

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program: Průmyslové inženýrství a management**  
**N0715A270012**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Návrh implementace průmyslového robota ve společnosti Shape Corp.**

**Autor: Bc. Petr DĚDIČ**  
**Vedoucí práce: Ing. Tomáš BROUM, Ph.D.**

**Akademický rok 2023/2024**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr DĚDIČ**  
Osobní číslo: **S22N0067P**  
Studijní program: **N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management**  
Téma práce: **Návrh implementace průmyslového robota ve společnosti Shape Corp.**  
Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

## Zásady pro vypracování

1. Výroba
2. Průmyslová robotizace
3. Analýza současného stavu
4. Návrh řešení
5. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50-70 stran**  
Rozsah grafických prací: **-**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. NOVOTNÝ, František. *Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2020. ISBN 978-80-7494-545-8.
2. CAI, Zixing. *Robotics: From Manipulator to Mobilebot*. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2022. ISBN 978-9811253461.
3. KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
4. JUROVÁ, Marie. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5717-9.
5. CHLEBNÝ, Jan a kol. *Automatizace a automatizační technika: Prostředky automatizační techniky*. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Broum, Ph.D.**  
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jakub Müller**  
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2024**

L.S.

---

**Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.**  
děkan

---

**Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Tomáši Broumovi, Ph.D za cenné rady a četné konzultace v rámci vytváření této práce. Dál děkuji zaměstnancům ze společnosti Shape Corp. za příležitost řešení problematiky implementace průmyslového robota.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Dědič	<b>Jméno</b> Petr	
<b>STUDIJNÍ PROGRAM</b>	N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Broum, Ph.D.	<b>Jméno</b> Tomáš	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KPV		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Návrh implementace průmyslového robota ve společnosti Shape Corp.		

<b>FAKULTA</b>	strojí	<b>KATEDRA</b>	KPV	<b>ROK ODEVZD.</b>	2024
----------------	--------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	94	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	79	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	15
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Diplomová práce se zaměřuje na vytvoření návrhu automatizovaného pracoviště pro společnost Shape Corp. v podobě implementace průmyslového robota. Součástí návrhu je analýza kritických bodů zabraňující implementaci a odstranění těchto bodů. Dále budou vybrány komponenty pro úspěšnou implementaci včetně popisu instalace. Součástí práce je i popis tvorby programů pro navržené komponenty a samotného robota. V poslední fázi došlo k vytvoření nového pracoviště v systému Roboguide, ve kterém byly provedeny simulace prokazující úspěšnost navržené implementace.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	automatizace, robotizace, výroba, Roboguide, Fanuc

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Dědič	Name Petr	
<b>STUDY PROGRAMME</b>	N0715A270012 Industrial Engineering and Management		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Broum, Ph.D.	Name Tomáš	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KPV		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Industrial robot implementation design at Shape Corp.		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Industrial Engineering and Management	<b>SUBMITTED IN</b>	2024
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	94	<b>TEXT PART</b>	79	<b>GRAPHICAL PART</b>	15
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The thesis focuses on the creation of an automated workplace design for Shape Corp. in the form of an industrial robot implementation. The design includes an analysis of critical points preventing the implementation and the elimination of these points. In addition, components for successful implementation will be selected including a description of the installation. The thesis also includes a description of the creation of programs for the designed components and the robot itself. In the last phase, a new workstation was created in the Roboguide system, in which simulations were performed to demonstrate the success of the proposed implementation.
<b>KEY WORDS</b>	automation, robotics, production, Roboguide, Fanuc

## Obsah

Úvod.....	13
1 Výroba.....	14
1.1 Členění výroby a výrobních procesů.....	14
1.2 Charakteristické pojmy ve výrobě.....	15
1.3 Technologie ve strojírenské výrobě.....	17
1.3.1 Tváření .....	17
1.3.2 Ohýbání .....	18
1.3.3 Řezání laserem .....	19
2 Průmyslová robotizace .....	21
2.1 Členění průmyslových robotů a manipulátorů .....	21
2.2 Charakteristické znaky jednotlivých typů průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM).....	22
2.3 Kolaborativní roboty a typy kolaborace s člověkem.....	24
2.4 Úchopné hlavice .....	25
2.5 Vision systémy .....	27
2.6 Konfigurace .....	29
3 Analýza současného stavu.....	31
3.1 Představení společnosti Shape Corp. ....	31
3.2 Analýza současného stavu laserového pracoviště.....	32
3.2.1 Výrobek.....	33
3.2.2 Popis laserového pracoviště .....	33
3.2.3 Popis robota .....	38
3.2.4 Popis průběhu procesů na pracovišti Laser003 .....	39
3.2.5 Spaghetti digram .....	40
4 Návrh implementace průmyslového robota .....	42
4.1 Specifikace požadavků .....	42
4.2 Posouzení vhodnosti implementace kolaborativního robota.....	43
4.3 Návrh výsledného procesu pro implementaci robota .....	44
4.4 Návrh pracoviště-řešení kritických bodů .....	44
4.5 Výběr komponent nutných pro úspěšnou implementaci .....	47
4.5.1 Úchopný koncový efektor .....	48
4.5.2 Kamera pro vizuální kontrolu .....	51
4.6 Návrh implementace komponent .....	53
4.7 Návrh pracoviště s vypracováním vizualizací v programu RoboGuide.....	75
5 Technicko-ekonomické zhodnocení .....	87
5.1 Technické hodnocení.....	87
5.2 Ekonomické vyhodnocení .....	88
Závěr.....	91



## Seznam Obrázků

Obrázek 1 Obecný model výroby .....	14
Obrázek 2 Optimální výrobní dávka .....	16
Obrázek 3 Průběh napětí a deformace průřezu $b \times t$ a $\varnothing D$ .....	18
Obrázek 4 Princip laseru .....	19
Obrázek 5 Členění robotů a manipulátorů .....	22
Obrázek 6 Varianty spolupráce s průmyslovými roboty .....	25
Obrázek 7 Příklady využití systémů Fanuc .....	27
Obrázek 8 Funkce iRVision .....	28
Obrázek 9 Konfigurace iRVision .....	29
Obrázek 10 Konfigurace iRCalibration .....	30
Obrázek 11 Inovace linkového ohýbání .....	31
Obrázek 12 Portfolio nárazníkových systémů .....	32
Obrázek 13 Crush-Can .....	33
Obrázek 14 Zadní strana pracoviště Laser003 zásobník .....	34
Obrázek 15 Přední strana zásobníku Laser003 .....	34
Obrázek 16 Laserová buňka s dopravníkem .....	35
Obrázek 17 Pracovník manipulující s výpalky .....	36
Obrázek 18 Rozložení pracoviště Laser003 .....	37
Obrázek 19 Lehký kolaborativní robot CRX - 10iA/L .....	38
Obrázek 20 Pracovní prostor kolaborativního robota CRX - 10iA/L .....	39
Obrázek 21 Spaghetti diagram .....	40
Obrázek 22 Návrh spádové plochy .....	45
Obrázek 23 Návrh vodící tyče.....	45
Obrázek 24 Předpokládaná odběrová pozice .....	46
Obrázek 25 Zarážka .....	47
Obrázek 26 diagram působících sil .....	48
Obrázek 27 Maximální rozsah úchopu efektoru 2F – 140 .....	50
Obrázek 28 Možnosti uchopování objektů 2F – 140 .....	50
Obrázek 29 Kamera SC130EF2 s objektivem LX-1-RO-VI-16-0-004 .....	53
Obrázek 30 Přípravek pro uchycení k redukci a konstrukci .....	54
Obrázek 31 Redukce pro kameru a držák .....	54
Obrázek 32 Schéma zapojení kamery .....	56
Obrázek 33 Kalibrační panel.....	57
Obrázek 34 Kalibrace kamery část 1.....	57

Obrázek 35 Kalibrace kamery část 2.....	58
Obrázek 36 Kalibrace kamery část 3.....	58
Obrázek 37 Kalibrace kamery část 4.....	59
Obrázek 38 Kalibrace kamery část 5.....	59
Obrázek 39 Kalibrace kamery - výsledek kalibrace.....	60
Obrázek 40 Zapojení úchopného efektoru 2F – 140 .....	61
Obrázek 41 Proces změny nastavení Payload Část 1 .....	62
Obrázek 42 Proces změny nastavení Payload Část 3 a 4 .....	63
Obrázek 43 Proces změny nastavení Payload Část 5, 6, 7 a 8 .....	63
Obrázek 44 Proces změny nastavení Payload část 9.....	64
Obrázek 45 Možné orientace výpalků na odběrovém místě .....	65
Obrázek 46 Strana 2 a 4 .....	65
Obrázek 47 2D Single View Vision Process PDS DOPRAVNÍKEM.....	66
Obrázek 48 Snap Tool 1 PDS DOPRAVNÍKEM.....	67
Obrázek 49 GPM Locator Tool 2 Strana 2.....	68
Obrázek 50 Výsledky experimentu pro stranu 2 .....	69
Obrázek 51 Výsledky experimentu pro stranu 4.....	70
Obrázek 52 Strana 1 a 3 .....	70
Obrázek 53 GPM Locator Tool pro stranu 3 .....	71
Obrázek 54 Výsledky experimentu pro stranu 1 .....	72
Obrázek 55 GPM Locator Tool strana 3 .....	73
Obrázek 56 Výsledky experimentu pro stranu 3 .....	74
Obrázek 57 Navržené pracoviště pohled 1 .....	75
Obrázek 58 Navržené pracoviště pohled 2.....	76
Obrázek 59 Vývojový diagram programu.....	76
Obrázek 60 Vývojový diagram inicializace .....	77
Obrázek 61 Start naplnění úrovně X .....	78
Obrázek 62 Vývojový diagram části fáze 2 .....	80
Obrázek 63 Simulace nejvzdálenější pozice .....	81
Obrázek 64 Simulace první úrovně.....	82
Obrázek 65 Simulace druhé úrovně .....	83
Obrázek 66 Simulace třetí úrovně.....	84
Obrázek 67 Hrubý návrh bezpečnostních prvků pohled 1 .....	85
Obrázek 68 Hrubý návrh bezpečnostních prvků pohled 2 .....	86

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Legenda k pracovišti Laser003 .....	37
Tabulka 2 Činnosti vykonávané na pracovišti a jejich možná robotizace.....	43
Tabulka 3 Porovnání pozorovaných faktorů úchopných efektorů.....	49
Tabulka 4 TCP a těžiště hmotností produktů Robotiq .....	62
Tabulka 5 doba trvání simulací .....	87
Tabulka 6 Náklady na implementaci robota.....	88
Tabulka 7 Náklady na implementaci včetně robota .....	90

## **Seznam zkratk**

PRaM	Průmyslový roboti a manipulátory
AGV	Automaticky naváděný vozík
TCP	Pracovní bod nástroje
USB	Univerzální sériová sběrnice
IFR	Mezinárodní federace robotiky
RIA	Amerického sdružení robotického průmyslu

## Úvod

V současnosti dochází v rostoucí míře k implementování průmyslových robotů na pracovištích v téměř všech podnicích. Tento trend je způsoben inovacemi v odvětví průmyslových robotů a to jak u samotných robotů, tak i prvků, které vytváří vazby s okolním prostředím robota. Dalším signifikantním prvkem, který přizívuje tento trend je nedostatek pracovníků obecně a nedostatek pracovníků, který je ochoten vykonávat monotónní činnosti v prostředí, které je z dlouhodobého hlediska škodlivé pro zdraví pracovníka.

Tato diplomová práce pojednává o návrhu implementace průmyslového robota pro americkou společnost Shape Corp, které v současnosti sídlí na Borských polích v Plzni. Jedná se o společnost, která má několik výrobních závodů po celém světě a její náplní je výroba komponent do automotive a to konkrétně v oblasti nárazníků. Implementace průmyslového robota má být uskutečněna na již existujícím pracovišti, kde dochází ke kontrole a manipulaci s jednou z komponent nárazníku. Důvod pro vytvoření návrhu je snížení nákladu na výrobu, využití pracovníka na jiných pracovištích, které v současnosti nelze nahradit robotem a obecně nedostatek pracovní síly, se kterým se český trh v současnosti potýká a potýkat bude, dále využití již zakoupeného robota a odstranění monotónní práce.

