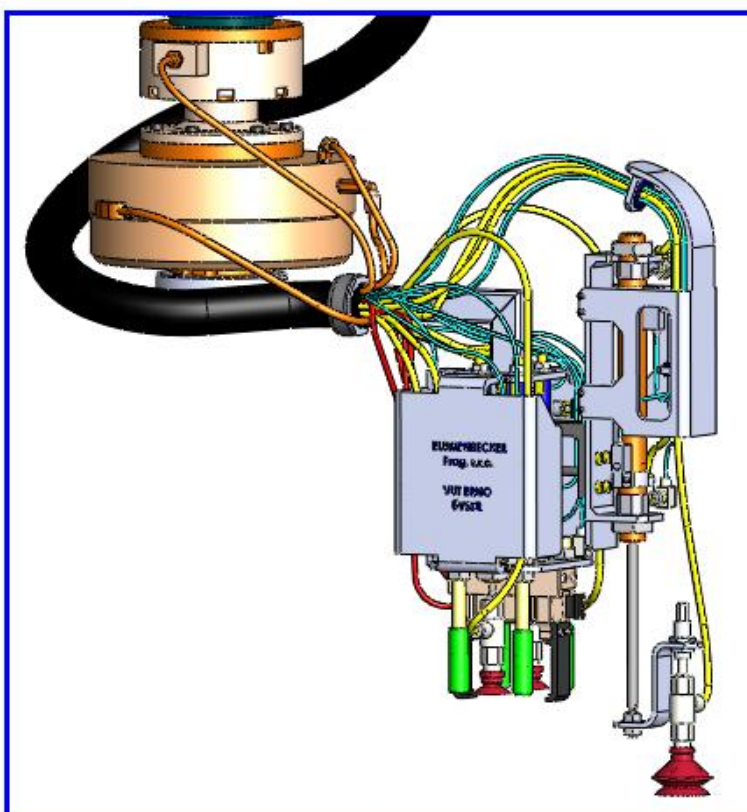


Obr. 87.: Uspořádání a vedení hadiček bez opláštění – nevyhovující .[Vlastní tvorba]

Z tohoto důvodu bylo navrženo opláštění koncového efektoru a teoretické uspořádání vedení hadiček pro vakuum a veškeré senzory. Tento případ můžeme vidět na (Obr. 88). V tomto případě byl navržen způsob, kde budou všechny hadičky svedeny do jedné centrální hadice, která je připevněna přímo na vyosené rameno koncového efektoru. Na (Obr. 88) je také znázorněna nulová poloha otáčení koncového efektoru a následný počáteční tvar vedení centrální hadice, aby při otáčení vyoseného ramene nedocházelo ke kolizím mezi efektem a centrální hadicí.

V tomto případě bylo navrženo vedení a uspořádání hadiček při maximálním výsunu hlavního válce z důvodu stanovení maximální délky hadiček.

Tento způsob opláštění a vedení hadiček byl zvolen jako vyhovující a bude dále uvažován v celkovém modelu pracoviště.



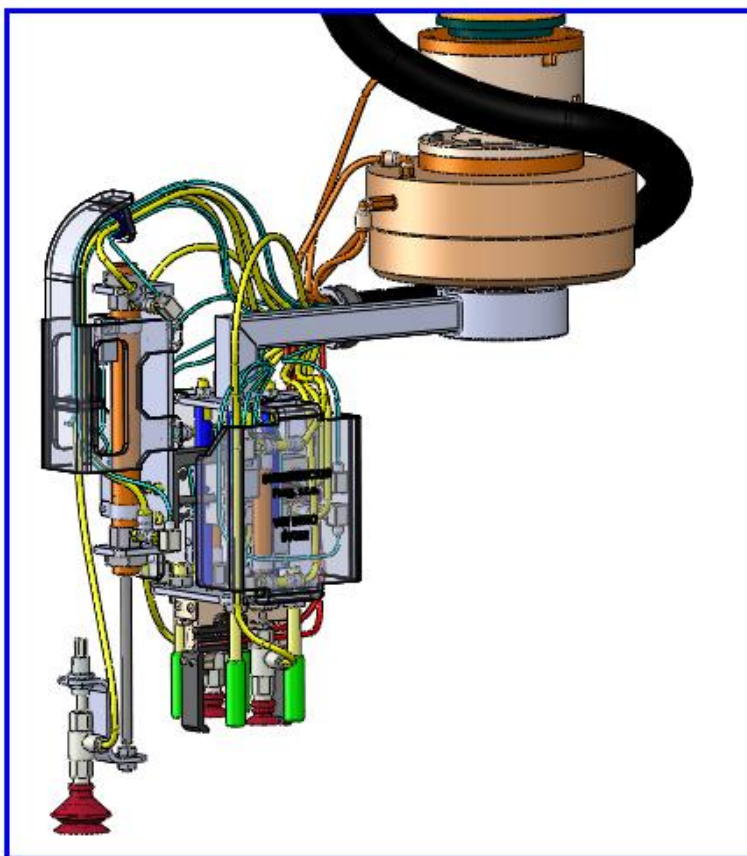
**Seznam použitých
hadiček a kabeláže:**

Černá hadice: centrální hadice

Žlutá hadička: přívod vakua (ø4 mm)

Modrý kabel: přívod média pro senzory (ø2 mm)

Červený kabel: přívod média pro senzory čelistí a kompaktní suport (ø3 mm)

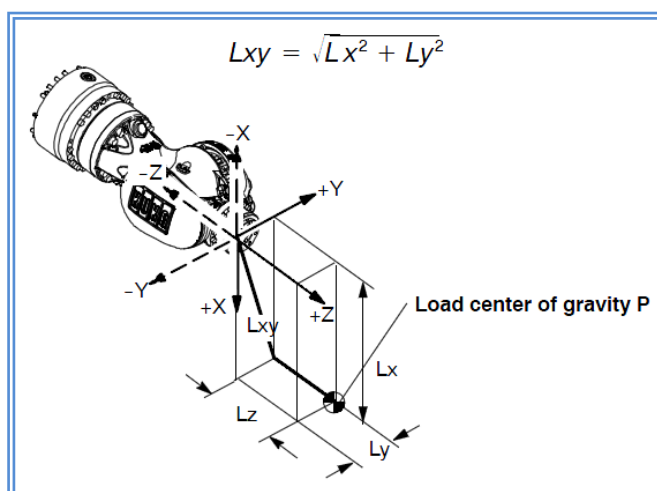


Obr. 88.: Opláštění a uspořádání hadiček pro média včetně centrální hadice .[Vlastní tvorba]

8.4.2. Kontrola nosnosti robota

Pro praktické řešení diplomové práce byl uvažován průmyslový robot **KUKA KR 16**, který má maximální nosnost **16kg**[27]. Celková hmotnost chapadla včetně OPS a FTC senzoru je cca **6kg**. Na základě specifikace výrobce, který udává menší nosnost pro větší vzdálenosti těžiště koncového efektoru od příruby, bude stanovena skutečná nosnost robota. Vzdálenosti těžiště dle značení z (Obr. 89) jsou:

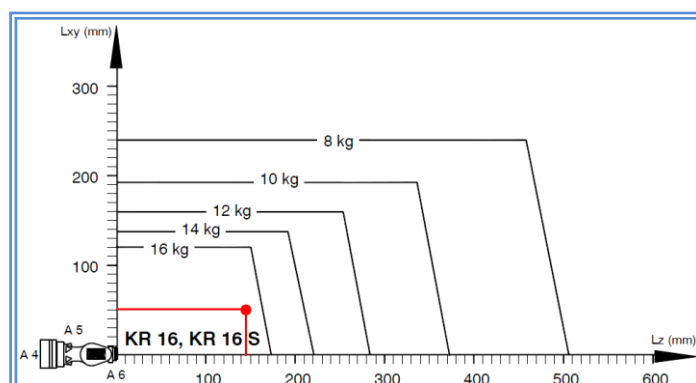
- $L_x = 50 \text{ mm}$
- $L_y = 1 \text{ mm}$
- $L_z = 145 \text{ mm}$



Obr. 89.: Poloha těžiště efektoru pro robota KUKA KR 16 [27]

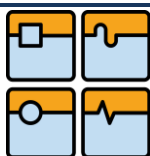
Dle uvedených vzdáleností těžiště s uvažováním uchopení součásti byla vypočtena vzdálenost $L_{xy} = \sim 50 \text{ mm}$.

