

# Návrh automatizace pracoviště kalibrace Kovárny VIVA a.s.

Bc. Ondřej Šírek

---

Diplomová práce  
2015

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2014/2015

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Šírek**  
Osobní číslo: **T13765**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Návrh automatizace procesu kalibrace na pracovišti  
Kovárny VIVA a.s.**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte rešerši na dané téma**
- 2. Navrhňte automatizaci stávajícího pracoviště pro kalibraci výkovků**
- 3. Navržené řešení musí respektovat prostorové nároky stávajícího pracoviště a musí umožňovat manipulaci s deseti různými výkovky**
- 4. Zhodnoťte výhody a nevýhody jednotlivých variant řešení**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Jaroslav Maloch, CSc.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**30. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce:

**13. května 2015**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



  
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 12.5.2015



.....

<sup>1)</sup> Zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací

(1) Vysoká škola nevydělčně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být těž nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výtisky, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> Zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3.

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, ušje-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k ujuice nebo k vlastní potřebě díla vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>1)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo.

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpira-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídá k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce je návrh automatizovaného pracoviště pro kalibraci výkovků za studena v Kovárně Viva, a. s. Teoretická část je určena k pochopení oboru automatizace a robotiky. Praktická část se zabývá samotným návrhem automatizovaného pracoviště v off-line programu, rozbořem jeho jednotlivých úseků a klíčových elementů pro detekci polohy a manipulaci s výkovky. Závěr práce je zaměřen na finanční vyhodnocení automatizovaného pracoviště.

Klíčová slova:

Automatizace, robotika, robotizované pracoviště, off-line program, výkovek

## **ABSTRACT**

The aim of this this diploma thesis is proposal of automated workplace for calibration of cold forgings in Kovarna Viva, a.s. The theoretical part describes subject of automatization and robotics. The practical part engages in suggestion of automation workplace in off-line program, analysis of the individual segments and crucial elements for detection position of forgings and their manipulation. Conclusion of work focuses on financial evaluation of automated workplace.

Keywords:

Automatization, robotics, robotized workplace, off-line program, forgings

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jaroslavovi Malochovi, CSc. za vedení, poskytování cenných připomínek a rad. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Petrovi Čihákovi, panu Miloši Kučerovi, panu Ivo Semerádovi, panu Miroslavovi Daňkovi, panu Ing. Jaroslavovi Veselému, panu Ing. Františkovi Tomečkovi a panu Ing. Davidu Sámkovi, Ph.D. za pomoc a ochotu. Největší poděkování patří mé rodině, přítelkyni a mým nejbližším.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně dne 12.5.2015



Podpis diplomanta

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 AUTOMATIZACE</b> .....	<b>13</b>
1.1 DŮVODY NÁVRHU AUTOMATIZACE .....	13
1.2 ZÁKLADNÍ POJMY .....	14
1.3 PŘÍNOS A ZÁSADNÍ PROBLÉMY AUTOMATIZACE .....	16
1.4 SOUČASNÉ TRENDY AUTOMATIZACE .....	17
<b>2 HISTORIE A VÝVOJ ROBOTIKY</b> .....	<b>18</b>
2.1 ÚVOD .....	18
2.2 HISTORIE ROBOTIKY .....	18
2.3 VÝVOJ ROBOTIKY .....	19
<b>3 KLASIFIKACE ROBOTŮ</b> .....	<b>21</b>
3.1 ÚVOD .....	21
3.2 MANIPULAČNÍ SYSTÉMY .....	21
3.2.1 Manipulátory .....	22
3.2.2 Systémy Pick-and-Place .....	22
3.2.3 Průmyslové roboty .....	23
3.2.4 Servisní roboty .....	23
3.3 KINEMATICKÁ KONSTRUKCE ROBOTŮ .....	24
3.3.1 Translační kinematická struktura typu TTT .....	25
3.3.2 Cylindrická kinematická struktura typu RTT .....	25
3.3.3 Sférická kinematická struktura typu RRT .....	26
3.3.4 Kinematická struktura typu SCARA .....	26
3.3.5 Angulární kinematická konstrukce typu RRR .....	27
3.3.6 Paralelní kinematická struktura .....	28
3.3.7 Přesnost polohování a dostatečná tuhost polohování .....	28
3.4 POHONY PRŮMYSLVÝCH ROBOTŮ .....	29
3.5 PŘEVODY PRŮMYSLVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ .....	31
3.6 KONCOVÉ EFEKTORY (PRACOVNÍ HLAVICE) .....	33
3.6.1 Úchopné hlavice .....	34
3.6.2 Technologické hlavice, kontrolní a měřicí .....	35
3.6.3 Kombinované pracovní hlavice .....	36
3.6.4 Speciální hlavice .....	36
3.7 ŘÍZENÍ PRŮMYSLVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ .....	37
<b>4 PROGRAMOVÁNÍ PRŮMYSLVÝCH ROBOTŮ</b> .....	<b>38</b>
4.1 ON – LINE PROGRAMOVÁNÍ .....	38
4.2 SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM ROBOTA KUKA .....	40
4.3 OFF-LINE PROGRAMOVÁNÍ .....	43
<b>5 ROBOTEXPERT</b> .....	<b>47</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>50</b>
<b>6 KOVÁRNA VIVA A.S.</b> .....	<b>51</b>



6.1	VÝROBNÍ PROGRAM .....	51
6.1.1	Vývoj a konstrukce .....	51
6.1.2	Výroba nástrojů .....	51
6.1.3	Výrobní proces .....	51
6.1.4	Produkty (automotiv, vysokozdvizné vozíky, hydraulika, jiné) .....	52
6.1.5	Kvalita .....	52
<b>7</b>	<b>ZADÁNÍ PROJEKTU .....</b>	<b>53</b>
7.1	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU.....	53
7.1.1	Layout pracoviště pro kalibraci výkovků.....	53
7.1.2	Manipulovaný předmět – výkovek.....	55
7.1.3	Manipulační jednotka.....	57
7.1.4	Kalibrovací lis .....	58
<b>8</b>	<b>IDEOVÝ NÁVRH PRACOVIŠTĚ .....</b>	<b>59</b>
8.1	ROZBOR JEDNOTLIVÝCH ÚSEKŮ AUTOMATIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ.....	60
8.1.1	Kamerový systém s 3D kamerou a motorickým posuvem FESTO .....	60
8.1.2	Kartézský manipulační systém FESTO .....	61
8.1.3	3D kamera Sick Ranger .....	62
8.1.4	Cenová kalkulace systému pro detekci polohy výkovku .....	62
8.1.5	Koncové efekторы robotů.....	63
8.1.5.1	Koncový efektor 1. pro odběr výkovků z bedny za kruhový otvor .....	63
8.1.5.2	Koncový efektor 2. pro odběr výkovků z bedny magnetickým uchopovačem .....	65
8.1.5.3	Koncový efektor 3. pro odběr výkovků z pásu a pro uložení do kalibrační zápusťky .....	65
8.1.6	Specifikace aplikovaných robotů .....	67
8.1.6.1	Robot ABB IRB 2600_12_165 a robot ABB IRB 2600_12_185.....	70
8.1.7	Periférie pro automatickou výměnu chapadel.....	72
8.1.8	Pásový dopravník .....	73
8.1.9	Bezpečnostní bariéra pracoviště.....	74
8.1.10	Cenová kalkulace navrženého pracoviště .....	76
8.2	GRAFICKÁ VIZUALIZACE VÝROBNÍHO PROCESU KALIBRACE VÝKOVKŮ.....	78
8.2.1	1. Fáze pracovního cyklu – detekce ideální polohy pro odběr výkovku.....	78
8.2.2	2. Fáze - vyhodnocení detekce kamerou a následný odběr výkovku z bedny .....	78
8.2.3	3. Fáze – Detekce polohy výkovku v koncovém efektoru .....	81
8.2.4	4. Fáze – Uložení výkovku do pásového zásobníku .....	81
8.2.5	5. Fáze – Odběr výkovku z pásového zásobníku .....	84
8.2.6	6. Fáze – Odběr zkalibrovaného výkovku ze zápusťky .....	85
8.2.7	7. Fáze – založení výkovku do kalibrační zápusťky a její kontrola.....	86
8.2.8	8. Fáze – uložení zkalibrovaného výkovku do plechové bedny.....	87
8.3	VYHODNOCENÍ ČASU CYKLU .....	88
8.4	GRAFICKÁ VIZUALIZACE PROCESU ZA ÚČASTI LIDSKÉHO FAKTORU BEZ AUTOMATICKÉHO PRACOVIŠTĚ.....	89
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>90</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>93</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>94</b>

<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>97</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>98</b>

## ÚVOD

Záměr této práce je návrh automatizovaného pracoviště pro kalibraci výkovků. Z pohledu efektivity a ekonomičnosti výroby je kladen požadavek na zvýšení výkonu stroje díky zrychlením výrobního cyklu procesu kalibrace a náhradou namáhavé lidské pracovní síly. Důvodem automatizace je i sociální aspekt, kdy jde o eliminaci monotónní a fyzicky náročné manipulace s výkovky. Kalibrace probíhá na kalibračním lisu, ve kterém je umístěn kalibrační nástroj neboli kalibrovací zápustka. Do kalibračního nástroje je manuálně vkládán výkovek operátorem. Po založení operátor spustí stroj do poloautomatického cyklu a dojde k uzavření kalibračního nástroje silou 10 000 kN. Po otevření kalibračního nástroje operátor odebírá výkovek z kalibračního nástroje a ukládá ho do transportního boxu. Kalibrací za studena se zvyšuje přesnost výkovků, které jsou později určeny k zástavbě do zařízení. Cílem návrhu je celý tento výrobní proces plně automatizovat nebo navrhnout optimální řešení, které tento výrobní proces zefektivní. Návrh musí zohledňovat pracovní prostor kolem kalibračního stroje, manipulaci s deseti odlišnými výkovky a nutnost výměny kalibračního nástroje, který je odlišný podle daného výkovku.

Teoretická část je zaměřena na základní prvky automatizace, její současné trendy, které by mohly být inspirací pro realizaci zadání této práce, zejména technologie Bin Picking, která využívá robota jako lidské paže, 3D kameru jako lidský zrak a vhodně zkonstruovaný koncový efektor jako lidskou ruku, která uchopí manipulovaný objekt a uloží na požadované místo. Klíčovým prvkem je tedy průmyslový robot, proto je teoretická část zaměřena základům robotiky a konstrukcí těchto zařízení. Zadání se bude realizovat v CAD/CAM softwaru metodou off-line programování. Novinkou na trhu v této oblasti je simulační software RobotExpert od firmy Tecnomatix, pomocí kterého proběhne i vizualizace návrhu automatizace.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 AUTOMATIZACE

Technický proces, který by měl danými stroji nahradit fyzickou a duševní práci člověka. Pochází z řeckého slova „AUTOMATOS“ = sám o sobě konající. Cílem automatizace je plně nebo alespoň částečně odstranit účast člověka v procesu, který má být automatizován. Důvodem zavedení automatizace je mnoho aspektů.

### 1.1 Důvody návrhu automatizace

#### a) Vynucená automatizace

- Ohrožení člověka při práci
- Práce ve zdravotně závadném prostředí
- Eliminace chyb vzniklých lidskou chybou (autopilot)
- Fyzicky náročná práce (manipulace s výrobky o vysoké hmotnosti)
- Neschopnost kontrolovat a řídit mnoho úkonů procesu současně (elektrárny)
- Zaručení stabilní kvality výroby (přesnost svaru)
- Nemožná přítomnost člověka (kosmická sonda) [5]

#### b) Automatizace z hlediska efektivity

- Zvýšení kvality výroby
- Zvýšení produktivity a kratší doby výrobních cyklů
- Zvýšení objemu výroby
- Snížení nákladů na mzdy a režijních výloh
- Snížení spotřeby materiálu [5]

#### c) Ostatní důvody automatizace

- Vyšší pracovní komfort pro člověka
- Sběr dat a informací
- Monitorování informací
- Ekologie
- Zábava [5]

## 1.2 Základní pojmy

**Stroj** – zařízení navržené a vyrobené člověkem, které má nahradit, urychlit, usnadnit práci člověka

**Mechanizace** – proces, který má pomocí strojů částečně nebo zcela nahradit fyzickou práci člověka

**Komplexní mechanizace** – úplná mechanizace daného procesu

**Automat** – stroj, který sám vykonává naprogramované úkony

**Automatizace** – proces, ve kterém stroje a technická zařízení nahrazují fyzickou i duševní činnost člověka

**Řídící činnost** - schopnost člověka vykonávat činnost v oblasti řízení, logického myšlení, detekce problémů, rozhodování, tvorbě technologických postupů. Tato schopnost je uplatňována při spouštění strojů do provozu, tvorbě a optimalizaci technologických postupů, řešení kritických situací, diagnostice zařízení, plánování výroby, dálkové řízení procesu výroby.

**Komplexní automatizace** – plně automatizovaný proces, ve kterém řídicí činnost člověka přebírá sofistikované strojní řízení.

**Částečná automatizace** – proces, kdy jsou pouze některé úseky automatizovány a ostatní úseky jsou neautomatizovány.

**Integrovaný obvod (Chip)** – polovodičová součástka s vysokým stupněm integrace aktivních a pasivních prvků na malé ploše křemíkové destičky, uložená v ochranném obalu.

**Mikroprocesor** – integrovaný obvod slučující v sobě, slučující v sobě řadič, aritmeticko-logickou jednotku, paměťové médium a další funkční bloky číslicového mikropočítače.

**Algoritmus** – je přesný návod určený k vyřešení dané úlohy. Nejčastěji je využívám při programování, kdy jde o určitý teoretický postup řešení problému.

**Algebra** – věda, která se zabývá výpočtem neznámých veličin pomocí veličin známých. Mezi hlavní zástupce patří lineární a logická algebra.

**Řízení** – je prováděno řídicí jednotkou, která vykonává postupně předem definované úkoly za účelem dosažení požadovaného výsledku.

**Automatické řízení** – samočinné ovládání zařízení podle naprogramovaných úkolů k dosažení požadovaného výsledku.

**Logické řízení** – řízení, které využívá číslicových signálů (logická jedna, logická nula) Řízení k rozhodování využívá logické funkce.

**Počítač** – zařízení, které na základě programu provádí matematické operace

**Kybernetika** – obor zabývající se obecnými zákonitostmi řízení a přenosu dat mezi stroji.

**Robot** – programovatelné technické zařízení, které je schopno imitovat nebo nahradit člověka. Jeho schopností je plnit předem definované úkony bez přímé účasti řízení člověkem. Navrhují se pro manipulační nebo technologické aplikace pomocí programovatelných trajektorií pohybů v jednotlivých osách za účelem splnění dané úlohy.

**Umělá inteligence** – strojová imitace inteligentního jednání člověka

**Návrh automatizace** – popis způsobu řešení automatizovaného procesu, který by měl obsahovat vhodný výběr automatizačních prvků.

**Projekt automatizace** – soubor návrhů, plánů, jednotlivých fází, které ze stávajícího stavu vedou k požadovanému rozsahu automatizace.

**Automatizační prostředek** – jde o technologické nebo programovací zařízení, který je možno využít při automatizaci. Rozdělují se podle jejich vykonávané funkce (senzory, řídicí PLC, regulace, atd.) a podle druhu zpracovávané energie:

- hydraulické
- elektrické
- pneumatické
- mechanické
- optické

### 1.3 Přínos a zásadní problémy automatizace

Automatizace je nástrojem a projevem vědeckotechnického pokroku ve strojírenství a důkazem je dosažení úrovně, v níž se aplikace vědy stává adekvátní náhradou pracovní síly.

V případě komplexního přístupu k řešení otázek automatizace jak v oblasti vytváření výrobních soustav, tak v oblasti zavádění plně automatizovaných systémů řízení jsou pak rozhodujícími zvláště následující přínosy automatizace:

- ▲ Výrazný růst produktivity práce promítnutý do úspory pracovních sil, doprovázený též přesunem lidí z bezprostřední výroby do sféry přípravy a kontroly výroby.
- ▲ Snížení a vyloučení vlivu lidského subjektu na množství a především na kvalitu produkce.
- ▲ Skutečnost a prokázaný výsledek, že automatizovanou výrobu lze snadno automaticky plánovat, regulovat a vyhodnocovat.
- ▲ Zásadním přínosem jsou pomocí automatizovaných systémů řešeny i podmínky práce, odstranění namáhavosti a řešení technologických operací ve zdraví škodlivém a nebezpečném prostředí.

Zásadní problémy automatizace naopak spočívají:

- ▼ Značná technická složitost soustav výrobních a řídicích zařízení, u kterých je nutnost uplatnit zcela nové a netradiční přístupy zejména metody v projekci, v konstrukci a provozování.
- ▼ Vysoká cena pořízení, vysoké náklady na provoz, které si vynucují prosazení zvláštních organizačních a sociálních opatření zajišťujících hospodárnost automatizovaného provozu.
- ▼ Změny v organizaci, přístupu k využívání a provozu nových složitějších výrobních systémů, vedoucí v mnoha případech k rekvalifikaci pracovníků.
- ▼ Vyšší požadavky na kvalifikovanost obslužného personálu (obtížnost při náboru a obsazování pracovních pozic, růst mzdových nákladů vázaných pro tuto kategorii pracovníků)



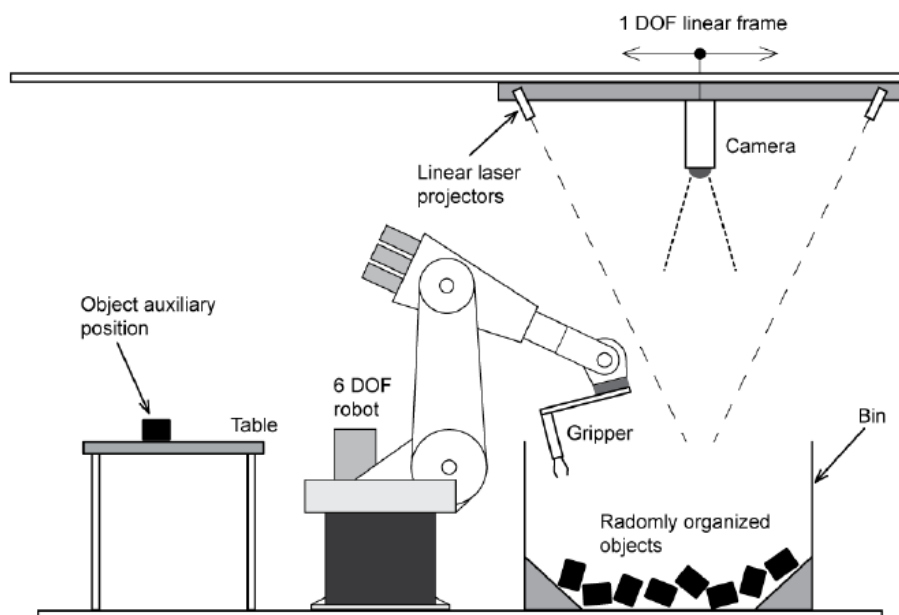
## 1.4 Současné trendy automatizace

### Výběr neorientovaných objektů z boxu – technologie BIN – PICKING

Roboty a robotická pracoviště nahrazují lidskou pracovní sílu při zakládání výrobků, nebo polotovárů do výrobního zařízení. Tyto pracoviště zcela nahrazují monotónní a mnohdy namáhavou práci člověka, jehož aktivní činnost v procesu se zúží na přísun materiálu do stanoveného pracoviště, odkud si robot sám vyhledá a následně přesně umístí do předem definované polohy. Kalkulovaná návratnost investice do dvou let při dvousměrném provozu.

Základní prvky robotického pracoviště:

- Bedna (paleta, klec atd.) vstupní prvek, ve kterém jsou výrobky nahodile uspořádány a určeny k další manipulaci.
- Robot definován jako „silná paže bez únavy“ Pracoviště je nezávislé na typu robota (ABB, KUKA, Fanuc, Stäubli, Kawasaki)
- Koncový efektor definován jako „ruka“, která je konstruovaná podle tvaru výrobku, který odebíráme, manipulujeme a následně ukládáme. Důraz je kladen na přesnost a pevnost úchopu bez poškození povrchu výrobku.
- 3D kamera definována jako „zrak robota“ plus řízení, který dá tomuto zraku inteligenci. Nahodile umístěný výrobek detekuje a robota úspěšně navede pro přesný odběr výrobku. Odběr je bez kolizí a co nejrychlejší. [5]



Obrázek 1. Bin Picking[5]

## 2 HISTORIE A VÝVOJ ROBOTIKY

### 2.1 Úvod

Tato kapitola má za cíl seznámit s historií robotiky, jejími základy a postupným vývojem. V kapitole jsou zmíněny důležité a průlomové pokroky v oblasti vývoje robotiky a její postupné implementace zejména do výrobních procesů. Přílohou této kapitoly jsou grafy zobrazující postupné zavádění průmyslových robotů do výrobních procesů.

### 2.2 Historie robotiky

Robotika patří mezi nejmladší technické obory. Její analýza a znalosti přináší v aktuálních souvislostech podmínky pro další vývoj a rozvoj zejména průmyslové výroby. Dějiny lidstva zaznamenávají i úsilí člověka o efektivnější využití jeho možností, zlepšení životních podmínek a uspokojení narůstajících životních požadavků a trendů. Cestou k tomuto cíli zaručeně vede rozvoj výroby. Její podstatné urychlení je zaznamenáno od průmyslové revoluce, s dalšími významnými pokroky zavedením mechanizace, později automatizace a robotizace. [5]

Pojem robot se objevil v roce **1920** v Čapkově hře R.U.R. (Rossum's Universal Robots), která dala světu nejen nový pojem, ale také navodila řadu filozofických souvislostí a vzhledem k její popularitě a rozšíření, generovala další inspiraci a počiny lidí. Slovo Robotika jako první použil spisovatel Isaac Asimov roku **1941** v povídce Runaround, ve které definoval tři zákony robotiky. [5]

Projevem byly v 20. a 30. letech minulého století různé technické a hospodářské výstavy, které reprezentovaly soudobé technické novinky. Tak v roce **1927** na světové výstavě v New Yorku byl vystaven robot „Televox“, vykonávající jednoduché pohyby. V roce **1928** na výstavě britské asociace inženýrů v Londýně byl vystaven robot „Erik“, který mluvil nebo v témže roce v Japonsku robot „Přírodovědec“ sestavený z elektropohonů a jednoduchých mechanismů, pomocí kterých hýbal rukama a hlavou. Dalším projevem robotiky byl robot, který se objevil na Londýnské radiotechnické výstavě v roce **1931**. Robot byl velmi podobný člověku a jeho konstrukce byla realizována soudobými technickými prostředky tehdejší úrovně. Zásadní rozdíl s dnešními roboty bylo, že neměly řídicí systém a programovací prostředky. Závěrem lze říci, že v období roků **1920** až **1945**, byl pojem robot dostatečně frekventován k vytvoření dalšího uvědomění a snahou tento pojem zdokonalit. [5]

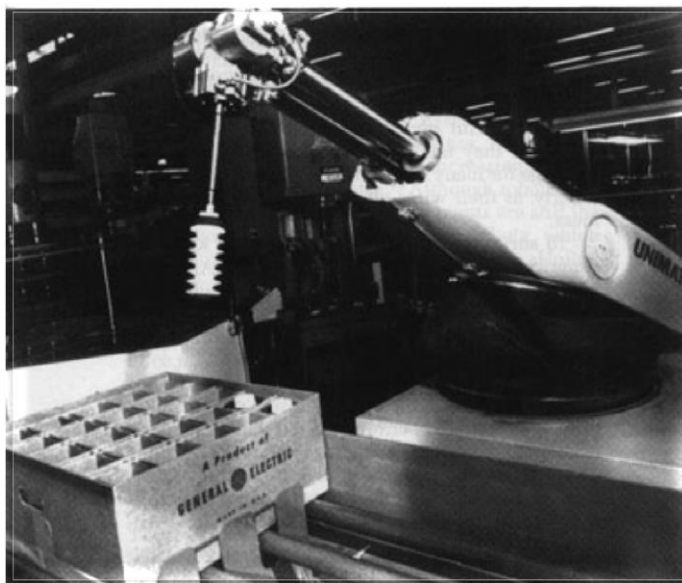
### 2.3 Vývoj robotiky

Zásadním rozvojem robotiky bylo období po 2. Světové válce, kdy se trh v Evropě vyznačoval značnou převahou poptávky oproti nabídce. Vyrábělo se ve velkých sériích výrobků s velmi malou variabilitou. Tento druh provozu byl také označován jako tzv. tvrdá automatizace. Jednalo se o zařízení, které je nemožné, nebo velmi obtížné přestavět pro částečně odlišný typ výrobku. Tento typ provozu byl vzhledem k narůstajícím potřebám společnosti nevyhovující. [5]

**1956** - Georg Devol a Joseph Engelberger začali spolupracovat na vývoji prvního průmyslového robotu.

**1958** - Georg Devol a Joseph Engelberger založili firmu Unimation pro výrobu robotu Unimate 1000, který do roku 1961 testovali a zdokonalovali ve své firmě.

**1961** - Roboty Unimate 1000 byly úspěšně implementovány do provozu firmy General Motors. Roboty byly nasazeny v těžkém průmyslu, jako náhrada pracovníku, obsluhující stroje pro lití pod tlakem, pro uvolnění těžkých a žhavých odlitků z forem. Sférická kinematická konstrukce robota byla ovládána hydropohony.



*Obrázek 2. Robot Unimate typu pick and place ve společnosti General Electric*

**1962** - Výroba robotu druhé generace pod názvem Versatran ovládaný hydropohynou s úspěšnou konstrukcí.

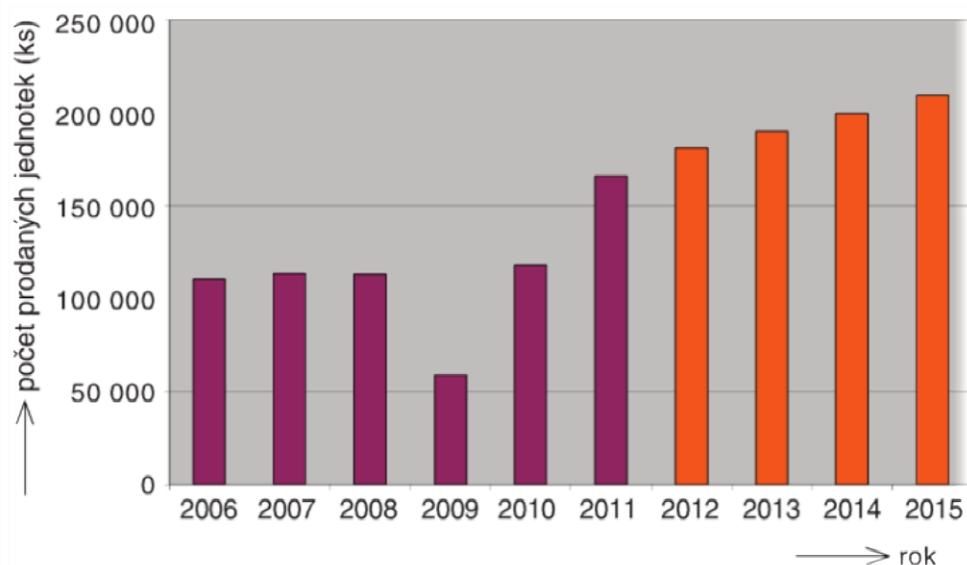
**1967** - První licenčně vyráběny roboty v Anglii, o rok později ve Švédsku a Japonsku. Zlomem ve výrobě a vývoji robotů byl rozvoj elektroniky, mikroprocesorů a počítačů.

**1971** - První prototyp řídicího softwaru IRB 6.

**1973** - Firma KUKA Robotics přivádí na trh svého prvního robota pod názvem Famulus.

V 80. letech nastal velký zájem o průmyslové roboty a manipulátory zejména v automobilovém průmyslu. Robotika byla chápána jako jedna z klíčových oblastí v dosáhnutí vyšší konkurence schopnosti, splnění požadavků zákazníka, zvýšení kvality a v neposlední řadě rozvoji průmyslu. Robotika v těchto letech prochází vývojem a zavádění nových poznatků, technologií a materiálů. [5]

Dnes roboty zastupují velmi složité aplikace s cílem pomáhat výrobcům ve zvýšení produktivity, kvality výrobků a bezpečnosti pracovníků. Mezi přední aplikace patří svařování, manipulace, paletizace, plastikářství, lakování, automatizace kovací lisů, atd.



Obrázek 3. Vývoj celosvětového prodeje průmyslových robotů s výhledem do roku 2015 (2012 až 2015 – odhad; zdroj IFR World Robotics)

Z grafu je zřejmé, že prodej průmyslových robotů se bude zvyšovat. Důvodem jsou přísnější požadavky na kvalitu, které v mnoha případech není schopen člověk manuálně dosáhnout, náročné aplikace a tlak na vysokou produktivitu při vysokých požadavcích na kvalitu. Dalším aspektem pro zvyšování prodeje je i sériová výroba průmyslových robotů nebo modulární stavebnice robota, které snižují pořizovací cenu a tím jsou průmyslové roboty dostupnější i pro menší výrobní provozy.