Součástí diplomové práce je nejprve její teoretická část, začínající kapitolou výroba, kde je výroba obecně popsána, členěna a jsou zmíněné charakteristické pojmy ve výrobě a jejich vysvětlení. Poslední částí této kapitoly je popis technologií ve výrobě, které se využívají ve společnosti Shape Corp. Další kapitolou je Průmyslová robotizace. Součástí této kapitoly je členění průmyslové robotizace, charakteristické znaky, kolaborativní roboty a typy spolupráce s člověkem, koncové efekторы, kamery a konfigurace.

Následuje praktická část práce, kdy následující kapitolou je analýza současného stavu, kde je popsána společnost Shape Corp a pracoviště, pro který má být vytvořen návrh implementace průmyslového robota. Popis pracoviště slouží k identifikaci nedostatků či komplikací, které je nutné brát v potaz pro vytvoření úspěšného návrhu pro implementaci průmyslového robota.

Hlavním požadavkem společnosti Shape Corp. je využití již zakoupeného robota na vybraném pracovišti s vizí, že vybraný pracovník bude do procesu manipulace a kontroly zasahovat pouze při manipulaci s manipulačními jednotkami, do kterých robot uloží komponenty, které se dále využijí při montáži nárazníků. Od implementace průmyslového robota si společnost slibuje vyšší produktivitu a nižší zmetkovitost.

Cílem diplomové práce je vytvořit z požadavků společnosti návrh pracoviště pro průmyslového robota. Součástí tohoto návrhu bude implementace robota a úprava pracoviště, tak aby robot mohl vykonávat obsluhu pásového dopravníku včetně vizuální kontroly. Dále bude představena strategie pro implementaci, podle které budou vybrány komponenty, které budou v rámci návrhu uvedeny do provozu. V rámci navržených úprav z analýzy kritických bodů budou vytvořeny simulace, které zodpoví otázku, zda-li je možné aby průmyslový robot nahradil pracovníka pro tuto aplikaci. Poslední částí pak bude technicko - ekonomické zhodnocení návrhu pracoviště s průmyslovým robotem.

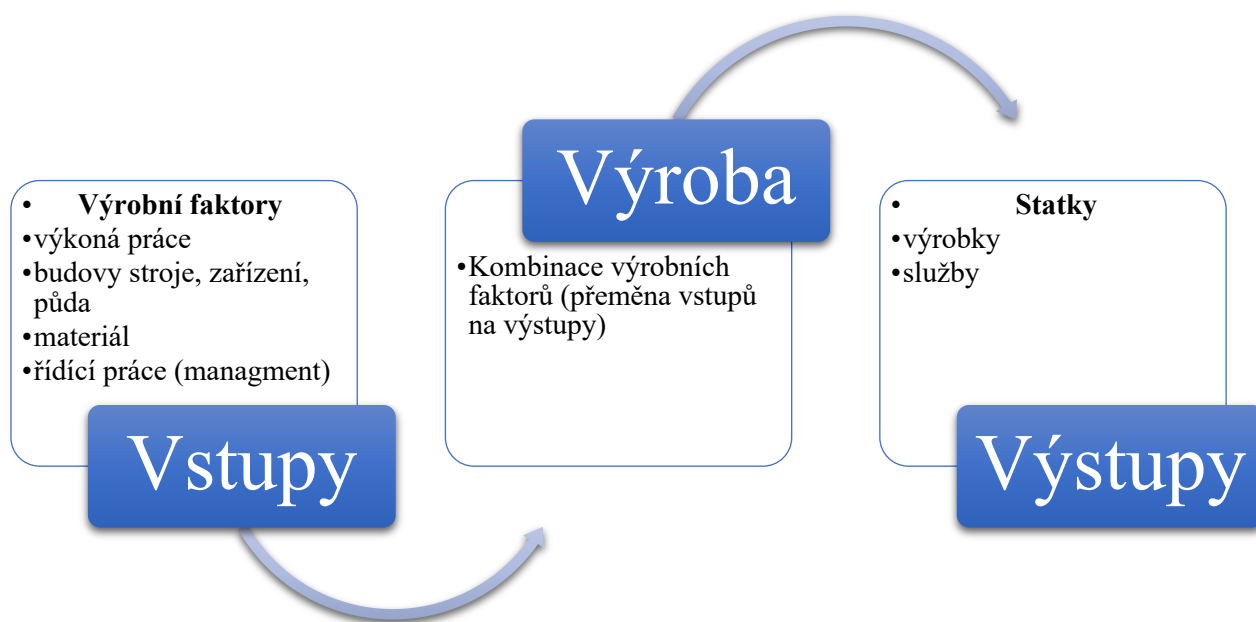
# 1 Výroba

V první části práce je popsána obecně výroba a co je výrobní proces, jaké je jejich členění, a jaké charakteristické pojmy se využívají s jejich popisem. Dále jsou popsány technologie ve výrobě s ohledem na téma diplomové práce.

Výrobu lze definovat jako přeměnu výrobních faktorů (vstupy) ve hmotné výrobky a služby (výstupy). Zmíněnou přeměnou se rozumí přidání přidané hodnoty čímž dojde k vytvoření hmotného výrobku jako jsou stroje, nářadí, nebo pivo. Tento proces je znázorněn na obrázku 1. [1]

Cílem výroby je uspokojování požadavků trhu s cílovým úkolem tvorby hodnoty pro zákazníka. Výroba dále plní cíle podniku a snaží se hospodárně využít všechny zdroje, jako jsou pracovníci a suroviny. Uspokojování požadavků spojené s výrobou, jsou propojené s podporou inovací, jako jsou nové výrobky, nové technologie, nové suroviny a trhy.

Výrobní činnost zasahuje do efektivnosti a konkurenceschopnosti podniku. S výrobou a její přípravou jsou spjaty náklady, délka dodacích lhůt a širší sortimentu. Z těchto důvodů, které lze považovat za prvky konkurenceschopnosti, je věnováno výrobě a její přípravě značný důraz ve všech stupních řízení podniku. [1]



Obrázek 1 Obecný model výroby [1]

## 1.1 Členění výroby a výrobních procesů

Členění výroby a výrobních procesů je základním charakteristickým rysem každého výrobního podniku. Podle těchto rysů lze rozdělit podniky podle komplexity nutné k popisu, či implementaci inovací, obměny výroby, nebo navýšení kapacity výroby.

### a) podle stupně mechanizace [2]:

- ruční výroba – práce je vykonávána člověkem za využití nástrojů
- mechanizovaná výroba – fyzická práce je nahrazena prací stroje či souborem strojů
- automatizovaná výroba – duševní a řídicí práce je vykonávána stroji bez zásahu lidské ruky

b) **podle počtu vyráběných výrobků** [1] [3]:

Jedním ze základních faktorů výroby je velikost výrobní dávky, nebo-li sériovost. Tento faktor ovlivňuje strojní, nástrojovou a lidskou vybavenost výrobních závodů. Objem výroby ovlivňuje taktéž organizaci práce a stupeň její automatizace.

- **Kusová**

V rámci kusové výroby dochází k produkci širokého sortimentu výrobků o malých počtů kusů. Dochází k opakování výroby po delším časovém úseku. Charakteristickým rysem kusové výroby je využívání univerzálních strojů a nástrojů. S tímto rysem je i spojená vysoká kvalifikace pracovníků.

- **Sériová**

V sériové výrobě dochází k častému opakování výrobního plánu po určitých přestávkách. Sériová výroba lze rozdělit následovně:

- Malo-sériová

V rámci malo-série se výroba svými technologickými charakteristikami blíží kusové výrobě z pohledu počtu vyrobených kusů. Dochází k využívání univerzálních strojů, nástrojů a měřících zařízení. Velikost dodávek v malo-sérii výrobě je obvykle od několika jednotek až po stovku výrobků.

- Středně-sériová

Výroba středně-sériová se nachází mezi velkosériovou a malosériovou výrobou s produkcí několika stovek až po 500 výrobků.

- Velko-sériová

Výroba o velké sérii se blíží k hromadné výrobě s využíváním specializovaných zařízení a nástrojů. Pracoviště jsou obvykle uspořádána předmětně. Velikost výrobní dodávky bývá do tisíce kusů výrobků.

- **Hromadná**

U hromadné výroby dochází k výrobě velmi úzkého sortimentu výrobků o velkém počtu vyrobených kusů. V rámci jednoho pracoviště se opakuje jeden a ten stálý proces a dochází k vysoké specializaci jednotlivých výrobních úkonů. Dochází k využívání specializovaných strojů a nástrojů. Obvykle u hromadné výroby dochází v největším rozsahu uplatňování automatizace robotizace.

## 1.2 Charakteristické pojmy ve výrobě

S výrobou je spjata několik důležitých pojmů, které jsou v této podkapitole popsány:

- **Součástka**

Jedná se o část strojírenského výrobku, obvykle vyrobená z jednoho kusu materiálu různými technologickými metodami bez montáže. Součástky jsou základním prvkem v kusovníku a z jejich kombinací vzniká sestava, či podsestava, ze kterých montáží vzniká hotový výrobek. Součástka je definována materiálem, ze kterého je vyrobena a technologickým postupem, kterým byla vyrobena. [3]

- **Výrobek**

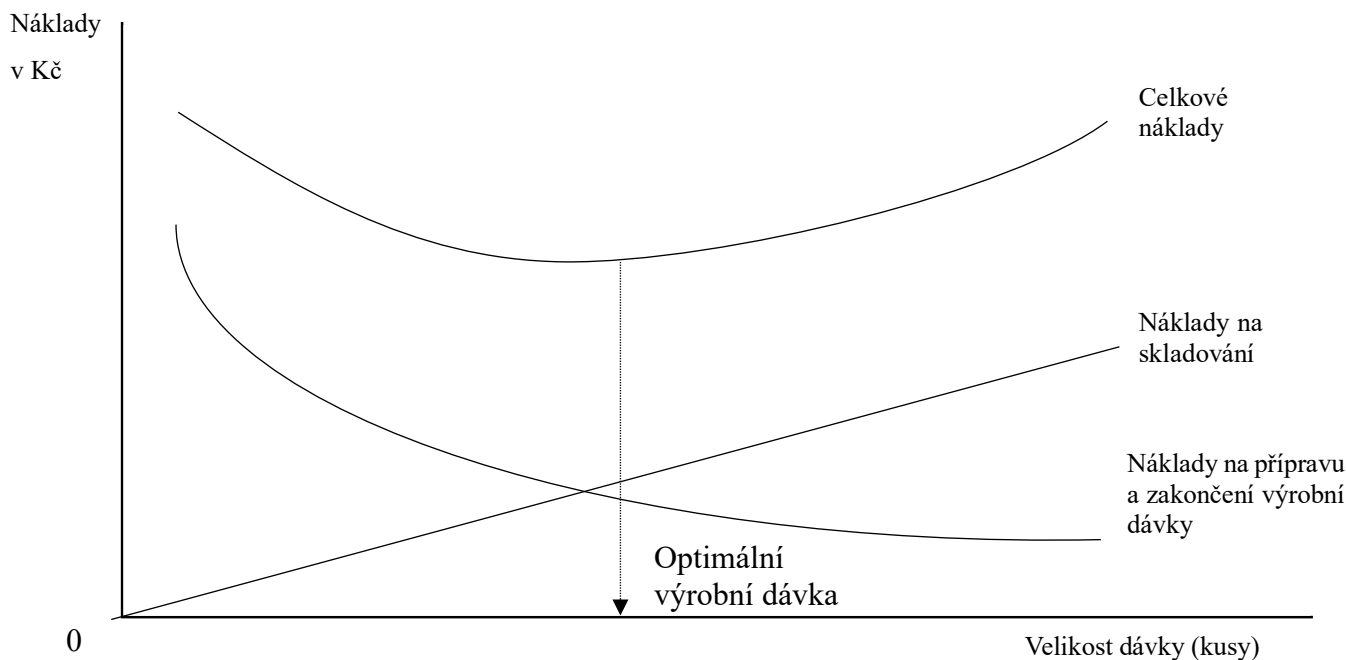
Jde o finální strojírenský výrobek jako je například automobil, výrobní stroj či posuvné měřítko. Jde o skupinu součástek, které jsou z nich smontované. Každý z těchto výrobků má svůj definovaný účel z čehož jsou odvozeny jeho technické parametry. [3]