Na následujícím (Graf. 2) je zobrazena závislost nosnosti robota na vzdálenosti těžiště od příruby. Z grafu je odvozena nosnost robota, která se stále pohybuje v mezi nosnosti robota **16kg**. Nosnost robota se tedy nezmění a je dostatečná k manipulaci s koncovým efektem o hmotnosti **6 kg**.



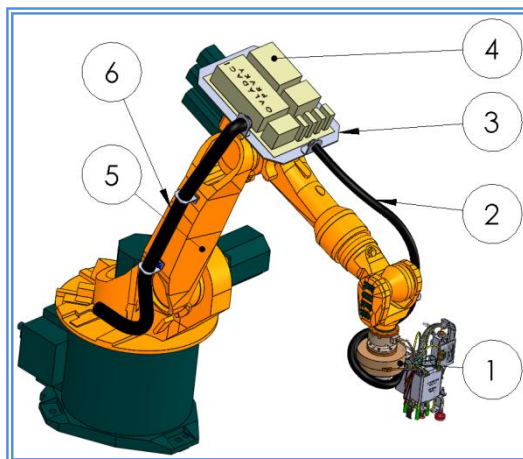
Graf. 2.: Závislost nosnosti robota KUKA KR 16 na vzdálenosti těžiště efektoru od příruby robota [27]

Skutečná nosnost bude nepatrně zvětšena při zakomponování hadiček pro přívod médií a senzorů polohy. Stále však máme rezervu cca 10 kg, která nebude překročena.



8.4.3. Ventilový blok

Ventilový blok bude sloužit pro řízení vakua pneumatických komponent umístěných na koncovém efektoru. Blok je umístěný přímo na robotu (Obr. 90, poz. 4) a komponenty budou upevněny na hliníkové desce (Obr. 90, poz. 3) specifického tvaru (stavebnicový tvar).



Obr. 90.: Umístění centrálních hadic pro přívod a odvod média z ovládacího panelu do koncového efektoru

Seznam použitých zařízení:

- 1 Koncový efektor
- 2 Centrální hadice pro přívod do ventilového bloku
- 3 Hliníková (stavebnicová) deska pro vakuové ovládací prvky
- 4 Ovládací prvky (model pouze pro ilustraci)
- 5 Průmyslový robot KUKA KR 16
- 6 Centrální hadice pro odvoz médií a kabeláže z ventilového bloku

Ventilový blok bude obsahovat pneumatické ovládací prvky včetně prvků pro úpravu a samotný rozvod vakua (jedná se především o PLC, ejektory a rozvaděče pro daný typ činnosti. V (Tab. 17) můžeme vidět funkce daných zařízení a požadované rozvaděče.

Tab. č. 18 Pneumatické komponenty včetně rozvaděčů pro ventilový blok [Vlastní tvorba]

Název	Funkce	Požadavek pro připojení	Specifikace	Ovládání (rozvaděč)
Kolize OPS	Ochrana	Vzduch	Jednočinný	Rozvaděč 5x2
FTC senzor	Vážení	Vzduch (zamčení) Elektro	Dvojčinný El. kabel	Rozvaděč 5x2 -
Pneu. píst (Velký)	Výsun přísavky	Vzduch	Dvojčinný	Rozvaděč 5x2
Pneu. píst (Malý – 2x)	Výsun přísavky	Vzduch	Dvojčinný	Rozvaděč 5x2
Přísavka (2x) (Malá– ø20)	Přesné přeuchopení	Vzduch	Jednočinný	Rozvaděč 3x2
Přísavka (Velká– ø32)	Hrubý výběr	Vzduch	Jednočinný	Rozvaděč 3x2
Pneu. čelisti	Uchopení	Vzduch	Dvojčinný	Rozvaděč 5x2
Kom. Suport	Vyos. pístu	Vzduch	Dvojčinný	Rozvaděč 5x2

Z předchozí (Tab. č 17) vyplývá, že ventilový blok bude obsahovat **3x (rozvaděč 3x2) a 7x (rozvaděč 5x2)** pro řízení pneumatických prvků. Veškeré senzory polohy a vakua jsou řízeny elektricky a přívod média je tedy napřímo.

9. NÁVRH MODELU PRACOVIŠTĚ

Tato část diplomové práce je zaměřena na návrh kompletizace robotického pracoviště s příslušnými zařízeními včetně řešení bezpečnosti pracoviště dle aktuální platné legislativy a bezpečnostních norem.

9.1. Bezpečnost pracoviště

Protože je jedná o robotické pracoviště, je třeba klást větší důraz na bezpečnost z hlediska obsluhy pracoviště (jak při samotné výměně palet, tak při obsluze a programování dané buňky). Je tedy třeba zaměřit se na možný vznik rizik a volbu bezpečnostních prvků, která vznikají při provozu na pracovišti, a může při nich dojít ke zranění obsluhy.

Rozdělení kvalifikace obsluhy dle bezpečnosti:

- Manipulanta – Má zodpovědnost za výměnu palet se součástmi (prázdná za plnou) včetně kontroly pásového dopravníku s technologickými paletami.
- Odborného pracovníka – Pracovník, který je zodpovědný za chod robotické buňky, odstraňování závad vzniklé při provozu a obsluhy robota, nebo ostatních zařízení robotické linky (na vyžádání).

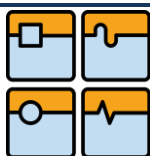
Základní zákony a směrnice [28]:

- Zákon č.22/1997 Sb. – o technických požadavcích na výrobky
- Nařízení vlády č. 170/1997 Sb. ⇒ č. 24/2003 Sb. – pro stanovení technických požadavků na strojní zařízení (EU 42/2006)
- Nařízení vlády č. 378/2001 Sb. – Pro stanovení bližších požadavků na bezpečný provoz a používání strojů technických zařízení, přístrojů a nářadí.
- Zákon č. 102/2001 Sb. ⇒ č. 348/2004 Sb. – o obecné bezpečnosti výrobků

Důležité standardy[28],[29]:

Hlavní norma pro návrh bezpečnosti pracoviště je **ČSN EN ISO 134849-1** zabývající se konstrukcí a posuzováním ovládacích systémů. Postup, který je obsažený v normě vede konstruktéra k volbě bezpečnostních částí ovládacího systému, tak aby se zcela vyloučilo riziko nehody u výrobního zařízení.

- **ČSN EN ISO 14 121-1/2** – Bezpečnost strojních zařízení – zásady pro posouzení rizika. Všeobecné zásady postupu, známého jako posouzení rizika ve všech fázích života strojního zařízení...
- **ČSN EN ISO 10218-1** – Roboty pro výrobní prostředí – požadavky na bezpečnost – Část 1: Robot
- **ČSN EN ISO 13 857** – Bezpečnost strojního zařízení – Bezpečnostní část ovládacích systémů – Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci



- **ČSN EN 999** – Bezpečnost strojního zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla

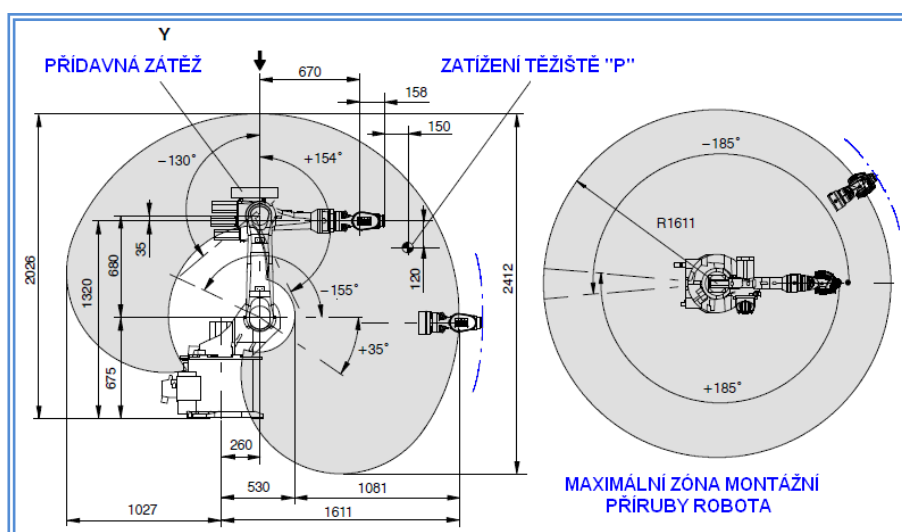
Stanovení bezpečnostních rizik z pohledu obsluhy:

- Při vstupu do robotické buňky – vstupní dveře
- Při vstupu do robotické buňky – roletové dveře
- Při vyjíždění technologických palet z robotické buňky

Podrobná analýza rizik dle dané normy **ČSN EN ISO 134849-1** není součástí této diplomové práce.