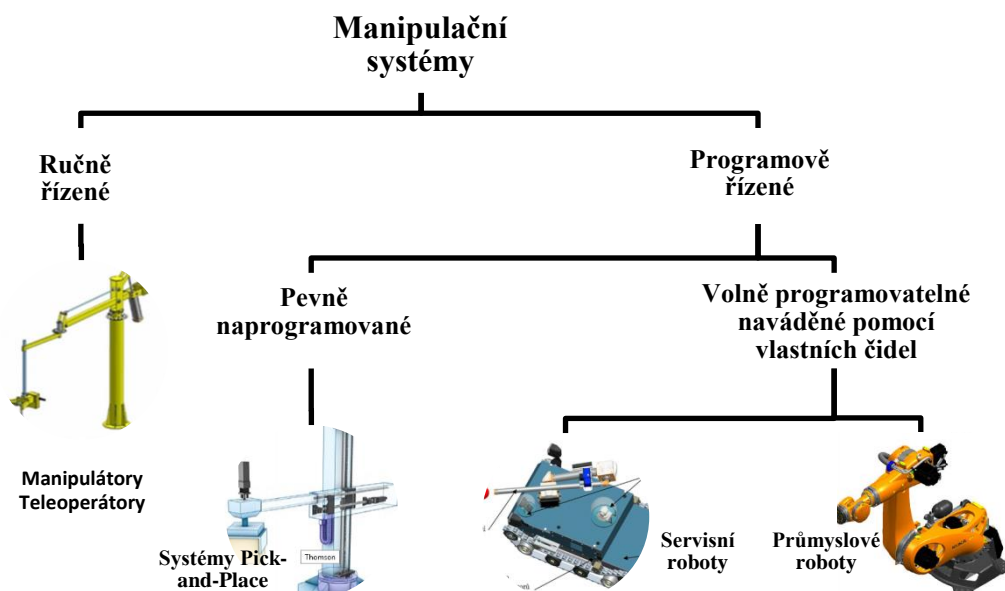
### 3 KLASIFIKACE ROBOTŮ

#### 3.1 Úvod

V této kapitole jsou popsány manipulační systémy z hlediska řízení, zásadní rozdíly mezi manipulátory a roboty. Druhá část kapitoly je věnována robotu, a jeho konstrukci. Dále jsou uvedeny základní kritéria dělení robotů podle jejich manipulačních schopností, kinematiky, která určuje možnosti využití robotů v praxi a jejich výhody a nevýhody. Závěr kapitoly je určen parametrům průmyslových robotů pro charakterizování jejich rozsahu použití.

#### 3.2 Manipulační systémy

Manipulační systémy se vyskytují podobného vzhledu a konstrukce, liší se způsobem řízení, řídicím systémem, způsobem programování a použitím. Rozlišují se manipulátory, přemísťovací systémy typu Pick-and-Place, servisní roboty a průmyslové roboty. Řízení robotů je velmi složité, jelikož výsledná trajektorie dráhy je závislá na pohybech ve všech kloubech. Souhra pohybů vedoucí k přímočarému pohybu uchopeného předmětu nebo nástroje na konci ramene vyžaduje řídicího systému s výkonným procesorem. [2]



Obrázek 4. Rozdělení manipulačních systémů [2]

### 3.2.1 Manipulátory

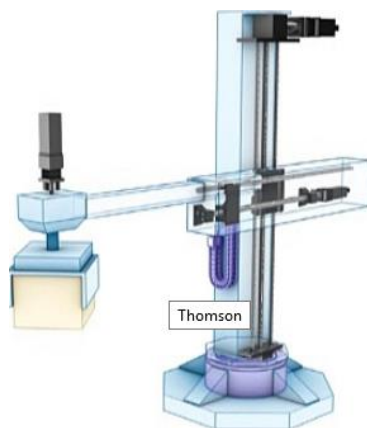
Charakterizují stroje, které jsou při práci ručně ovládané člověkem. Cílem strojů je zesílit lidskou sílu pomocí strojních elementů pro zvedání produktů o velkých nosnostech a komplikovaných tvarů (**exoskelety**). Typickým příkladem jsou manipulační zařízení pro přemísťování těžkých kusů materiálu do kovacího lisu nebo těžkých násad a nástrojů pro bourací práce. Do této kategorie strojů patří tzv. **teleoperátory**. Jde o ručně ovládané stroje pomocí dálkového ovládání. Obsluha stroje kontroluje pohyby teleoperátoru pomocí kamery. Teleoperátory jsou využívány při manipulaci v nebezpečném prostředí (např. v radioaktivním prostředí, kosmickém výzkumu). [2]



Obrázek 5. Exoskelet

### 3.2.2 Systémy Pick-and-Place

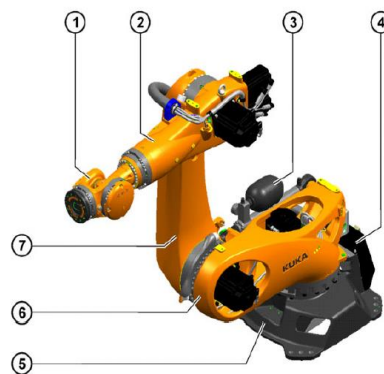
Z anglického Pick-and-Place = vzít a umístit. Pevně naprogramované manipulační automaty pro opakující se pracovní postup. např. přemísťování shodných předmětů mezi stejnými místy. Jedná se o manipulační zařízení s jednoduchými pohyby, která jsou uváděna do pohybu zejména pneumatickými pohony. [2]



Obrázek 6. Manipulátor Pick-and-Place

### 3.2.3 Průmyslové roboty

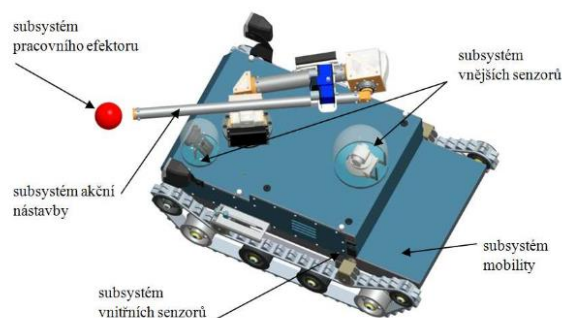
Jsou univerzálně použitelné manipulační autonomní systémy s rameny pohyblivými ve více osách. Jsou převážně konstruovány jako „kloubové roboty (Obr.7.)“ s „ramenním kloubem(6) a ramenem(7)“, „loketním kloubem s paží(2)“, „zápěstním kloubem(1)“, základnou s „kloubem těla(5)“, vyvažovacím elementem(3) a elektro interface(4). Pohyby robotů z hlediska trajektorie dráhy a sledu pohybů jsou volně programovatelné. Není potřeba pro vymezení pohybů robota koncových spínačů. Robot je schopen pohybovat se mezi překážkami pomocí vlastních senzorů. [2]



Obrázek 7. Průmyslový robot s popisem

### 3.2.4 Servisní roboty

Tyto zařízení lze definovat jako počítačem řízený technický systém, schopný samostatného pohybu v prostoru pomocí vlastního lokomočního ústrojí a autonomní, cílově orientované interakce s reálným okolním prostředím pomocí prostředků umělé inteligence v souladu s instrukcemi operátora (člověka), případně podle předem definovaného modelu chování, nebo podle instrukcí řízení událostí. Interakce SR s okolním prostředím spočívá ve vnímání a rozpoznávání prostředí, v cílově programovaném pohybu v tomto prostředí. [3]



Obrázek 8. Servisní robot s popisem hlavních subsystémů

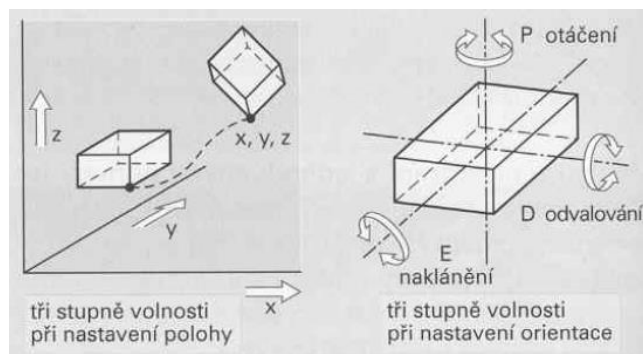
### 3.3 Kinematická konstrukce robotů

Určuje druh, vzájemné uspořádání a počet jednotek generující pohyby (počet os) určující konstrukci (vnější vzhled), pracovní (operační) rozsah (prostor), použitelnost a požadavky na řízení robotu. Pohyblivé vlastnosti jsou dány počtem rotačních os (R - osy) a počtem translačních (posuvných) os (T - osy). [2]

Kinematická dvojice	Počet stupňů volnosti	Značení	Třída dvojice	Zobrazení
rotační	1	R	5	
posuvná	1	T	5	

Tabulka 1. Kinematické dvojice PR a M [1]

Pro dosažení jakéhokoliv bodu v dosahu robotu jsou potřeba alespoň tři osy. Tyto osy se nazývají **hlavní osy** a jsou součástí ramene robotu. K nastavení (natočení) úchopu nebo nástroje do libovolné polohy nebo směru (orientace) jsou potřeba další tři osy nazývané **manipulační osy**. Manipulační osy jsou vždy rotační. K nastavení uchopeného předmětu nebo nasazeného nástroje do libovolné polohy v libovolném místě pracovního prostoru robota je tedy potřeba šest os, odpovídajících šesti stupňům volnosti pohybu tělesa v prostoru. [2]

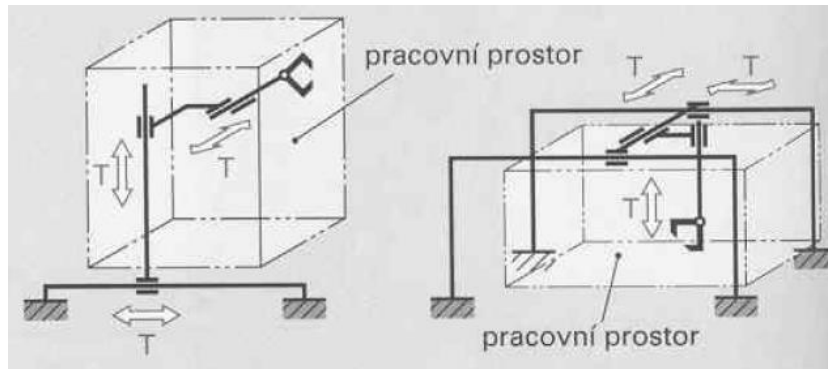


Obrázek 9. Pohyb s šesti stupni volnosti [2]



### 3.3.1 Translační kinematická struktura typu TTT

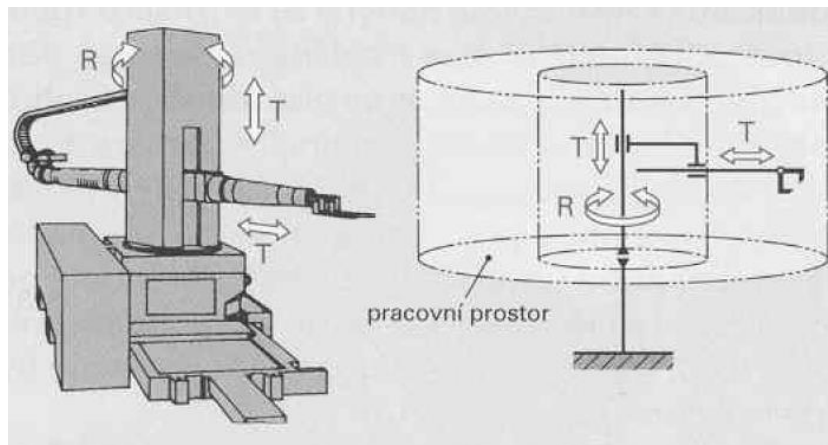
Je základním typem kinematiky skládající se ze tří translačních vzájemně kolmých pohybů. Pracovní prostor má tvar kvádru s hranami délek odpovídajícím rozsahům pohybu v osách X, Y, Z. Nedochozí ke změně orientace objektu nebo nástroje. Vyznačují se vysokou přesností polohování. Používají se při konstrukci NC-frézek, manipulace s objekty. [2]



Obrázek 10. Schéma kinematiky typu TTT [2]

### 3.3.2 Cylindrická kinematická struktura typu RTT

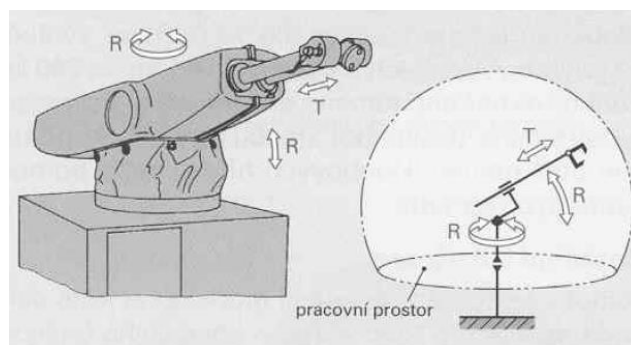
Přemísťovací pohyb je složen z jedné osy rotační a dvou os translačních. Otočná věž (1. osa) má svislou osu rotace, která je osou konstrukce. Nastavení výšky tvoří 2. osu a 3. osu tvoří nastavení radiální vzdálenosti os osy rotace. Při rotačním pohybu ramen musí řídicí jednotka provést transformaci standardně zadaných kartézských souřadnic na cylindrické. Dochází ke změně orientace objektu. Využití jako obsluha obráběcích strojů, obsluha při plošném sváření. [2]



Obrázek 11. Schéma kinematiky typu RTT [2]

### 3.3.3 Sférická kinematická struktura typu RRT

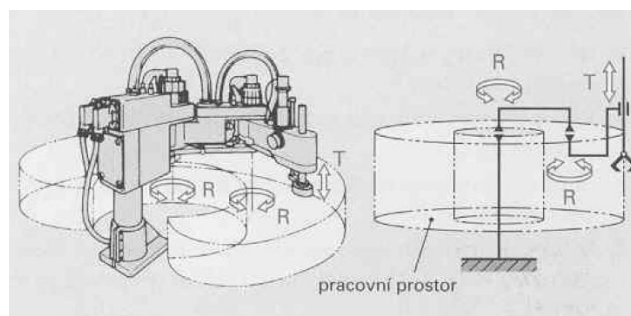
Přemísťovací pohyb je složen ze dvou os rotačních a jedné osy translační. Mohou používat 1. osu svislou jako rotační, 2. osu jako vodorovnou osu otáčení kolmo ke svislé ose a 3. Osu jako přímou translační osu změny vzdálenosti od konce ramene otočného ve dvou osách. Pracovní prostor je ohraničen kulovou plochou a rovinou. Při samotném pohybu kolem 1. osy nebo kolem 2. osy rotace má dráha konce ramena tvar kruhového oblouku (ve vodorovné nebo svislé rovině). Při řízení je třeba transformovat (přepočítávat) kartézské souřadnice na sférické (kulové) souřadnice. Využití při manipulaci, obsluha výrobních a technologických zařízení a svařování – robot s kinematikou RRT a výsuvným mechanismem s paralelogramem. [2]



Obrázek 12. Schéma kinematiky typu RRT [2]

### 3.3.4 Kinematická struktura typu SCARA

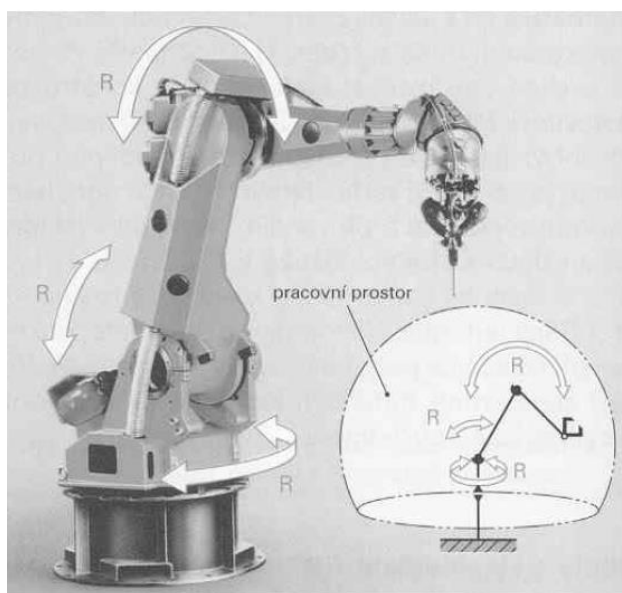
Z anglického Selective Compliance Assembly Robot Arm = robot vhodný pro montáž. Jsou to roboty s kinematikou typu RRT s vodorovným otočným ramenem. Dvě rotační osy jsou uloženy v rovině a translační osa je umístěna kolmo k těmto osám. Pracovním prostorem je válec. Tato konstrukce umožňuje velké zatížení ve svislém směru, protože se tato síla nepřenáší pohony otočných kloubů. Vyznačují se vysokou tuhostí a přesností polohování. Využití při manipulaci, montáži, přesném nanášení hmot. [2]



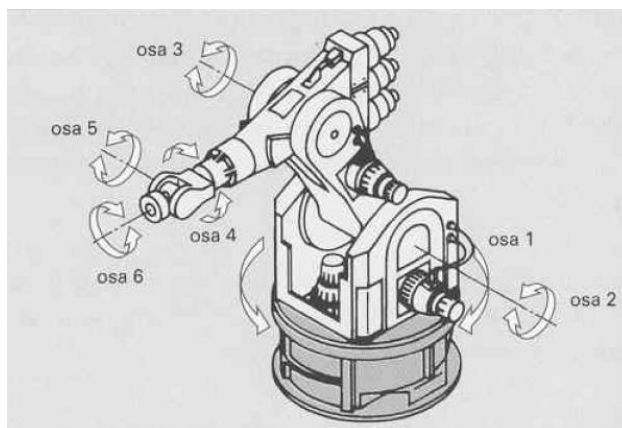
Obrázek 13. Schéma kinematiky typu SCARA [2]

### 3.3.5 Angulární kinematická konstrukce typu RRR

Pohyby se skládají ze tří rotačních os a roboty s touto kinematikou mají trojdílné rameno se třemi otočnými klouby a nazývají se také **kloubové roboty**. Kloubové roboty zabírají v poměru k velikosti kulového pracovního prostoru nejméně místa ze všech robotů a potřebují k dosažení naprogramovaného přemístění za určitou dobu nejmenší zrychlovací síly. Při stejných setrvačných silách umožňují vytvořit tuhou a robustnou konstrukci. Tato struktura je nejčastěji používaná. Dochází ke změně orientace objektu. Pracovní prostor ve tvaru kruhového vrchlíku. Využití při bodovém sváření, manipulace s materiálem, nanášení barev, broušení, atd.



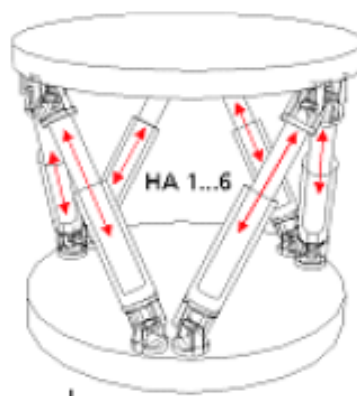
Obrázek 14. Schéma kinematiky typu RRR [2]



Obrázek 15. Robot s pohyby v šesti osách k nastavení libovolné pozice a libovolné orientace [2]

### 3.3.6 Paralelní kinematická struktura

Jsou to roboty, které mají uspořádané délkově proměnné tyče spojující nepohyblivý rám robota pomocí kardanových nebo kulových kloubů s pohyblivou plošinou. Díky uzavřenému kinematickému řetězci se tyto roboty vyznačují vysokou tuhostí, tyče s kulovými nebo kardanovými klouby jsou namáhané pouze na tlak, tah a vzpěr bez většího vlivu ohybu. Dalšími přednostmi je vysoká opakovatelná přesnost při vysokých rychlostech manipulace. Nevýhodou jsou vysoké požadavky na řízení při transformaci souřadnic, malá tuhost v krutu a omezená velikost pracovního prostoru. [1]



Obrázek 16. Paralelní robot Hexapod

### 3.3.7 Přesnost polohování a dostatečná tuhost polohování

Přesnost polohování koncového efektoru je závislá vedle kinematické struktury a tuhosti její realizace na přesnosti ovládání pohonu a na způsobu snímání polohy. Při ovládání pohonu v souvislosti s řízením pohybu se rozlišují dva základní způsoby:

- Řízení pohybu bez zpětné vazby – otevřený regulační systém
- Řízení pohybu se zpětnou vazbou – uzavřený regulační obvod

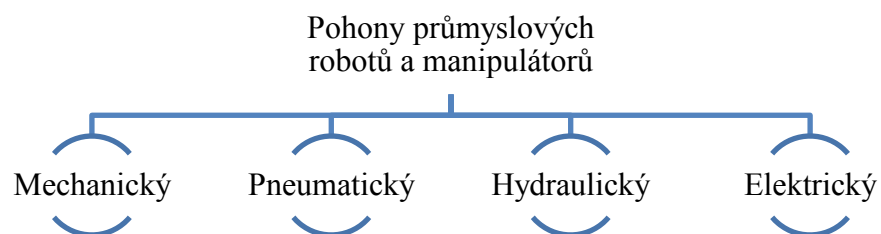
Charakteristickou vlastností činnosti pohybových jednotek průmyslových robotů a manipulátorů jsou přetržité vratné pohyby. Požadavkem na pohony pohybových jednotek, které jsou v klidu, je udržení přesnosti dosažené polohy i při působení vnějších sil. Polohovou tuhostí se rozumí schopnost pohonu udržet přesnost dosažené polohy. Ta je konstrukčně zajištěna vazbou mezi výstupem motoru a výstupem pohybové jednotky. Vysokou polohovou tuhostí se vyznačují hydraulické motory zablokováním kapaliny. Minimální tuhost mají elektromotory a pneumotory. V tomto případě se umístí brzda mezi výstup motoru a výstup pohybové jednotky. [7]

### 3.4 Pohony průmyslových robotů

Pohony jsou pracovními orgány průmyslových robotů a manipulátorů. Zabezpečují pohyby jak rotační, tak translační v jednotlivých osách. Pohony zajišťují přeměnu vstupní energie (pneumatická, hydraulická, elektrická) na mechanickou práci. Pohony musí splňovat zejména tyto požadavky:

- Zajištění vysoké pracovní rychlosti
- Plynulý, bezrázový pracovní rozběh
- Vysoká přesnost polohování
- Dostatečná tuhost
- Velký poměr výkonu k vlastní hmotnosti

[4]



**Mechanické pohony** se využívají převážně u jednodušších manipulátorů. Předností je jejich jednoduchost a spolehlivost. Používají se v provedení zejména vačkových mechanismů.

**Pneumatické pohony** tvoří téměř polovinu všech pohonů průmyslových robotů a manipulátorů. Využívají se v aplikacích, kde nejsou kladeny vysoké nároky na přesnost polohování a manipulace s výrobky o vysoké hmotnosti. Vyznačují se jednoduchou konstrukcí, jejich výrobou a nízkou pořizovací cenou. Nevýhodou je energetická náročnost, omezený počet koncových poloh, nižší přesnost a obtížná regulace průtoku vzduchu.

**Hydraulické pohony** jsou charakteristické vysokou účinností při relativně malých rozměrech a hmotnosti. Výhodou pohonů je přesná manipulace, plynulý chod, možnost nastavení pracovních mezípoloh a velká zrychlení. Mezi nevýhody patří závislost na teplotě, snížení výkonu a vzniku úniku oleje při netěsnostech systému.

**Elektrické pohony** mají řadu výhod, které je dostávají do popředí pohonů průmyslových robotů a manipulátorů. Mezi jejich výhody patří snadná dostupnost vstupní energie, nízká závislost na pracovní teplotě, přesnost polohování, jednoduchá údržba, snadná regulace a vyšší životnost. Nevýhodou jsou velké rozměry pohonu.

[4]

Typ Servomotoru	Max. výkon
Krokový motor	1 kW
Stejnoseměrné DC kartáčové motory	5 kW
Stejnoseměrné DC bezkartáčové motory	10 kW
Střídavé AC synchronní motory	20 kW
Střídavé asynchronní motory	30 kW

Tabulka 2. Servomotory s jednotlivými výkony [1]

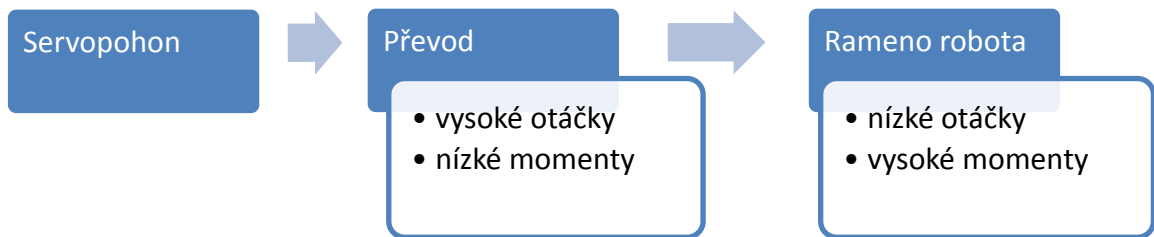
Vlastnost pohonu	Mechanický pohon	Pneumatický pohon	Hydraulický pohon	Elektrický pohon
Účinnost	vysoká	vysoká	vysoká	nižší
Měrný výkon	nízký	střední	vysoký	střední
Možnost řízení	nízká	průměrná	vysoká	vysoká
Závislost na teplotě	nízká	vysoká	vysoká	nízká
Požadavky na těsnost	žádné	vysoké	vysoké	žádné

Tabulka 3. Vlastnosti průmyslových robotů a manipulátorů [4]

### 3.5 Převody Průmyslových robotů a manipulátorů

Elektrické servomotory pracují s účinností 95% při relativně vysokých otáčkách (1000 ot/min) a nízkém kroutícím momentu. Proto je nutné pomocí převodů transformovat tyto parametry. Převody mají dvojí funkce:

- Redukovat otáčky
- Zvýšit momentu od motoru k ramenu robotu [4]



Obrázek 17. Funkce převodu v polohovacím ústrojí průmyslových robotů [1]

**Kvalitativní požadavky na převody robotů jsou:**

- Velmi malá vůle (několik obloukových minut)
- Vysoká účinnost (80-95%)
- Velká redukce otáček v málo krocích ( $i=(100-320):1$ )
- Malé momenty setrvačnosti
- Malá hmotnost
- Malé vnější rozměry
- Kompaktnost
- Malé ztráty třením
- Vysoká tuhost
- Vysoká hustota výkonu

Tyto požadavky na převody nemohou být vždy splněny současně. Například při minimalizaci vůle a zvýšením tuhosti zvětšením předpětí mezi zuby, se zvýší tření a zhorší účinnost. Převody transformují dva typy pohybů:

- Identická transformace (rotace – rotace), převody typu R-R:
  - Ozubené (planetové převodovky, jednoduchý převod) – ve všech ústrojích robotů
  - Harmonické – v polohovacím i orientačním ustrojím

- Cyklořevody – v polohovacím ústrojí
- Speciální
- Řemenové (ozubené řemeny) – polohovacím ústrojí
- Řetězové
- Lankové – efekторы
- Kloubové – efekторы

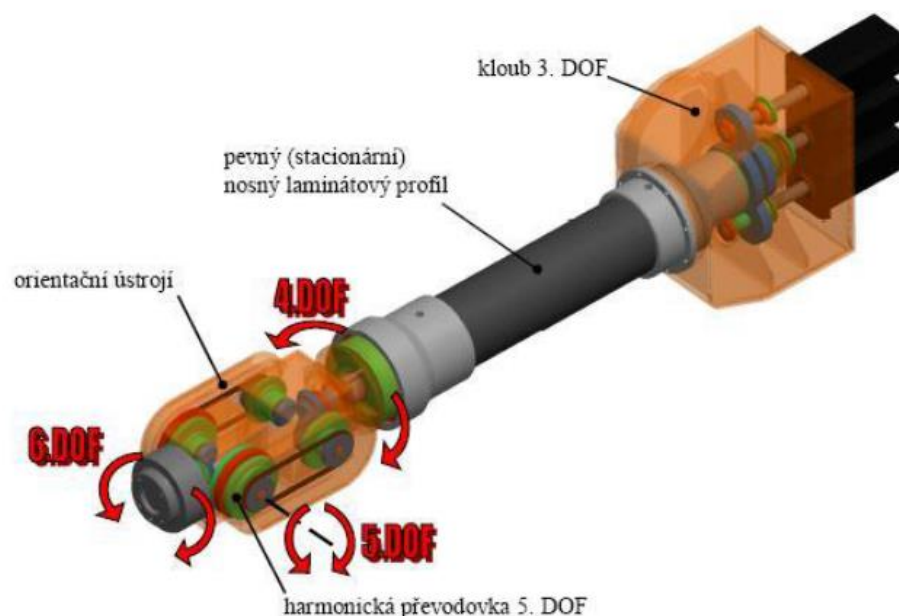
■ Neidentická transformace (rotační – lineární pohyb), řevody typu R – T. [1]

Max. délka ozubeného řemenu a valivého šroubu je omezena ohybovými a torzními rezonančními kmity. Řevody jsou použity podle toho, o jaký rozsah pohybů se jedná a jaká je požadovaná přesnost a tuhost průmyslových robotů.

Součástí řevodů jsou další prvky:

- Spojky
- Hřídele
- Ložiska
- Spojovací prvky, maziva, těsnění, aj.

Konkrétní typ řevodu závisí na druhu zvoleného motoru, akčního členu motoru i pohybové jednotky a na jejich vzájemné poloze. Při volbě řevodu musíme zohledňovat vlastnosti řevodů v porovnání s požadavky na řevody průmyslových robotů a manipulátorů. [1]

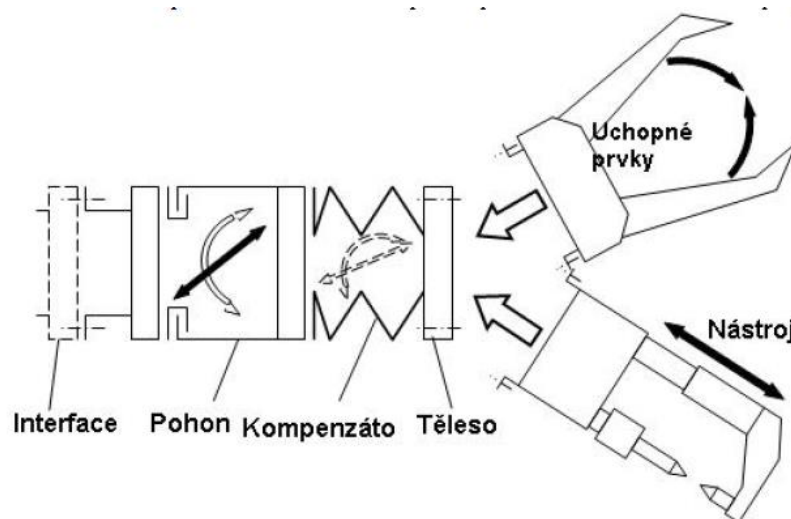


Obrázek 18. Koncept horního ramene průmyslového robota [6]



### 3.6 Koncové efekty (pracovní hlavice)

Jsou to koncové prvky struktury robotu nebo manipulátoru, které realizují úlohu, pro kterou je robot nebo manipulátor navržen. Úchopné hlavice tvoří výstup, který uzavírá polohovací a orientační kinematický řetězec celého zařízení. Jedná se v určitých příkladech o velmi sofistikované zařízení složité konstrukce. Pracovní hlavice z hlediska funkce přichází do styku s manipulovaným objektem nebo vstupují do technologického procesu.[1,5]



Obrázek 19. Obecná struktura efektoru [1]

**Interface** zajišťuje propojení výměnného efektoru (pracovní hlavice) s koncovou částí robotu. Oba protikusy interface robotu a koncového efektoru se musí dokonale shodovat tvary, rozměry i parametry, aby vždy došlo k přesné montáži a bylo zaručené nejen přesné a tuhé propojení efektoru s robotem, ale došlo ke správnému propojení energetické a diagnostické kabeláži, dále rozvodu stlačeného vzduchu, aj. Interface jsou předepsány normou ISO a musí být dodržována výrobci pro zaručení kompatibility.