- **Jakost (kvalita) výrobku**

Jakosti výrobku se rozumí stupeň shody s požadavky (specifikacemi) zákazníka a jakost jeho provozu. Důležité je správné specifikování požadované jakosti z důvodu provázanosti nákladů s výslednou jakostí. Obvykle platí, že čím vyšší jakost tím vyšší náklady na výrobek a tím i cena tohoto výrobku. Z tohoto důvodu výrobce vychází hlavně z požadavků zákazníka a srovnává s konkurencí ve stejné cenové třídě. Kvalita, či jakost není fixní a může se vyvíjet v čase. Cílem výrobních podniků je určit požadovanou úroveň jakosti a její kontrolování štabním útvarem podniku “kontrola jakosti”. [1]

- **Výrobní dávka**

Jedná se o soubor po sobě jdoucích výrobků v těsném sledu za sebou, s jednorázovým vynaložením nákladů na přípravu a zakončení příslušného procesu. Náklady na přípravu a zakončení výrobní dávky jsou fixní, což znamená, že čím větší výrobní dávky, tím náklady na jednotku produkce klesají, zatímco ostatní náklady s velikostí dávky rostou (náklady na skladování, udržování zásob, náklady s vázaností kapitálu). Z těchto důvodů je nutné velikost dávky optimalizovat. Jedná se tedy o takové množství, kde jsou celkové náklady na jednotku minimální (viz. Obrázek 2). [1]



Obrázek 2 Optimální výrobní dávka [1]

- **Výrobní kapacita**

Jedná se o charakteristickou jednotku výroby, který popisuje objem produkce, který dokáže výrobní jednotka (stroj, dílna, závod) vyrobit za určitý časový okamžik (rok, den, hodinu). Tato jednotka je pouze teoretická, která vychází z produkční funkce, tj. vztah mezi objemem výroby a výrobními faktory. Existují fixní výrobní faktory, které nelze ovlivnit, fungují dlouhodobě a jsou to například budovy a výrobní zařízení. Mezi variabilní faktory, které fungují kratší časové



období a patří mezi ně například práce, energie a materiál. Výslednou výrobní kapacitu ovlivňují spíše fixní výrobní faktory. [1]

- **Automatizace výroby**

Automatizace je souhrn činností spočívajících v návrhu a realizaci opatření, která umožňují samočinně vykonávat duševní činnosti člověka. Jde o činnosti, které jsou spojeny s provozem strojů, a to jak samotné spouštění stroje, provoz stroje, výpočty s řízením provozních parametrů strojů a zastavování strojů. Stroj je zařízení, které je vyrobeno člověkem, jehož cílem je usnadňovat, zrychlovat a zpřesňovat lidskou práci. V případě, kdy je stroj využíván pouze k odstranění namáhavé či repetitivní činnosti, tak se jedná o mechanizaci a nikoliv o automatizaci. [2]

- **Systém**

Jedná se o účelově definovanou množinu prvků a vazeb mezi prvky, vykazující jako celek určité cílové chování. Z tohoto hlediska chování, ale nemůže být systém považován za izolovaný, ale za součást určitého většího celku, tzv. okolí systému, které na něj působí a tím ho ovlivňují. Ke specifikaci tohoto účinku okolí na systém zavádíme veličiny označované termínem vstup a systém ovlivňuje i své okolí, což je označen termínem výstup. [4]

Po vymezení charakteristických pojmů se práce zaměřuje na uvedení relevantních technologií ve výrobě.

### 1.3 Technologie ve strojírenské výrobě

Technologie strojírenské výroby zahrnuje oblast výrobních procesů ve strojírenském průmyslu, při kterých se vlivem účinku mechanické, tepelné a chemické energie mění materiály na polotovary, resp. výrobky.

Mezi technologie využívané ve výrobě například patří:

#### 1.3.1 Tváření

Technologie tváření je proces, při kterém dostávají polotovary po zpracování stanovený a předem definovaný tvar. Zásadním úkolem tváření je vytvoření požadovaného tvaru a jakosti, nejkratší a ekonomicky nejvýhodnější cestou, a to v ideálně bez nutnosti dalšího obrábění. Při tváření dojde k trvalé změně tvaru za působení vnějších sil, přičemž nedojde k porušení soudružnosti zpracovávaného materiálu. Materiál musí disponovat schopností se deformovat za jistých podmínek bez porušení celistvosti kovu, tj. snášet plastické, nebo-li trvalé deformace. [3]

Vnější síla je vybuzena tvářecím strojem skrze tvářecí nástroj. Při působení nástroje na materiál dochází k postupné deformaci materiálu. Reakce materiálu na působící síly je daná jeho vlastnostmi, také zaleží na velikosti síly a podmínek zatěžování. Tváření lze rozdělit podle tváření za studena či tepla. [3]

- **Tváření za studena [3]**

Při tváření za studena dochází ke zpevňování materiálu. Tento mechanický jev má za následek změnu mechanických a fyzikálních vlastností. Mezi tyto vlastnosti patří zejména zvýšení pevnosti a tvrdosti, přičemž klesá vrubová houževnatost a tvárnost. Za studena je možné tvářet kovy jen do míry tvárnosti materiálu.

- **Tváření za tepla [3]**

Při tváření za tepla se vyrábí vysoce namáhané, z hlediska bezpečnosti a životnosti náročné strojní součásti a díly. Podstatou tváření kovů za tepla je přeměnit výchozí materiál na požadovaný tvar a zlepšit jeho vlastnosti. Tváření za tepla je při dosažení teploty rekrytalizační.

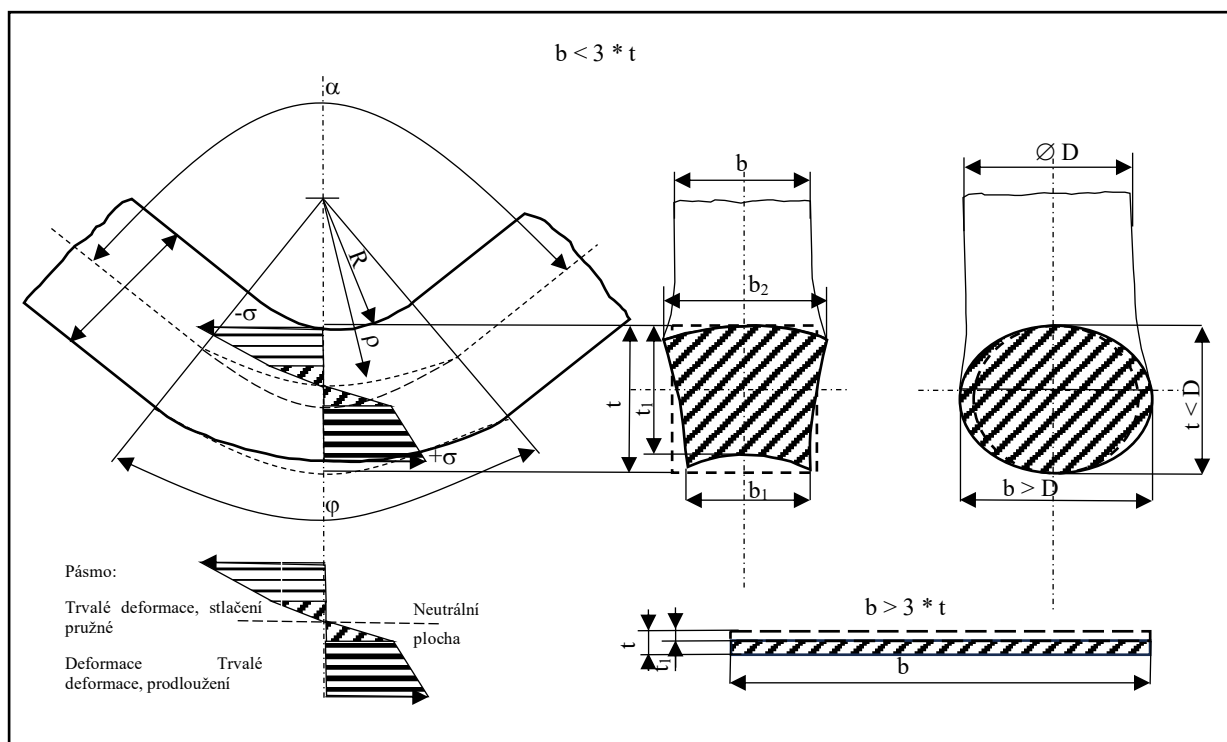
Mezi další způsoby tváření patří tváření objemové a plošné. Při plošném tváření se využívají polotovary, které mají zanedbatelný třetí rozměr, a to jako jsou plechy, tabule, pásy, svitky a trubky. Při objemovém tváření dochází k práci s polotovary ve tvarech ingotů, vývalků a jejich částí.

Základní operace tváření jsou ohraňování, rovnání, zakružování, lemování, drápkování, tažení, protahování, přetahování, objemové tažení, tlačení tvaru, zápustkové kování, pěchování, zpětné protlačování, dopředné protlačování, prodlužování, prodlužování na trnu, rozkování na trnu, osazování, přesazování, děrování jednostranné plným trnem, děrování dutým trnem, podélné válcování, příčné tvarové válcování a rozválcování.

### 1.3.2 Ohýbání

Ohýbání je proces, který se obvykle provádí za pokojových teplot, respektive za studena. V případě, že se jedná o velké průřezy materiálu s vyšší pevností, dochází i k válcování za tepla. Jedná se o technologickou operaci, kde za působení ohybového momentu od ohybové síly dochází k trvalé změně tvaru polotovaru. Při tomto technologickém procesu dochází k rozlišování na ohýbání úzkých profilů a širokých profilů. [5]

Charakteristickým znakem ohýbání je změna tvaru plochy ohýbané součástky a lze zařadit do plošného tváření. Na deformaci projevenou působením momentu mají vliv kvalita a tloušťka materiálu. Důsledkem změny a průběhu napětí při ohýbání je i deformace v příčném řezu (viz Obrázek 3). [5]

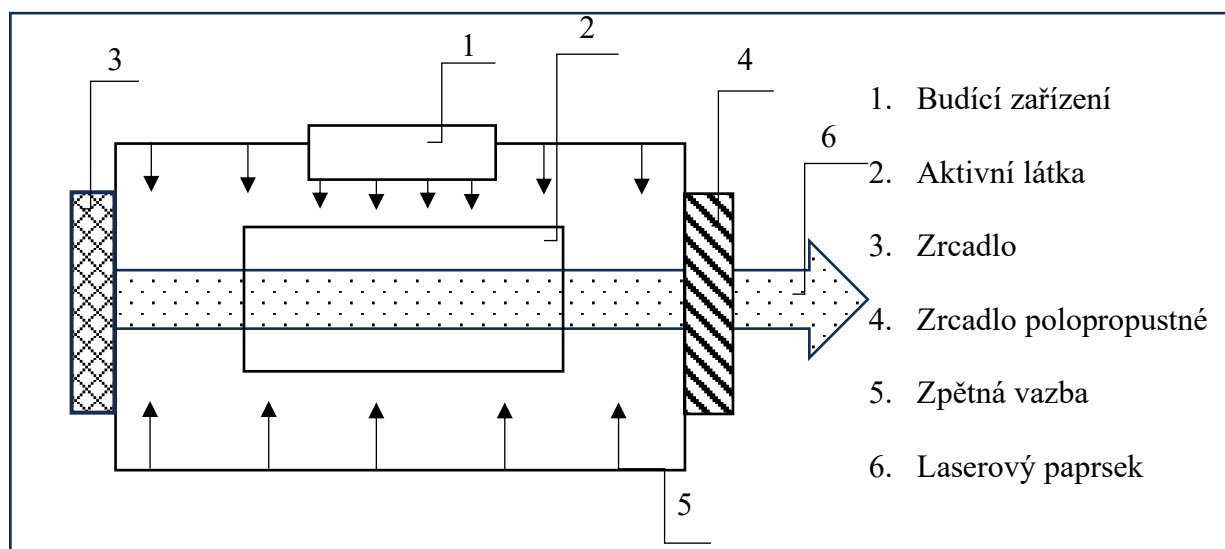


Obrázek 3 Průběh napětí a deformace průřezu  $b \times t$  a  $\varnothing D$  [5]