9.1.1. Bezpečnost pracovní oblasti robota v robotické buňce

Hlavním požadavkem pro manipulaci bylo splnění bezpečného dosahu na všechny pozice v robotické buňce. Zvolil jsem tedy průmyslového robota KUKA KR 16, který má maximální dosah $R = 1611$ mm (Obr. 91). Musíme brát ale v potaz, že se jedná o maximální dosah a robot je v této pozici ve vodorovné poloze.

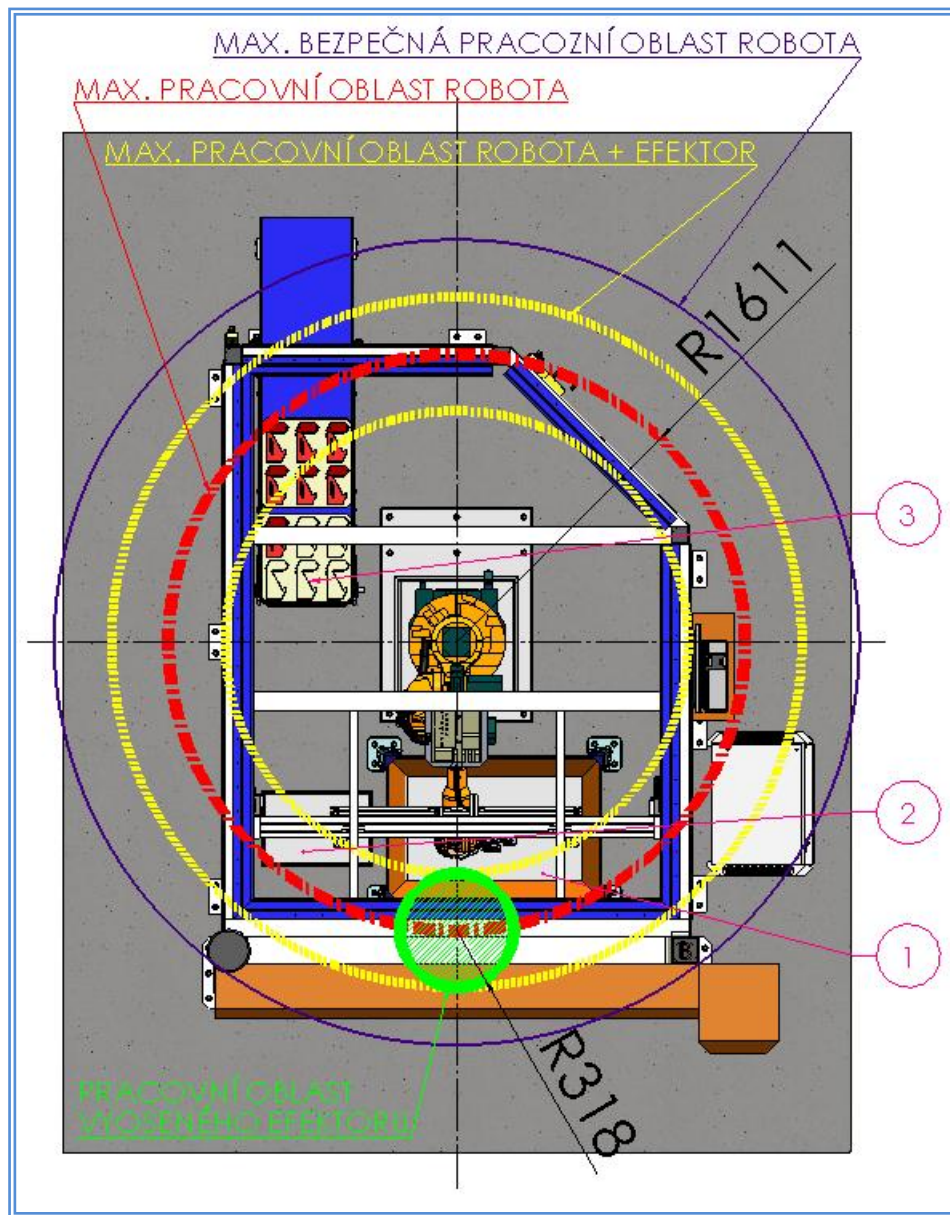
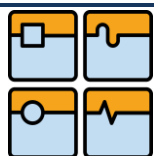


Obr. 91.: Pracovní zóny robota KUKA KR 16[27]

Abychom docílili dosahu na všechny pracovní pozice, robot byl umístěn ve středu robotické buňky (Obr. 92). Pracovní pozice jsou umístěny okolo robota, tak aby se nacházeli v maximální pracovní rovině robota. Jedná se o výběr součástí z bedny (Obr. 92, poz.1), umístění součástí do mezi-polohy (Obr. 92, poz.2) a následné umístění součástí do koncové polohy – technologické palety (Obr. 92, poz.3).

(Obr. 92) slouží pouze jako ilustrativní, jedná se tedy o náčrt, kde můžeme vidět rozměry max. pracovní oblasti robota a přídatného vyoseného koncového efektoru.

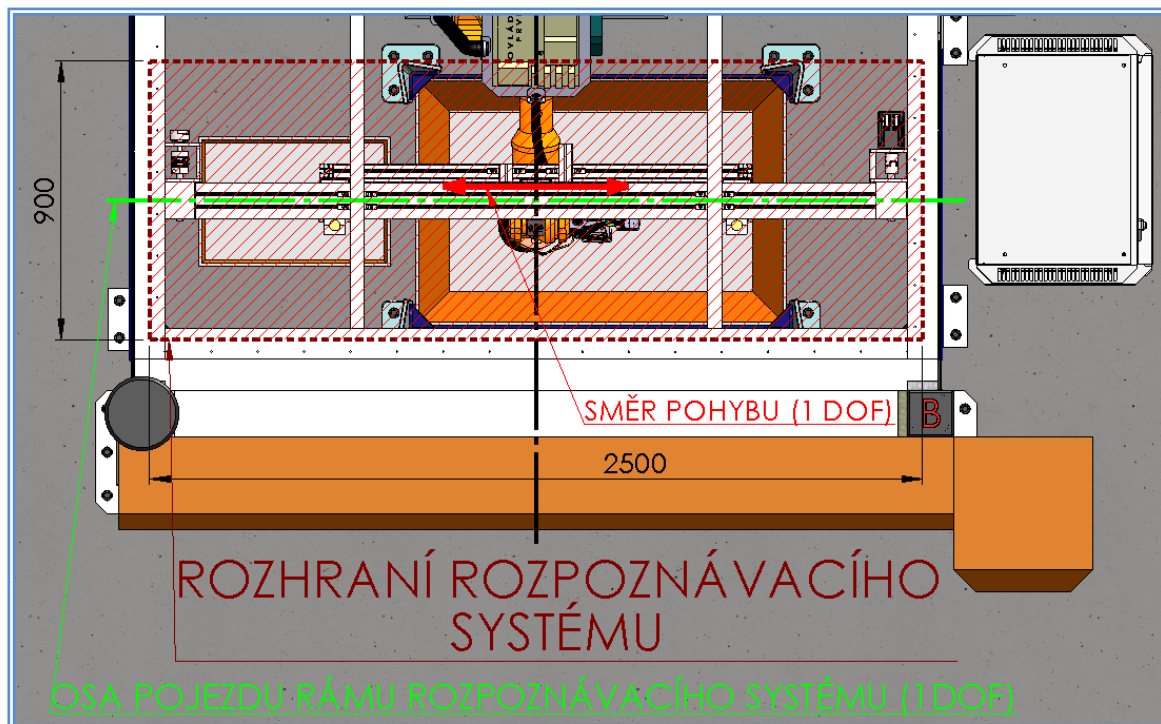
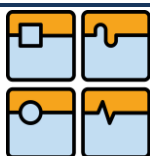
Na (Obr. 92) můžeme vidět, že se bezpečně pohybujeme v pracovní rovině robota a dosah na pracovní pozice 1, 2, 3 je bez problémů dodržen.



Obr. 92.: Pracovní zóny a bezpečné vzdálenosti robotické buňky; (1) Technologická paleta, (2) mezi-poloha(stůl), (3) pásový dopravník s technologickou paletou(koncová poloha) [Vlastní tvorba]

Aby nedocházelo k nárazům robota s bednou (předposlední osa), byl robot umístěn na vyvýšený podstavec z hlediska bezpečnosti a lepší manipulaci robota při výběru součástí z rohů bedny.