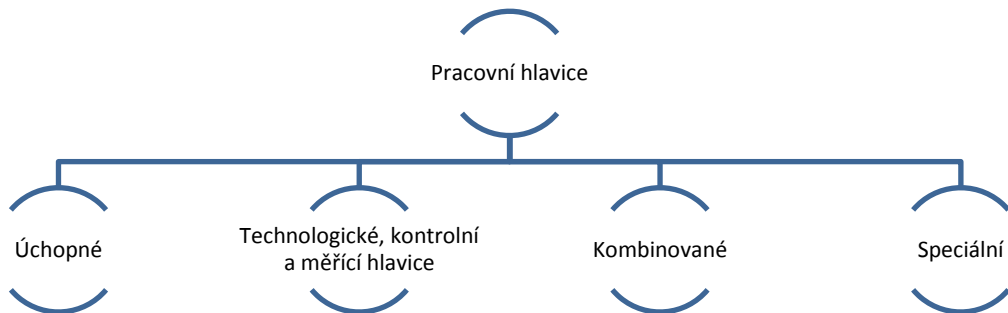
**Pohon** koncových efektorů může být jako zdroj pohybu čelistí uchopovacího efektoru, dále jako zdroj vakua pro pneumatické přísavky nebo jako doplňkový stupeň volnosti pro pohon, který ovládá mikro posuv při montáži. Robot nebo polohovací zařízení nemusí být schopen tento posuv vykonat.

**Kompenzátor** eliminuje nepřesnosti, které se mohou vyskytnout při kontaktu mezi objektem manipulace a úchopnými prvky efektoru. Principem je poddajná konstrukce kompenzátoru, která se přizpůsobí kontaktním plochám efektoru a manipulovaného objek-

tu. Nevýhodou této poddajnosti je snížení tuhosti, což může vést k rozkmitání efektoru. Je nutné použít aretace, která poddajné prvky přemostí a eliminuje kmitání.

**Těleso efektoru** je nosným prvkem s rozhodujícím podílem pro dosažení požadované tuhosti a přesnosti efektoru při minimálních vnějších rozměrech. [5]

**Pracovní hlavice - základní rozdělení:**



Obrázek 20. Základní rozdělení efektorů.[6]

**3.6.1 Úchopné hlavice**

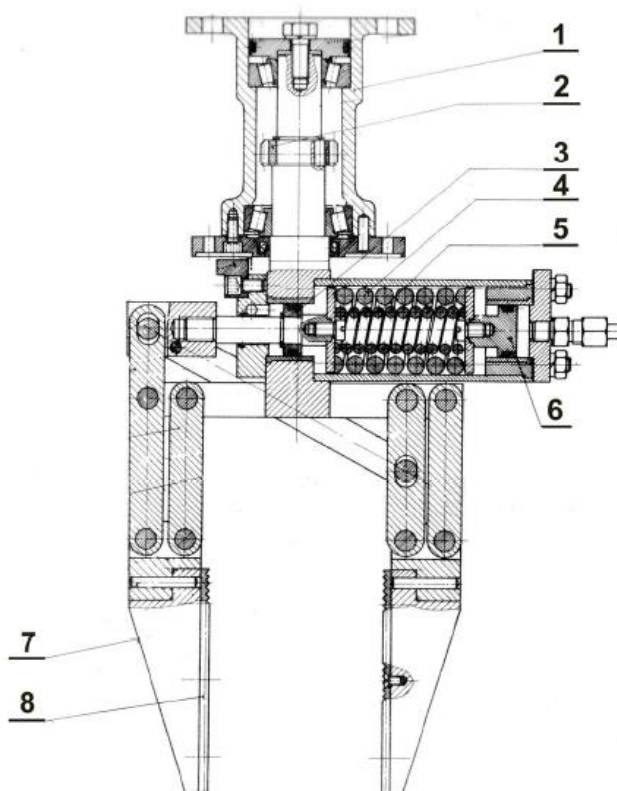
Základní funkcí je dostatečně pevné sevření manipulovaného objektu a bezpečně vykonat manipulaci. Úchopné hlavice mohou mít mnoho variant podle toho jaký je tvarově dimenzován manipulovaný objekt a jak jsou navrženy akční členy. [5]

Úchopné prvky	Způsob vyvození úchopné síly	Typ efektoru
Mechanické	pasivní	s pevnými a stavitelnými ÚP
		s pružnými ÚP
		speciální (suchý zip)
	aktivní (poháněné)	Hydromotorem
		Pneumotorem
Elektromotorem		
Magnetické	pasivní	s permanentními magnety
	aktivní	s elektromagnety
Podtlakové	pasivní	přísavky
	aktivní	přísavky s vývěvou
		přísavky s ejektorem

Tabulka 4. Rozdělení úchopných prvků[5]

### Hydraulicky ovládaná úchopná rotační hlavice s pákovým převodem

Úchopnou sílu na čelistech (7) generuje píst přes pružné spojení pružinami (5,6), to zaručí i při poklesu výkonu hydrogenerátoru bezpečné držení objektu. Na vstupu ovládacího motoru musí být zařazen hydraulický zámek. Otvírání čelistí zajišťuje píst (4). Úchopná hlavice je spojena s čepem (1), uloženým na kuželíkových ložiskách. Rotace hlavice je realizována pomocí dvojčinného rotačního hydromotoru s ozubenou pístnicí přes pastorek (2). Rozsah rotace je seřiditelný pomocí dorazů. Čelisti (8) i stykové plochy (9) jsou výměnné.

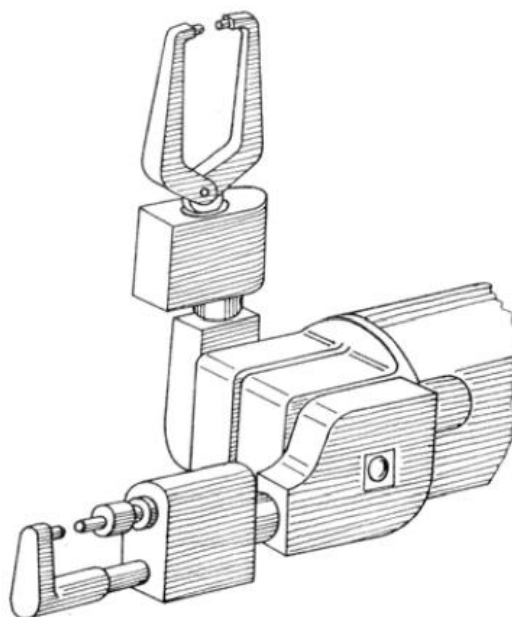


Obrázek 21. Hydraulická úchopná hlavice[5]

### 3.6.2 Technologické hlavice, kontrolní a měřicí

Nejdůležitější součástí technologické hlavice je příslušný nástroj pro vykonávání dané technologické operace nebo měřicí hlavice osazená senzory a kamerovým systémem pro sledování veličin. Využití zejména při:

- Svařování
- Nástřik nátěrových hmot
- Obrábění
- Montáž
- Manipulace
- Měření



Obrázek 22. Měřicí hlavice[5]

### 3.6.3 Kombinované pracovní hlavice

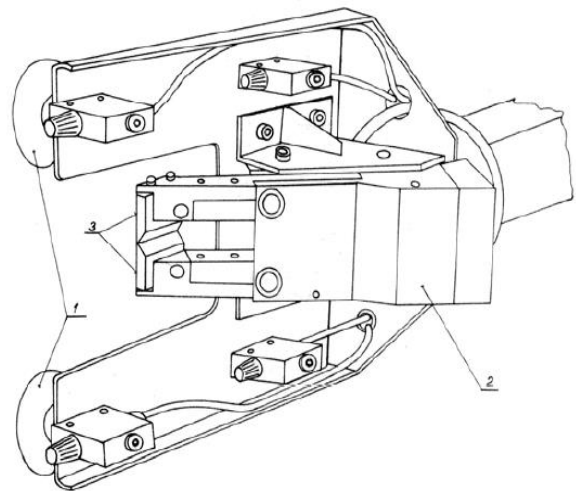
Tyto hlavice zpravidla realizují dvě technologické operace v jednom konstrukčním provedení. Typickým příkladem je odběr plastových výstřiky z formy a založení insertů do formy. Na obrázku je zobrazen pracovní hlavice pro manipulaci s plastovými výstřiky a greifem pro separaci-odstřížení vtoku od výstřiku.

Úchopná část hlavice je osazena čtyřmi

podtlakovými ejektory s přísavkami (1), technologickou část tvoří nůžky(2,3)

Účelem kombinované hlavice tohoto

typu je zkrácení pracovního cyklu, vyjmutím výstřiku z formy a oddělení vtoku od dílů. Druhým efektem je zjednodušení pracoviště, u kterého je odstříhovací stanice nebo práce operátora nahrazena integrací technologické části do pracovní hlavice. [5]



Obrázek 23. Kombinovaná pracovní hlavice[5]

### 3.6.4 Speciální hlavice

Hlavice tohoto typu jsou určeny pro technologické operce, kde nelze aplikovat výše zmíněné typy uchopovacích hlavic. Zejména jde o činnosti, které by ohrožovali bezpečnost práce a zdraví člověka. Této skupiny patří např. tankování paliva do letadel během letu.

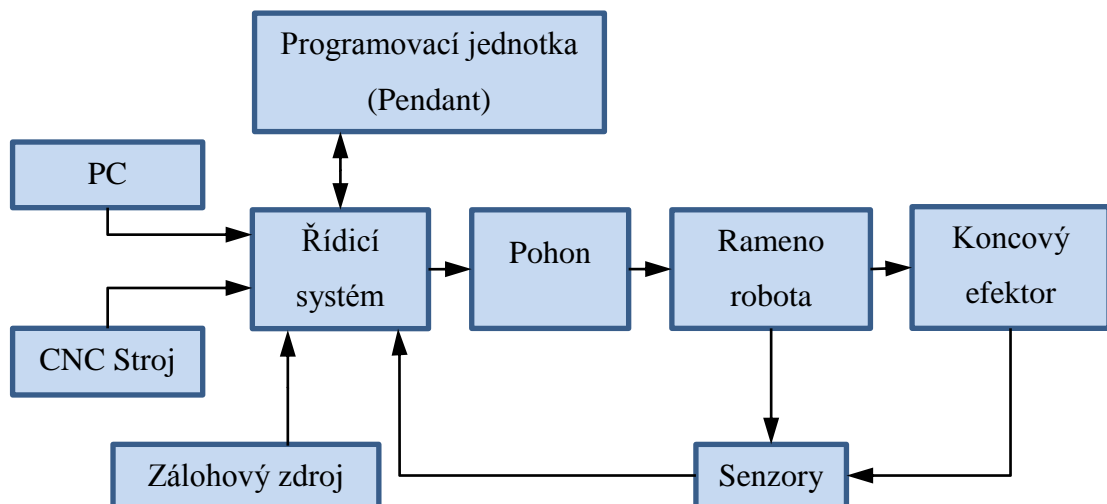
[5]



Obrázek 24. Speciální pracovní hlavice[5]

### 3.7 Řízení průmyslových robotů a manipulátorů

Úlohou řídicího systému u průmyslových robotů je zajistit na základě daného programu vytvořeného programátorem bezpečně ovládat jednotlivé pohyby robota po dané trajektorii, vykonávat pracovní úlohy a na základě zpětných vazeb ze senzorů a snímačů polohy robota zajišťovat bezkolizní pohyb. [4]



Obrázek 25. Řídicí systém průmyslového robota [8]

Řídicí systémy lze rozdělit podle:

#### 1. Způsobu programování:

- **S pevným programem** – řízení dnes méně používané tvořené např. propojenými elektronickými relé nebo vačkovým mechanismem. Jakákoliv změna znamená zásah do struktury programového systému.
- **Programovatelné ŘS** – tyto systémy umožňují poměrně snadno změnit naprogramovanou úlohu nebo korekce příkazů programů. Programy jsou uloženy přímo v řídicí jednotce nebo na tradičních nosičích. [4]

#### 2. Řízení průběhu dráhy:

- **Řízení bod po bodu (PTP – point to point)** – celková dráha je rozdělena do poměrně menšího počtu jednoduchých pohybů a každý tento pohyb je tzv. krok. Zadávat se pouze koncová poloha tohoto kroku a celková operace je dána posloupností těchto kroků. [4]
- **Řízení dráhové (CP – countinuous path)** – používá se v případě vedení robota po dráze:
  - **LIN - pohyb po přímce**
  - **CIRC – pohyb po kružnici** [8]

## 4 PROGRAMOVÁNÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

Tato kapitola je podstatnou součástí této práce, protože návrh automatizace pracoviště bude realizován v CAM softwaru. Obsahem kapitoly jsou základní způsoby programování, souřadnicové systémy používané při programování, souhrn softwaru pro Offline programování a seznámení se softwarem Robotexpert, ve kterém se bude realizovat návrh automatizace.

Roboty vykonávají svojí činnost na základě předem vytvořeného programu. Struktura programu je tvořena postupnými příkazy, které vedou k realizaci požadované úlohy. Programování robota je definováno jako sestavení a tvorba programu na základě vytvořeného algoritmu. Podle přístupu k tvorbě programu dělíme programování na:

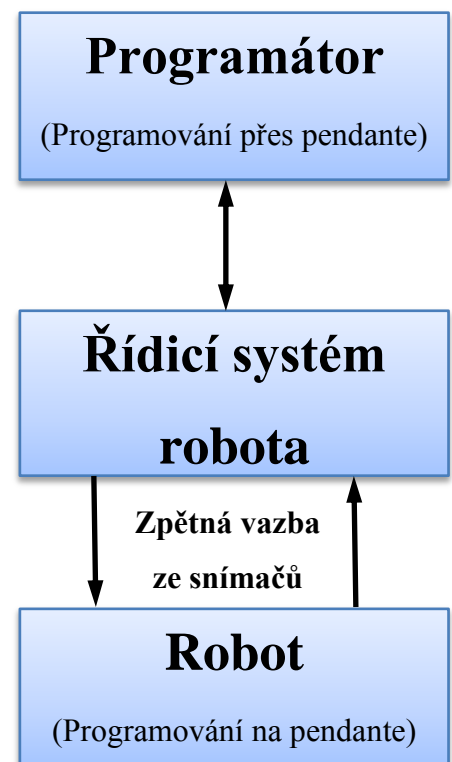
- On – line programování (programování u robota přes pendant)
- Off – line programování (programování mimo robota na PC)

[8]

### 4.1 On – line programování

Tento typ programování je vykonáváno přímým naváděním robota programátorem přes požadované manipulační body. Robot je ručně řízen z programovacího panelu a naváděn do určitých bodů, kterou jsou následně zapsány do paměti řídicího systému. Další fází je programování logické části řízení chapadel a periférií. Zde se též zadávají i rychlosti jednotlivých pohybů. Výhodou je práce v reálném prostředí a při programování zároveň vykonáváme test funkčnosti. Nevýhodou tohoto typu programování je poměrně dlouhá doba programování, fyzická náročnost na programátora při složitých manipulačních pohybech a dlouhých cyklech. Další nevýhodou ve většině případů je, že po čas programování celé pracoviště není ve výrobním cyklu, což snižuje produktivitu.

[8]



Obrázek 26. Postup on-line programování[8]

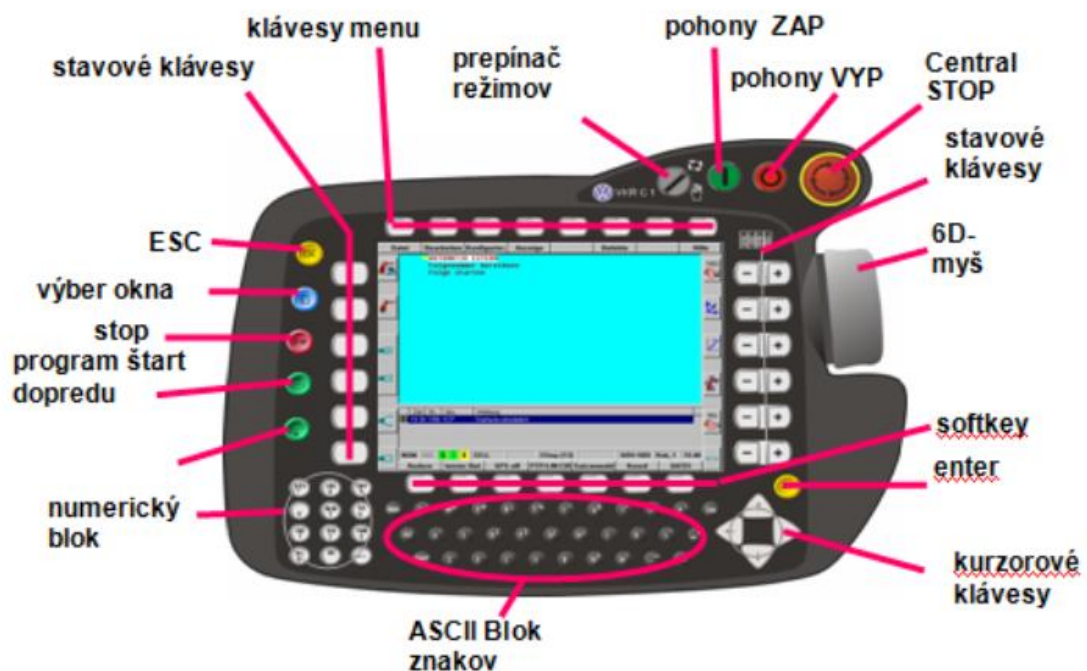
#### Programování metodou Play-Back

Technologický pohyb ramene robota je veden manuálně programátorem a řídicí jednotky tento pohyb zaznamenává, tj. zapisuje každých 20 ms do paměti údaje o pozici a

orientaci koncového efektoru, resp. Pracovní hlavice. Při spuštění robota do automatického cyklu, robot přehrává (play – back) zaznamenaný pohyb. Pohyb robota není zcela přesný, protože při manuálním navádění působí opačné síly na požadované dráze. Odchytky vymezené vůlí v uložení a pružnosti konstrukce mají opačné orientace. Další nevýhodou této metody je přítomnost, což může činit v malých prostorách, např. při lakování karosérie automobilů značné problémy. [2]

### Programování metodou Teach-in

Jde o tzv. metodu postupného učení (teach-in), rameno robota je postupně naváděno programátorem pomocí tlačítka nebo joy stickem na programovacím přístroji do požadovaných pozic, ve kterých má být provedena akce, např. uchopení objektu nebo operace nástrojem. Souřadnice těchto přesně navedených pozic a orientace koncového efektoru jsou ukládány do paměti. V automatickém cyklu pak robot najíždí na tyto zvolené souřadnice a orientuje koncový efektor. [2]



Obrázek 27. Programovací jednotka – pendant pro programování robota[8]

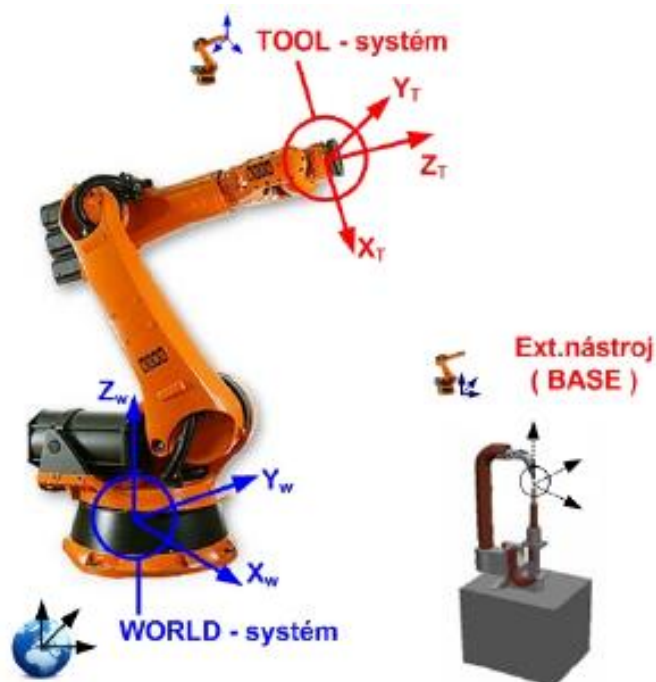
Programovací jednotky mohou sloužit také k monitorování vstupů/výstupů a systémových informací robota. Editovat program robota, umožňují nahlížet na skutečná výrobní data, např. průměrná doba cyklu, počet výrobních cyklů, počet vyrobených kusů, atd. Dále nastavení pracovních parametrů pro sváření. [8]

## 4.2 Souřadnicový systém robota KUKA

Průmyslové roboty standardně pracují v kartézském souřadnicovém systému WORLD. V případě potřeby je možné zvolit jiný typ souřadnicového systému pro navádění robota. Používají se celkem 4 souřadnicové systémy: [8]

- WORLD
- OSOVÝ SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM
- TOOL
- BASE

V ručním režimu je potřebné nastavit požadovaný souřadnicový systém pro navádění robota do požadovaných poloh. Každá programovací jednotka je vybavena tlačítky pro ovládání pohybů jednotlivých os robota k nastavení požadované polohy. Při programování lze zvolit jednu s možností souřadnicového systému vzhledem k použité technologii. [8]



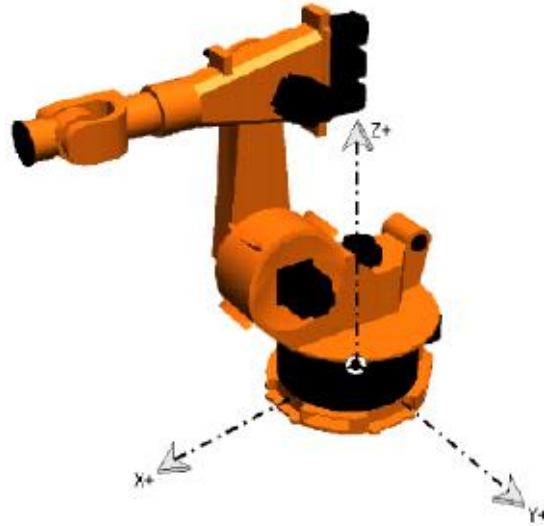
Obrázek 28. Souřadnicový systém robota KUKA [8]

Pro řízení robota je se klade důraz na přesný popis robota vzhledem k popisu pracoviště a ve vztahu k manipulačním nebo opracovávaných objektů. Proto lze vzájemné polohy robota, objektům pracoviště a objektům přemísťovaných nebo obráběných robotem určit ze souřadnic ve společném souřadnicovém systému, kterým je zpravidla kartézský. Údaje souřadnic v programech pro roboty je nejvýhodnější vztahovat k souřadnému systému výrobku. [2]



## World

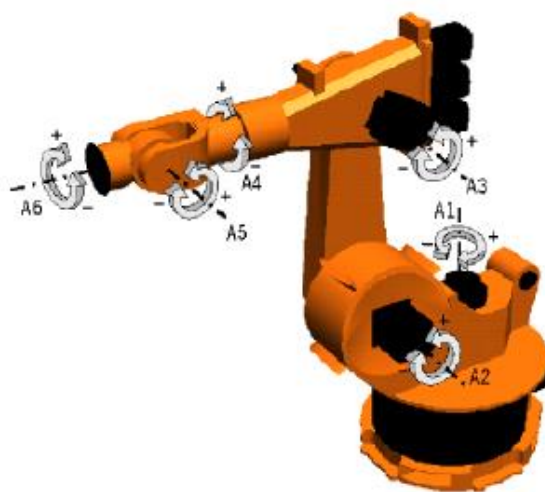
Je základní vztažný souřadnicový systém a je pevně spojen s pracovištěm robota. Tento souřadnicový systém je neměnný, tj. nulový bod vztažného systému zůstává při pohybech robota ve svojí poloze. Nachází se zpravidla uvnitř karuselu. [2,8]



Obrázek 29. Souřadnicový systém WORLD [8]

## Osový souřadnicový systém

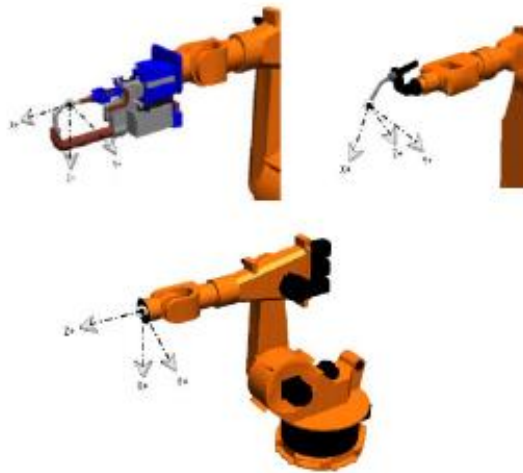
V tomto souřadnicovém systému je možné pohybovat robotem v kladném nebo záporném směru dané osy. Jednotlivé pohyby se vykonávají pomocí funkčních kláves a joy sticku. [8]



Obrázek 30. Osový souřadnicový systém [8]

## TOOL

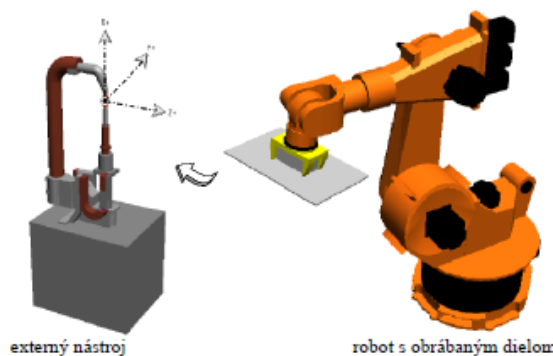
Tento souřadnicový systém je pravoúhlý, kartézský souřadnicový systém, jehož počátek leží v nástroji. Zpravidla se orientace tohoto souřadného systému volí tak, že jeho osa X je identická s pracovním směrem nástroje. Souřadnicový systém TOOL stále monitoruje pohyb nástroje, popř. koncového efektoru. [8]



Obrázek 31. Souřadnicový systém TOOL [8]

## BASE

Vztažný souřadnicový systém Base je pravoúhlý (kartézský) souřadnicový systém a jeho počátek leží v externím nástroji. Při pohybech robota v tomto souřadném systému je směrodatný souřadnicový systém externího nástroje. Robot se pohybuje s obráběným objektem okolo nebo poblíž příslušných souřadnicových os. [8]



Obrázek 32. Souřadnicový systém BASE

### 4.3 Off-line programování

Technický vývoj výrobních systémů posouvá činnost přípravy a programování NC strojů a robotů od reálných pracovišť k práci s jejich počítačovými modely v inteligentních programech. V dnešní době příprava programu v prostředí CAD/CAM představuje téměř 70 %. Tento trend by se měl rozšířit i v oblasti robotů.

Přední výhodou off-line programování je možnost vytvoření optimálního programu bez časového presu s dostatečným předstihem před realizací daného projektu a umožňuje komplexně popsat úlohu, experimentovat se strukturou pracoviště, eliminovat kolizní situace, verifikovat program v 3D reprezentaci. Tím, že se programování realizuje mimo výrobní pracoviště, značně se snižují prostoje v důsledku přechodu na jiný výrobní program.

Nevýhodou off-line programování jsou dodatečné investice, ale na druhou stranu víme v předstihu před samotnou fyzickou realizací projektu výsledky, jako je např. schopnost robota dosáhnout do pracovních míst robotické buňky, atd.

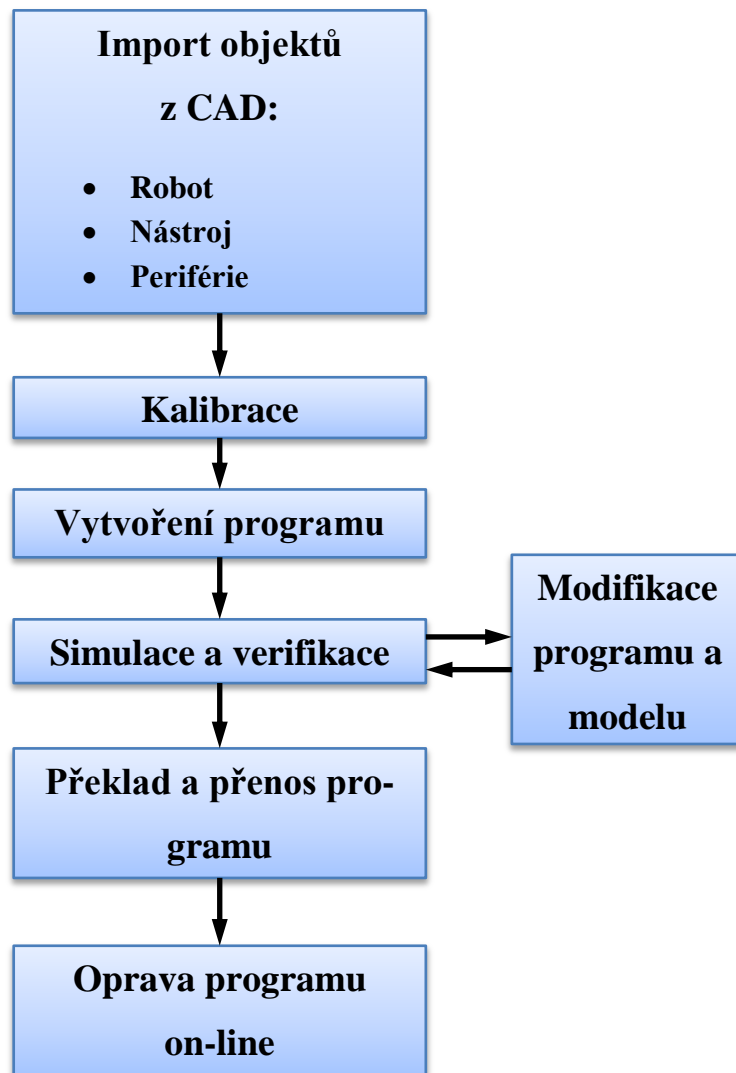
Off-line programování vychází z počítačového modelu pracovní buňky. Převážně se používají nestandardní pracovní jazyky, což vyžaduje překladač, který vytvoří program pro konkrétního robota. Při off-line programování se preferuje 3D modelování. Každý model virtuálního robota má tři části:

- Model robota
- Model řídicí jednotky
- Program

Komunikace mezi prvky se modeluje Výměna dat mezi modely výrobního systému a CAD/CAM je podporovaná standardním formátem souboru STEP. Databáze daného programu obsahuje modely robotů, NC strojů, periferních zařízení, které jsou následně importována do simulačního modelu. Simulace může probíhat v reálném čase v 3D simulaci. Vyhodnocení modelu se realizuje na základě simulačních výsledků. Po dosažení optimální varianty modelu je program přeložený do jazyka robota a importovaný reálného řídicího systému robota.