### 1.3.3 Řezání laserem

Laser je generátorem elektromagnetického záření v optické oblasti vlnových délek při využití stimulovaného záření. Princip fungování lze připodobnit na planetovém modelu atomu. Okolo kladně nabitého jádra (protonu) po uzavřených drahách elektrony podléhající elektrostatickým silám. Každá dráha je definována energetickou hladinou. Čím více je dráha blíže jádru, tím mají elektrony vyskytující se na této dráze nižší energii. U atomu v základním stavu zaujímají všechny elektrony nejnižší energetické hladiny, příslušné drahám o nejmenších poloměrech. Přechod elektronu ze základní energetické hladiny  $E_0$  na vyšší  $E_1$  vyžaduje absorpci a přechod v opačném směru emisi určité hodnoty energie. Toto množství energie nazývaném kvantem je v podstatě elektromagnetickým zářením o určité frekvenci. Jedná se tedy o situaci, kdy atomu byla dodána energie o určitém množství, čím dojde ke vrácení do základního stavu, nebo-li na nižší energetickou hladinu a to odevzdáním přebytečné energie. Odevzdání probíhá způsobem spontánní emise v podobě elektromagnetického záření (světelné záření rozžhaveného předmětu). [6] [7]

Princip laseru lze vyjádřit následujícím způsobem (viz. Obrázek 4).



Obrázek 4 Princip laseru [6]

V průmyslu se využívá velké množství typů laseru. Z pravidla každý z těchto typů disponuje třemi částmi. Prvním z těchto částí je prostředí, kde dochází k zesilování záření. Dalším prvkem je zdroj čerpání pro excitaci aktivního prostředí. Posledním prvkem je rezonátor, který vytváří zpětnou vazbu mezi zářením a aktivním prostředím (viz. Obrázek 4). [7]

- **Rozdělení laseru dle aktivního prostředí [7]:**

- Pevnolátkový laser

Jedná se o zařízení, které produkuje světelný paprsek laserového záření pomocí aktivního pevného materiálu. Tento typ laseru, který se označuje i jako krystalový se skládá z aktivního prostředí, které má za úkol amplifikovat světelné záření. Typickým materiálem jsou právě krystaly jako je rubín, nebo neodým-dopeovaný YAG (Nd:YAG). Dále je nutné využití dalšího zdroje v rámci pumpování energie do aktivního materiálu a dojde k přesunu do excitovaného stavu. Dále dochází ke stimulované emisi, což znamená, že excitovaný atom, nebo iont vydá kvantum světelné energie při určité frekvenci. U pevnolátkových laseru se využívá zpětné vazby (rezonance) za pomoci zrcadel. Nakonec zesílený světelný paprsek projde skrz polopropustné zrcadlo v podobě

laseru. Pevnolátkové lasery nacházejí uplatnění pro aplikace jako je řezání, svařování, a další zpracování materiálu.

- Plynové lasery

U plynových laseru se jako aktivní materiál využívají plyny, které jsou schopny zesilovat světelné záření, jako je třeba argon, helium-neon (HeNe). Plynové lasery jsou provozovány ve výbojových trubicích, což je prostor naplněný aktivním plynem. K vytvoření laserového záření je přiveden elektrický výboj skrze elektrické napájení a dojde k excitovanému stavu. Následně dochází ke stimulované emisi a tím pádem i k uvolňování fotonu. Dále je využit princip zrcadel jak již bylo popsáno k průchodu koherentního světelného paprsku.

- Kapalinové lasery

Tento typ laser využívá jako aktivní prostředí kapalinu pro generování laserového záření. Kapalinové lasery potřebují taktéž proces pumpování, díky kterému dostává aktivní látka do excitovaného stavu. Dále dochází ke stimulované emisi, kde dochází k vylučování fotonů. Dále je využit princip zrcadel jak již bylo popsáno k průchodu koherentního světelného paprsku.

- Polovodičové lasery

Polovodičový laser využívá aktivní polovodičový materiál pro tvorbu laserového záření. Aktivním prostředím je obvykle tvořen tenkým polovodičovým krystalovým čipem. Tento čip obsahuje vrstvy negativně a pozitivně nabitých elektronů a mezi nimi dochází k emisí fotonů. I zde se využívá proces pumpování, stimulované emisi a za pomoci dvou zrcadel dochází ke generování koherentního světelného paprsku.

- **Řezání laserem [7]**

Řezání laserem lze rozdělit do tří skupin:

- a) Sublimační

Fokuseovaný laserový paprsek ohřívá materiál na teplotu odpařování. Vznikající páry jsou z řezu odstraňovány proudem interního plynu z trysky. Sublimační řezání je charakteristické úzkým řezem a vysokou jakostí provedeného řezu. [6]

- b) Tavné

V místě řezu materiálu je materiál roztaven a asistentním plynem odstraňován. Tento způsob nachází uplatnění u řezání kovových, nekovových, keramických, plastových, dřevěných a textilních materiálů. Tato metoda je charakteristická vysokou rychlostí řezání a nízkou spotřebou energie na jednotku délky řezu. [6]

- c) Pálením

Materiál je v místě dopadu soustředěného laserového paprsku přiveden na zápalnou teplotu a spálen v proudě aktivního plynu a to nejčastěji kyslíku. Oxidační účinek se projevuje jednak počáteční oxidací povrchu, ale i zvýšením schopnosti materiálu absorbovat energii laseru snížením koeficientu odrazivosti, kdy jednak vznikne přídavného exotermického reakčního tepla hoření, které se projevuje podstatným zvýšením rychlosti řezáním. Vlastní proces řezání je pak důsledkem exotermické reakce materiálu s kyslíkem. Tímto způsobem lze řezat těžko-obrobitelné materiály jako je titan a ocele s nízkým obsahem uhlíku. [6]

Samotná práce se bude zabývat využitím průmyslového robota ve výrobě, z toho důvodu následuje kapitola průmyslová robotizace.

## 2 Průmyslová robotizace

V současnosti neexistuje jednotná definice robota. Z důvodu popisu robotů, dalšího vývoje nových funkcí robotů a jejich porovnání od různých výrobců, je nutné nejprve stanovit co znamená slovo robot. Definice amerického sdružení robotického průmyslu (RIA) zní v překladu takto: „Multifunkční manipulátor, který je využíván pro manipulaci různých materiálů, součástí, náradí, nebo speciálních zařízení, provádí různé činnosti skrze programovací funkce a je programovatelný.“ [8]

S vývojem robotů a jejich inteligence budou různé definice revidovány a i samotný roboty musí být díky tomu redefinovány. Kategorie robotů by měla v budoucnu zahrnout jak lidem podobné stroje vyrobené lidmi, ale i umělé lidi. V současnosti neexistuje typový příklad robota a v budoucnu bude ještě složitější robota přesně definovat. [8]

Tato práce se bude zaměřovat pouze na roboty použité v průmyslu.

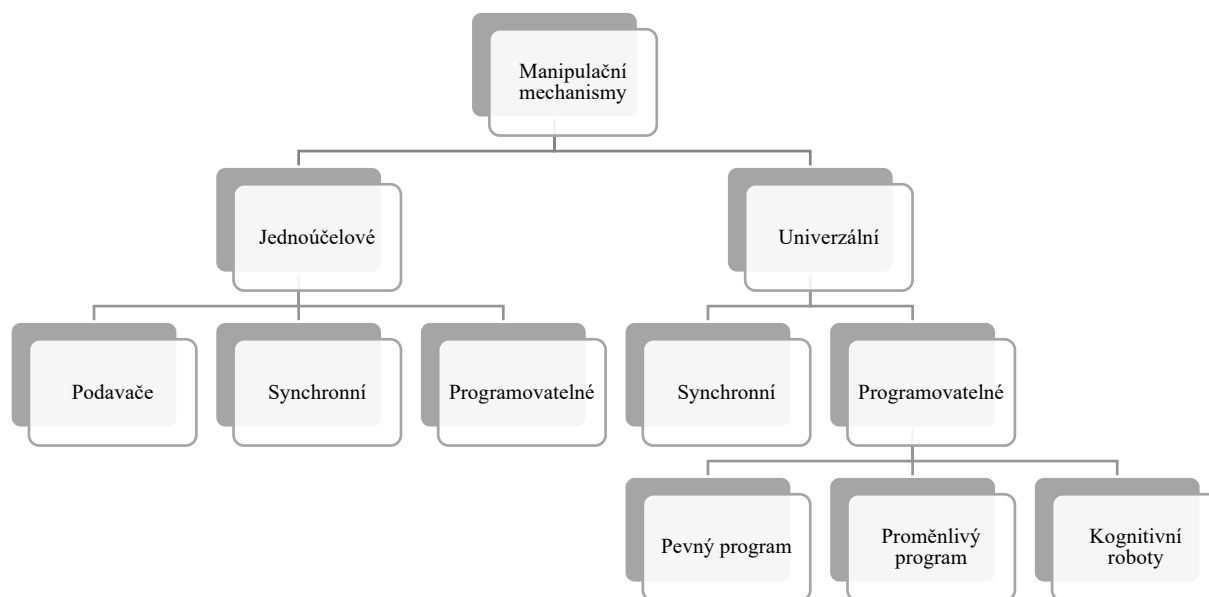
Robotizace průmyslových procesů z počátku nacházela uplatnění pouze u hromadné výroby. V současnosti se od tohoto tvrzení opustilo a automatizace pomocí robotů se využívá i ve výroбах velko-sériových. Robotizace pracovišť přináší jejich kultivaci. To přináší možnost využití člověka v procesech, u kterých může uplatňovat tvořivost a vytváření podmínek pro kvalitativně vyšší způsob života. Kultivace taktéž přináší pracovníkům možnost vyhnout se fyzicky náročné a monotónní práci. Robotizace pracovišť taktéž nachází uplatnění ve zdravotně škodlivých, rizikových či špatně přístupných pracovištích.

Investice do robotizace pracovišť je v současnosti stále nákladná záležitost a firmy i přes vidinu snížení provozních nákladů nepříliš investují do automatizačních prvků, jako je například zmíněná robotizace. Aktuálně se firmy potýkají s problémem nedostatku pracovníků, a to jak kvalifikovaných, tak nekvalifikovaných. Společnosti se zaměřením na výrobní procesy se setkávají se situacemi, kdy mají nedostatek pracovníků a to takový, že jim to zabraňuje možný ekonomický růst. Existují i případy, kdy firma využívá kvalifikované pracovníky na procesy, které by mohl provádět i nekvalifikovaný pracovník, kterých kvůli již popsané situaci není na trhu práce dostatečně. V budoucnu lze očekávat, že i přes vysoké náklady, které se budou s příchodem inovací snižovat, bude docházet ke stále vyšší uplatnění robotů ve výrobě. [9]

Jak již bylo zmíněno je obtížné jednoznačně definovat robota. Průmyslové roboty mají v současnosti dané členění, kterému se věnuje následující kapitola.