Poslední zónou z hlediska bezpečnosti je pracovní zóna rozpoznávacího systému. Ten byl umístěn tak, aby docházelo k celkovému získání obrazu součástí v paletě, tak i v mezi-poloze. Paleta a mezi-poloza jsou umístěny v jedné ose a rozpoznávací systém byl umístěn nad požadované pracovní pozice s jedním stupněm volnosti – 1DOF (lineární pohyb v jednom směru). Na (Obr. 93) je znázorněna osa pohybu rozpoznávacího systému a rozhraní skenování obrazu, tak aby došlo k celkovému pokrytí.



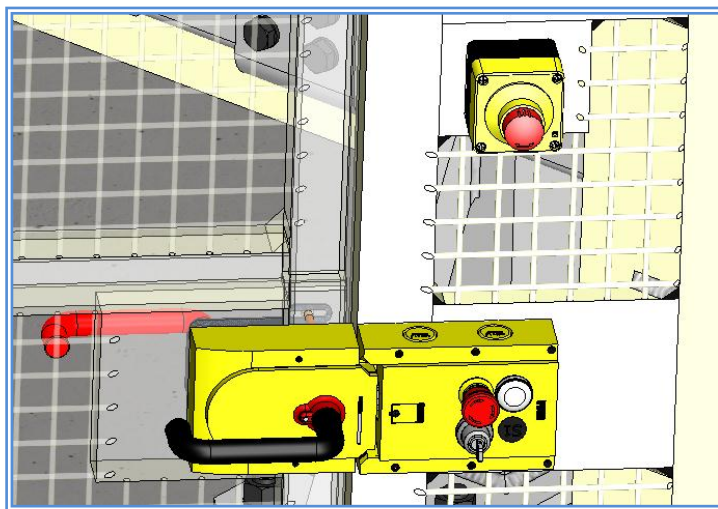
Obr. 93.: Umístění a rozhraní rozpoznávacího systému v robotické buňce [Vlastní tvorba]

9.1.2. Bezpečnostní prvky

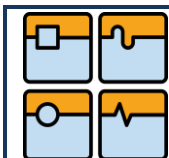
Bezpečnostní prvky byly navrženy dle zvolených bezpečnostních rizik v oblasti robotické buňky z hlediska obsluhy a to:

- Při vstupu do buňky – vstupní dveře
- Při výměně palety – vstupní roletové dveře
- Při výměně technologických palet na pásovém dopravníku

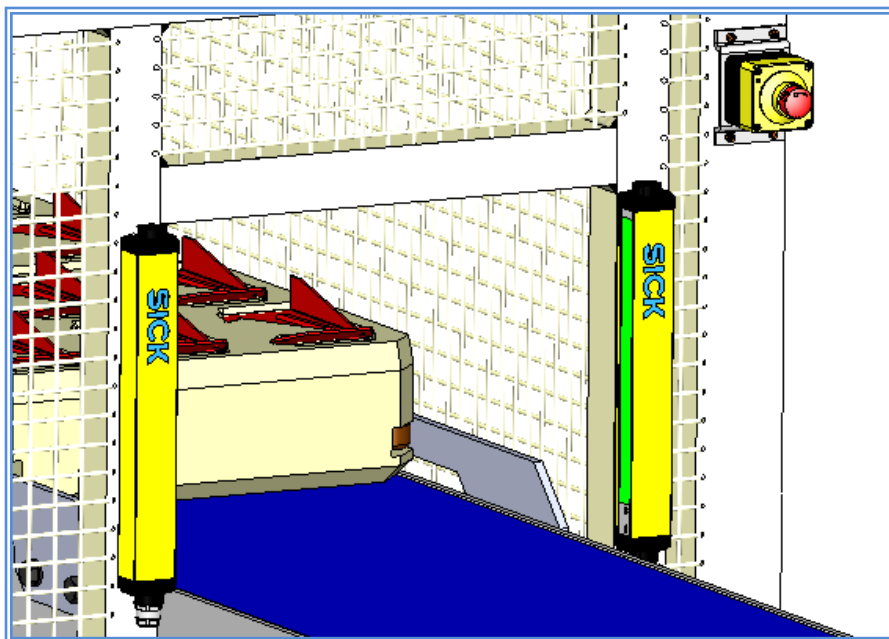
Největší důraz byl kladen na bezpečnost při vstupu do robotické buňky vstupními dveřmi, kdy byl použit bezpečnostní zámek společnosti **EUCHNER-MGB-AR** (Obr. 94), který je také vybaven bezpečnostními tlačítky a bezpečností zpětnou klikou ze vnitř buňky.



Obr. 94.: Elektrický bezpečnostní zámek společnosti EUCHNER-MGB-AR [Vlastní tvorba]

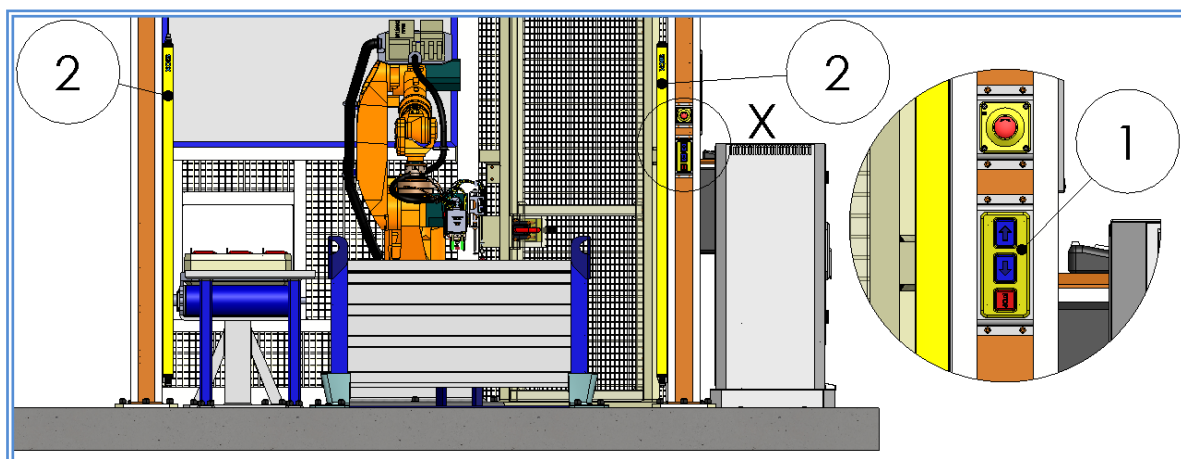


Dalším ochranným prvkem je světelná závora u vstupu a výstupu technologických palet, kde je potřeba zaměřit se na bezpečnost při výjezdu nebo vjezdu technologických palet do robotické buňky nebo přítomnosti obsluhy. Byla použita světelná závora společnosti **SICK C40E-0301AH030** a **C40S-0301AA030** o délce 300 mm a rozlišení 14 mm.



Obr. 95.: Světelná závora společnosti SICK C40E-0301AH030 a C40S-0301AA030 [Vlastní tvorba]

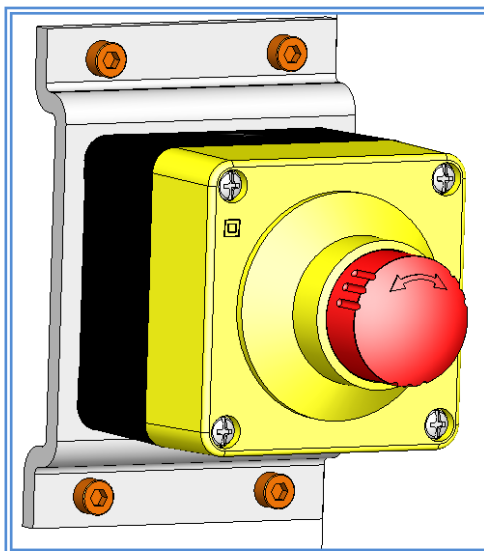
Předposledním ochranným prvkem je více-paprsková světelná závora, při vstupu do robotické buňky roletovými dveřmi. Tyto dveře slouží pro výměru palet a jsou vybaveny ovládacím zařízením pro výsuv, zpětné zasunutí dveří a stop tlačítkem (Obr. 96, poz.1), které slouží pro zastavení v libovolné poloze. Více-paprsková světelná závora byla zvolena od společnosti **SICK „Fusion with external connection“** (Obr. 96, poz.2) typového označení **C40E-1502GY010** a **C40S-1502FY010** o délce 1500mm a rozlišení 20 mm.