Off-line programování využívá interpolace PTP, LIN nebo CIRC. Umožňuje 3D detailní simulaci pomocí které lze detekovat kolizní situace, ověřovat změny a testovat dosažitelnosti manipulačních bodů. To dovoluje uživateli hledat optimální rozmístění periferních zařízení ve výrobní buňce, ale i optimalizaci výrobních cyklů a jejich obsluhy.

Mnoho off-line programovacích systémů monitorují časový průběh činnosti robota, podporují výběr vhodných nástrojů nebo parametrů technologického procesu. [8]



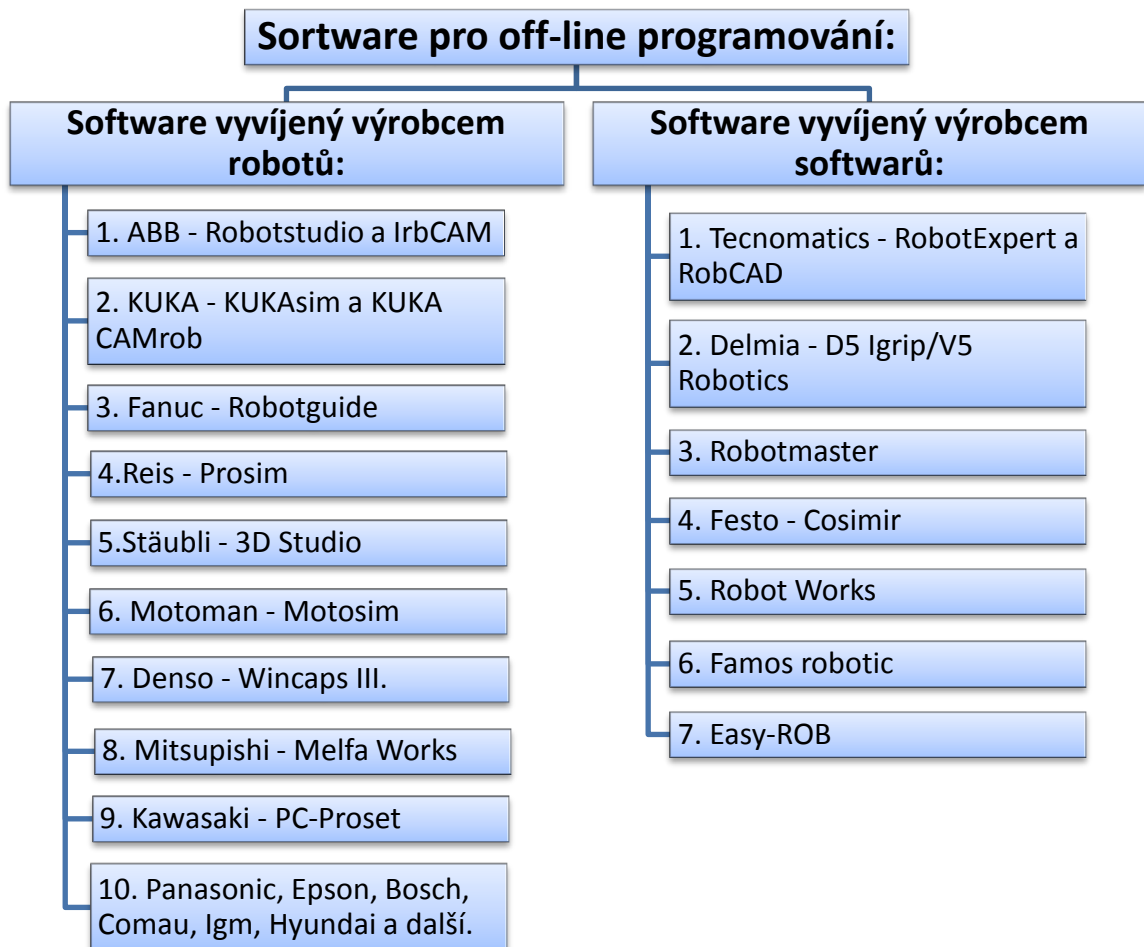
Obrázek 33. Pracovní úkony při Off-line programování[8]

Objekty připravené v CAD systému je možné přenést v podporovaném formátu, např. STEP, do prostředí off-line programování robota (např. KukaSim, RobCad, RobotStudio, atd.), kde se namodeluje pracovní prostředí s vybraným robotem a importovanými objekty. Vytvoří se pracovní cyklus navedením funkčních modelů do požadovaných poloh. Pracovní cyklus je možné v prostředí off-line programování otestovat. To umožní zkontrolovat pracovní cyklus a odstranit kolizní stavy mezi robotem a perifériemi. Posledním krokem je vygenerování programu pro řídicí jednotku robota. Po přenesení programu následuje ověření postupným krokováním a v případě potřeby program upraven do finální podoby. [8]

Off-line přípravou programu lze docílit:

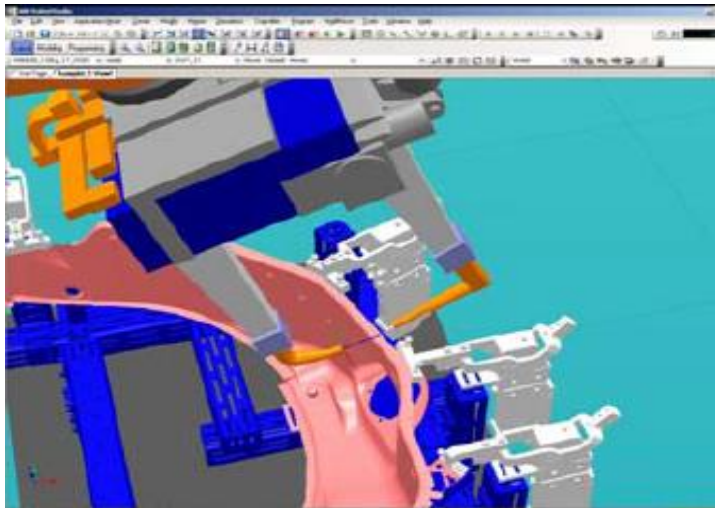
- Minimalizace času výrobních cyklů
- Maximalizuje se produktivita
- Zjednodušení a efektivita programování
- Minimalizace prostojů
- Simulace procesu v PC
- Detekce kolizí a možných problémů v předvýrobní etapě
- Automatické vyhledávání trajektorie s vyhýbáním se překážek
- Otestování dosažitelnosti jednotlivých bodů
- Programování všech technologických parametrů
- Eliminace tvorby chyb v programu
- Generování kódu pro řídicí systémy robotů
- Přímé propojení off-line programu s CAD systémy
- Optimalizace pracovního cyklu a zefektivnění výrobního procesu
- Programování není závislé na fyzické dostupnosti reálného pracoviště

[8]



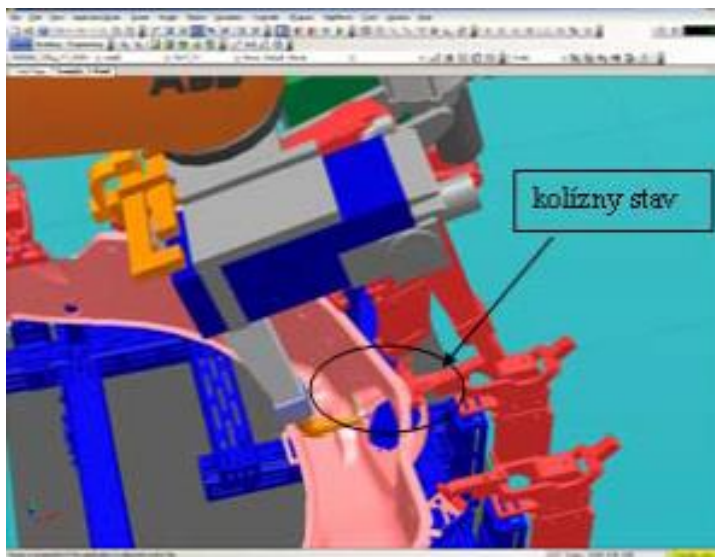
### Prezentace před kolizního a kolizního stavu v off-line simulaci procesu

- Na obrázku jsou zobrazené svářecí kleště a svařenec, přičemž kleště se nacházejí v bezpečné vzdálenosti od upínacích prvků přípravku, tudíž nedochází ke kolizi.



Obrázek 34. Simulace zobrazení přiblížení svářecích kleští ke svařenci – předkolizní stav [8]

- Obrázek zobrazuje kolizní stav, kde narážejí kleště do upínacích prvků. Kolizní stav je zobrazen červenou barvou.



Obrázek 35. Simulace zobrazení přiblížení svářecích kleští ke svařenci – kolizní stav[8]

Obě metody programování robotů (on-line a off-line) mají své výhody a nevýhody. Využitím výhod obou metod programování může programátor dosáhnout optimálního řešení. Tento typ programování se označuje jako hybridní. [8]

## 5 ROBOTEXPERT

Tecnomatix software od společnosti Siemens PLM software se zabývá simulací robotiky a off-line programování. Nově vytvořeným simulačním software je systém RobotExpert podporující průmyslové aplikace, jako je např. pick-and-place, obloukové svařování, leštění, lepení, atd. Technologie bodového svařování nelze simulovat v RobotExpert.

RobotExpert umožňuje navrhování, simulaci a optimalizaci výrobního procesu. Díky režimu off-line programování robotů maximalizuje rychlost, flexibilitu a provozování těchto automatizovaných robotických systémů. Intuitivní 3D prostředí zjednodušuje obsluhu softwaru a dovoluje lehce optimalizovat robotické dráhy a tak zkrátit dobu cyklu.

Robotexpert podporuje komunikaci s roboty od různých výrobců a je určen pro ty nejsložitější robotické aplikace.

Software může vytvářet vhodnější kombinace zařízení, které nesplňují specifické požadavky na výrobu. Návrh rozvržení pracovní buňky a modelování lze snadno realizovat díky komplexní knihovně robotů a usnadňuje 3D modelování robotů a automatizace, které podporují modelování složitých kinematických zařízení nebo importovat 3D modely (IGES, STEP, PARASOLID) z jiných CAD softwarů např.:

- NX™
- Solid Edge® software
- SolidWorks
- Catia
- Pro/Engineer, a další.

Podpora komunikace s roboty:

- ABB
- KUKA
- YASKAWA
- MOTOMAN
- KAWASAKI
- FANUC

RobotExpert generuje konfigurovatelné pohybové cesty založené na funkci regulátoru, což umožňuje výpočet doby cyklu v reálném čase. Používá simulaci RRS (realistická robot simulace) založená na reálném řízení pohybu a Ganttův diagram k reprezentaci ope-

rací a úkolů, které jsou prováděny s výrobními prostředky, jako jsou roboti a periferní zařízení pro automatizaci. Tato schopnost umožňuje vizualizovat a snadno optimalizovat celý pracovní cyklus.

Robotexpert je kompatibilní software pro většinu průmyslových robotů. Je schopen generovat program, který může být nahrán do řídicí jednotky robota. Výhodnou vlastností softwaru je možnost nahrát existující program robota z řídicí jednotky, následně jej editovat a optimalizovat.

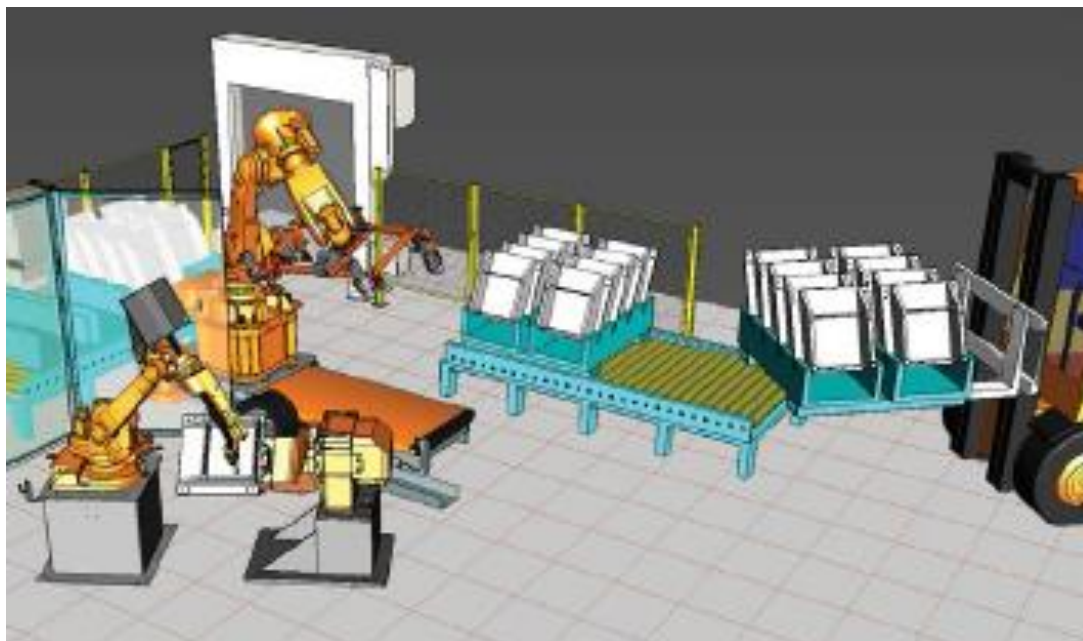
#### **Vlastnosti RobotExpert:**

- 3D modelování kinematiky nástroje robota
- Kompatibilita s roboty od většiny dodavatelů
- Detekce kolizí
- Ganttův diagram
- RRS (realistická robot simulace)
- Vysoce přizpůsobivé uživatelské rozhraní a funkce
- Intuitivní prostředí podobné Windows
- Možnost nahrát program z řídicí jednotky robota

#### **Výhody RobotExpert:**

- Virtuální optimalizace robotického procesu
- Optimalizace doby cyklu
- Standardizované programování robota
- Zkrácení prostoje při editaci programu nebo změny na nový produkt
- Zamezení kolizí a poškození zařízení
- Zamezení vzniku úrazu na pracovišti
- Snadná příprava speciální syntaxe programu robota





*Obrázek 36. Zobrazení virtuálního prostředí v RobotExpert.*

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 KOVÁRNA VIVA A.S.

Kovárna VIVA a.s. je přední česká průmyslová kovárna, která se specializuje na výrobu zápusťkových výkovků z legovaných, mikrolegovaných, uhlíkových a konstrukčních ocelí. Výrobní program obsahuje výkovky, jejichž hmotnost se pohybuje v rozmezí mezi 0,10 až 25,00 kg. Svým zákazníkům nabízí komplexní služby ve svém oboru od návrhu konstrukce zápusťkového výkovku až po jeho finální zpracování, tj. chemicko-tepelné zpracování, obrábění výkovků, kalibraci a povrchové úpravy – barvení, zinkování, niklování a logistické služby. [9]

### 6.1 Výrobní program

#### 6.1.1 Vývoj a konstrukce

Pracovníci vývojového oddělení pracují s nejnovějšími SW pro simulaci procesů tváření a návrhu optimální technologie výroby výkovků. Od roku 2004 firma spolupracuje s největšími zákazníky na vývoji nových, konstrukčně velmi náročných výkovků, včetně výběru materiálů. [9]

#### 6.1.2 Výroba nástrojů

Nástroje jsou vyráběny na moderních CNC strojích s technologií HSC za použití kvalitních vakuově kalených materiálů s nitridovanými povrchy. Součástí výroby nástrojů je kontrola měření na 3D CNC kontrolních stanovišti. [9]

#### 6.1.3 Výrobní proces

##### 1. Kování

Svislé kovací lisy - 2 x 1000 t, 3 x 1600 t, 2 x 2500 t

Vřetenové lisy - 3 x 2500 t

##### 2. Kalibrace

Kolenové lisy - 1 x 1000 t, 2 x 400 t

##### 3. Dělení materiálu

Kotoučové pily - 2 x Kasto Speed

Pásové pily - 4 x Kasto

Nůžky - 2 x 63 t, Caddy 140

##### 4. Tepelné zpracování

Kalící průběžné linky QT - 2 x 500, 800 kg/h

Linky pro +N, +A, +FP, etc.: - 1 x 300 kg/h

Linky pro řízené chladnutí mikrolegovaných materiálů z dokovací teploty.

### 5. Obrábění výkovků

Standartní třískové opracování výkovků vlastními kapacitami

Kooperace

### 6. Povrchové úpravy výkovků

Barvení

Zinkování

Galvanizace

Fosfátování

### 7. Finální inspekce

Výstupní kontrola podle výrobní dokumentace.

Speciální přípravky a automatizační separační linky.

## Expedice a transport

[9]

### 6.1.4 Produkty (automotiv, vysokozdvizné vozíky, hydraulika, jiné)



Obrázek 37. Náhled výrobků pro vyráběných pro automotiv [9]

### 6.1.5 Kvalita

Firma je držitelem certifikátu ČSN-EN ISO 9001, ekologického certifikátu ČSN-EN ISO 14 001 a certifikátu pro automotiv TS 16 949.

Jako výrobci tzv. bezpečnostních dílů je firma plně vybavena příslušnou technikou i organizací procesů.

[9]

## 7 ZADÁNÍ PROJEKTU

Navrhnout pracoviště, které nahradí operátora při procesu kalibrace výkovků za studena. Představa zadavatele je taková, že by celý proces měl být plně automatizován bez lidské interakce. Výsledkem by měla být úspora jednou operátora, který by byl využit na jinou práci.

### Kritéria zadavatele:

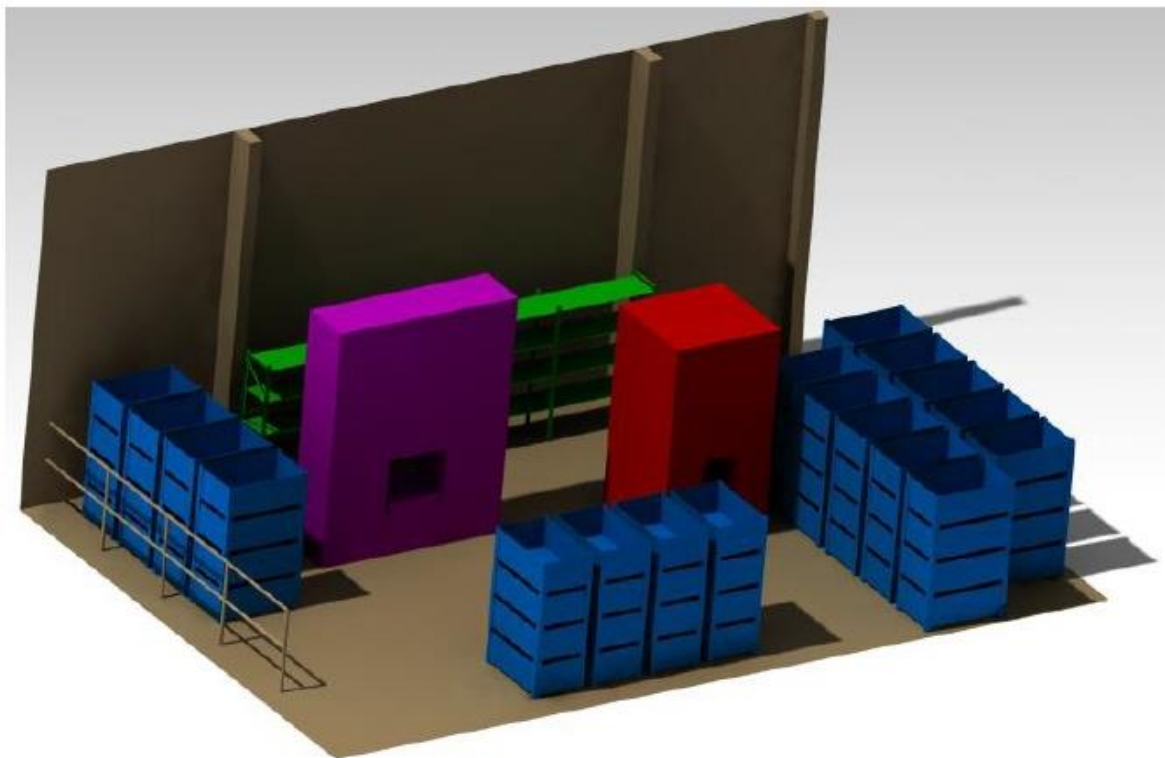
- Plně automatizovaný proces zakládání a odebrání výkovků z kalibračního nástroje
- Návrh řešení musí respektovat současné rozmístění strojů a periférií
- Automatizace pracoviště představuje 90% výroby na kalibračním stroji, proto návrh musí umožnit i práci na stroji s asistencí operátora.
- Návrh automatizačního řešení musí být schopen manipulovat s deseti druhy odlišných výkovků
- Návrh musí umožnit seřizovači výměnu kalibračního nástroje
- Při použití šestiosých robotů upřednostnit výrobce ABB Robotics

### 7.1 Analýza současného stavu

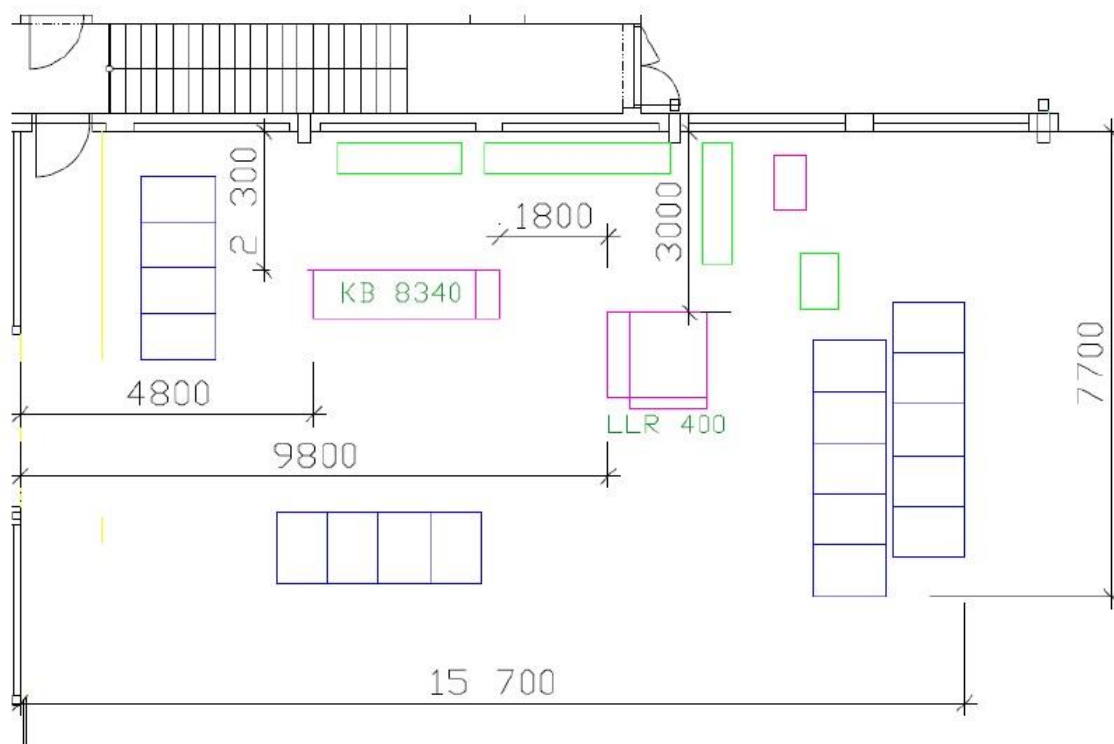
Výkovky se kalibrují za pro dosažení vyšší přesnosti samotného výkovku na kalibrovacích strojích. Obsluha ručně odebrá z plechové bedny nezkalibrovaný výkovek, který zakládá do pevné části kalibračního nástroje (zápustky), která je upnuta na pevné straně kalibračního stroje. Po založení výkovku do pevné části zápustky dochází k uzavření stroje příjezdem pohyblivé části stroje s pohyblivou částí zápustky. Po uzavření dochází ke styku kalibračních ploch zápustky a samotného výkovku. Tyto stykové plochy dosahují vyšší přesnosti až 0,1 mm. Po dosažení požadovaného uzavření a tlaku se stroj následně otevře a operátor odebrá ze zápustky zkalibrovaný výkovek, který ukládá do plechové bedny se zkalibrovanými výkovky.

#### 7.1.1 Layout pracoviště pro kalibraci výkovků

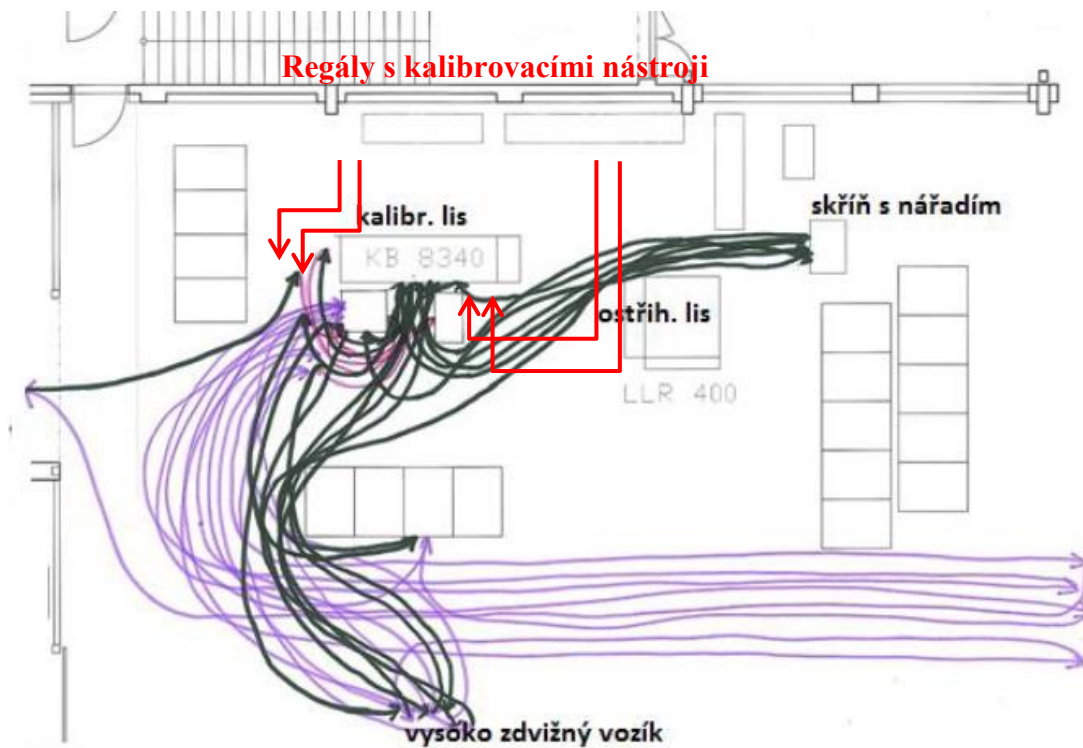
Mezi poskytnutou dokumentaci patří 3D vizualizace rozmístění jednotlivých strojů, periférií a manipulačních jednotek, která usnadňuje představu o rozmístění strojů. Tato vizualizace je podložena okótovaným půdorysem. Dalším podkladem pro návrh pracoviště je Spaghetti diagram, který znázorňuje pohyb operátora a seřizovače po daném pracovišti kalibrace.