### 2.1 Členění průmyslových robotů a manipulátoru

Průmyslové roboty a manipulátory, nebo-li PRaM jsou mechanismy s funkcí manipulace, které lze rozdělit podle funkce, provedení, aplikačních možností, míry autonomnosti, úrovně řízení atd. dle následujícího obrázku. [9]



Obrázek 5 Členění robotů a manipulátorů [9]

- **Jednoúčelové manipulační mechanismy**

Tyto mechanismy jsou značně omezené oproti univerzálním mechanismům obvykle na jednu funkci. S tímto souvisí i jejich konstrukční řešení těchto mechanismů a jak jsou přizpůsobeny dané aplikaci. Pohony těchto mechanismů korespondují s obsluhovanými zařízeními a používanou technologií.

- **Univerzální manipulační mechanismy**

V praxi se využívají značně pružnější mechanismy než jednoúčelové a to univerzální. Tyto mechanismy disponují značnou univerzálností s možností využití ve více výrobních procesech. Mechanismy jsou přizpůsobeny různým technologiím a disponují prvky, které umožňují jejich univerzálnost.

## 2.2 Charakteristické znaky jednotlivých typů průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM)

- **Podavače**

Jedná se o základní typ jednoúčelových manipulátorů. Jsou obvykle součástí obsluhovaného stroje a tvoří společně jeden celek. Od tohoto celku bývá odvozen jejich pohon a řízení. Tyto mechanismy nacházejí vysoké uplatnění v oblasti automatizace technologických procesů. [9]

- **Synchronní**

Synchronní manipulátory jsou zařízení ovládané člověkem s tím, že jsou konstrukčně sestaveny, tak že mohou být jednoúčelové, nebo více účelové. Jejich úkolem je skrze operátora zvyšovat jeho síly, respektive moment a jeho pohybové možnosti. Jednoúčelové manipulátory jsou například balancéry, které slouží ke zdvihání těžkých předmětů. Univerzální manipulátory mají složitější konstrukci s cílem kopírovat pohyb pracovníka. Manipulátor s pracovníkem jsou v koexistenci na principu uzavřené smyčky master - slave. Tato zařízení přenáší na dálku

příkazy člověka. Tyto roboty nacházejí uplatnění u vědeckých, lékařských a vojenských účelů. [9]

- **Programovatelné**

Programovatelně řízený průmyslový roboty jsou řízeny programovým ústrojím. Provedením, pohonem a funkcí jsou na obsluhovaném stroji nezávislé. [9]

- **S pevným programem**

Program robota nelze změnit anebo se z pravidla nemění. Robot zastává pouze jednu a tu stálou činnost. Robot má jednoduché provedení a jedná se o jednoduché průmyslové roboty. [9]

- **S proměnlivým programem**

Tyto roboty mají možnost přepínání mezi jednotlivými programy, a to podle výrobního programu. Roboty s proměnlivým programem jsou zařízení s adaptivním řízením a nacházejí největší uplatnění v průmyslu, díky jejich široké adaptibilitě. [9]

- **Kognitivní roboty [9]**

Jedná se o roboty, kteří jsou vybaveny elementem vnímání a racionálním myšlením.

- a) **Převážně manipulační**

Jejich klíčovou funkcí je přemísťování objektů a jejich mechanickému ovládnutí. Může se jednat o polotovary, hotové výrobky anebo nástroje.

- b) **Výrobně – technologické**

Kognitivní roboty výrobně – technologické mohou vykonávat technologické operace, které buďto zastává stroj, nebo dochází ke kooperaci mezi dvěma výrobními buňkami.

Do kategorie robotů se složitějším provedením spadají právě roboti kognitivní. Tyto roboty mají tyto vlastnosti:

1. **Manipulační schopnosti**

Jde o možnost přenášení, uchopování, úpravou předmětů, montáží a manipulace s nástroji.

2. **Autonomnost chování**

Jedná se o vlastnost, která umožňuje robotovi vykonávat složité úkony o dané posloupnosti automaticky podle daného výrobního programu. Toto chování je nutné v případě, kdy program není pevný, s tím že se vstupní parametry mění jako například velikost objektu, nebo manipulační dráha. Mnoho účelnost programu rozeznává buď operátor robota anebo samotný robot přes vazbu s prostředím.

3. **Univerzálnost**

Zařízení je možné využít ve více než u jednoho procesu. Roboty s touto vlastností mají možnost měnit vykonávaný program a disponují buď univerzálním efektozem nebo jednotkou, která umožňuje výměnu koncového efektoru.

4. **Existence vazby s prostředím**

Vazba s prostředím je uzpůsobena skrze efektozem anebo může dojít k vytvoření vazby skrze kameru, akustické čidlo anebo pomocí čidla detekující únik chemikálií do prostředí. Skrze tyto prvky dojde k vytvoření vazby mezi robotem a prostředím ve kterém se pohybuje či do něj zasahuje. Výhodou použití těchto prvků je pružnost robota na případné změny.

## 5. Prostorovou soustředěností jednotlivých složek

V některých případech se můžeme setkat i s roboty, které nemají fixní ukotvení ke pracovišti, ale lze se samotnými roboty manipulovat. Jedná se o mobilní roboty, které lze využívat na více pracovištích. Můžeme se taktéž setkat s možností automatizace samotného mobilního zařízení umožňující robotovi pohyb. Díky tomuto zařízení se dokáže robot samovolně pohybovat po pracovištích podle daného programu. Tento typ robotů má mnohem náročnější bezpečnostní opatření, a to z důvodu téměř neomezeného zásahu do svého okolí umožněné mobilním vozíkem spojený s robotem.

Dalším možným členěním je rozdělení průmyslových robotů na klasické a kolaborativní. Vymezením těchto skupin se bude zabývat následující podkapitola. Hlavní důraz je na kolaborativního robota, kterým se bude další práce zabývat.

## 2.3 Kolaborativní roboty a typy kolaborace s člověkem

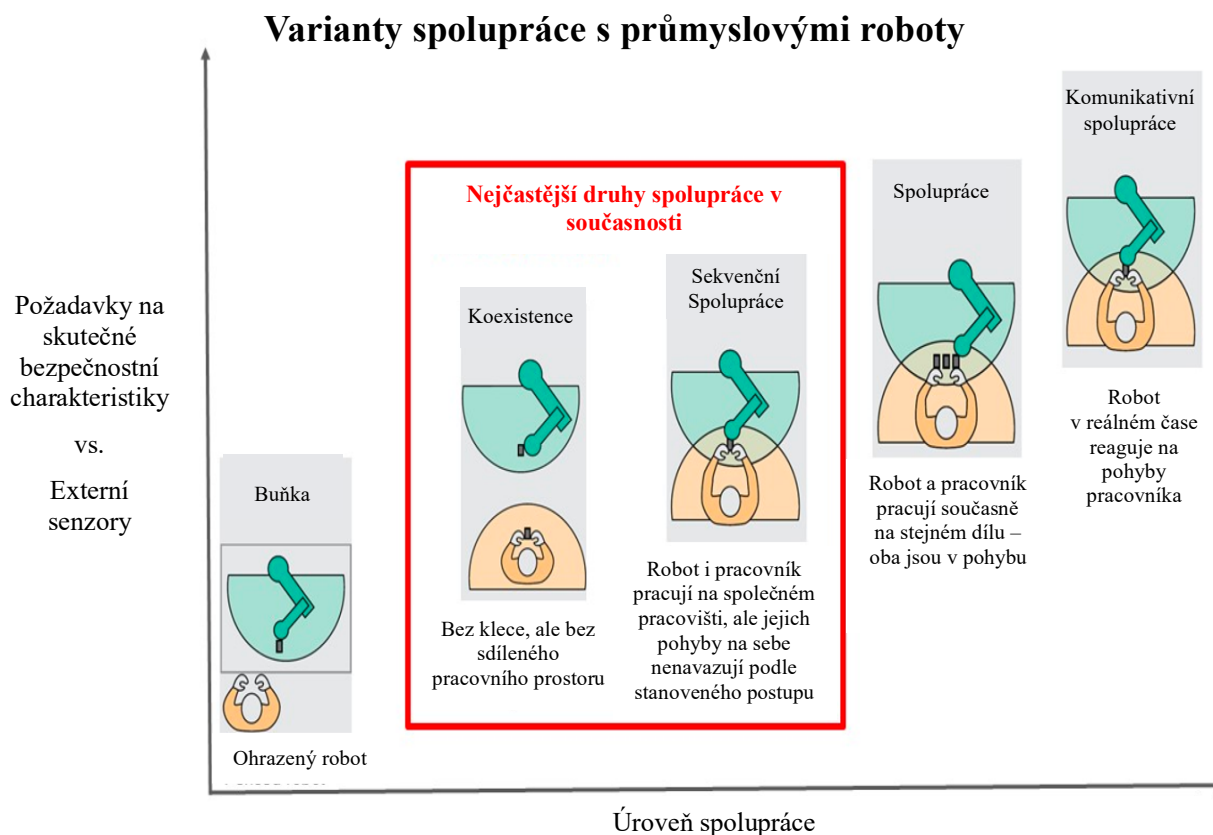
Běžný průmyslový roboty disponují vysokou hmotností a mohou představovat pro člověka značnou hrozbu při kontaktu. Z důvodu předcházení možný nehod mezi člověkem a robotem je nutné vytvořit takové pracoviště, které oddělí pracoviště člověka a robota, anebo aby nemohla existovat situace, kdy ve společném prostoru bude člověk a stroj v pohybu současně (např. pomocí klece). Z důvodu zvyšující tendence využívání robotů i pro aplikace, kdy není nutné mít těžkého průmyslového robota došlo k vývoji kolaborativních robotů. Tyto roboty přináší zvýšenou produktivitu a neohrožují pracovníka. Kolaborativní roboty jsou vybaveny prvky, skrze které jsou schopni vnímat prostor kolem sebe. Mezi tyto prvky patří sensory momentu a síly, kamerové systémy, laserové systémy, anti-kolizní systémy, rozpoznávání hlasových příkazů a systémy korigující pohyb člověka a robota. [10] [11]

Kolaborace mezi člověkem a průmyslovým robotem může nabývat podoby od sdíleného prostoru pracovišť až po pracoviště, kde neexistuje společný prostor a je možná jenom nepřímá spolupráce. [12]

Podle mezinárodní federace robotiky (IFR) byl nejvíce zastoupen přístup kolaborace mezi člověkem a robotem sdílené pracoviště označené jako Koexistence a Sekvenční spolupráce (viz. Obrázek 6). Tyto dva přístupy fungují na bázi, kde robot a člověk pracují vedle sebe s postupným plnění úkolů. Roboti vykonávají obvykle činnost, která není podle zásad ergonomie a to například zdvihání těžkých břemen a často opakované činnosti jak je utahování šroubů. [12]

Dalším z typů spolupráce je spolupráce, kde robot reaguje v reálném čase na pohyb pracovníka. Příkladem tohoto typu spolupráce je natáčení koncového efektoru robotem, tak aby pracovník mohl co nejlépe namontovat komponentu pod potřebným úhlem. Tento typ spolupráce je konstrukčně nejnáročnější na provedení. Jelikož robot reaguje na pohyb pracovníka setkáváme se systémem, který musí reagovat na pohyby, které nelze přesně predikovat a tedy reakce robota musí i přes tento vjem být naprosto bezpečná. [12]





Obrázek 6 Variety spolupráce s průmyslovými roboty [12]

Spolupráce mezi robotickým ramenem a pracovníkem je umožněno díky akčním členům, kterým je pracoviště, nebo samotný robot vybaven. Mezi tyto akční členy patří koncové efekторы a vision systémy, které jsou popsány v následujících podkapitolách.

## 2.4 Úchopné hlavice

Úchopné hlavice, které spadají do kategorie koncových efektorů realizují funkci uchopení a uvolnění. Tyto funkce jsou zajištěny, buď přímým řízením úchopné síly vyvozené vlastní hlavicí, nebo je uchopení po případně uvolnění objektu vázáno na vnější silové působení na objekt nebo hlavici.