Obr. 96.: Více-paprsková světelná závora společnosti SICK C40E-1502GY010 a C40S-1502FY010 včetně ovladače polohy pro zavření a otevření roletových dveří [Vlastní tvorba]



Posledním bezpečnostním prvkem je bezpečnostní tlačítko nouzového vypnutí nebo vypnutí systému při vstupu do robotické buňky, které je použito na třech pozicích (vstupní dveře, vstupní roletové dveře a vstupu technologických palet do robotické buňky (Obr. 94, 95, 96)). Tlačítko nouzového vypnutí bylo zvoleno od společnosti **SICK** typového označení **ES21-SA10F1** (Obr. 97).



Obr. 97.: Bezpečnostní tlačítko nouzového vypnutí společnosti SICK ES21-SA10F1 [Vlastní tvorba]

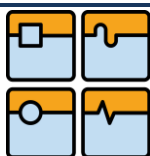
Pro veškeré operace je na střeše umístěno bezpečnostní výstražné zařízení, které podle signalizace ukazuje obsluze aktuální stav robotické buňky pro požadovaný vstup nebo uvedení znovu do provozu.

9.2. Kompletizace robotického pracoviště

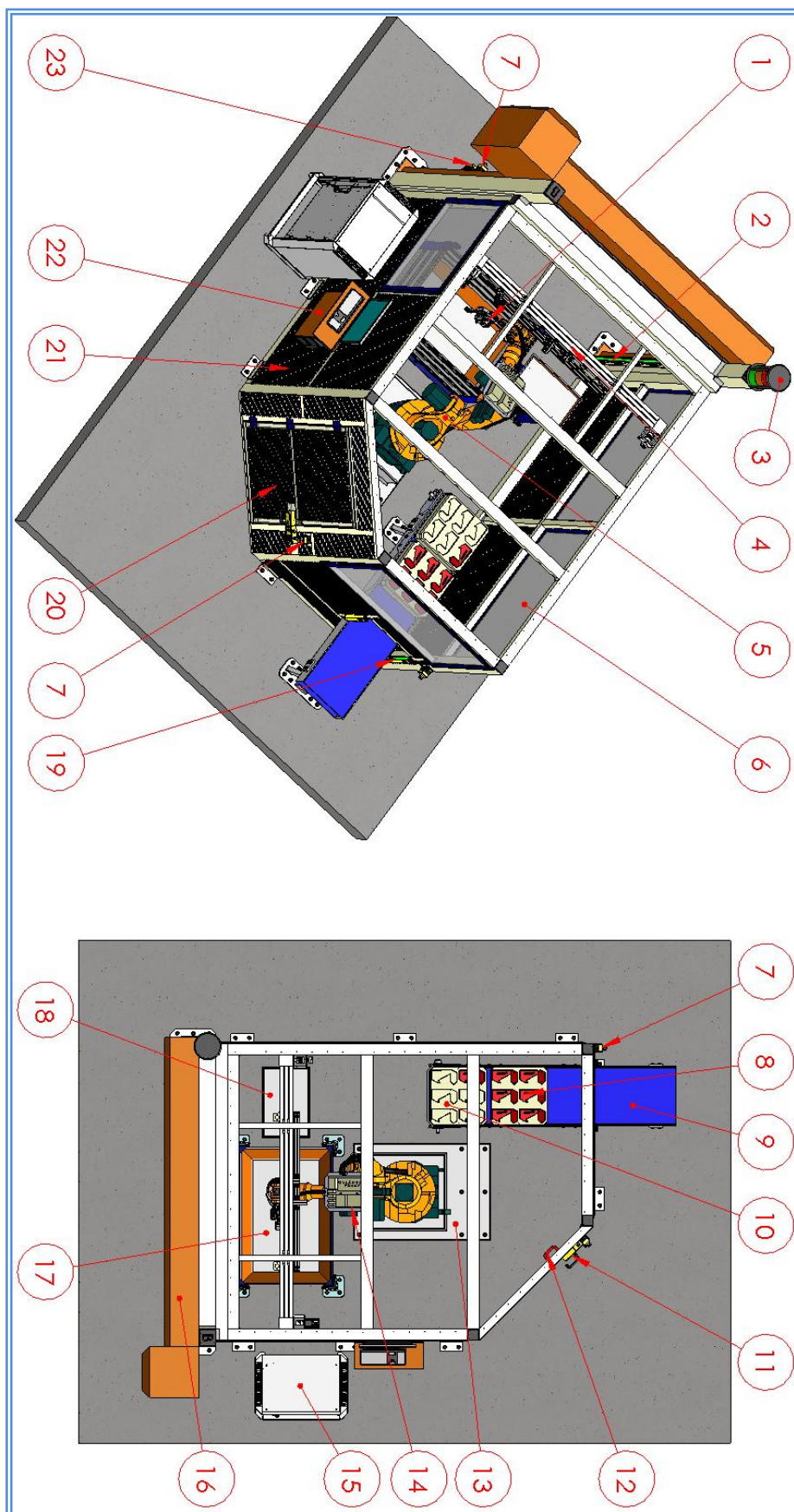
Tato kapitola je zaměřena na kompletizaci a sestavení 3D modelu pracoviště Bin-picking technologie závisující na předchozích kapitolách obzvláště na kapitole 9.1, kde byly prvky buňky uspořádány taky, aby byl pracovní cyklus nepřetržitý, bez komplikací a splňoval veškeré bezpečnostní opatření. 3-D model robotického pracoviště technologie Bin-picking je znázorněn na (Obr. 98) včetně popisu použitých prvků.

Aby robotická buňka mohla pracovat, tak musí být zavřené veškeré dveře (vstupní (20), roletové (16)), musí být zajištěny proti otevření bezpečnostními tlačítky (7), (11) a na signálním sloupku (3) musí svítit zelená signalizace (buňka pracuje). Zelená signalizace nám také určuje, že jsou veškeré bezpečnostní prvky aktivní a robotická buňka je zajištěna proti vniknutí obsluhy. Pokud chce obsluha vstoupit do robotické buňky, vyměnit paletu se součástmi nebo provést veškeré opravné práce, je potřeba, aby byla buňka vypnuta bezpečnostním tlačítkem (7), bezpečnostní zámek je odjištěn (11) a na signalizačním sloupku svítí červené světlo – vstup povolen. Při opuštění buňky a uvedení znovu do provozu, musí být bezpečnostní prvky zaktivovány (2), (7), (11), (16), (19) a sloupek (3) signalizovat zelenou – buňka pracuje.

Proces jednoho cyklu začíná rozpoznávacím systémem (4), kterým je získán obraz součástí v bedně (17). Pomocí koncového efektoru (1) (přísavkou pro hrubý výběr) je součást vybrána z bedny a umístěna do mezi-polohy (18). Kde pomocí rozpoznávacího systému (4) dojde k druhému snímání a získání obrazu pro přesné pře-uchopení (2 přísavky, dorazy a čelisti). Z mezi-polohy je součást přesně uchopena a umístěna do technologické palety (10), které do buňky zajiždějí pomocí pásového dopravníku (9). Dále se proces stále opakuje, jen s tím rozdílem, že rozpoznávací systém pracuje v mezi-čase, kdy robot součást umísťuje na technologickou paletu. Je tím ušetřen čas a robot nemusí čekat na rozpoznávací systém. Při uložení do technologické palety robot už ví, kterou další součást má z bedny vybrat.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

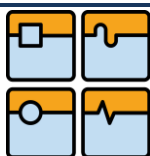


Obr. 98.: Návrh 3-D modelu robotické buňky pro technologii Bin-picking [Vlastní tvorba]

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 88
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Seznam použitých zařízení:

- 1 Koncový efektor (navržený pro speciální tvar součástí) – (Obr. 81)
- 2 Více-paprsková světelná závora SICK „Fusion with external connection“ C40E-1502GY010 a C40S-1502FY010
- 3 Signalizační sloupek (červená, oranžová, zelená)
- 4 Rozpoznávací systém (1x SICK kamera IVC-2D, 2x SICK laser IVP)
- 5 Průmyslový robot KUKA KR16
- 6 Plexisklo – bezpečnostní
- 7 Bezpečnostní tlačítko nouzového vypnutí SICK ES21-SA10F1
- 8 Zadaná součást specifického tvaru (Obr. 65)
- 9 Pásový dopravník
- 10 Technologická paleta pro zakládání součástí do přesné polohy
- 11 Elektrický bezpečnostní zámek EUCHNER-MGB-AR
- 12 Zpětná klika EUCHNER- MGB-E-A-100465
- 13 Svařený modul pro vyvýšení robota
- 14 Ventilový blok včetně ovládacích prvků pro koncový efektor
- 15 Řídicí systém KUKA KR C2 edition 2005
- 16 Roletové dveře včetně motoru pro otevření a zpětné zavření dveří
- 17 Průmyslová paleta – bedna se součástmi
- 18 Mezi-poloha (stůl)
- 19 Světelná závora SICK C40E-0301AH030 a C40S-0301AA030
- 20 Vstupní dveře
- 21 Rám robotické buňky včetně oplocení
- 22 Průmyslové PC pro operátorské ovládání vizuálního běhu buňky, snímání stavu, počítání objektů, chybová hlášení, atd.
- 23 Ovládací zařízení pro výjezd roletových dveří (otevřít, zavřít a stop tlačítko pro zastavení v jakékoliv poloze)



10. ZÁVĚR

Teoretická část diplomové práce se zabývá samotným pojmem technologie Bin-picking. A to z hlediska marketingového zhodnocení, obecného popisu a interaktivního procesu této technologie. Druhá polovina teoretické části je zaměřena na popis jednotlivých prvků, které by měla buňka obsahovat. Jedná se o tyto prvky: průmyslový robot, průmyslová paleta, koncový efektor, rozpoznávací systém a další přídatná zařízení (popis).

Konec teoretické části je zaměřen na popis technologie rozpoznávání obrazu při snímání obrazu technologie Bin-picking. A to technologie rozpoznávání obrazu „Stereo vize“ a „Laserové triangulace“.

Další kapitola byla zaměřena na studii pro možnosti uchopování různě tvarově složitých součástí z bedny. Ty jsou rozděleny do dvou kategorií, a to jednoduššího a složitějšího tvaru. Pro každou kategorii byly zvoleny 3 součásti, které byly následně detailněji rozebrány a stanoveny možné způsoby uchopení. U těch složitějšího tvaru, byl rozebrán způsob uchopení součásti plechového tvaru, který je velmi podobný součásti zadané pro konstrukční část diplomové práce. Pomocí ní byl navržen způsob uchopení zadané součásti pro konstrukční část (reference: Součást složitějšího tvaru č. 2)

Konstrukční část diplomové práce je rozdělena do dvou hlavních kapitol: Návrh koncového efektoru pro zadanou součást a návrh robotické buňky technologie Bin-picking včetně bezpečnosti pracoviště.

V první části návrhu koncového efektoru pro zadanou součást, byl navržen možný způsob uchopení, který byl navržen ve dvou krocích: uchopení nahrubo do mezi-polohy a přesné pře-uchopení do požadované koncové polohy. Na základě tohoto návrhu byly zvoleny a vypočítány dané parametry pro uchopení dané součásti. V prvním případě byl uvažován alternativní způsob uchopení, který byl zvolen, jako nevyhovující z důvodu možných kolizí. Poté byl uvažován návrh koncového efektoru s vyosením, který byl zhotoven ve třech variantách A, B, C. Všechny varianty byly z funkčního hlediska vyhovující, byla však vybrána varianta C, která byla na základě varianty A a B zdokonalena z bezpečnostního hlediska, jednoduchosti a ceny. V poslední části konstrukčního návrhu koncového efektoru bylo uvažováno vážení součástí a kolize. Pro tyto požadavky byla do systému koncového efektoru zahrnuta kolizní ochrana SCHUNK OPS 100 a FTC senzor SCHUNK FTC-50. V neposlední řadě na základě návrhu těchto komponent byl navržen způsob krytování koncového efektoru a teoretické vedení hadiček pro přívod média.

V druhé části byl navržen způsob umístění veškerých prvků, které musí daná buňka obsahovat. Jedná se především o umístění průmyslového robotu, průmyslové palety, mezi-polohy, pásového dopravníku s technologickými paletami a rozpoznávacím systémem. Hlavní podmínkou bylo umístění komponent, tak aby se pohybovali v pracovní rovině robota. V poslední řadě byly navrženy bezpečnostní zařízení z pohledu obsluhy robotické buňky.

11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] AMC – Hofmann (Automation-Market-Competence). Amc-hofmann.com [online]. 2010 [cit. 2012-01-03]. Presentation Bin Picking. Dostupné z WWW: <http://amc-hofmann.com/AMC_-_Bin_Picking_Presentation.pdf>
- [2] K. Boehnke, *Student Member, IEEE*. Object localization in range data for robotic bin picking. [online]. Sept. 22-25, 2007 Scottsdale [cit. 2012-01-03]. Dostupné z WWW: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4341695>
- [3] SCAPE TECHNOLOGIES [online]. 2011 [cit. 2012-23-01] – Firma zabývající se technologií Bin picking. Dostupné z WWW: <<http://scapetechnologies.com/>>
- [4] Aleš Pochylý, Tomáš Kubela, Vladislav Singule, Lukáš Flekal. Pokročilé robotické technologie pro průmyslové aplikace. [online]. 2011 Brno [cit. 2012-30-01]. Prezentace VUT Brno, ústav USSR. Ke stažení. Dostupné z WWW: <www.stech.cz/download.php?id_document=401161204&at=1>
- [5] Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation IPA [online] . 2008 Stuttgart [cit. 2012-23-01] – Prezentace technologie Bin Picking (Dipl.-Ing. Matthias Palzkill). Dostupné z WWW: <<http://www.ipa.fraunhofer.de/index.php?id=660&L=2>>
- [6] SICK [online]. 2010 [cit. 2012-30-01]. 3D kamerové systémy SICK. Dostupné z WWW: <<http://www.sick.cz/cz/servissupport/traning/divize1/kameroovesystemy/3d/cs>>
- [7] POCHYLÝ, A.; KUBELA, T.; KOZÁK, M.; ČIHÁK, P. Robotic vision for bin- picking applications of various objects. In *Proceedings for the joint conference of ISR 2010, 41st International Symposium on Robotics, ROBOTIK 2010, 6th German Conference on Robotics*. Berlin, Offenbach: VDE Verlag GMBH, 2010. s. 428-432. ISBN: 978-3-8007-3273- 9.
- [8] Stereo Vision [online]. [cit. 2012-05-02]. Obecná teorie Stereo vize. Dostupné z WWW: <<http://www.cse.unr.edu/~bebis/CS791E/Notes/StereoCamera.pdf>>
- [9] Qualitastech.com [online]. November 23, 2011 by Raghava Kashyapa [cit. 2012-05-02]. 3D Machine Vision. Dostupné z WWW: <<http://qualitastech.com/blog/2011/11/3d-machine-vision/>>
- [10] SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4
- [11] Xiao Nan-Feng,. Active stereovision-based robot learning control for object tracking, fixating and grasping, Springer-Verlag London Limited 2005. 6 s. DOI 10.1007/s00170-004-2413-z.
- [12] Innovmetric.com [online]. 2012 [cit. 2012-15-02]. 3-D Metrology Hardware Review, High Density Non-NonContact Digitizing, Triangulation-based laser digitizers – prezentace. Dostupné z WWW: <http://www.innovmetric.com/polyworks/3Dscanners/pdf/3D_Metrology_Hardware_Review.pdf>
- [13] Vivek a. Sujan, Steven Dubowskz, Zoshiaki Ohkami. Robotic Manipulation of Highly Irregular Shaped Objects: Application to a Robot Crucible Packing System for Semiconductor Manufacture. *Journal of Manufacturing Processes*; 2002; 4, 1; 15s. ABI/INFORM Global.
- [14] Scapetechnologies.com [online]. 2011 [cit. 2012-24-02] Solution for Picking Randomly Piled Parts (jednoduchá součást č. 1) – video. Dostupné z WWW: <<http://www.youtube.com/watch?v=n9NjESPWkWA>>
- [15] Scapetechnologies.com [online]. 2011 [cit. 2012-24-02]. Bin Picking discs and loading in fixture (jednoduchá součást č.2) – video, Dostupné z WWW: <<http://www.youtube.com/watch?v=xJVhe2QXDUA>>