Obrázek 38. 3D vizualizace současného pracoviště pro kalibraci a ostřihování



Obrázek 39. Layout pracoviště



Obrázek 40. Spaghetti diagram pro zobrazení trajektorie pohybu operátora

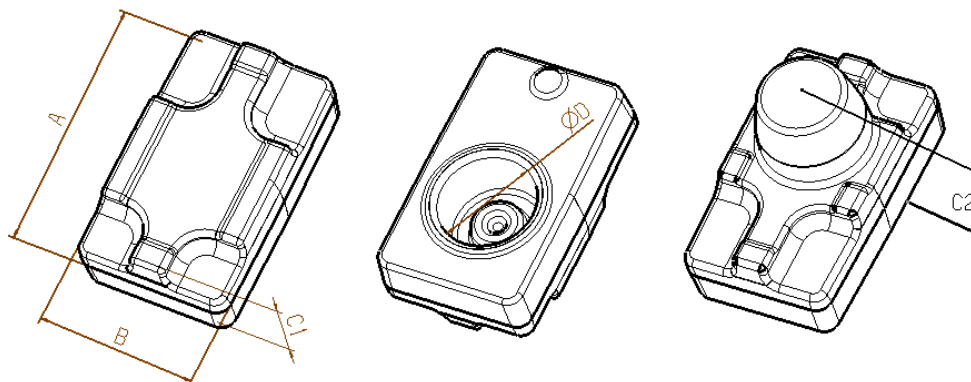
### 7.1.2 Manipulovaný předmět – výkovek

- Je zaručeně vychlazený po předchozím kování
- skladuje se v plechových bednách o rozměrech 1200 x 780 x 550mm, ve kterých je volně uložený
- hmotnost výkoveků se pohybuje v rozmezí 0,8 až 3,1 kg
- feromagnetický materiál výkoveků



Obrázek 41. Výkovek

## Seznam výkovků a jejich specifikace



Základní rozměry výkovků

Označení výkovku	Délka A [mm]	Šířka B [mm]	Výška C1 [mm]	Výška C2 [mm]	Průměr D [mm]	Hmotnost [Kg]
1	86.30	52.90	28.30	-	32.71	0.76
2	87.34	53.54	33.19	-	33.25	1.10
3	86.30	52.90	29.30	53.86	32.86	0.96
4	88.00	71.20	53.80	-	43.66	1.98
5	88.00	71.20	54.80	81.87	43.66	2.41
6	80.80	60.78	31.80	-	26.61	1.00
7	104.00	99.43	54.80	-	63.64	2,90
8	89.10	55.04	60.80	-	38.15	1.13
9	104.00	99.43	54.80	84.45	63.37	3.20
10	80.80	60.78	31.80	49.85	26.61	1.16

Uspořádání výkovků do skupin dle nejbližších podobností pro volbu koncového efektoru (průměr D, hmotnost)

Označení výkovku	Délka A [mm]	Šířka B [mm]	Výška C1 [mm]	Výška C2 [mm]	Průměr D [mm]	Hmotnost [Kg]
10	80.80	60.78	31.80	49.85	26.61	1.16
6	80.80	60.78	31.80	-	26.61	1.00
1	86.30	52.90	28.30	-	32.71	0.76
3	86.30	52.90	29.30	53.86	32.86	0.96
2	87.34	53.54	33.19	-	33.25	1.10
8	89.10	55.04	60.80	-	38.15	1.13
4	88.00	71.20	53.80	-	43.66	1.98
5	88.00	71.20	54.80	81.87	43.66	2.41
9	104.00	99.43	54.80	84.45	63.37	3.20
7	104.00	99.43	54.80	-	63.64	2,90

Tabulka 5. Specifikace výkovků a jejich rozdělení dle rozměrů a hmotnosti



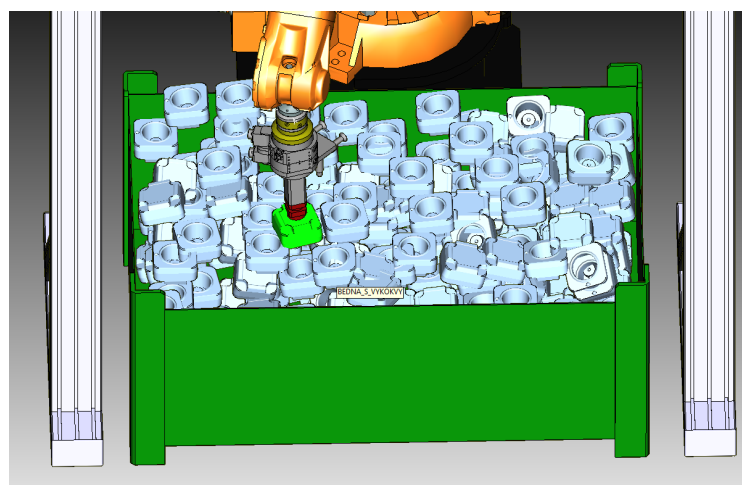
Díky specifikaci jednotlivých výkovků byl určen výkovek s nejvyšší hmotností, která je 3,2 kg. Dalším aspektem proto, aby byl navržen nejuniverzálnější efektor pro odběr výkovků je společně charakteristický tvar nebo vlastnost. Společnou vlastností je feromagnetický materiál, ze kterého jsou výkovky vykovány. Z toho vyplývá možnost aplikace magnetického chapadla. Tím že výkovek volně leží v transportní bedně a z lící strany je na výkovku technologický kruhový otvor, kde není možné magnetem výkovek uchopit, je proto dalším hledaným parametrem průměr tohoto kruhového otvoru pro uchopení tříprstým chapadlem. Pro zakládání dílů do kalibrační zápustky je předpoklad použití paralelního chapadla, které bude výkovek uchopovat za vnější tvar.

#### Výsledek specifikace

<b>Nejvyšší hmotnost výkovku [kg]</b>	3,2
<b>Feromagnetická vlastnost materiálu</b>	ANO
<b>Rozdíl mezi průměry otvoru[mm]</b>	36,0
<b>Rozdíl mezi vnějšími uchopovacími rozměry (Šířka B) [mm]</b>	46,05

#### 7.1.3 Manipulační jednotka

- Plechová bedna o rozměrech 1200 x 780 x 550 mm
- Manipulace s bednou pomocí vysokozdvížného vozíku



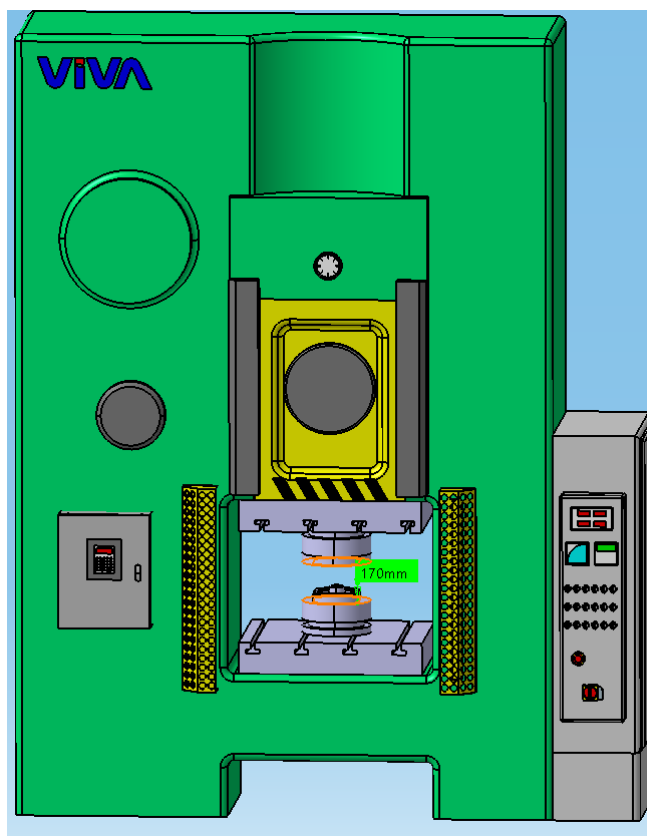
Obrázek 42. Model plechové bedny s výkovky

#### 7.1.4 Kalibrovací lis

Z níže uvedených vlastností vyplývá, že daný stroj má zdvih beranu 170 mm. Tato hodnota se rovná i prostoru mezi pevnou a pohyblivou částí kalibrovací zápustky. Koncový efektor musí být navržen tak, aby bezpečně najel i s dílem do prostoru zápustky. Další hodnotou je takt, neboli počet zdvihů za minutu, který je stroj schopen vykonat. Z této hodnoty je zřejmé, že jeden výrobní cyklus kalibrace na stroji trvá 2 sekundy.

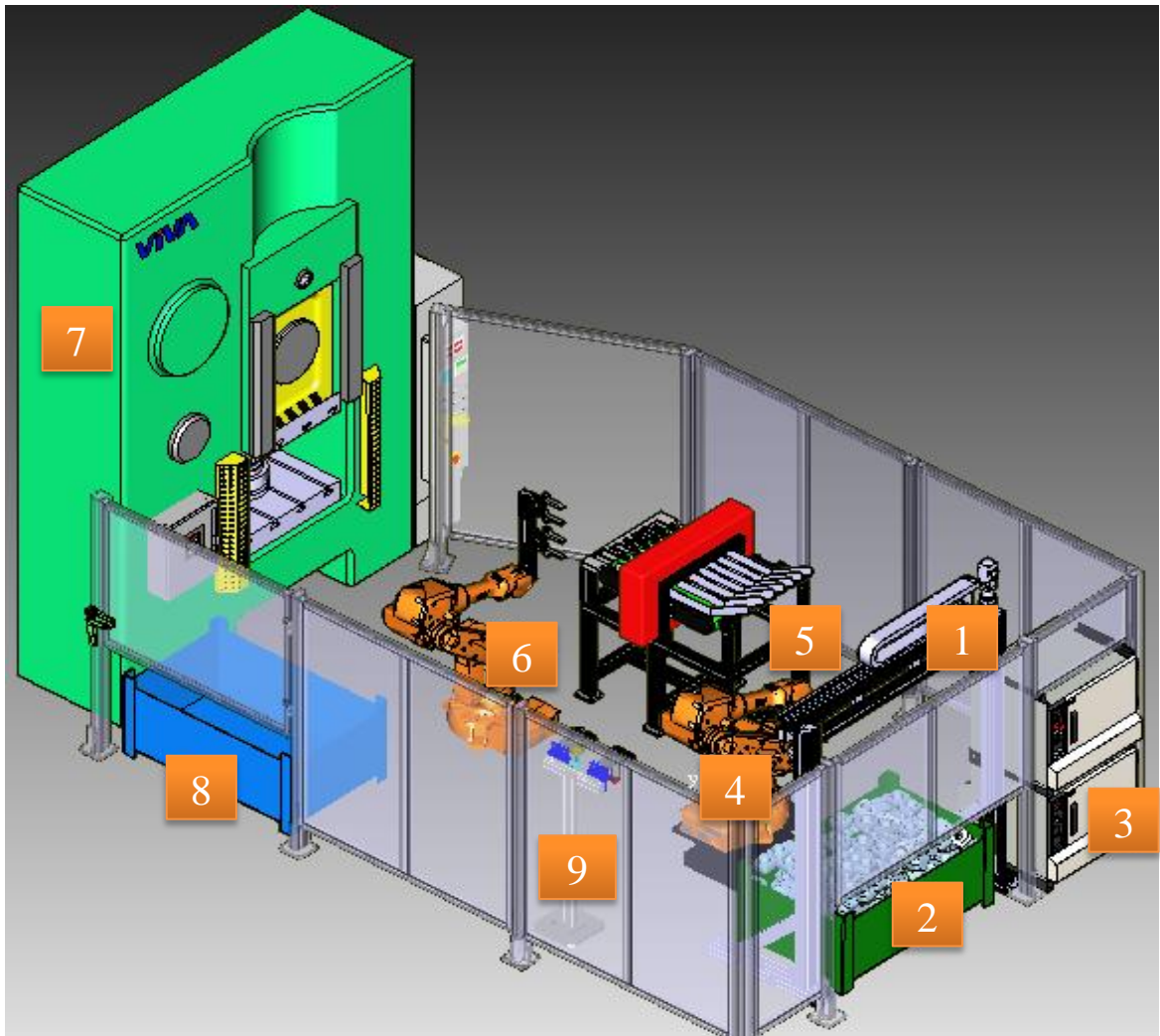
KB 8340			
Stroj	V.C.20	Jednotlivé zdvihy [zdvih/min]	30
Jmenovitá síla [kN]	10 000	Zdvih beranu [mm]	170
Maximální počet zdvihů [zdvih/min]	32	Přestavování beranu [mm]	16
		Hmotnost [kg]	26 000

Tabulka 6. Specifikace kalibrovacího stroje



Obrázek 43. Pohled do kalibrovacího stroje

## 8 IDEOVÝ NÁVRH PRACOVIŠTĚ



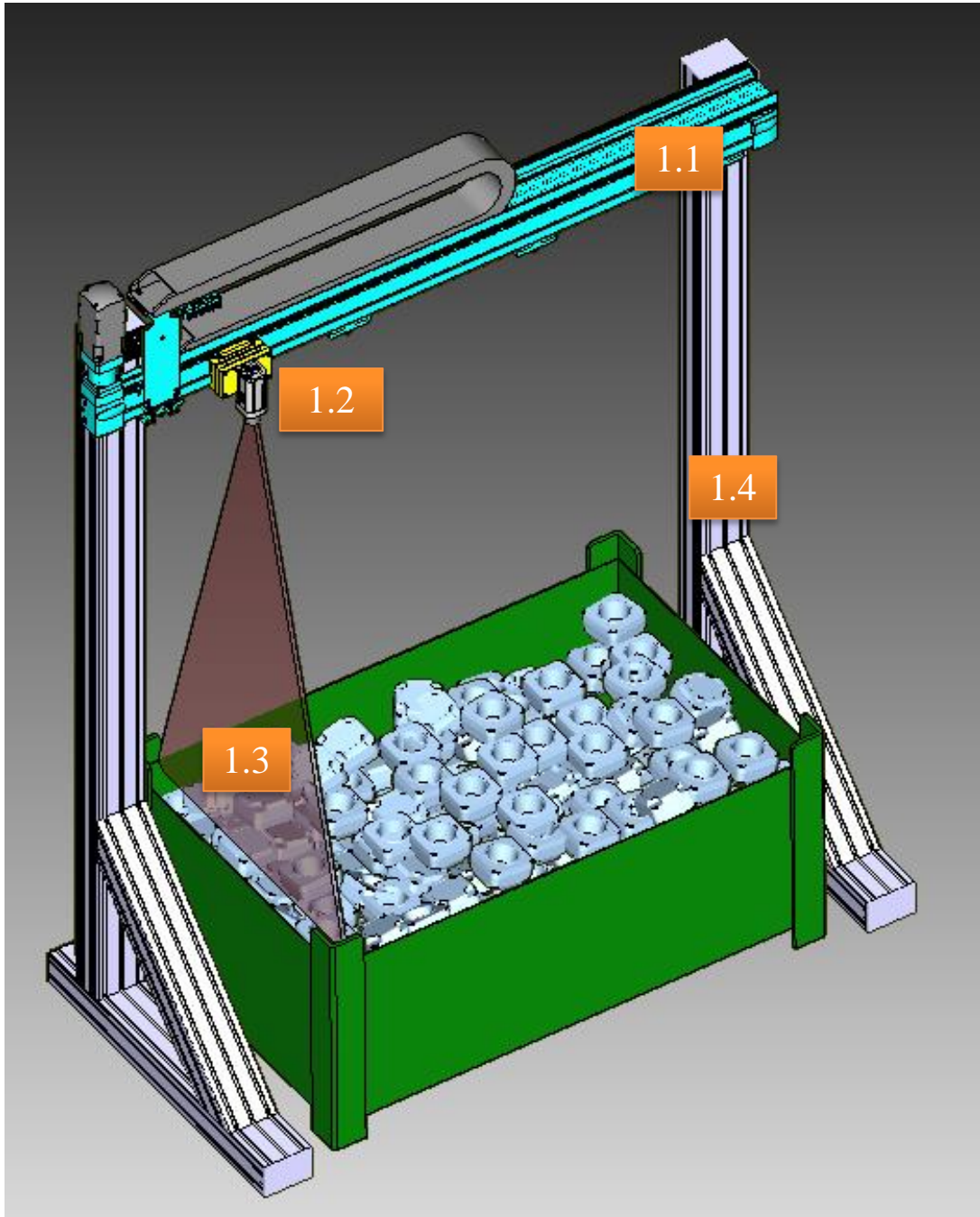
Obrázek 44. Ideový návrh automatizovaného pracoviště s popisem jednotlivých členů

### Popis pracoviště:

1. Kamerový systém s 3D kamerou a motorickým posuvem FESTO
2. Kovová bedna s nezkalibrovanými výkovky
3. Duální řízení robotů ABB
4. Robot IRB 2600\_12\_165
5. Pásový dopravník s demagnetizační cívkou
6. Robot IRB 2600\_12\_185
7. Kalibrační lis s kalibrační zápustkou
8. Plechová bedna na zkalibrované výkovky
9. Stojan pro automatickou výměnu koncového efektoru
10. Bezpečnostní bariéra robotického pracoviště

## 8.1 Rozbor jednotlivých úseků automatizovaného pracoviště

### 8.1.1 Kamerový systém s 3D kamerou a motorickým posuvem FESTO



Obrázek 45. Popis kamerového systému

1.1 - Kartézský manipulační systém s jednou osou FESTO

1.2 - 3D Kamera Sick Ranger

1.3 - Zobrazení paprsku 3D kamery

1.4 – Hliníková konstrukce z profilů firmy Maytec

### 8.1.2 Kartézský manipulační systém FESTO

Firma festo, která se mimo pneumatiku zabývá i manipulačními systémy, u kterých nabízí hotová řešení jednotlivých pohonů připravená k montáži, včetně energetických řetěů pro přívod kabelů nebo hadic a vhodných sad motorů a jejich řízení. Na stránkách lze snadno na základě vstupních parametrů vygenerovat vhodný typ manipulačního systému pro danou aplikaci. Mezi hlavní vstupní parametry patří:

- Užitečná zátěž [kg]
- Vzdálenost těžišť [mm]
- Pracovní zdvih [mm]
- Připojení k datové sběrnici
- Dostupné síťové napětí [V]
- Doba přejetí osy [s]

Výsledkem je nakonfigurovaný jednoosý systém.

Parametr	Hodnota
Typ manipulace	jednoosý systém
Systém - konstrukční sada	YXCS
Vytížení systému	56%
Opakovatelná přesnost (+/-)	0.08 mm
Hnací modul	osa s ozubeným řemenem EGC - 50
Efektivní zdvih S	1300 mm
Převodový poměr modulu	3:01
Druh motoru, modul	servomotor EMMS - AS
Poloha motoru na ose	levá
Ovladač motoru	CMMP - AS - M3
Fáze - jmenovité napětí	1 fáze
Vytížení vedení	56%
Vytížení motoru	3%
Osová pracovní zátěž	21%

Tabulka 7. Výsledný návrh konfigurátoru FESTO

### 8.1.3 3D kamera Sick Ranger

V sestavě kamera plní úlohy robotického prostorového vidění. Funkce MultiScan, kterou kamera disponuje, je určena pro měření 3D rozměrů, kontrastu a rozptylu detekovaného objektu. V kombinaci s laserem, který ozařuje detekovaný objekt, kamera zaznamenává změnu kontrastu detekovaného objektu a na základě vyhodnocení této změny je schopna zaznamenat velikost a polohu objektu. Následně řídicí jednotka transformuje souřadnice pro navedení robota do pozice odběru dílu z bedny. Tento proces detekce polohy a vyhodnocení scény 1200 x 800 mm trvá 5s a detekce polohy výkovku v chapadle trvá 0,5 s.



Obrázek 46. Kamera Sick Ranger – C50412

Parametry kamery	
Výrobce	SICK
Typ	Ranger - C50412
Image senzor	CMOS
Rychlost snímání	30.000 profilů/s
Rozlišení	1536 x 512 px
Configurační software	Ranger studio
Operační systém	Windows XP Pro
Řídicí napětí	8 až 24 V DC

Tabulka 8. Parametry kamery Sick Ranger – C50412

### 8.1.4 Cenová kalkulace systému pro detekci polohy výkovku

Název komponentu:	Typ:	Cena komponentu [CZK]:
Kartézský manipulační systém FESTO	XCS	145 000
3D kamera Sick	Ranger - C50412	250 000
Konstrukce z hliníkových profilů	MayTec	10 900
	Cena sestavy	405 900

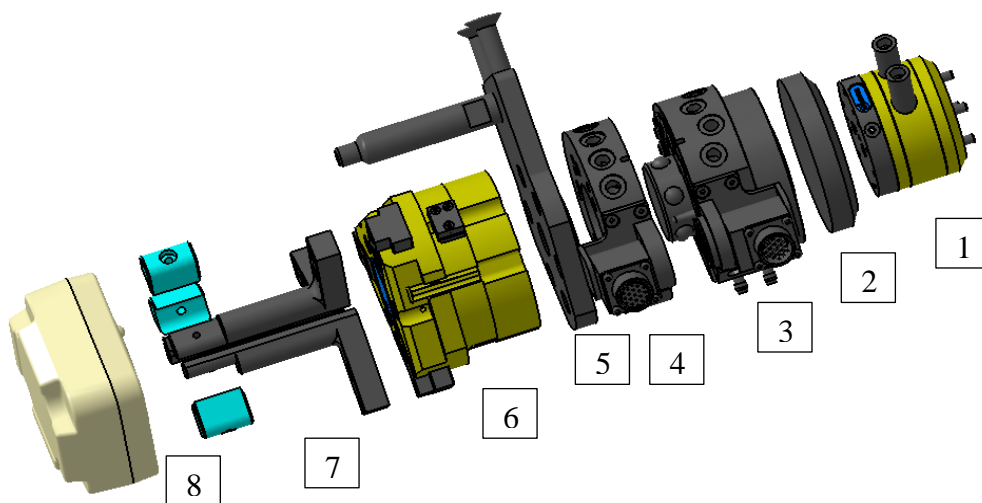
Tabulka 9. Cenová kalkulace systému pro detekci polohy

### 8.1.5 Koncové efekторы robotů

#### 8.1.5.1 Koncový efektor 1. pro odběr výkoveků z bedny za kruhový otvor

Tento efektor uchopuje výkovek za kruhový otvor. Efektor je osazen úchop tříprstým uchopovacím modulem, který uchopuje výkovek a zároveň ho i vystředuje. Efektor je navržen pro automatickou výměnu robotem v pracovním cyklu.

#### Celková hmotnost efektoru pro odběr výkoveků z bedny



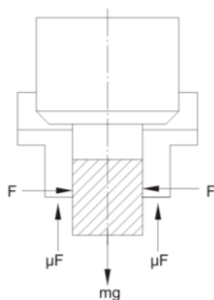
Obrázek 47. Rozbor hmotností komponentů efektoru pro uchopení výkoveků z bedny

Pozice	Název komponentu	Hmotnost[kg]:
1	<b>Interface robot-efektor</b>	<b>1,0</b>
2	<b>Redukce</b>	<b>0,5</b>
3	<b>Intreface SWK</b>	<b>2,1</b>
4	<b>Interface SWA</b>	<b>1,5</b>
5	<b>Interface SWM</b>	<b>0,5</b>
6	<b>Chapadlo PZN</b>	<b>1,95</b>
7	<b>Čelisti chapadla</b>	<b>0,2</b>
8	<b>Nejtěžší výkovek</b>	<b>3,2</b>
<b>Celková hmotnost[kg]:</b>		<b>9,25</b>

Tabulka 10. Celková hmotnost efektoru

**Stanovení velikosti uchopovacího modulu:**

Velikost uchopovacího modulu je závislá na hmotnosti uchopeného předmětu a zrychlení v jednotlivých osách pohybů. Dalším faktorem pro správný výsledek je druh materiálu úchopných prvků a druh materiál uchopovaného předmětu. Na výsledku se podílí i stupeň bezpečnosti manipulace, výrobce SCHUNK udává u svých chapadel stupeň bezpečnosti 2.



Obrázek 48. Zobrazení sil při uchopení [10]

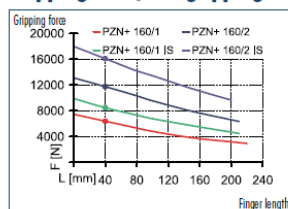
Já jsem volil na základě konfiguračního softwaru firmy SCHUNK EMDESIGN EXPLORER. Výsledný uchopovací modul je PZN – plus 160.

**PZN-plus 160**

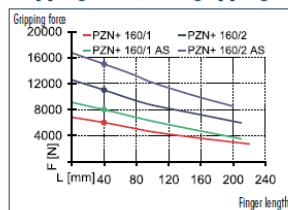
Pneumatic • 3-Finger Centric Gripper • Universal Gripper



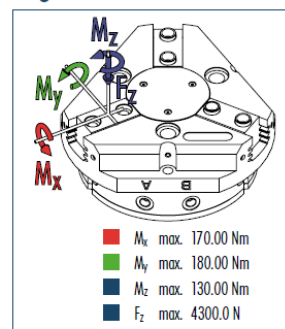
**Gripping force, I.D. gripping**



**Gripping force, O.D. gripping**



**Finger load**



ⓘ The indicated moments and forces are static values, apply per base jaw and may occur simultaneously. My may arise in addition to the moment generated by the gripping force itself. If the max. permitted finger weight is exceeded, it is imperative to throttle the air pressure so that the jaw movement occurs without any hitting or bouncing. Service life may be reduced.

Obrázek 49. Konfiguratorem navržený uchopovací modul pro odběr dílů.

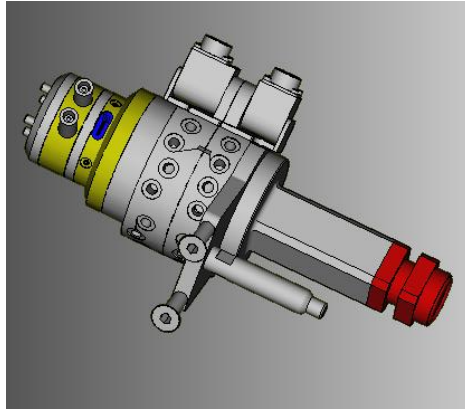
Název komponentu:	Typ:	Cena komponentu [CZK]:
SCHUNK Uchopovač	PZN – PLUS 100	42 149

Tabulka 11. Cenová nabídka uchopovacího modulu [11]



### 8.1.5.2 *Koncový efektor 2. pro odběr výkovků z bedny magnetickým uchopovačem*

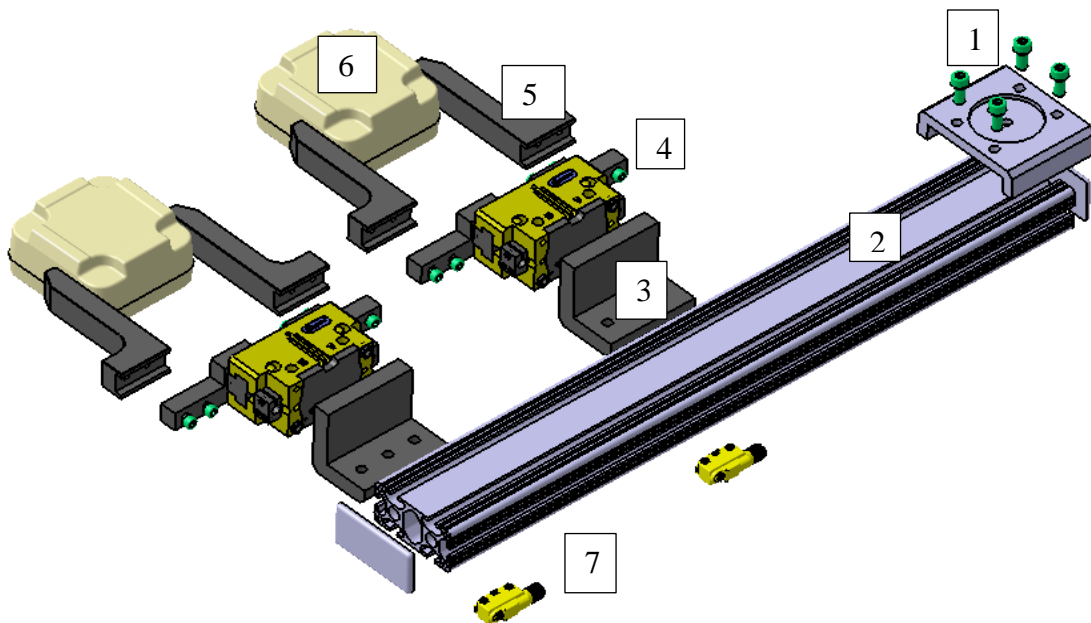
Tímto efektem je součást odebíraná permanentním magnetem ze strany, kde má výkovek rovnou dosedací plochu. Po styku magnetického uchopovače s odebíraným výkovkem dojde k aktivaci pneumatického okruhu, který vysune magnet ke stykové ploše uchopovače a stykové plochy výkovku.



Obrázek 50. Magnetický koncový efektor

### 8.1.5.3 *Koncový efektor 3. pro odběr výkovků z pásu a pro uložení do kalibrační zápustky*

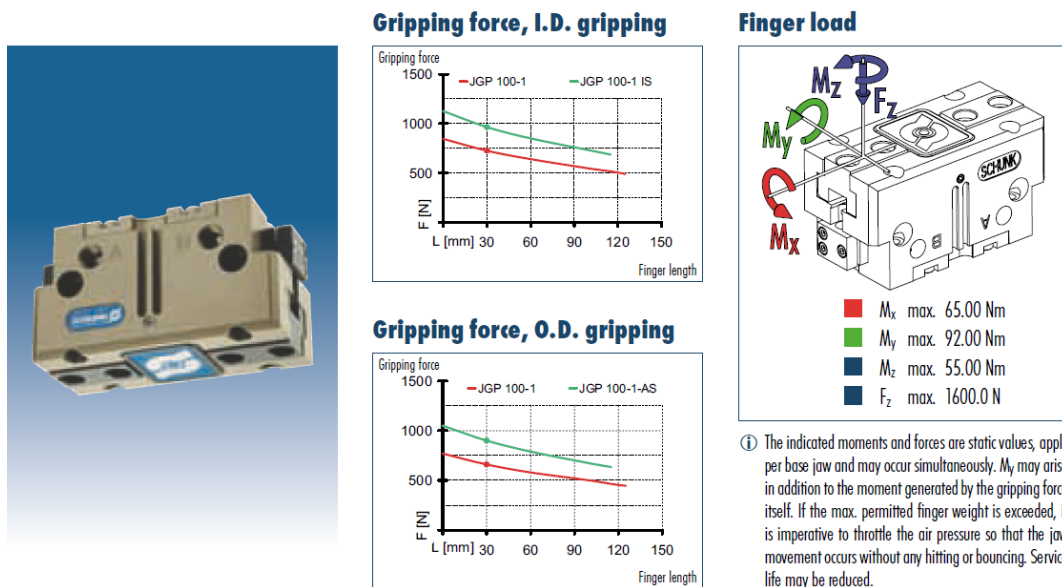
#### Celková hmotnost efektoru pro zakládání výkovků do kalibrační zápustky



Obrázek 51. Celková hmotnost efektoru pro zakládání výkovků do zápustky

Pozice	Název komponentu	Hmotnost[kg]:
1	Interface robot-efektor	0,6
2	Hliníkový profil	0,9
3	Uchycení chapadel 2x	2 x 0,2
4	Chapadlo JGP 100 AS	2x1,0
5	Čelisti chapadla	4 x 0,15
6	Nejtěžší výkovek	2 x 3,2
7	Optický senzor	2 x 0,02
Celková hmotnost[kg]:		10,94

Tabulka 12. Celková hmotnost efektoru pro zakládání výkoveků do zápustky



Obrázek 52. Silové vlastnosti uchopovacího modulu JGP 100 [11]

Název komponentu:	Typ:	Cena komponentu [CZK]:
SCHUNK Uchopovač 2ks	JGP 100	28 120

Tabulka 13. Cenová nabídka uchopovacího modulu pro efektor č.3

## 8.1.6 Specifikace aplikovaných robotů

**Metodika výběru vhodného robotu:****1. Určení nosnosti robota**

Z předchozí kapitoly už známe celkovou hmotnost efektorů včetně manipulovaného břemene, tedy výkovku.