### • Mechanické

Efektory s mechanickými prvky jsou obvykle konstrukčně řešeny s podobností lidské ruky. Jsou případy, kdy efektor má pouze 2 “prsty” či více s možností úchopu. Mechanické úchopné hlavice se dělí na pasivní a aktivní s odlišností na konstrukční složitost a jestli jsou poháněné či bez pohonu.

#### ○ Pasivní

Mechanické pasivní efekторы disponují konstrukční jednoduchostí a využívají se při práci s objekty s nízkou hmotností a jednoduchého tvaru. Mezi tyto objekty zejména patří malé hřídele, kroužky a malé příruby. Tyto efekторы se skládají z odpružení a prvků bez pohonu. [13]

#### ○ Aktivní

Mechanické aktivní hlavice mají minimálně jeden pohyblivý prvek s vlastním pohonem. Princip fungování s možností ovládní tohoto typu efektoru je obdobným jako manipulace objektů s lidskou rukou. Z tohoto vychází jejich neméně známý název mechanická chapadla a

mimo nosnou část se skládají z aktivních úchopných prvků, tvořících ovládané pohyblivé čelisti a prvků opěrných. Tento typ úchopných hlavice lze využít na široké portfolio objektů se kterými lze pomocí těchto hlavice manipulovat. [13]

- **Podtlakové**

Jedná se o úchopné hlavice využívající princip podtlaku skrze přísavky či komory. Tento typ se využívá zejména pro menší objekty s nízkou hmotností. Objekt musí disponovat rovnou plochou za kterou jí přísavka bude moci uchopit.

- Pasivní

Podtlakové pasivní úchopné prvky jsou pružné deformační přísavky zajišťující kontakt s manipulovaným objektem. Princip fungování: „Přísavka se přitlačí na povrch předmětu, tím se její pružné stěny zdeformují a zmenší se objem jejího vnitřního prostoru. Po uchopení se vnitřní prostor přísavky opět o něco zvětší, čímž vznikne žádaný podtlak. [13]

Síla vybuzená závisí na styčné ploše přísavky a předmětu, tvaru a tuhosti přísavky. Při definování úchopné síly je nutné provést experimenty pro její optimální velikost. Pro větší úchopné síly jsou nutné přísavky pro větší tuhosti s tím, že se setkáváme s jejich limitací pro obecné použití z důvodu možnosti poškození objektů, které by vysoké přitlačné síly nemusely vydržet. Problematickým prvkem je nutnost vysoké těsnosti styku, který záleží na kvalitě a drsnosti povrchu. Pasivní podtlakové hlavice pro uchopování se využívají hlavně pro desky jako jsou plechové či skleněné tabule a podobně. [13]

- Aktivní

Aktivní podtlakové systémy nebo-li podtlakové komory využívají vývěvy nebo ejektory. „Ejektor je odsávací nebo čerpací tryskové zařízení, které je poháněno proudem vody, plynu nebo páry.“ [13] Při používání aktivních podtlakových hlavice je využito více podtlakových komor. Velikost podtlaku závisí na typu vývěvy a jedná se o rozsahu 30 až 80 kPa. Problémem při použití podtlakových hlavice při manipulaci je porušení kontaktu s manipulovaným objektem. [13]

- **Magnetické**

Tento princip efektorů funguje na bázi využití magnetického pole pro manipulaci s feromagnetickými objekty. Magnetické efektorů se obvykle využívají pro práci s objekty o menších rozměrech a hmotnosti s tím, že využívání magnetů přináší úskalí při manipulaci, které je nutné řešit dalšími přídatnými prvky efektorů. [13]

- Pasivní

Magnetické pasivní efektorů využívají permanentní magnety. Používají se při manipulaci s feromagnetickými objekty o malých rozměrech a hmotností. Jedná se zejména o plechové výlisky, kroužky, podložky a podobně. Disponují jednoduchou konstrukcí se vsazenými tyčovými permanentními magnety s možností úpravou polohy a počtu těchto magnetů. Jednou z nevýhod těchto efektorů jsou přídatné mechanismy na oddělení manipulovaných objektů od úchopu magnetů. Tyto mechanismy pro přerušení úchopu jsou obvykle programově řízeny. Další významnou nevýhodou těchto efektorů je zachycování dalších nežádoucích feromagnetických předmětů jako jsou například drobné částice, které následně mohou ovlivnit úchop a orientaci manipulovaných objektů. [13]

- o Aktivní

Magnetické aktivní efekty využívají elektromagnety napájeny obvykle stejnosměrným proudem. Setkáváme se s podobným použitím jako u pasivních magnetických hlavice s tím, že není nutné využívat přídatných mechanismů pro oddělení objektu od hlavice, ale stačí odpojení proudu a tím dojde k přerušení kontaktu. Nevýhodou je opět možné uchopení nežádoucích objektů a tím změnit orientaci a úchop, ale také dochází ke zmagnetizování manipulovaných objektů z důvodu napájení elektromagnetů stejnosměrným proudem. Manipulované objekty prochází následně procesem odmagnetizování způsobem obrácením směru proudu v magnetických cívkách. [13]

## 2.5 Vision systémy

Průmyslové roboty mohou disponovat systémovými a hardwarovým rozšířením, díky kterým lze automatizovat procesy, které by bez těchto prvků byly těžko automatizované jako je například bin-picking. Tato funkce bin-picking umožňuje automatizovat proces vybírání z manipulačních jednotek, kde neexistuje systém uspořádání materiálu. Sensory zvyšují přesnost například při manipulaci s materiálem, nebo výrobkem kde je možné nabírat z nedefinovaných pozic a systém je sám schopen vyhodnotit změnu orientace výrobku, oproti vzorovému kusu. Tento typ senzorů nachází uplatnění i při kontrolách, a to například u měření (viz Obrázek 7). [14]

Příklady využití systémů Fanuc



Výběr neuspořádaných dílů z jednotky (Bin Picking)



Sledování objektů



Přesná montáž malých dílů

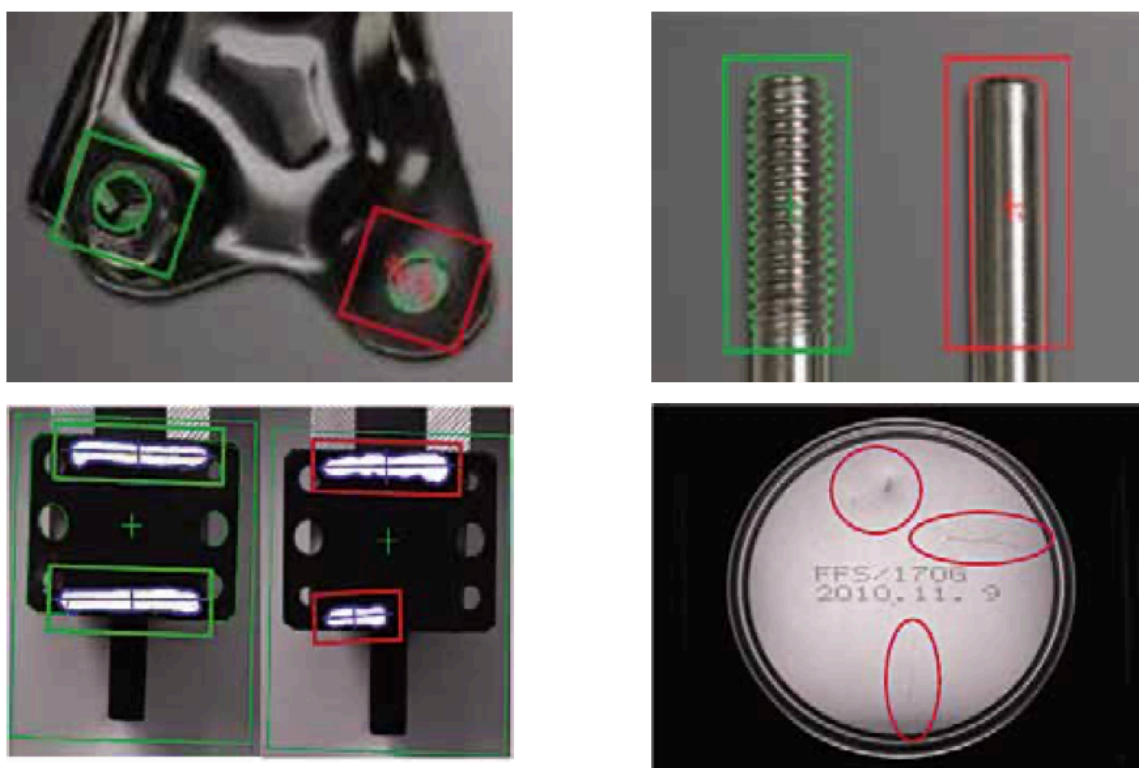


Vizuální kontrola po montáži

Obrázek 7 Příklady využití systémů Fanuc [14]

- **iRVision**

Tento systém s názvem iRVision umožňuje vizuálně detektovat prostředí. IRVision je plně integrovaný 2D a 3D systém. Kamerový systém umožňuje umístit kameru na rameno robota (nestálá poloha), nebo na fixní místo (stálá poloha). Systém je také schopný pracovat se setováním. Kamera je schopna vnímat prostor v 3D prostoru, respektive ve třech osách a díky tomu například skládat výrobky na sebe. Další z funkcí je možnost práce s 3D procesem pro snímání manipulovaného objektu. Robot postupně natáčí objekt skrze jeho robotické rameno na kameru, která je schopná živě vyhodnotit rozdílnost tělesa oproti vzorovému kusu. IRPickTool je funkce, která umožňuje robotovi pracovat s pohyblivými dopravníky. Poslední funkcí, kterou tento systém disponuje je Anti-Defect vision process function. Tato funkce umožňuje systém naučit objekt s tím, že každý následující, který projde efektozem robota bude porovnávat s původním etalonem a vyhodnotit chybovost oproti vzorovému objektu. Tato funkce je schopna vyznačit procentuální schodu s etalonem a vyznačení rozdílů mezi těmito kusy (viz Obrázek 8). [14] [15]



Obrázek 8 Funkce iRVision [14]

- **iRCalibration** [16]

Jedná se o aplikaci, která umožňuje kalibrovat a tím zpřesnit úkony robota přes integrované vidění. Mezi klíčové funkce patří Vision Mastering, Vision TCP Set, Vision Shift / Vision Frame Set a Vision Multi-Cal.

Vision Mastering kalibruje mechaniku robota. Tato funkce zvyšuje přesnost samotného robota a TCP, vision systému a práci s offline programy.

Vision TCP Set umožňuje automatické nastavení nástroje, které se v minulosti dělalo převážně manuálně operátorem. Tato funkce vychází z nalezení dvou bodů, a to koncového bodu ramena a těžiště nástroje. Z těchto dvou bodů se najde společné těžiště, které je následně označováno jako TCP.

Vision Shift / Vision Frame Set je funkcí umožňující sledování referenčních bodů na součásti s možností automatické úpravy programy podle změny těchto bodů. Toto přináší úsporu času pro relokaci robota a offline programovou utilizaci. Další úspora se může projevit i při kooperaci s člověkem a tím ušetření i lidské síly.

Vision Mutli – Cal funkce umožňuje kalibraci mezi skupinou robotu, kteří jsou mezi sebou pod vzájemnou koordinací. Tato možnost platí pro dvou ramenou, jedno ramenou a jedno poziční konfiguraci. Přínosem této funkce je docílení v koordinovaných pohybech větší přesnost.

Již zmíněné jednotlivé funkce musí projít konfiguračním procesem, kdy se zajistí správné fungování a správná implementace dané funkce. Proces konfigurace zmíněných členů je popsán v následující podkapitole.