- [16] Adept.com [online]. 2012 [cit. 2012-29-02]. Adept Technology Inc. – 3D Bin Picking robot using vision (jednoduchá součást č. 3) – video. Dostupné z WWW: <<http://www.youtube.com/watch?v=2zygwhgIO3I>>
- [17] Arotec-robotic.de [online] 2010 [cit. 2012-05-03]. Der Griff in die Kiste – schon realisierbar odr immer noch Zukunftsmusik?. Arotec robotic automatik innovation – prezentace. Dostupné z WWW: <http://spectronet.de/portals/visqua/story_docs/vortraege_2010/101006_anwenderkongress_bildverarbeitung/101006_07_cottone_arotec.pdf>
- [18] Smerobot.org [online]. 2010 [cit. 2012-05-03]. Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation IPA – D2 BinPicking SMeRobot (složitější součást č. 1) – video. Dostupné z WWW: <<http://www.youtube.com/watch?v=uas7vXRjB4s&feature=related>>
- [20] Profactor.at [online]. 2011 [cit. 2012-10-03]. iRobFeeder – Griff in die Kiste am Beispiel eines Formblechteils (složitější součást č. 2) – video. Dostupné z WWW: <<http://www.youtube.com/watch?v=24iTdqDpK1A&feature=related>>
- [21] Benedikt Hupfaut, Heiko Hahn, Leon Bodenhagen, Dirk Kraft, Norbert Kruger, Justus Piater. Grasp Densities for Grasp Refinement in Industrial Bin Picking. *Intelligent and Interactive Systems University of Innsbruck*. [online]. 09.05.2011 [cit. 2012-10-03]. Dostupné z WWW: <http://telerobot.cs.tamu.edu/UiA2011/slides/Hupfaut_et_al_ICRA2011_090511.pdf>
- [22] Visionnerf.com [online]. 2012 [cit. 2012-10-03]. VISION NERF EYESBERG 3D BIN PICKING – Crankshaft (složitější součást č. 3) – video. Dostupné z WWW: <<http://www.youtube.com/watch?v=pTviIT1RV4w>>
- [23] MONKMAN, G., HESSE. S., STEINMANN R., SCHUNK. H., 2007. Robot Grippers. Weinheim: WILEY-VCH, 2003. ISBN 978-3-540-00159-1.
- [24] Smc.cz [online]. 2012 [cit. 2012-25-03]. SMC Industrial Automation CZ, s.r.o., SMC Training, Stlačený vzduch a jeho využití - katalog, Dostupné z WWW: <<http://www.smc.cz/>>
- [25] Schunk.com [online]. 2012 [cit. 2012-05-04], Pneumatické čelisti, OPS, FTC sensory, snímače polohy. Dostupné z WWW: <<http://www.us.schunk.com>>
- [26] Smc.cz [online]. 2012 [cit. 2012-10-04]. SMC Industrial Automation CZ, s.r.o., Katalogová data – Pneumatické písty, přísavky, redukční členy, atd.. Dostupné z WWW: <<http://www.smc.cz/>>
- [27] Kuka.cz [online]. 2012 [cit. 2012-20-04], Průmyslové roboty a řídicí systémy. Dostupné z WWW: <http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/products/>
- [28] Vyhledávání platných i neplatných norem [online]. [cit. 2012-30-04], Dostupné z WWW: <<http://csnonline.unmz.cz/>>
- [29] FILIP PELIKÁN, 2008 Bezpečnostní normy a legislativa – prezentace společnosti SICK
- [30] Sick.com. 2012 [cit. 2012-02-05], Bezpečnostní prvky SICK, Dostupné z WWW: <<http://www.sick.com/cz/cs-cs/home/Pages/Homepage1.aspx>>
- [31] Euchner.cz 2010 cit. 2012-02-05], MGB bezpečnostní zámky, Dostupné z WWW: <<http://www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/bezpecnostni-systemy/>>

12. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.: Bin-picking AMC Hofmann 2011	15
Obr. 2.: Základní kompetence prodejců	16
Obr. 3.: Základní kompetence systémových integrátorů	16
Obr. 4.: Automatizační společnosti	16
Obr. 5.: Společnosti strojního vidění	17

Obr. 6.: Aktivní výrobci robotů podporující Bin-picking	17
Obr. 7.: Používané a/nebo podporované detekční technologie	18
Obr. 8.: Srovnání 3-D nástroje pro analýzu bodových mračen	18
Obr. 9.: Interaktivní robotický proces Bin-picking	19
Obr. 10.: Průmyslový robot umístěný na podlaze (v rovině bedny).....	20
Obr. 11.: Průmyslový robot umístěný na pohyblivé lineární ose nad bednou	21
Obr. 12.: (a) Bedna, (b) Paleta malé výšky, (c) Paleta větší výšky, (d) Paleta se zkosenými rohy	21
Obr. 13: Koncové efekторы.	22
Obr. 14.: Použití laserové triangulace v systému Bin-picking	23
Obr. 15.: 3-D rozpoznávací kamera SICK (kamera s laserovým skenerem).....	23
Obr. 16.: Oplocení robotické buňky systému Bin-picking	24
Obr. 17.: Model možného uspořádání robotické buňky	24
Obr. 18.: Obecný princip vnímaného objektu pomocí Stereo vize	25
Obr. 19.: Ideální stereo geometrie.....	25
Obr. 20.: Základní stereo zpracování	26
Obr. 21.: Aktivní systém stereo vize a robot (model) - vlevo.....	27
Obr. 22.: Stereo vize v praxi - vpravo	27
Obr. 23.: Obecný princip 3-D laser triangulace.....	27
Obr. 24.: Triangulace využívající laserový bod.....	28
Obr. 25.: Možné kombinace kamery a laseru metody triangulace	28
Obr. 26.: Zobrazovací systém rozpoznávání součástí technologie Bin-picking.....	29
Obr. 27.: Ukázka součástí jednoduchého tvaru pro Bin-picking	30
Obr. 28.: Ukázka koncových efektorů pro uchopení součástí jednoduchých tvarů	31
Obr. 29.: Součást č.1 – tvar a rozměr	31
Obr. 30.: (a) Možný způsob uchopení přísavkou, (b) max. úhle natočení součásti pro uchopení přísavkou (zvoleno).....	32
Obr. 31.: (a) Možný způsob uchopení čelistmi, (b) max. úhle natočení součásti pro uchopení čelistmi (zvoleno).....	32
Obr. 32.: Možné kolize při upnutí pomocí čelistí za vnější průměry	33
Obr. 33.: Znázornění součástí, které budou uchopovány pomocí přísavky a čelistí z bedny	33
Obr. 34.: Součást č. 2 – tvar a rozměr	34
Obr. 35.: Reálný pohled na rozmístění součástí č.2 v bedně	34
Obr. 36.: (a) Obecné uchycení jedné součásti pomocí magnetického efektoru, (b) Nevýhoda uchycení pomocí magnetu – uchycení více součástí (nevyhovující)	35
Obr. 37.: (a) Uchycení přísavkou za střed součásti, (b) Maximální poloha natočení součásti pro uchopení	35
Obr. 38.: Možné pořadí uchopování součástí.....	36
Obr. 39.: Součást č. 3 – tvar a rozměr	37
Obr. 40.: Reálný pohled na rozmístění součástí č.3 v bedně	37
Obr. 41.: (a) Možné místa uchopení, (b) Pohled na zefektivnění upínací části čelisti.....	38
Obr. 42.: (a) Uchopení pomocí čelistí za vnitřní otvor [Vlastní tvorba], (b) Dva možné pohledy pro uchopení součástí	38
Obr. 43.: Uchopení pomocí pneumatických čelistí za vnější svislou polohu	39
Obr. 44.: Ukázka součástí složitějšího tvaru pro Bin-picking	40
Obr. 45.: Ukázka koncových efektorů pro uchopování součástí složitějšího tvaru	41
Obr. 46.: Součást č. 1 – tvar a rozměr	41