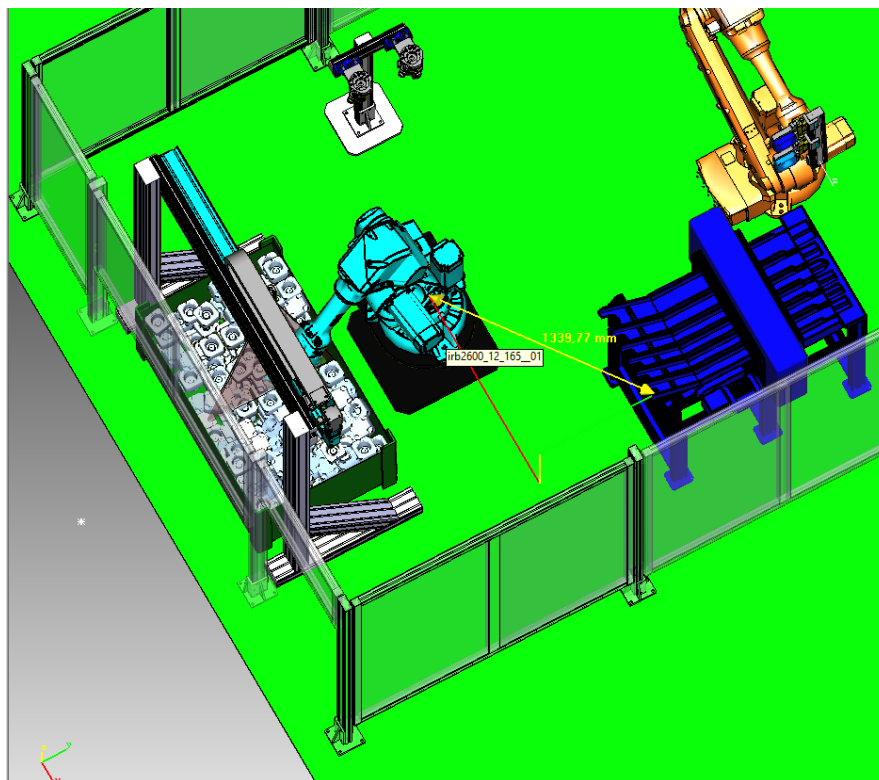
Hmotnost efektoru pro odběr z bedny a uložení na pásový dopravník [kg]	<u>9,25</u>
Hmotnost efektoru pro odběr a založení výkovku do zápustky [kg]	<u>10,94</u>

Tabulka 14. Určení hmotností koncových efektorů

**2. Určení pracovního rozsahu robota:**

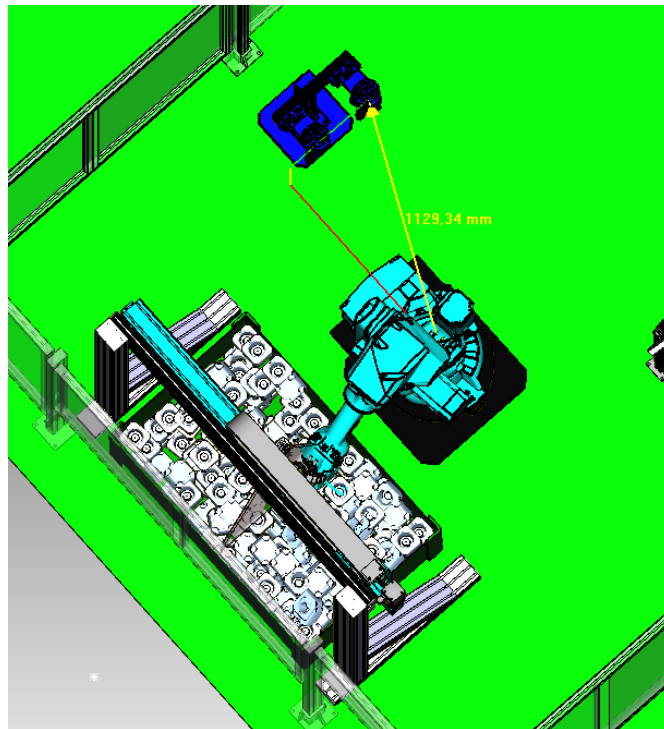
- Robot pro odběr výkovků z bedny, ukládání na pásový zásobník a výměna koncových efektoru, cílem metodiky je nalézt nejvzdálenější pozici pro pohyby robota.

Vzdálenost robota od pásového zásobníku je 1340 mm.



Obrázek 53. vzdálenost robota od pásového zásobníku

Vzdálenost robota od stanoviště pro výměnu efektorů je 1130 mm.

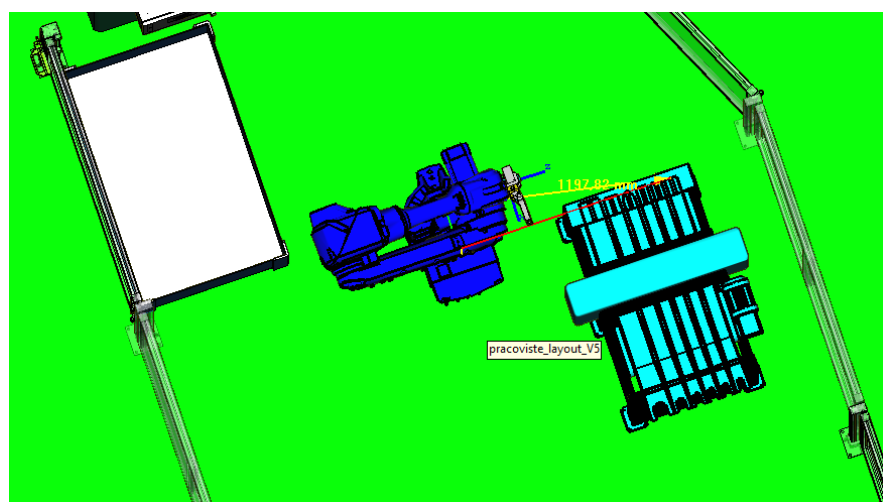


Obrázek 54. Vzdálenost robota od stanoviště pro výměnu efektorů

- Robot pro odběr výkovků z pásového zásobníku, založení výkovků do kalibrovací zápustky, následný odběr a uložení výkovku do plechové bedny.

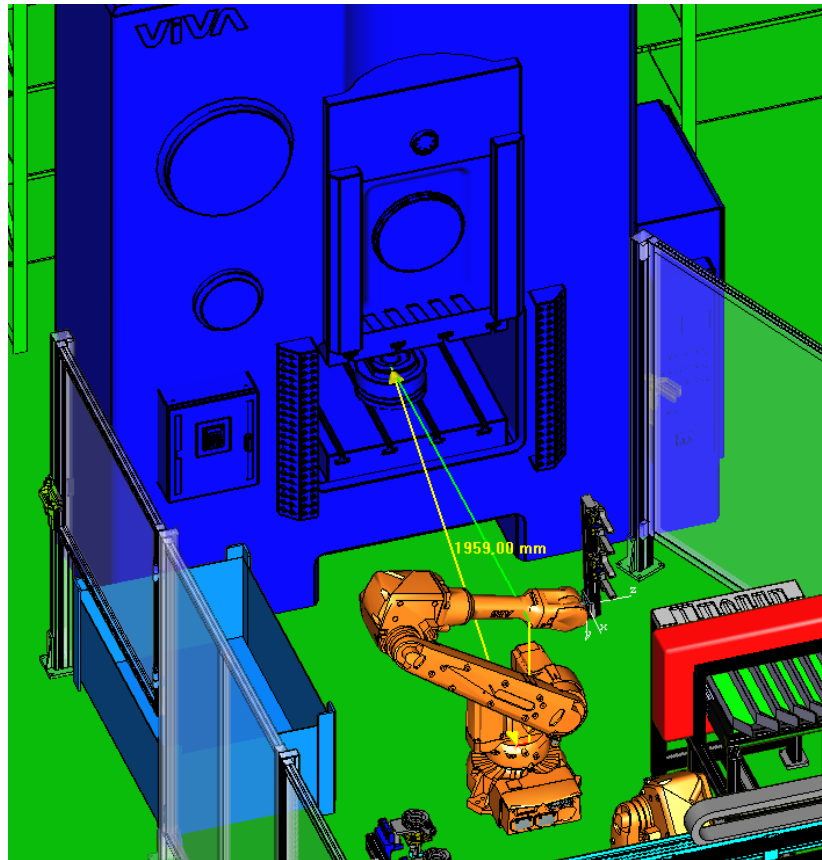
Vzdálenost robota od nejvzdálenějšího místa odběru výkovků ze zásobníku je

**1200 mm**



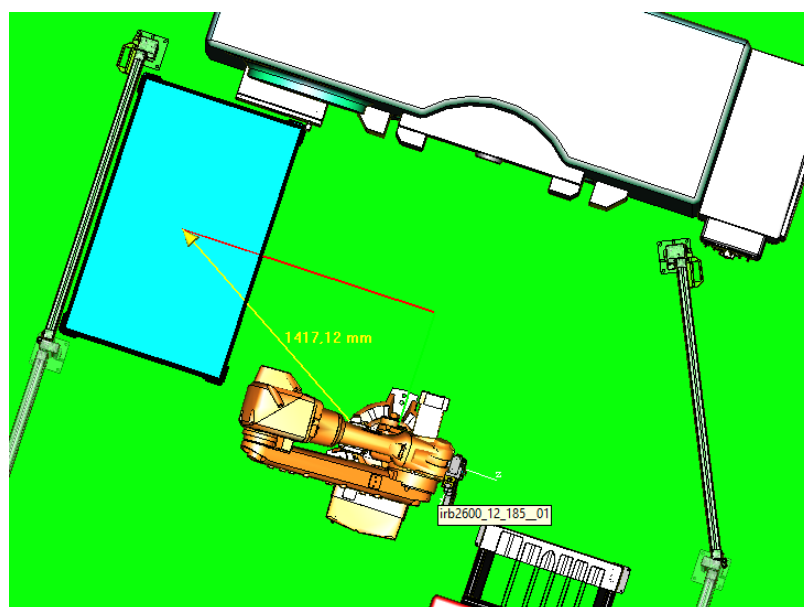
Obrázek 55. Vzdálenost druhého robota od pásového zásobníku

Vzdálenost robota od nejvzdálenějšího místa uložení výkovku do kalibrovacího stroje je 1959 mm.



Obrázek 56. Vzdálenost robota od nejvzdálenějšího místa uložení výkovku

Vzdálenost robota od bedny pro uložení zkalibrovaných výkovků je 1120 mm.



Obrázek 57. Vzdálenost robota od bedny pro uložení zkalibrovaných výkovků

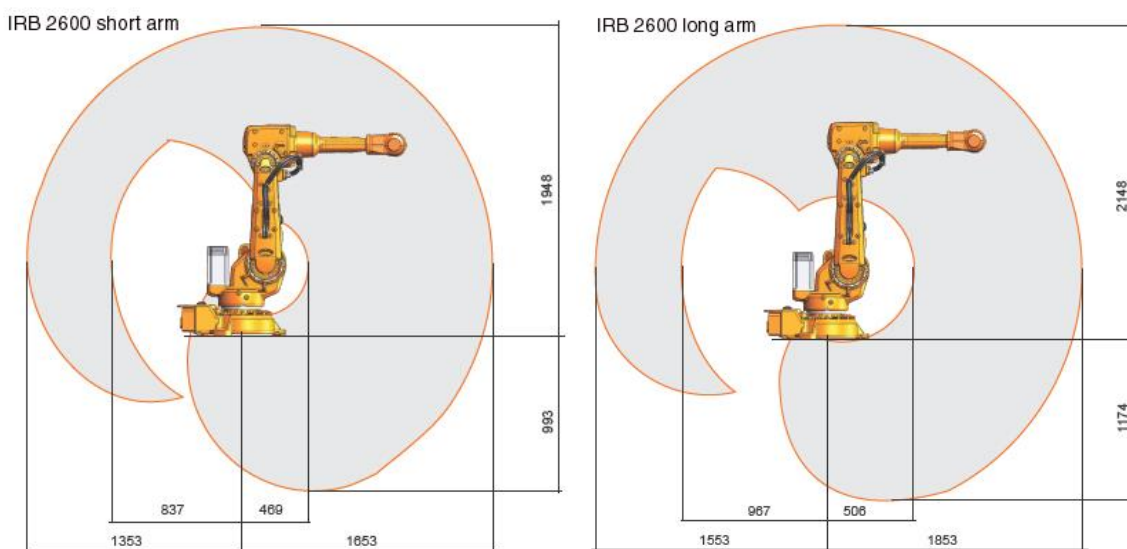
### 8.1.6.1 Robot ABB IRB 2600\_12\_165 a robot ABB IRB 2600\_12\_185

Tento typ robota patří do kategorie středně velkých průmyslových robotů. Tuto skupinu robotů tvoří 3 modely s nosností od 12 do 20 kg. Všechny jsou navrženy jako extrémně rychlé a přesné, aby zvyšovaly produktivitu v aplikacích jako je obsluha strojů, manipulace s materiálem, obloukové svařování a další. Disponují flexibilní možností montáže na podlahu, na stěnu, na šikmou rovinu, na podstavec nebo zavěšením. Snižují nároky na podlahovou plochu a zvyšují přístup k zařízení, aby se dalo pohodlně obsloužit. To umožňuje kreativnější návrh buněk a lepší využití podlahové plochy v mnoha aplikacích.

#### Pracovní rozsah a specifikace robota ABB IRB 2600 12

##### ABB IRB 2600-12/1,65

##### ABB IRB 2600-12/1,85



Obrázek 58. Pracovní rozsah robotů ABB IRB\_12

Specifikace			
Varianta robota	Dosah[m]	Nosnost[kg]	Nosnost ramene [kN]
IRB 2600-12/1.65	1.65	12	15
IRB 2600-12/1.85	1.85	12	10
Počet os	6 + 3 externí		
Krytí	IP 67		
Uchycení	podlaha, stěna, strop, náklon		
Řízení	IRC 5		

Fyzikální vlastnosti	
Rozměr základny robota [mm]	675 x 511 mm
Výška robota IRB 2600-12/1.65 [kg]	1382 mm
Výška robota IRB 2600-12/1.85 [kg]	1582 mm

Výkon		
	1.65	1.85
Opakovatelnost pozice [mm]	0.04	0.04
Opakovatelnost dráhy [mm]	0.013	0.16

Pohyby			
Pohybová osa	Pracovní rozsah [°]		Maximální rychlost[°/s]
Osa 1	180	-180	175
Osa 2	155	-95	175
Osa 3	75	-180	175
Osa 4	400	-400	360
Osa 5	120	-120	360
Osa 6	400	-400	500

Elektrické připojení	
Vstupní napětí	20 -600 V. 50 - 60 Hz

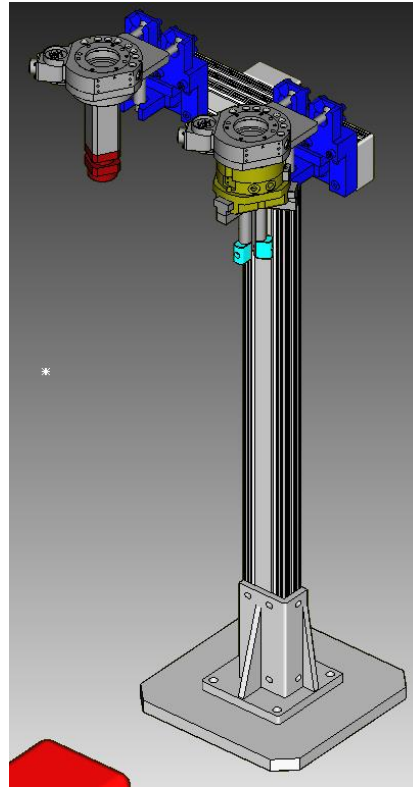
Tabulka 15. Specifikace robotu ABB IRB [12]

Cenová kalkulace	
Komponent	Cena komponentu [CZK]
IRB 2600-12/1.65	
IRB 2600-12/1.85	
Řízení IRC 5	
Podstavec robota	
	Celkem [EUR] 49400

Tabulka 16. Cenová kalkulace robotů IRB\_2600\_12

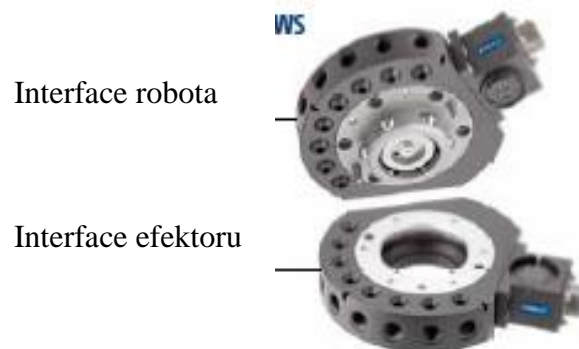
### 8.1.7 Periférie pro automatickou výměnu chapadel

V případě když řízení kamery vyhodnotí, že daným chapadlem už nelze bez kolize odebrat výkovek, robot automaticky vymění chapadla, aby mohl odebrat výkovek z opačné strany.



Obrázek 59. Periférie pro automatickou výměnu chapadel

Navržený systém je vhodný pro malé středně měnící se systémy. Tyto typy interface se vyznačují jako extrémně stabilní. Středění se složeno z trvanlivé nerezové oceli. Přítomnost efektorů v periférii lze monitorovat bezdotykovými snímači polohy. Tento způsob zaručuje bezproblémovou výměnu efektorů.

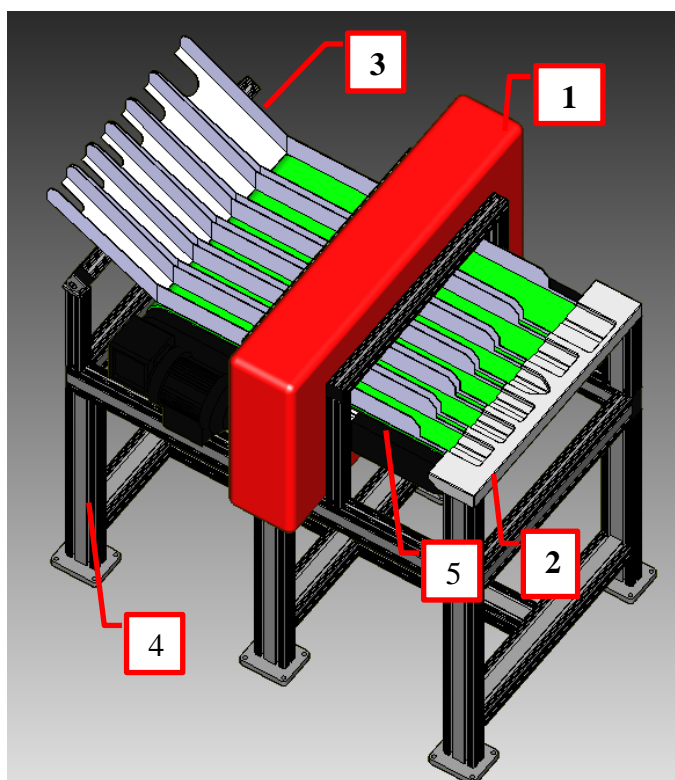


Obrázek 60. Interface pro automatickou výměnu chapadel. [10]



### 8.1.8 Pásový dopravník

Tato sestava komponentů je nedílnou součástí návrhu robotického pracoviště, jelikož plní dvě významné funkce. První funkcí je transport výkovku, který je uložen robotem na skluz a následně vlivem gravitační síly dopraven na motorický pásový dopravník. Zde se výkovek pohybuje mezi středícím vedením až k samotné ustavovací desce, kde je výkovek vycentrován do přesné pozice pro následný odběr robotem. Druhou funkcí je demagnetizace výkovku, který byl odebrán z bedny pomocí magnetického efektoru. Při odběru magnetickým efektoem dochází k částečnému povrchovému zmagnetizování výkovku. I částečně zmagnetizovaný výkovek by se mohl v kalibrovací zápustce přichytit k pohyblivé straně a způsobit tak kolizi robota nebo kolizi výkovku v zápustce.



Obrázek 61. Pásový dopravník s demagnetizační cívkou

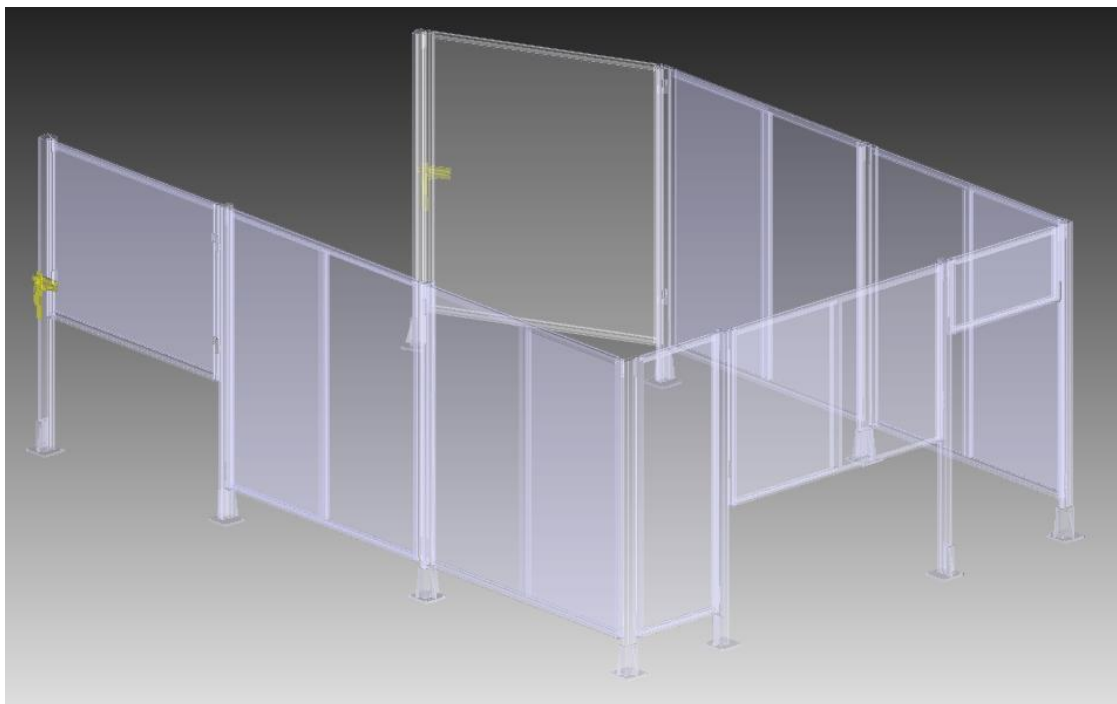
1 - demagnetizační cívka, 2 – ustavovací deska, 3 – gravitační skluz, 4 – rám stroje, 5 – pásový dopravník

Název komponentu:	Typ:	Cena komponentu [CZK]:
Demagnetizační cívka	EDTR6020XX	50 000
Pásový dopravník	Maytec	23 000
Rám stroje	MayTec	8 466
	<b>Cena sestavy</b>	<b>81 466</b>

Tabulka 17. Cenová kalkulace pásového dopravníku

### 8.1.9 Bezpečnostní bariéra pracoviště

Bezpečnostní bariéra je určena k uzavření robotického pracoviště, aby nemohlo dojít k nechtěnému kontaktu člověka s akčním pohybovým členem pracoviště. Zároveň má ochrannou funkci samotného pracoviště např. před externími manipulačními prostředky. V tomto návrhu je bariéra složená z modulů firmy Maytec. Konstrukční nosné prvky tvoří hliníkové profily a výplň je tvořena drátěným pletivem určené přímo robotické aplikace.



*Obrázek 62. Ochranná bariéra*

Do návrhu byly zakomponovány i vysouvací dveře pro snadný přístup k pracovišti, výměně kalibrační zápusky a v případě provozu bez automatizovaného pracoviště najetí kovovou bednou s výkovky. Pro tyto dveře je navržen multifunkční dvevní systém MGB renomované německé firmy EUCHNER. Bezpečnost je zde řešena transpondéry RFID s unikátním kódováním (dle staré Kategorie 4). Tento produkt plně vyhoví normě ČSN EN ISO 14119, která vstoupila do platnosti 1. 5. 2015. Jde o sestavu MGB, která obsahuje modul kliky, modul vyhodnocovací jednotky a modul únikové kliky, princip blokování je mechanický (odblokování se provádí přivedením napětí na solenoid). MGB systém lze použít jak pro dveře na pantech, tak pro dveře posuvné. Pro znemožnění uzamčení pracovníka při servisu je MGB systém vybavený mechanismem pro vyřazení funkce pomocí visacích zámků.



Obrázek 63. Dveřní systém MGB

Název komponentu:	Typ:	Cena komponentu [CZK]:
MGB Multifunkční systém	MGB-L1HE-AR-R-105784	14 138
Ochranná bariéra	Maytec	81000
	<b>Cena sestavy</b>	<b>95138</b>

Tabulka 18. Cenová kalkulace ochranné bariéry

## 8.1.10 Cenová kalkulace navrženého pracoviště

Kamerový systém:

Název komponentu:	Typ:	Cena komponentu [CZK]:
Kartézský manipulační systém FESTO	XCS	145 000
3D kamera Sick	Ranger - C50412	250 000
Konstrukce z hliníkových profilů	MayTec	10 900
	<b>Cena sestavy</b>	<b>405 900</b>

ABB IRB 2600-12

Cenová kalkulace		
Komponent		
IRB 2600-12/1.65		
IRB 2600-12/1.85		
Řízení IRC 5		
Podstavec robota		
	Celkem [EUR]	<b>49 400€</b> Celkem [CZK] <b>1 358 500</b>

Pásový dopravník

Název komponentu:	Typ:	Cena komponentu [CZK]:
Demagnetizační cívka		89 000
Pásový dopravník	Maytec	23 000
Rám stroje	MayTec	8 400
	<b>Cena sestavy</b>	<b>120 400</b>

Koncový efektor 1. – Pouze uchopovač

Název komponentu:	Typ:	Cena komponentu [CZK]:
SCHUNK Uchopovač	PZN – PLUS 100	<b>42 149</b>

Koncový efektor 2. – Pouze magnet

Název komponentu:	Typ:	Cena komponentu [CZK]:
Magnetický uchopovač		<b>55 000</b>

Koncový efektor 3. – Pouze dva uchopovače

Název komponentu:	Typ:	Cena komponentu [CZK]:
SCHUNK Uchopovač 2ks	JGP 100	<b>28 120</b>

Stanoviště pro automatickou výměnu chapadel:

Název komponentu:	Typ:	Cena komponentu [CZK]:
SCHUNK Interface	DDF-2-40-P2	29 490
SCHUNK Interface 2x	SWA-040-G19	36 420
SCHUNK Interface	SWK-040Q-G19-S6	40 830
SCHUNK Interface 2x	SWM-TSM-TP-462	19 680
	<b>Cena sestavy</b>	<b>126 420</b>

Ochranná bariéra:

Název komponentu:	Typ:	Cena komponentu [CZK]:
MGB Multifunkční systém	MGB-L1HE-AR-R-105784	14 138
Ochranná bariéra	Maytec	81000
	<b>Cena sestavy</b>	<b>95138</b>

Finanční zhodnocení návrhu:

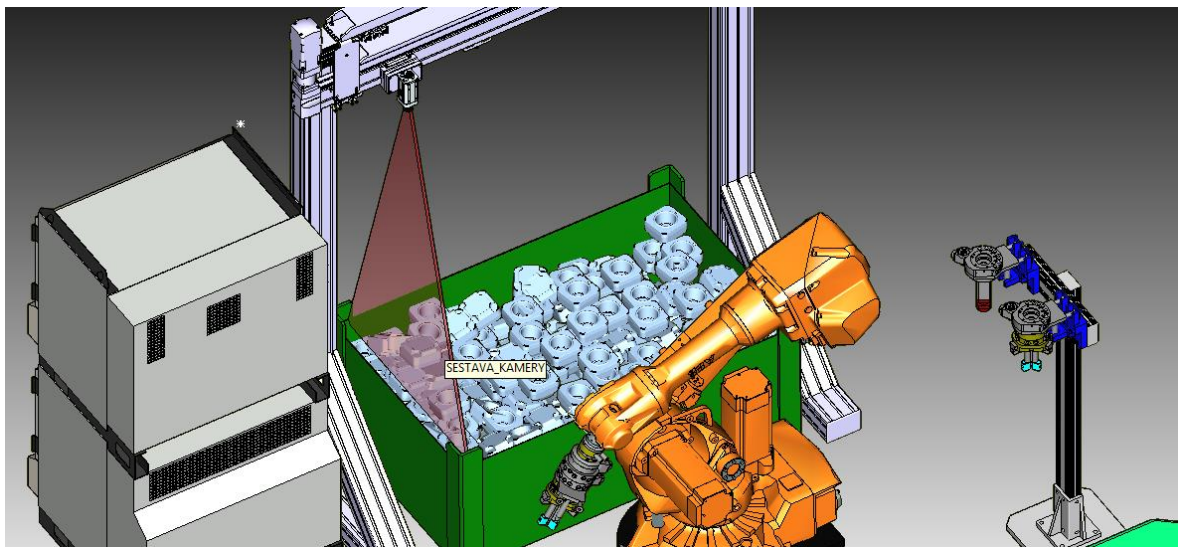
Cena celkem [CZK]	<b>2231627</b>
-------------------	----------------

Tabulka 19. Finanční zhodnocení návrhu

## 8.2 Grafická vizualizace výrobního procesu kalibrace výkovků

### 8.2.1 1. Fáze pracovního cyklu – detekce ideální polohy pro odběr výkovku

3D snímací kamera detekuje ideální polohu pro odběr výkovku z plechové bedny. Kamera je vybavena laserem, který nasvěcuje výkovky v bedně, vzniká kontrast a kamera tento kontrast následně detekuje. Díky této kombinaci umí řídicí systém vyhodnotit uložení výkovku v prostoru. Kamera je ukotvena na motorické pojezdové ose.