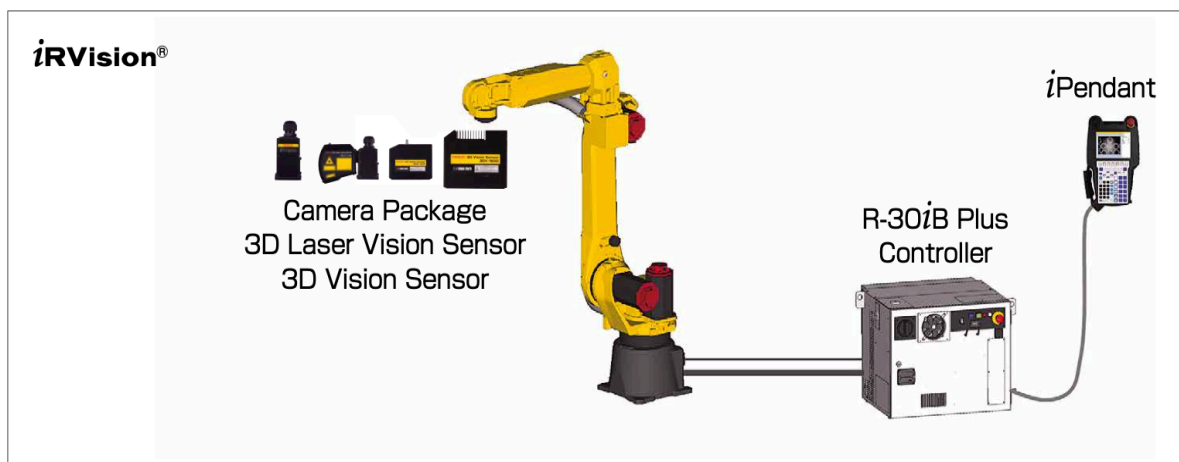
## 2.6 Konfigurace

Společnost Fanuc dodává společně s robotem i jednotku R-30iB, která umožňuje plnou konektivitu. Přes ethernet je možné komunikovat s robotem vzdáleně a výrobce uvádí, že je navržena tak, aby spotřebovala minimální množství elektrické energie. Společnost Fanuc tyto jednotky dodává v několika variantách a to typu A Cabinet, B Cabinet, Mate Cabinet a Open Air Cabinet. Každá z těchto variant disponuje možnostmi variabilní využití, a to jako například malé rozměry pro snadné umístění, stohovatelnost, nebo průmyslovou úpravu pro využití v prašných podmínkách. Varianta A Cabinet je vyobrazena na Obrázek 9 a Obrázek 10. [16]

Mezi další komponentu dodávanou společností Fanuc je iPendant sloužící jako dotykový ovladač. IPendant se skládá z barevné dotykové obrazovky, ergonomických prvků pro ideální úchop a tlačítek pro ovládání robota. Ovladač disponuje funkcí více oken pro možnost práce na více problémech současně, či pro kontrolu navržených úprav. Ovladač iPendant je taktéž viditelný na Obrázek 9 a Obrázek 10. [17]

- **iRVision** [14]

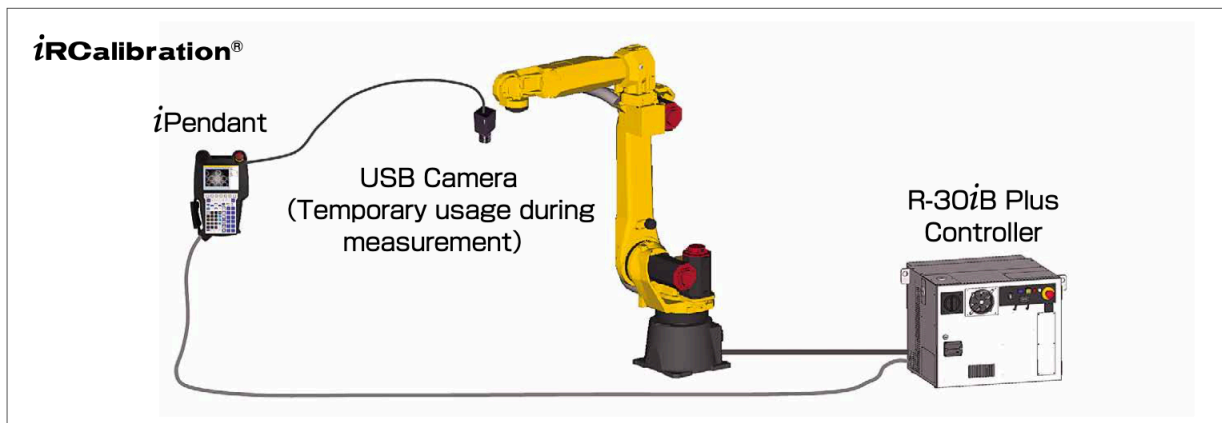
Konfigurace pro systém iRVision slouží pro konfigurace pro komponenty umožňující prostorového vnímání skrze kamery, lasery a další prostorové senzory. Nutnými komponenty pro tuto kalibraci je samotný robot, komponenta prostorového vnímání, libovolný typ R-30iB Plus jednotky a iPendant. Přes řídicí jednotku skrze návodný postup dojde k žádané kalibraci.



Obrázek 9 Konfigurace iRVision [14]

- **iRCalibration** [14]

Kalibrace pro funkci iRCalibration je poněkud odlišná od dvou již zmíněných kalibračních procesů. Při této kalibraci dochází k využití USB Kamery, která je napojená na ovladač iPendant. Tato kamera připojená přes USB konektor se využívá pouze pro dočasné využití a tato kamera neslouží k běžnému provozu robota. Nutnou komponentou i pro tento kalibrační proces je jednotka R-30iB Plus.



Obrázek 10 Konfigurace iRCalibration [14]

### 3 Analýza současného stavu

Tato kapitola se zaměřuje na analýzu a rozbor současného stavu pracoviště, které se zaměřuje na vypalování součástek pomocí laseru. Na tomto pracovišti se vyrábějí nárazníky pro automotive a společnost požaduje návrh pro implementaci průmyslového robota. Nejprve je však představena společnost Shape Corp., čím se zabývá a popis výrobního závodu v Plzni a nastínění výroby a procesů, které zde probíhají.

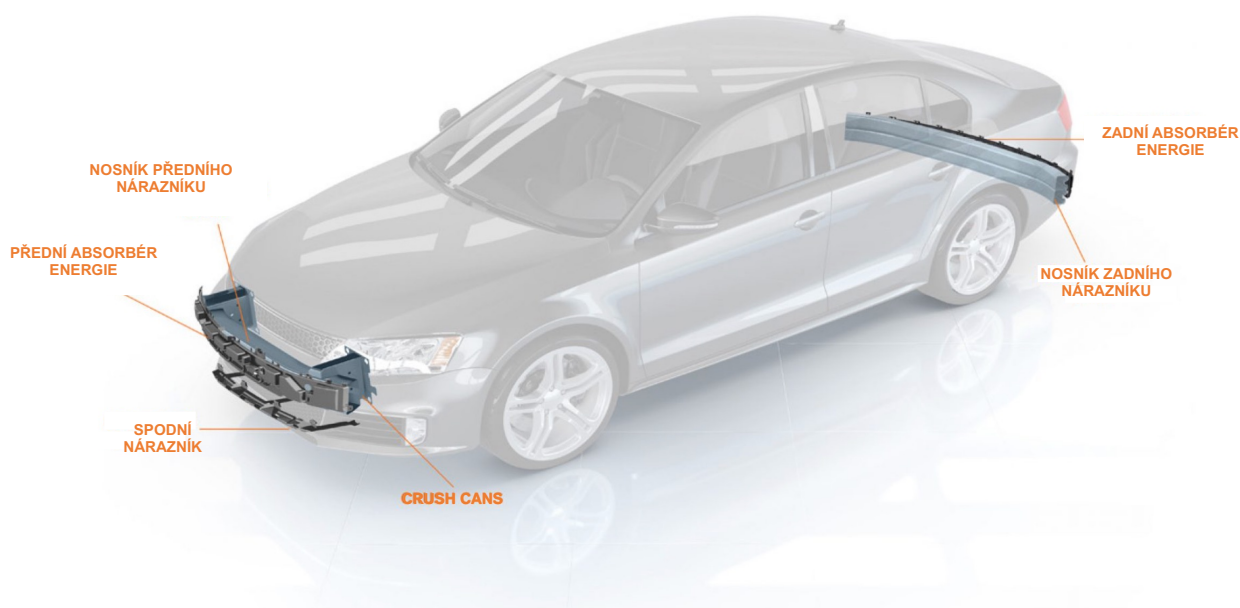
#### 3.1 Představení společnosti Shape Corp.

Společnost Shape Corp. je americká firma, která byla založena v roce 1974 s vizí uplatnění na trhu v oboru válcování. Postupem času byla založena firemní centrála společnosti v Grand Haven a v roce 1984 vyjel z linky první ohýbaný nárazník. O dva roky později došlo k využívání technologie e-coatingu. V devadesátých letech došlo k využití prvních high-tech svářeček a došlo k výrobě prvních válcovaných svařovaných trubek. Dále došlo k prvním kontraktům s japonskými automobilkami a byla založena Shape Univerzita. Ve 20 letech dochází k rozvoji martenzitické oceli, což je klíčový materiál využívaný společností Shape. V roce 2001 došlo k vývoji termoplastických absorbérů energie a společnost získala ocelení PACE za trvalé inovace. V letech 2007 a 2009 došlo k vývoji variabilního ohýbání 1D a 2D, čímž se stala jednou z mála firem, které jsou schopny tento proces využívat ve výrobě nárazníků. Později po roce 2010 došlo k otevírání výrobních závodů v Mexiku, Číně, Japonsku a také v České republice a to konkrétně v Plzni. V roce 2014 byla vyvinuta 3D ohýbací technologie, která umožnila ohýbat nárazníkový profil ve třech směrech. V současnosti dochází k výstavbě nového výrobního závodu u Plzně s tím, že se stávající výrobní závod bude stěhovat, což přivede závodů úskalí, se kterými se bude muset vypořádat. Výsledky popsanych technologií jsou vyobrazeny na obrázku 11. [18]



Obrázek 11 Inovace linkového ohýbání [19]

Společnost díky využití technologie pokročilého válcování vysokopevnostních ocelí je schopna plnit přísné hmotnostní, výkonnostní a nákladové požadavky, které jsou vyžadovány od mnoha konstrukčních prvků karosérií. Mezi využívané technologie a zařízení společnosti patří velkotónážní dvoustranné lisovací stroje, kontrol tlaku v dutině a inovativní nástrojové koncepce. Tyto technologie a zařízení umožňují vyrábět cokoliv od jednoduchých vysokoobjemových částí až po vysoce technické komponenty nebo systémy (viz Obrázek 12). Shape kombinuje pokročilou technologii a procesy za účelem vývoje lehkých vysoce výkonnostních řešení pro řízení energie nárazu, které chrání vozidla a osoby uvnitř. [20]



Obrázek 12 Portfolio nárazníkových systémů [20]

- **Závod v Plzni**

Plzeňský výrobní závod byl vybudován v roce 2011 na Borských polích. Na začátku závod disponoval jednou válcovací linkou. Postupem času došlo k vybudování dalších dvou hal s tím, že jedna z nich se nacházela několik kilometrů od Plzeňského závodu a sloužila výhradně jako sklad materiálu. Problém spojený ve vzdálenosti těchto dvou míst přinesl problém nadměrné manipulace. Tento neduh vedl k výstavbě nového závodu v Nýřanech blízko Plzně s cílem situovat veškerou výrobu a sklady na jednom místě a tím výrazně zkrátit čas a dráhu vykonanou za účelem manipulace mezi halami.

Závod společnosti Shape v Plzni se zaměřuje na zakázkovou, sériovou výrobu a velkém množství zhotovených kusů o malém počtu druhů. Společnost se orientuje i na výrobu prototypů, které nacházejí uplatnění při zavádění před pilotních fázích nového projektu.