Obr. 47.: Reálný pohled na rozmístění součástí č. 1 v bedně	42
Obr. 48.: Znázornění uchopení za možné válcové plochy hřídele	42
Obr. 49.: Znázornění uchopení za čelní plochy hřídele	42
Obr. 50.: Znázornění uchopení součástí za čelní plochu hřídele ze svislé polohy	43
Obr. 51.: Bezpečnost uchopení.....	43
Obr. 52.: Součást č. 4 – reálný tvar součásti.....	44
Obr. 53.: Levý obr. – Reálný pohled na rozmístění součástí č. 2 v bedně; Pravý obr. – znázornění dvou možných ploch k uchopení	44
Obr. 54.: (a) Hrubý obraz scény [20], (b) Možní kandidáti pro výběr	45
Obr. 55.: Vlevo – analýza hustoty uchopení, Vpravo – analýza pravděpodobnosti uchopení (tmavě červená – vysoká pravděpodobnost)	45
Obr. 56.: Znázornění koncových bodů vybírané součásti.....	46
Obr. 57.: Požadovaná struktura k rozpoznání součásti	46
Obr. 58.: Ukázka nepravděpodobnější plochy k uchopení (85%)	46
Obr. 59.: Součást č. 3 – tvar a rozměr	47
Obr. 60a.: Reálný pohled na rozmístění součástí č. 3 v bedně – náhodné rozmístění součásti pouze ve vodorovné poloze.....	48
Obr. 60b,c,d.: Rozpoznávací systém.....	48
Obr. 61.: Strategie možných oblastí pro uchopení	49
Obr. 62.: Speciální design koncového efektoru pro uchopení klikové hřídele z bedny	49
Obr. 63.: (a) Možný způsob uchopení [Vlastní tvorba], (b) Možné riziko zhroupení součásti při uchopení za válcové plochy znázorněné zeleně v (Obr. 61).....	49
Obr. 64.: Možný způsob uchopení za válcové plochy znázorněné červeně v (Obr. 61).....	50
Obr. 65.: 3-D model zadané součásti.....	51
Obr. 66.: Základní rozměry zadané součásti (pouze orientační)	51
Obr. 67.: Vhodné oblasti pro hrubý výběr pomocí jednoduché přísavky (Žlutě – nejvhodnější oblasti k uchopení, Zeleně – další možné oblasti k uchopení	52
Obr. 68.: Ukázka možného hrubého uchopení součásti pomocí jedné přísavky.....	53
Obr. 69.: Vhodná oblast pro přesné uchopení součásti v mezi-poloze	53
Obr. 70.: Dvě možné pozice po umístění z hrubého výběru (tedy dvě polohy pro uchopení z mezi-polohy)	54
Obr. 71 (a-e).: Postup uchycení součásti v mezi-poloze	54
Obr. 72.: Rozložení sil působících při uchopení součásti pomocí přísavky	55
Obr. 73.: Nákres nejvzdálenějšího bodu od těžiště s potřebnými rozměry	56
Obr. 74.: Silové poměry při vysunutí dorazů	61
Obr. 75.: Znázornění působících sil při uzavření a otevření pneumatického pístu s dorazy ..	62
Obr. 76.: Znázornění působících sil při sevření pneumatickými čelistmi.....	63
Obr. 77.: Bezpečnější způsob uchopení	64
Obr. 78.: Model chapadla – Varianta A	66
Obr. 79.: Model chapadla – Varianta B	68
Obr. 80.: Detailnější pohled na návrh výsunu pro dorazy varianty B	69
Obr. 81.: Model chapadla – Varianta C	70
Obr. 82.: Ukázka výsunu kompaktního válce a pneumatického pístu při výběru nahrubo	71
Obr. 83.: Základní rozměry čelisti pro stanovení skutečné úchopné síly	72
Obr. 84.: Znázornění působení zatížení na čelist chapadla SCHUNK KGG 70	73
Obr. 85.: Model koncového efektoru s kolizní ochranou SCHUNK OPS 80	74

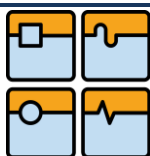
Obr. 86.: Model koncového efektoru s kolizní ochranou SCHUNK OPS 100 a senzorem FTC 50	75
Obr. 87.: Uspořádání a vedení hadiček bez opláštění – nevyhovující	76
Obr. 88.: Opláštění a uspořádání hadiček pro média včetně centrální hadice	77
Obr. 89.: Poloha těžiště efektoru pro robota KUKA KR 16	78
Obr. 90.: Umístění centrálních hadic pro přívod a odvod média z ovládacího panelu koncového efektoru	79
Obr. 91.: Pracovní zóny robota KUKA KR 16	81
Obr. 92.: Pracovní zóny a bezpečné vzdálenosti robotické buňky; (1) Technologická paleta, (2) mezi-poloha(stůl), (3) pásový dopravník s technologickou paletou(koncová poloha).....	82
Obr. 93.: Umístění a rozhraní rozpoznávacího systému v robotické buňce	83
Obr. 94.: Elektrický bezpečnostní zámek společnosti EUCHNER-MGB-AR [Vlastní tvorba]	83
Obr. 95.: Světelná závora společnosti SICK C40E-0301AH030 a C40S-0301AA030.....	84
Obr. 96.: Více-paprsková světelná závora společnosti SICK C40E-1502GY010 a C40S-1502FY010 včetně ovladače polohy pro zavření a otevření roletových dveří.....	84
Obr. 97.: Bezpečnostní tlačítko nouzového vypnutí společnosti SICK ES21-SA10F1	85
Obr. 98.: Návrh 3-D modelu robotické buňky pro technologii Bin-picking	87

13. SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1 Vstupní hodnoty 1	55
Tab. č.2 Použité zkratky 1	55
Tab. č.3 Teoretická nosná síla přísavek [N]	56
Tab. č. 4 Vstupní hodnoty 2	57
Tab. č.5 Použité zkratky 2	57
Tab. č.6 Použité zkratky 3	57
Tab. č. 7 Vstupní hodnoty 3	58
Tab. č.8 Použité zkratky 4	58
Tab. č.9 Použité zkratky 5	59
Tab. č.10 Teoretická nosná síla přísavek-pouze výseč z tab.č.3 [N]	59
Tab. č.11 Použité zkratky 6	60
Tab. č.12 Použité zkratky 7	62
Tab. č. 13 Vstupní hodnoty 4	63
Tab. č.14 Použité zkratky 8	63
Tab. č.15 Parametry chapadla SCHUNK KGG 70.....	72
Tab. č.16 Maximální hodnoty zatížení chapadla SCHUNK KGG 70	73
Tab. č. 17 Vstupní hodnoty pro výpočet momentů chapadla KGG 70	74
Tab. č. 18 Pneumatické komponenty včetně rozvaděčů pro ventilový blok	79

14. SEZNAM GRAFŮ

Graf. 1.: Závislost délky čelisti na uchopovací síle pro chapadlo SCHUNK KGG 70	72
Graf. 2.: Závislost nosnosti robota KUKA KR 16 na vzdálenosti těžiště efektoru od příruby robota.....	78

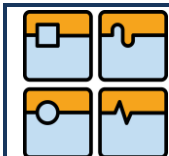


15. SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

Označení výkresu/ Jméno přílohy	Typ výkresu	Název součásti
2-5O/9-01/00	Výkres sestavy	ROBOTICKÁ BUŇKA ASM-3D LAYOUT
1-5O/9-01/01	Výkres sestavy	ROBOTICKÁ BUŇKA ASM -2D
2-5O/9-02/00	Výkres sestavy	KONCOVÝ EFEKTOR ASM
2-5O/9-03/00	Výkres sestavy	CHAPADLO ASM
2-5O/9-03/01	Výkres sestavy	CHAPADLO S KRYTOVÁNÍM

16. SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH

Název přílohy	Jméno souboru	Technická specifikace produktu
ELE1	Katalog_1.pdf	Průmyslový robot KUKA KR16
ELE2	Katalog_2.pdf	Pneu. čelisti SCHUNK KGG 70
ELE3	Katalog_3.pdf	Vakuové přísavky SMC – řada ZPT
ELE4	Katalog_4.pdf	Pneum. písty SMC – řada C85
ELE5	Katalog_5.pdf	Mag. snímač polohy SCHUNK MMS-P
ELE6	Katalog_6.pdf	Kompaktní suport SMC – řada MXH
ELE7	Katalog_7.pdf	Snímač polohy SMC D-C73
ELE8	Katalog_8.pdf	Snímač tlaku a vakua SMC – řada PSE540
ELE9	Katalog_9.pdf	Silo-momentový senzor SCHUNK FTC 50
ELE10	Katalog_10.pdf	Kolizní ochrana SCHUNK OPS 100
ELE11	Katalog_11.pdf	Světelná závora SICK C4000 Basic
ELE12	Katalog_12.pdf	Bezp. Zámek EUCHNER MGB-AR
ELE13	Katalog_13.pdf	Bezp. klikové moduly EUCHNER MGB
ELE14	Katalog_14.pdf	Tlačítko nouzového vypnutí SICK ES21
ELE15	Katalog_15.pdf	Světelná závora SICK C4000 Fusion
ELE16	Katalog_16.pdf	Smart Kamera SICK IVC-2D
ELE17	Katalog_17.pdf	Řídící systém KUKA VKR C2 edition 2005
VÝK.DOK1	Vykr_dokum.pdf	Vykresová dokumentace v el. podobě



PŘÍLOHA 1: Detailní obrázek rozmístění robotické buňky (kvalitnější rozlišení)