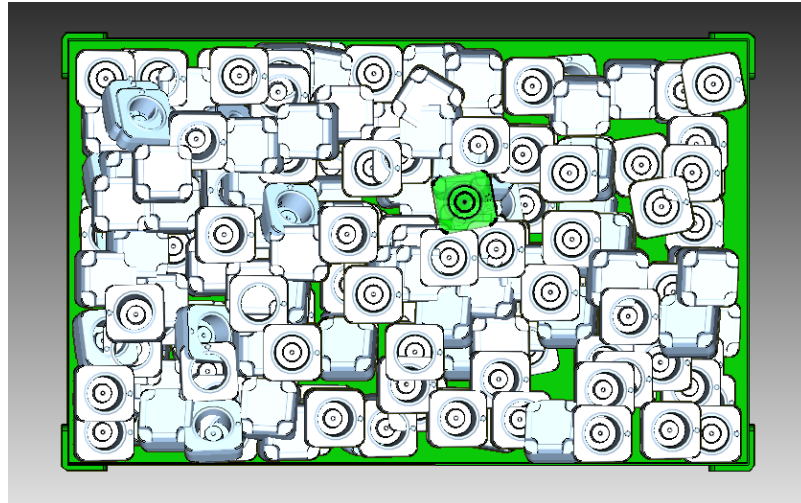
Obrázek 64. 1. Fáze pracovního cyklu

### 8.2.2 2. Fáze - vyhodnocení detekce kamerou a následný odběr výkovku z bedny

Řídicí jednotka kamery transformuje údaje do řídicí jednotky robota. Robot následně najíždí na tyto souřadnice a odebírá výkovek z plechové bedny. Návrh pracoviště počítá s možností, že je výkovek volně uložen v prostoru, proto má robot k dispozici dva druhy čepadel pro odběr magneticky nebo pneumaticky ovládaným efektozem. Při vyhodnocování údajů kamera upřednostňuje efektor, který je momentálně upnut na robota. Pokud ovšem nedetekuje žádný výkovek, který lze daným efektozem odebrat, robot automaticky najíždí ke stojanu koncových efektozů a dochází k jejich výměně.

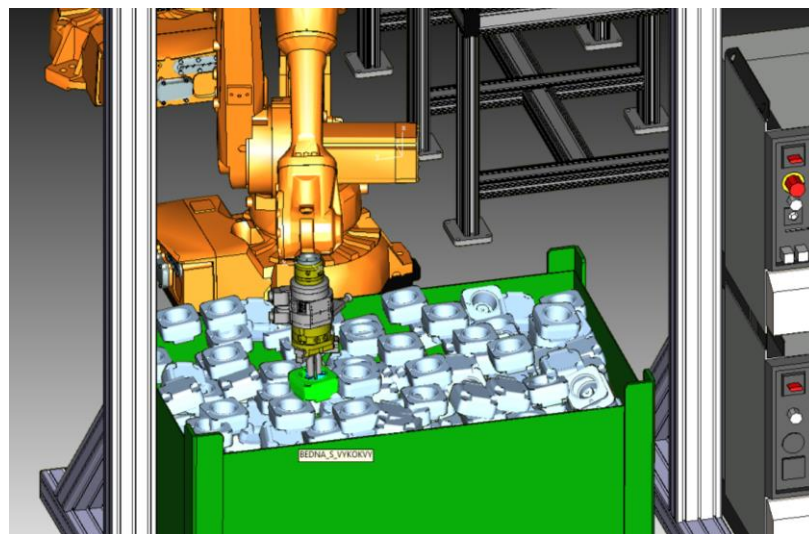
**Varianta A** – výkovek je uchopen pneumatickým efektoem

Na obrázku je simulačně detekován výkovek, který je ideálně umístěn v bedně pro odběr bez kolize robotem.



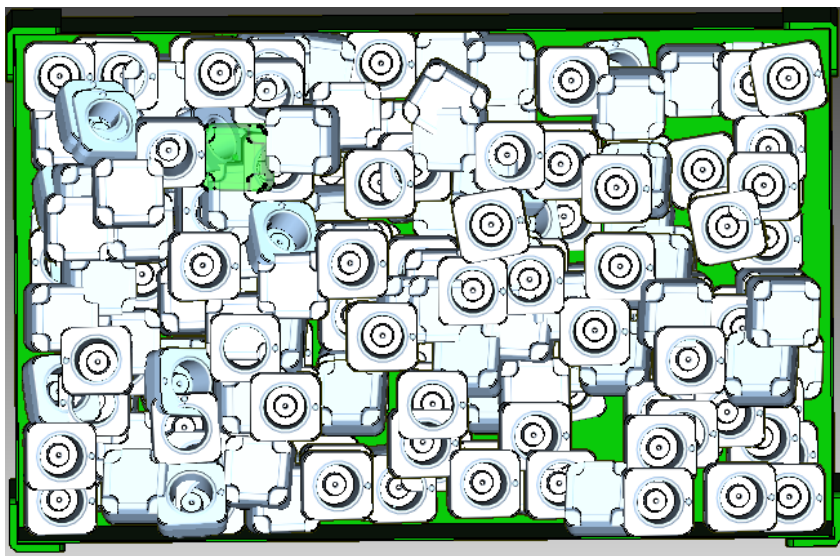
*Obrázek 65. Pohled na výkovek detekovaný kamerou*

Robot najel k odběru výkovku a pomocí koncového efektoru odebírá výkovek z bedny.

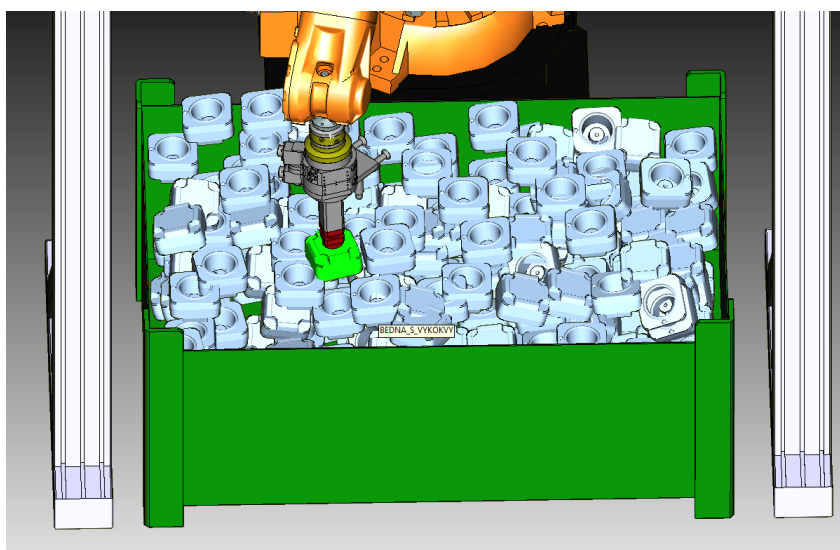


*Obrázek 66. Odběr výkovku pneumatickým efektoem*

**Varianta B** – výkovek je uchopen magnetickým efektem



Obrázek 67. Zobrazení ideálně položeného dílu v bedně pro odběr magnetickým efektem

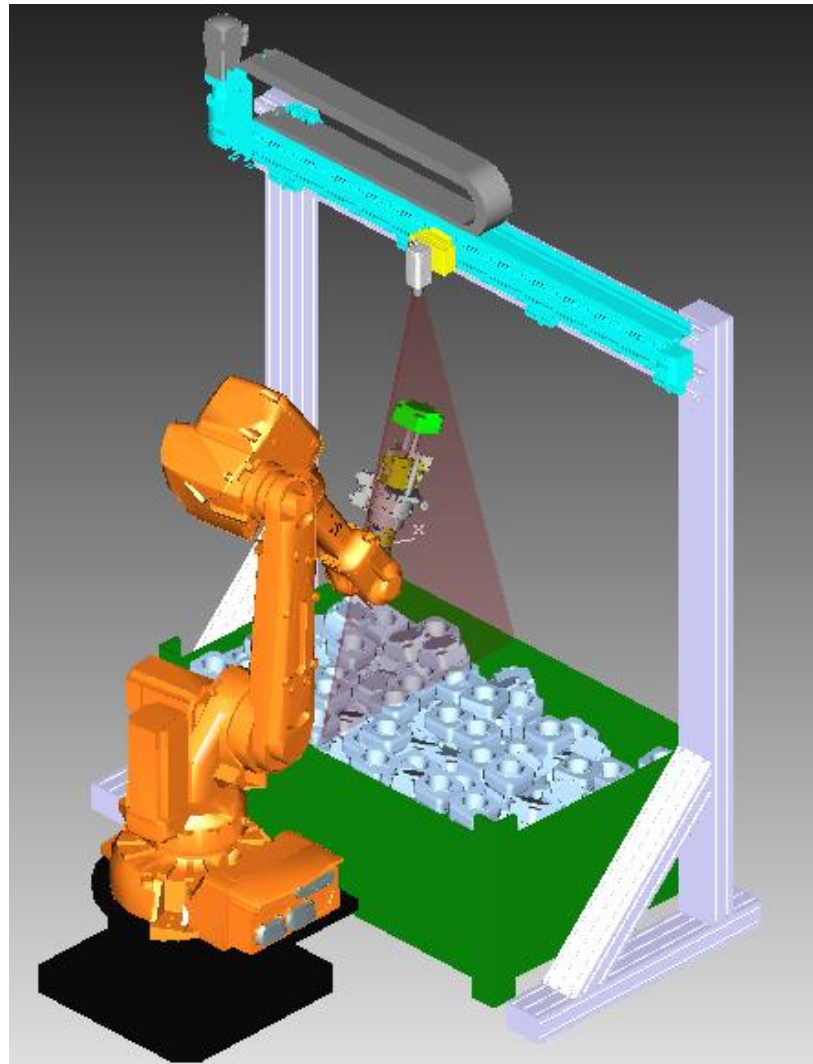


Obrázek 68. Odběr výkovku magnetickým efektem



### 8.2.3 3. Fáze – Detekce polohy výkovku v koncovém efektoru

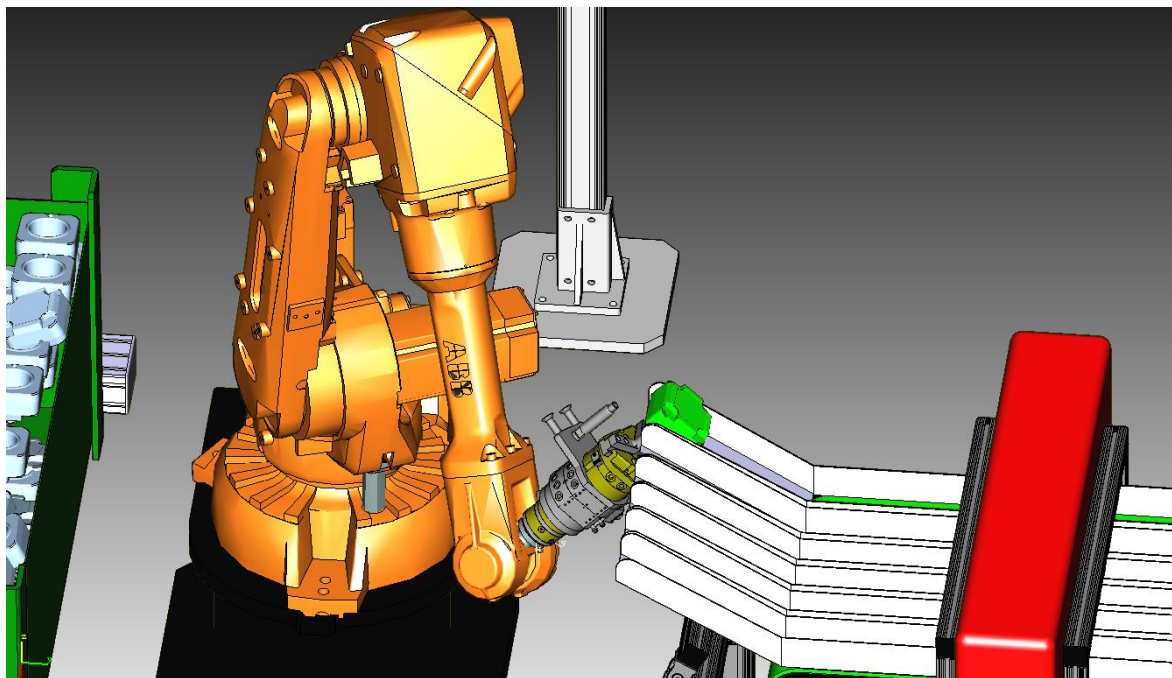
Po odběru výkovku z bedny může dojít vlivem působení okolních výkovků k možnému vychýlení v efektoru robota, proto po odběru robot otáčí efektozem do pomyslné 2D roviny pro novou přesnější detekci kamerou. Po této detekci odjíždí směrem k dopravníku.



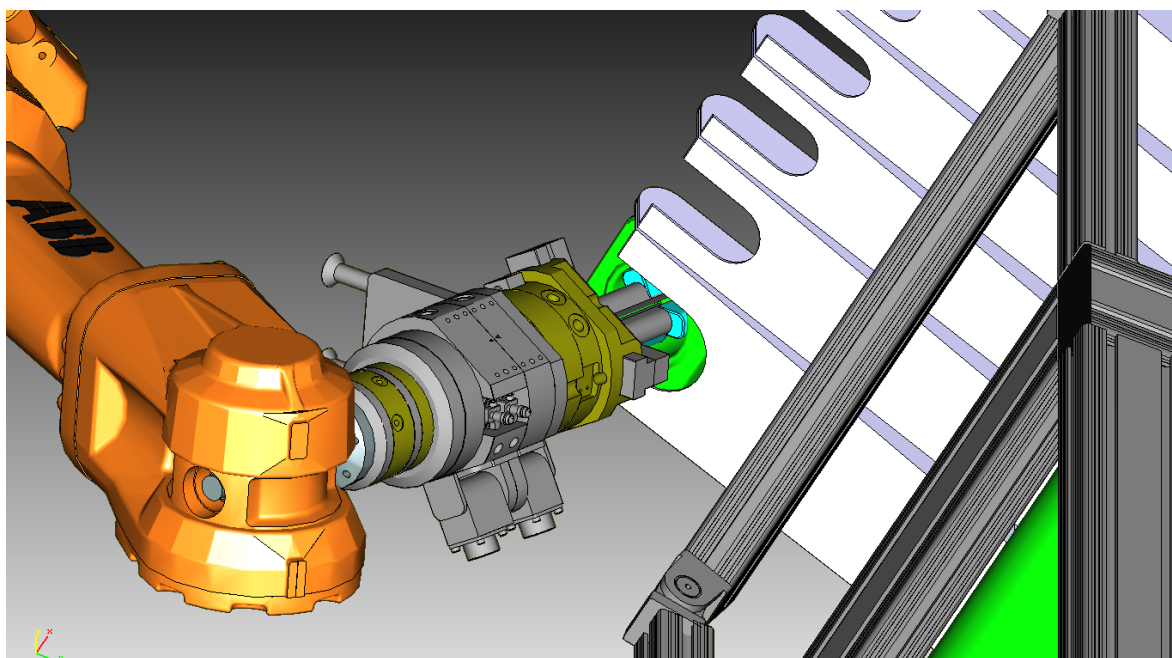
Obrázek 69. Detekce polohy výkovku v koncovém efektoru

### 8.2.4 4. Fáze – Uložení výkovku do pásového zásobníku

V této fázi robot disponuje transformovanými souřadnicemi s přesným uložením výkovku v efektoru a najíždí na danou trajektorii k pásovému zásobníku. Zde robot ukládá výkovky do kónicky dimenzovaných gravitačních skluzů. Robot odkládá díl do zásobníku a odjíždí zpět nad bednu s výkovky.

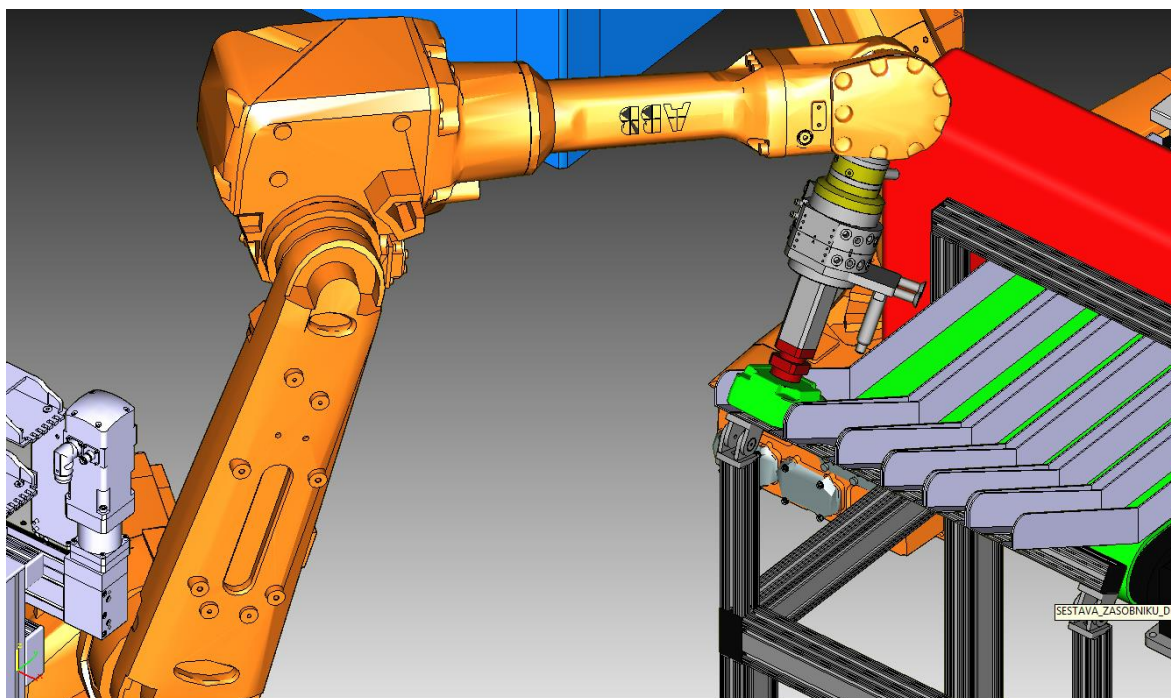
**Varianta A** – uložení výkovku pneumatickým efektoem

Obrázek 70. Uložení výkovku do gravitačního skluzu pneumatickým efektoem

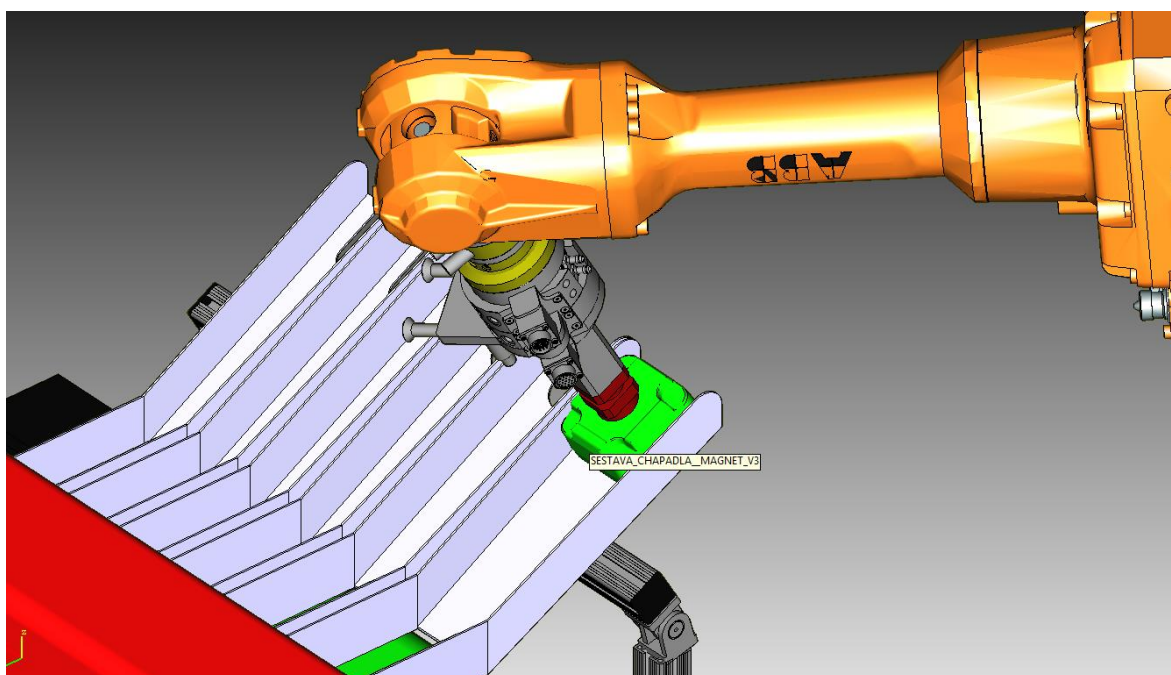


Obrázek 71. Detail Uložení výkovku do gravitačního skluzu pneumatickým efektoem

Varianta B - uložení výkovku magnetickým efektem



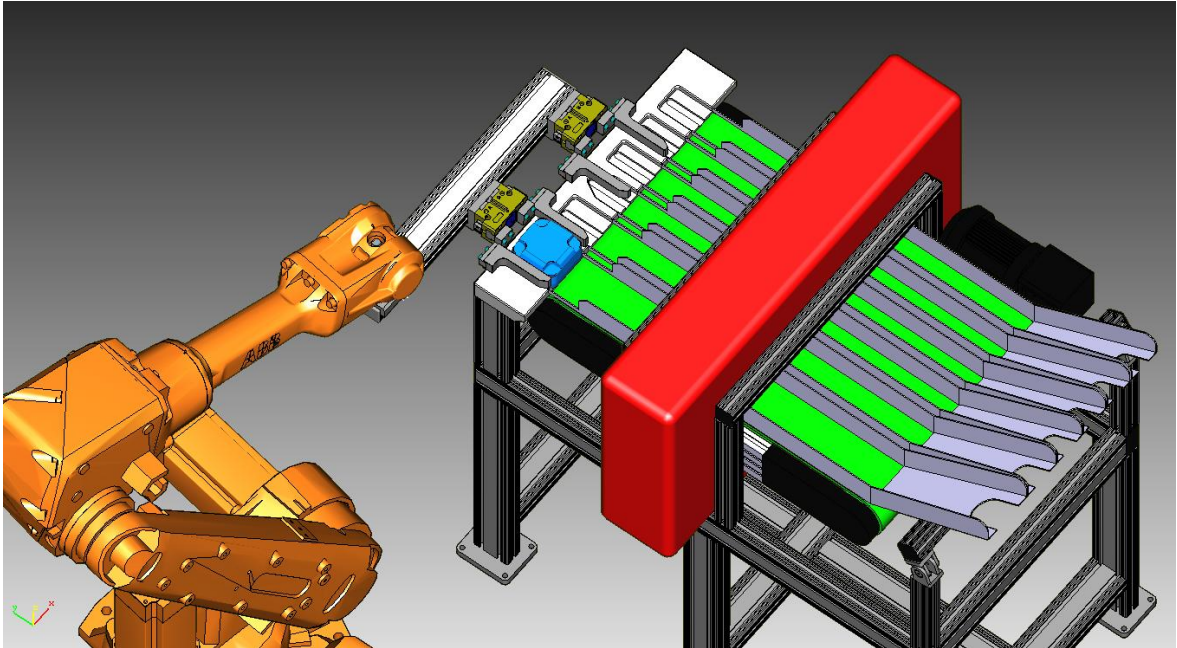
Obrázek 72. Uložení výkovku magnetickým efektem



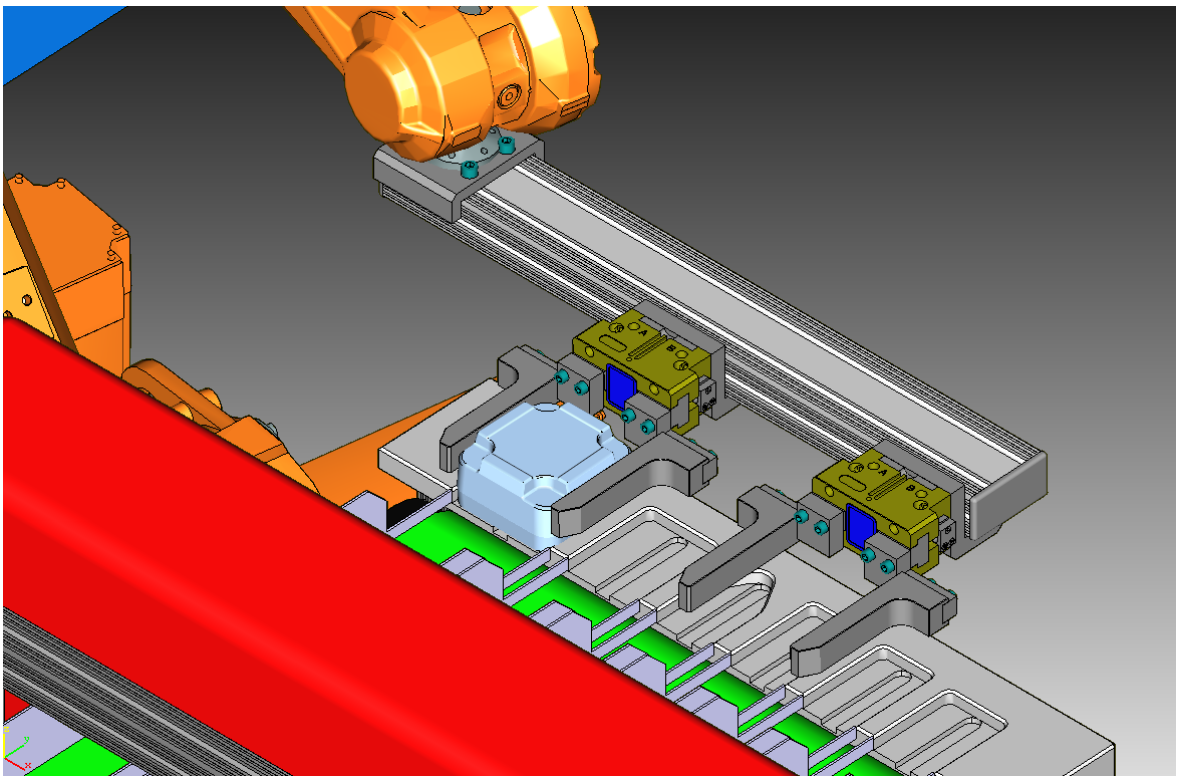
Obrázek 73. Detail Uložení výkovku magnetickým efektem

### 8.2.5 5. Fáze – Odběr výkovku z pásového zásobníku

V pásovém zásobníku dochází k vystředění výkovku do pozice určené pro odběr robotem a následné založení do kalibrační zápustky. Zároveň dochází k demagnetizování výkovku po předchozím odběru magnetickým efektem.



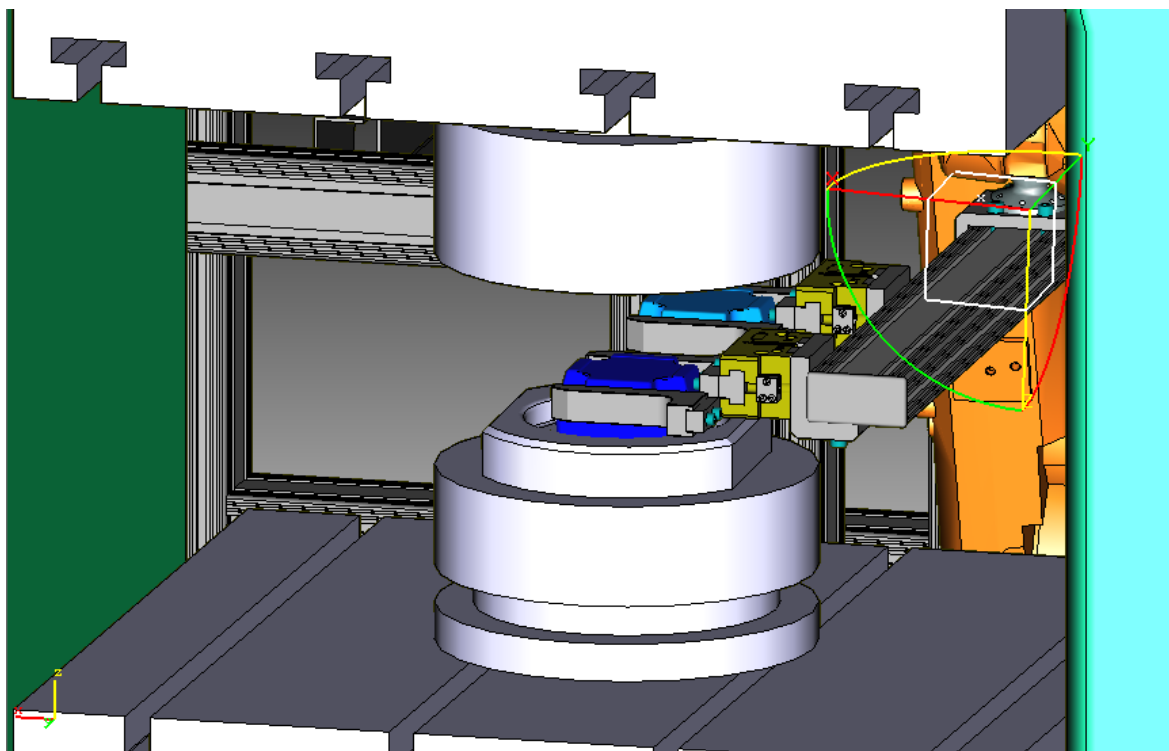
Obrázek 74. Odběr výkovku z pásového zásobníku



Obrázek 75. Detail Odběr výkovku z pásového zásobníku

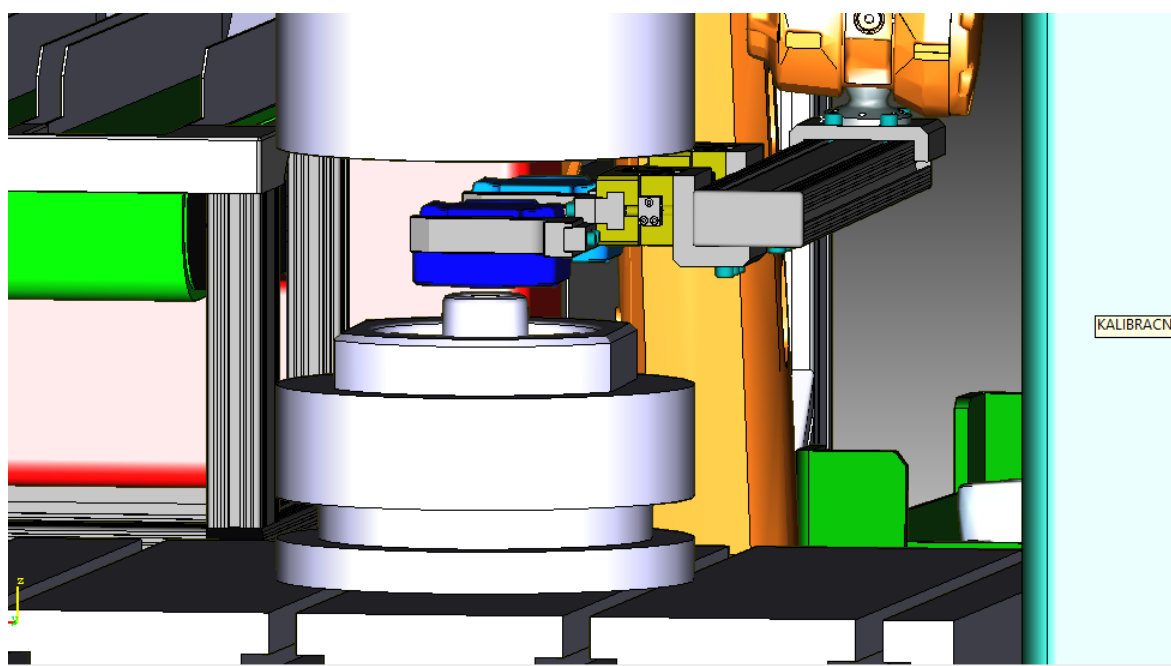
### 8.2.6 6. Fáze – Odběr zkalibrovaného výkovku ze zápusťky

Robot najíždí do kalibrační zápusťky pro odběr zkalibrovaného výkovku.



Obrázek 76. Odběr výkovky z kalibrační zápusťky

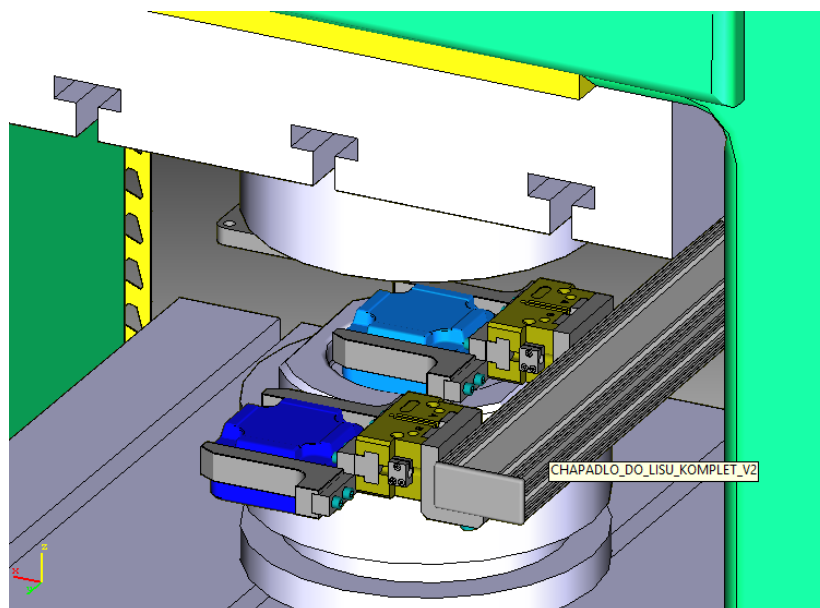
Robot vyjíždí do bezpečné polohy pro pohyb efektoru v jiné ose.



Obrázek 77. Bezpečná poloha robota pro další pohyb v zápusťce

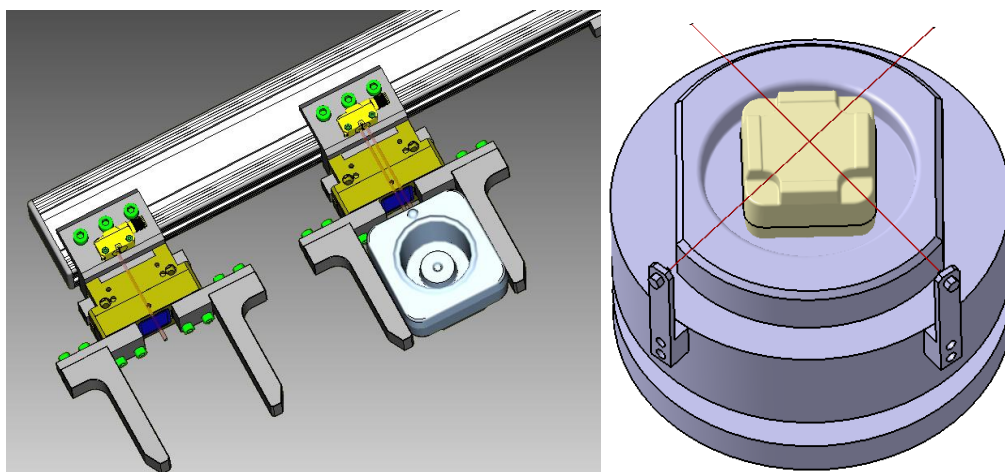
### 8.2.7 7. Fáze – založení výkovku do kalibrační zápustky a její kontrola

Robot najíždí do pozice pro přesné založení výkovku do zápustky.



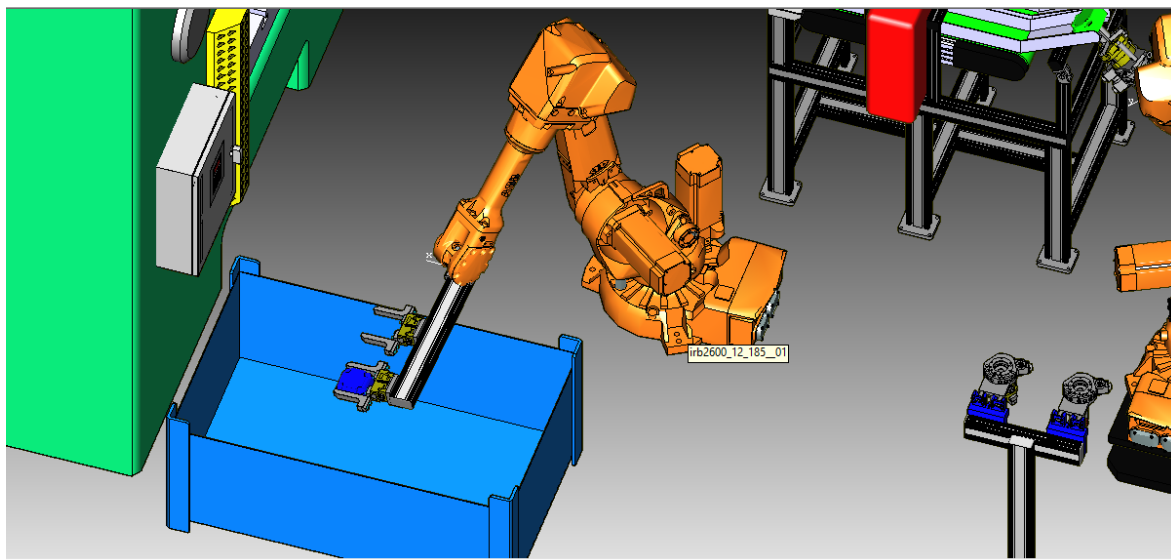
Obrázek 78. Fáze založení výkovku do kalibrační zápustky

V této fázi zároveň dochází k detekci přítomnosti dílů v chapadlech. Je to opatření pro případ, že robot neodebere výkovek nebo výkovek zůstane zachycen na pohyblivé straně zápustky. Kdyby došlo k této chybě a robot by nezastavil cyklus, došlo k uzavření lisu vysokým tlakem a pokud by v zápustce zůstaly dva výkovky, mělo by to za následek poničení kalibrační zápustky. V zápustce je správná poloha výkovku monitorována laserovými paprsky. V případě chybného založení výkovku, je výkovek horizontálně vychýlen a tyto paprsky nepronikají, laser se odráží od výkovku zpět a řídicí jednotka detekuje chybně založený výkovek.



Obrázek 79. Zobrazení kontroly polohy výkovku v chapadlech a v zápustce

## 8.2.8 8. Fáze – uložení zkalibrovaného výkovku do plechové bedny



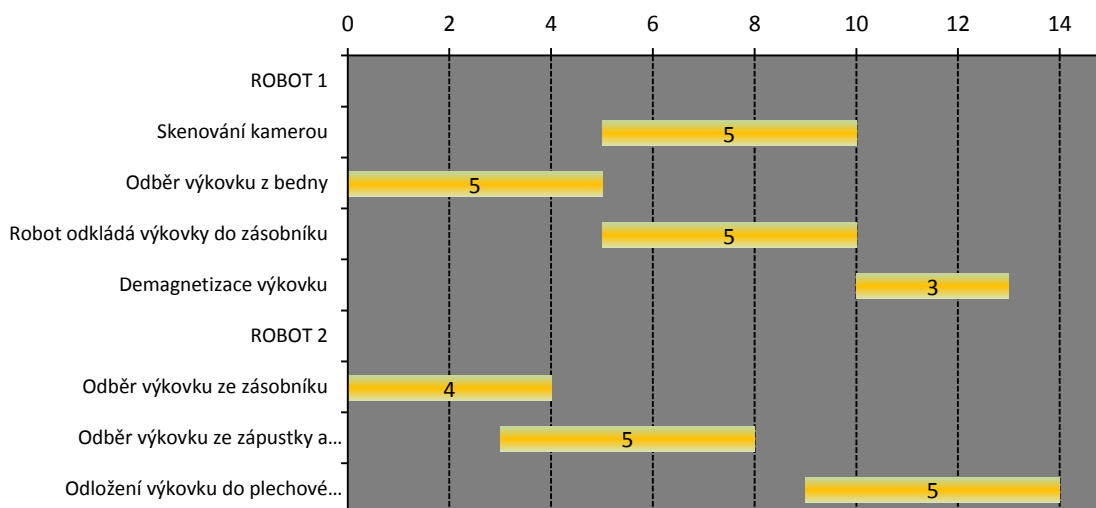
Obrázek 80. Uložení výkovku do plechové bedny

### 8.3 Vyhodnocení času cyklu

Aplikací dvou paralelních robotů, kteří pracují synchronizovaně na přesunu výkovku z bedny, přes kalibrační stroj až k uložení do plechové se zkalibrovanými výkovky, jsem docílil dle grafu polovičního času cyklu, který činí 14s.

Robot 1 – pracovní úkon	Délka trvání[s]:
Skenování kamerou	5
Odběr výkovku z bedny	5
Robot odkládá výkovky do zásobníku	5
Demagnetizace výkovku	3
<b>Robot 2</b>	
Odběr výkovku ze zásobníku	4
Odběr výkovku ze zápusky	5
Odložení výkovku do plechové bedny	5

Tabulka 20. Určení časů jednotlivých pracovních úseků

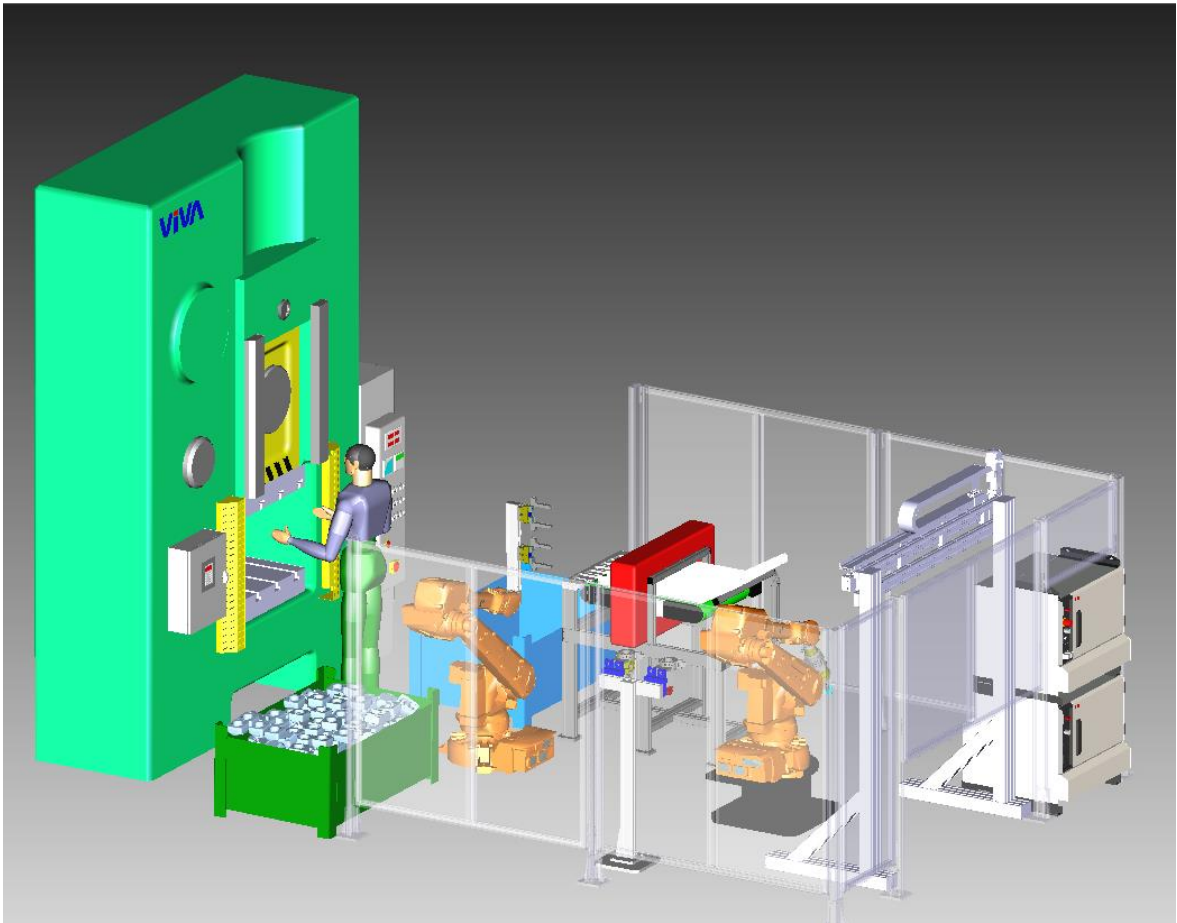


Obrázek 81. Grafické zobrazení cyklu dvou robotů



#### 8.4 Grafická vizualizace procesu za účasti lidského faktoru bez automatického pracoviště.

Jedním z požadavků zadavatele úlohy bylo možnost na kalibrovacím stroji vyrábět s asistencí operátora, jelikož automatizovaná výroba nepokrývá 100% využití kalibračního stroje. Tento požadavek byl dalším aspektem pro návrh automatizovaného pracoviště. Díky aplikaci robota s delším ramenem bylo docíleno potřebné vzdálenosti pracovní uličky.



Obrázek 82. Výrobní proces za účasti lidského faktoru

## ZÁVĚR

Prvním cílem této práce bylo seznámení s oborem automatizace, robotiky a zejména off-line programování, jelikož celý tento návrh bude založen pouze na vizualizaci výrobního procesu zakládání výkovku do kalibračního nástroje v programu RobotExpert. Byly odůvodněny aspekty proč a za jakých okolností automatizovat výrobu jak po stránce kvalitativní, tak i ekonomické. Robotická část nabízí seznámení s typy roboty, jejich kinematickou strukturou, která je důležitá při správné volbě typu robota pro daný výrobní proces, především přesnosti polohování. Na základě poznatků je velký předpoklad, že pro tento návrh automatizace bude vhodný typ robota s angulární kinematikou typu RRR s šesti motorickými osami. V teorii je probrána struktura tohoto robota a jeho základní prvky. Celou funkčnost robotického systému udává koncový efektor, který uchopuje výkovky a následně zakládá do nástroje, proto je teorie zaměřena i na tuto nedílnou součást robota. Poslední částí teorie je programování průmyslových robotů, která pojednává o typech programování, jejich výhodách, nevýhodách, a dále seznámení se softwarem RobotExpert. Úvod praktické části je zaměřen na analýzu vstupních parametrů, jako je určení základních rozměrů a hmotnosti výkovků pro následné určení vhodného pneumatického a magnetického chapadla. Pro určení pneumatického chapadla jsem použil software od firmy Schunk, která je zároveň předním výrobcem těchto chapadel. Dalším krokem bylo analyzovat pracoviště pro stanovení velikosti robotických jednotek. Výsledkem bylo navržení dvou robotických jednotek, pro realizaci všech požadavků zadavatele. První robotická jednotka s označením IRB2600-12/1,65 s dosahem 1650 mm je určena pro odebírání výkovků z bedny a následné zakládání do pásového zásobníku. Druhá robotická jednotka s označením IRB 2600-12/1,85 má dosah 1850 mm a je určena pro zakládání výkovku do kalibračního stroje. Stěžejním komponentem v návrhu je kamera Sick Ranger 3D, která detekuje polohu výkovku v bedně a následně navádí robota pro optimální odběr detekovaného výkovku. Po analýze byly sestaveny jednotlivé komponenty pracoviště, které jsem následně použil pro vizualizaci konečného uspořádání automatizovaného pracoviště v simulačním programu RobotExpert. Výsledkem této práce je vizualizace automatického pracoviště pro kalibraci výkovků za studena. Finanční náklady na vybudování tohoto pracoviště činí 2 231 627 CZK.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R [cit. 2013-12-31]. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [2] SCHMID, Dietmar. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobotáles, 2005, 420 s. ISBN 80-86706-10-9.
- [3] KÁRNÍK, Ladislav. *Praktické aplikace servisních robotů: studijní opora* [online]. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011, 1 DVD-ROM [cit. 2014-01-01]. ISBN 978-80-248-2727-8.
- [4] MAŇAS, Miroslav. *Základy robotiky: Určeno pro posl. fak. technologické*. 1. vyd. Brno: VUT, 1991, 99 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0279-2.
- [5] TALÁCKO, Jaroslav. *Výrobní stroje a zařízení: Automatizace výrobních zařízení* [online]. 2002. vyd. [cit. 2014-02-01].
- [6] SKAŘUPA, Jiří. *Roboty a manipulátory* [online]. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012, 1 CD-ROM [cit. 2014-01-13]. ISBN 978-80-248-2613-4.
- [7] CHVÁLA, Břetislav, Robert MATIČKA a Jaroslav TALÁCKO. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1990, 275 s. ISBN 80-030-0361-X.
- [8] VITRALAB. *Automatizační a robotická technika* [online]. 2011 [cit. 2014-01-13]. Dostupné z: [http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/files/vystupy/prirucka\\_sk\\_final.pdf](http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/files/vystupy/prirucka_sk_final.pdf)
- [9] Produkty. Kovárna VIVA. [online]. 12. 5. 2015 [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: [www.viva.cz](http://www.viva.cz)
- [10] Schunk. *Robotzübehör* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: [http://www.cz.schunk.com/schunk/schunk\\_websites/products/products.html?product\\_level\\_1=244&product\\_level\\_2=252&product\\_level\\_3=0&&country=CZE&lngCode=CZ&lngCode2=DE](http://www.cz.schunk.com/schunk/schunk_websites/products/products.html?product_level_1=244&product_level_2=252&product_level_3=0&&country=CZE&lngCode=CZ&lngCode2=DE)
- [11] Schunk. *Pneumatic gripping system* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.cz.schunk.com/schunk/schunk\\_websites/products/products.html?product\\_level\\_1=244&product\\_level\\_2=250&product\\_level\\_3=0&&country=CZE&lngCode=CZ&lngCode2=DE](http://www.cz.schunk.com/schunk/schunk_websites/products/products.html?product_level_1=244&product_level_2=250&product_level_3=0&&country=CZE&lngCode=CZ&lngCode2=DE)

- [12] ABB: Produkty. Technická data pro IRB 2600 [online]. [cit. 2015-05-18].  
Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-2600/irb-2600-technicka-data>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

KN	Kilo Newton
3D	Prostorové zobrazení ve třech osách
CAD	Computer Aided Design – Počítačová podpora konstrukce
CAM	Computer Aided Manufacturing – Počítačová podpora výroby
PR	Průmyslový robot
SR	Servisní robot
NC	Numerical Control – Číslicově řízený stroj
CNC	Computer Numerical Control – Stroj s číslicovým počítačem
KW	Kilo Watt
DC	Stejnoseměrné napětí
AC	Střídavé napětí
OT/MIN	Otáčky za minutu
PC	Řídící počítač
ŘS	Řídící systém
STEP	Formát 3D modelu
IGES	Formát 3D modelu
PARASOLID	Formát 3D modelu
RSS	Reálná Robotická Simulace
Mm	Milimetr, jednotka SI
KG	Kilogram, jednotka hmotnosti
V	Volt, síťové napětí
YXCS	Konstrukční označení pohonu FESTO
Px	Pixel, rozlišení obrazu
F	Síla

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1. Bin Picking[5]</i> .....	17
<i>Obrázek 2. Robot Unimate typu pick and place ve společnosti General Electric</i> .....	19
<i>Obrázek 3. Vývoj celosvětového prodeje průmyslových robotů s výhledem do roku 2015 (2012 až 2015 – odhad; zdroj IFR World Robotics)</i> .....	20
<i>Obrázek 4. Rozdělení manipulačních systémů [2]</i> .....	21
<i>Obrázek 5. Exoskelet</i> .....	22
<i>Obrázek 6. Manipulátor Pick-and-Place</i> .....	22
<i>Obrázek 7. Průmyslový robot s popisem</i> .....	23
<i>Obrázek 8. Servisní robot s popisem hlavních subsystémů</i> .....	23
<i>Obrázek 9. Pohyb s šesti stupni volnosti [2]</i> .....	24
<i>Obrázek 10. Schéma kinematiky typu TTT [2]</i> .....	25
<i>Obrázek 11. Schéma kinematiky typu RTT [2]</i> .....	25
<i>Obrázek 12. Schéma kinematiky typu RRT [2]</i> .....	26
<i>Obrázek 13. Schéma kinematiky typu SCARA [2]</i> .....	26
<i>Obrázek 14. Schéma kinematiky typu RRR [2]</i> .....	27
<i>Obrázek 15. Robot s pohyby v šesti osách k nastavení libovolné pozice a libovolné orientace [2]</i> .....	27
<i>Obrázek 16. Paralelní robot Hexapod</i> .....	28
<i>Obrázek 17. Funkce převodu v polohovacím ústrojí průmyslových robotů[1]</i> .....	31
<i>Obrázek 18. Koncepce horního ramene průmyslového robota [6]</i> .....	32
<i>Obrázek 19. Obecná struktura efektoru [1]</i> .....	33
<i>Obrázek 20. Základní rozdělení efektorů.[6]</i> .....	34
<i>Obrázek 21. Hydraulická úchopná hlavice[5]</i> .....	35
<i>Obrázek 22. Měřicí hlavice[5]</i> .....	35
<i>Obrázek 23. Kombinovaná pracovní hlavice[5]</i> .....	36
<i>Obrázek 24. Speciální pracovní hlavice[5]</i> .....	36
<i>Obrázek 25. Řídicí systém průmyslového robota [8]</i> .....	37
<i>Obrázek 26. Postup on-line programování[8]</i> .....	38
<i>Obrázek 27. Programovací jednotka – pendant pro programování robota[8]</i> .....	39
<i>Obrázek 28. Souřadnicový systém robotu KUKA [8]</i> .....	40
<i>Obrázek 29. Souřadnicový systém WORLD [8]</i> .....	41
<i>Obrázek 30. Osový souřadnicový systém [8]</i> .....	41

<i>Obrázek 31. Souřadnicový systém TOOL [8] .....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 32. Souřadnicový systém BASE .....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 33. Pracovní úkony při Off-line programování[8].....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 34. Simulace zobrazení přiblížení svářecích kleští ke svařenci – předkolizní stav [8] .....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 35. Simulace zobrazení přiblížení svářecích kleští ke svařenci – kolizní stav[8] .....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 36. Zobrazení virtuálního prostředí v RobotExpert. ....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 37. Náhled výrobků pro vyráběných pro automobil [9] .....</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 38. 3D vizualizace současného pracoviště pro kalibraci a ostříhování.....</i>	<i>54</i>
<i>Obrázek 39. Layout pracoviště .....</i>	<i>54</i>
<i>Obrázek 40. Spaghetti diagram pro zobrazení trajektorie pohybu operátora .....</i>	<i>55</i>
<i>Obrázek 41. Výkovek.....</i>	<i>55</i>
<i>Obrázek 42. Model plechové bedny s výkovky.....</i>	<i>57</i>
<i>Obrázek 43. Pohled do kalibrovacího stroje .....</i>	<i>58</i>
<i>Obrázek 44. Ideový návrh automatizovaného pracoviště s popisem jednotlivých členů.....</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 45. Popis kamerového systému.....</i>	<i>60</i>
<i>Obrázek 46. Kamera Sick Ranger – C50412 .....</i>	<i>62</i>
<i>Obrázek 47. Rozbor hmotností komponentů efektoru pro uchopení výkovek z bedny.....</i>	<i>63</i>
<i>Obrázek 48. Zobrazení sil při uchopení [10] .....</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 49. Konfigurátorem navržený uchopovací modul pro odběr dílů. ....</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 50. Magnetický koncový efektor .....</i>	<i>65</i>
<i>Obrázek 51. Celková hmotnost efektoru pro zakládání výkovek do zápusky .....</i>	<i>65</i>
<i>Obrázek 52. Silové vlastnosti uchopovacího modulu JGP 100 [11] .....</i>	<i>66</i>
<i>Obrázek 53. Vzdálenost robota od pásového zásobníku.....</i>	<i>67</i>
<i>Obrázek 54. Vzdálenost robota od stanoviště pro výměnu efektorů.....</i>	<i>68</i>
<i>Obrázek 55. Vzdálenost druhého robota od pásového zásobníku .....</i>	<i>68</i>
<i>Obrázek 56. Vzdálenost robota od nejvzdálenějšího místa uložení výkovek .....</i>	<i>69</i>
<i>Obrázek 57. Vzdálenost robota od bedny pro uložení zkalibrovaných výkovek.....</i>	<i>69</i>
<i>Obrázek 58. Pracovní rozsah robotů ABB IRB_12 .....</i>	<i>70</i>
<i>Obrázek 59. Periférie pro automatickou výměnu chapadel .....</i>	<i>72</i>
<i>Obrázek 60. Interface pro automatickou výměnu chapadel. [10] .....</i>	<i>72</i>
<i>Obrázek 61. Pásový dopravník s demagnetizační cívkou .....</i>	<i>73</i>

<i>Obrázek 62. Ochranná bariéra</i> .....	74
<i>Obrázek 63. Dveřní systém MGB</i> .....	75
<i>Obrázek 64. 1. Fáze pracovního cyklu</i> .....	78
<i>Obrázek 65. Pohled na výkovek detekovaný kamerou</i> .....	79
<i>Obrázek 66. Odběr výkovku pneumatickým efektozem</i> .....	79
<i>Obrázek 67. Zobrazení ideálně položeného dílu v bedně pro odběr magnetickým efektozem</i> .....	80
<i>Obrázek 68. Odběr výkovku magnetickým efektozem</i> .....	80
<i>Obrázek 69. Detekce polohy výkovku v koncovém efektozem</i> .....	81
<i>Obrázek 70. Uložení výkovku do gravitačního skluzu pneumatickým efektozem</i> .....	82
<i>Obrázek 71. Detail Uložení výkovku do gravitačního skluzu pneumatickým efektozem</i> .....	82
<i>Obrázek 72. Uložení výkovku magnetickým efektozem</i> .....	83
<i>Obrázek 73. Detail Uložení výkovku magnetickým efektozem</i> .....	83
<i>Obrázek 74. Odběr výkovku z pásového zásobníku</i> .....	84
<i>Obrázek 75. Detail Odběr výkovku z pásového zásobníku</i> .....	84
<i>Obrázek 76. Odběr výkovky z kalibrační zápusky</i> .....	85
<i>Obrázek 77. Bezpečná poloha robota pro další pohyb v zápusce</i> .....	85
<i>Obrázek 78. Fáze založení výkovku do kalibrační zápusky</i> .....	86
<i>Obrázek 79. Zobrazení kontroly polohy výkovku v chapadlech a v zápusce</i> .....	86
<i>Obrázek 80. Uložení výkovku do plechové bedny</i> .....	87
<i>Obrázek 81. Grafické zobrazení cyklu dvou robotů</i> .....	88
<i>Obrázek 82. Výrobní proces za účasti lidského faktoru</i> .....	89



**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka 1. Kinematické dvojice PR a M [1]</i> .....	24
<i>Tabulka 2. Servomotory s jednotlivými výkony [1]</i> .....	30
<i>Tabulka 3. Vlastnosti průmyslových robotů a manipulátorů [4]</i> .....	30
<i>Tabulka 4. Rozdělení úchopných prvků[5]</i> .....	34
<i>Tabulka 5. Specifikace výkovků a jejich rozdělení dle rozměrů a hmotnosti</i> .....	56
<i>Tabulka 6. Specifikace kalibrovacího stroje</i> .....	58
<i>Tabulka 7. Výsledný návrh konfigurátoru FESTO</i> .....	61
<i>Tabulka 8. Parametry kamery Sick Ranger – C50412</i> .....	62
<i>Tabulka 9. Cenová kalkulace systému pro detekci polohy</i> .....	62
<i>Tabulka 10. Celková hmotnost efektoru</i> .....	63
<i>Tabulka 11. Cenová nabídka uchopovacího modulu [11]</i> .....	64
<i>Tabulka 12. Celková hmotnost efektoru pro zakládání výkovků do zápusky</i> .....	66
<i>Tabulka 13. Cenová nabídka uchopovacího modulu pro efektor č.3</i> .....	66
<i>Tabulka 14. Určení hmotností koncových efektorů</i> .....	67
<i>Tabulka 15. Specifikace robotu ABB IRB [12]</i> .....	71
<i>Tabulka 16. Cenová kalkulace robotů IRB_2600_12</i> .....	71
<i>Tabulka 17. Cenová kalkulace pásového dopravníku</i> .....	73
<i>Tabulka 18. Cenová kalkulace ochranné bariéry</i> .....	75
<i>Tabulka 19. Finanční zhodnocení návrhu</i> .....	77
<i>Tabulka 20. Určení časů jednotlivých pracovních úseků</i> .....	88

## SEZNAM PŘÍLOH

PI. CD disk obsahující dokumenty v elektronické podobě

## **PŘÍLOHA P I: CD DISK**

- modely výkrovků
- podklady zadání diplomové práce
- modely komponentů a sestavy komponentů pracoviště
- vizualizace návrhu automatizovaného pracoviště
- cenové nabídky komponentů