Plzeňský závod se zaměřuje výhradně na práci s kovy na rozdíl od jiných závodů ve světě. Mezi nejčastější výrobní procesy patří válcování, ohýbání, děrování, obrábění, plazmování, stříhání, broušení, svařování a laserování. Tato práce je věnována hlavně procesu laserování z důvodu snahy implementace inovačních prvků na později zmíněném pracovišti. Zmíněné procesy slouží k výrobě zejména předních a zadních nárazníků (viz Obrázek 12).

Společnost Shape se potýká s nedostatkem pracovní síly a tím přichází o možnost ekonomického růstu. Problém spojený s nedostatkem pracovníků se dotýká všech výrobních závodů většiny firem v České republice, a to z důvodu přesyceného pracovního trhu.

### 3.2 Analýza současného stavu laserového pracoviště

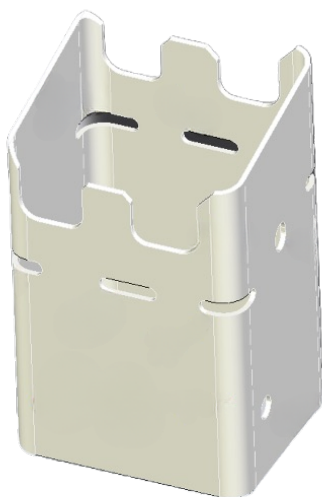
Pro návrh nového laserového pracoviště s využitím prvků robotizace je nezbytné provést analýzu současného stavu se zaměřením na tok materiálu po pracovišti s vizí automatizace, která by vedla k ušetření pracovníků a jejich využití na jiných pracovištích.



### 3.2.1 Výrobek

Cílem práce je návrh nového pracoviště s využitím průmyslového robota, který bude manipulovat s výpalky vypálené na laserovém pracovišti. Výrobky patří do kategorie Crush-can, jejíž cílem je absorpce energie, která vzniká při nárazu automobilu. Absorbér je umístěn na náraznících automobilu a jsou vyrobeny z materiálu, který je schopen pohltit co nejvíce možné energie, tak aby nedošlo k fyzické újmě řidiče a spolujezdce automobilu.

Profil vzniká na válcovací lince, kde vznikají 5 metrové profily. Plech je válcován a uzavřen švovým svarem. Výpalky mají vypáleny sadu otvorů, které slouží k ukotvení k nárazníkům a dalším součástkám automobilu. Výpalky jsou vypalovány z uzavřených obdélníkových profilů se zaoblenými hranami (viz Obrázek 13). Výsledný tvar má geometrii kvádra (85 mm x 70 mm x 131 mm) s tím, že horní hrana má výřezy, které nacházejí uplatnění v montáži. Výrobní proces probíhá vypalováním jednotlivých otvorů na každé straně výpalku s následným odříznutím od zbytku profilu. Tento proces trvá 20 sekund. Mezi kritická místa výpalku patří absence nevypálených otvorů či otřepu a prasknutí v místě svaru. Velikost balení výpalků je 432 kusů na jedné paletě s tím, že jsou balení rozdělena do 12 KLT o počtu 36 kusů výpalků.



Obrázek 13 Crush-Can [vlastní zdroj]

### 3.2.2 Popis laserového pracoviště

Pozorovaný proces laserování probíhá na pracovišti pojmenovaném Laser003, které disponuje rozlohou o 153 m<sup>2</sup>. Vybavení tohoto pracoviště se skládá ze stroje Tru Laser Tube 5000 Fiber, na kterém dochází k vypalování absorbérů. Součástí tohoto laseru je zásobník, do kterého se ukládají jekly, ze kterých je následně vypalován výpalek (viz. Obrázek 14 a Obrázek 15).



Obrázek 14 Zadní strana pracoviště Laser003 zásobník [vlastní zdroj]

Na obrázku 15 je viditelná přední strana zásobníku, kde se obdélníkový profil posouvá po pásovém dopravníku do laserové komory. Na začátku zásobníku je umístěn koš, který slouží jako vývod pro odřezky, které vznikly z vypalovacího procesu. V šedém kontejneru jsou umístěny proklady pro laser.



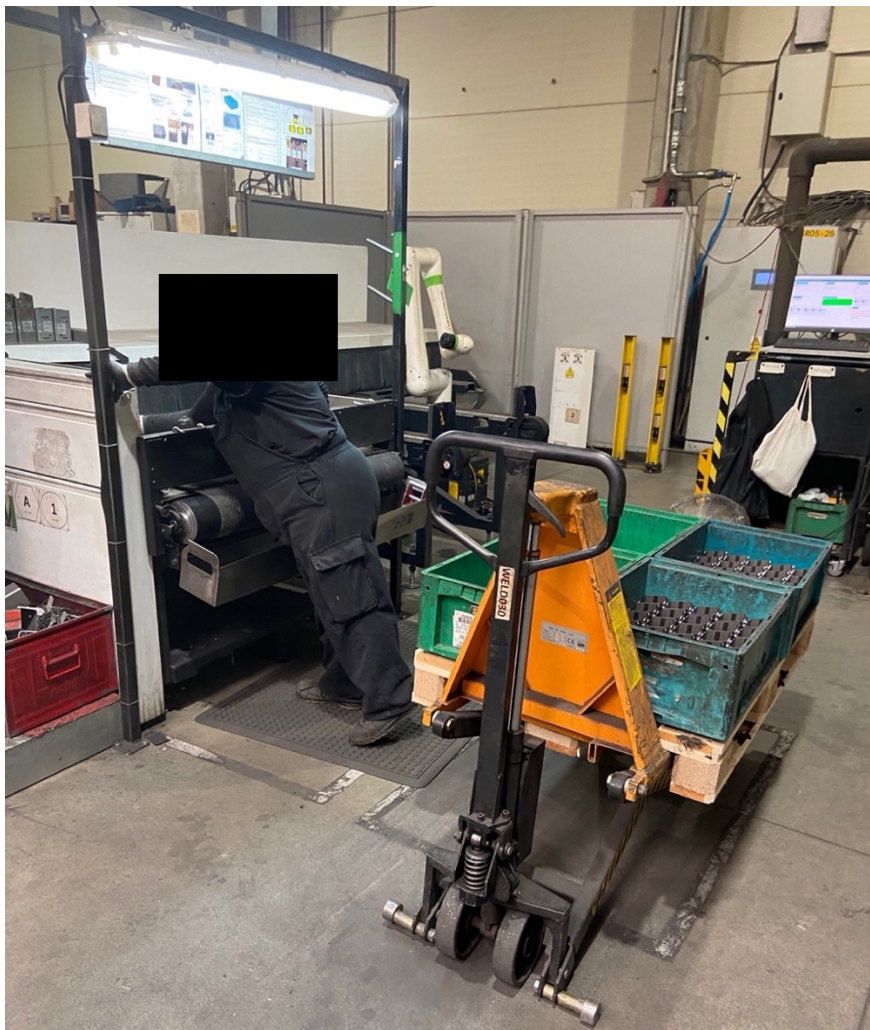
Obrázek 15 Přední strana zásobníku Laser003[vlastní zdroj]

Na obrázku 16 je vidět buňka, kterou prochází profil, který je uchycen v čelistech stroje a pomocí laserové hlavice jsou vypalovány otvory na Crush-can a následně dochází k odříznutí výpalku od zbytku profilu. Hotový výpalek poté padá po spádové ploše až na pásový dopravník, a to různě orientovaný. Pokaždé jiná orientace výpalku je způsobena nárazem, ke kterému dochází po skončení procesu vypalování. Zbytková energie po oddělení materiálu způsobí volný pohyb výpalku a končí nárazem o hranu spádové plochy. Výpalky pohybující se po pásovém dopravníku se zasekávají o gumové závěsy, což občas způsobí zadrhnutí a až další díl umožní současný pohyb dvou jdoucích výpalku hned po sobě v jeden časový okamžik.



Obrázek 16 Laserová buňka s dopravníkem [vlastní zdroj]

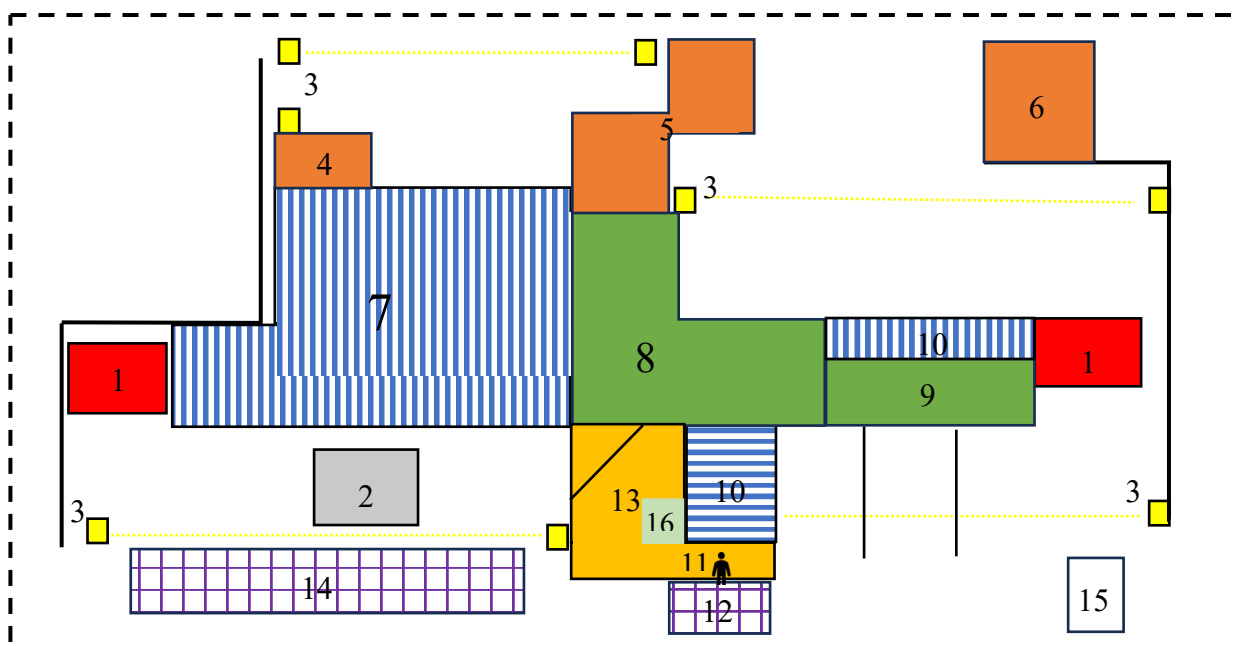
Na obrázku 17 je viditelné jak operátor uchopí výpalek a zkontroluje zda-li došlo k vypálení všech otvorů, jestli výpalek nemá žádný otřep po vypalování a jestli Crush-can není prasklý. V případě, když je výpalek v pořádku, tak je umístěn do manipulační jednotky KLT. V okamžiku, kdy nedošlo k vypálení všech otvorů, či došlo k jiné odchylce, tak se jedná o zmetek, který je pracovníkem umístěn do bedny na šrot umístěna na pracovišti. Po pásovém dopravníku se pohybují i otřepy, které padají do úložiště, ze kterého je pracovník přípravkem umístí taktéž do bedny na šrot. Pracovník taktéž zodpovídá za manipulaci s KLT do kterých umísťuje výpalky. Způsob ukládání výpalků je standardizovaný a dochází k postupnému ukládání do KLT jednotek bez možnosti setování (viz Obrázek 17).



**Obrázek 17 Pracovník manipulující s výpalky [vlastní zdroj]**

Pracoviště je vybaveno pěti světelnými branami, které mají za úkol zastavit stroj v případě, že dojde k porušení světelného paprsku. První brána sestavena z tří čidel je situována u zásobníku pro polotovary, se snahou předejít úrazu v pozici tohoto zásobníku. Další světelná brána je před pásovým dopravníkem a kontejnerem na odřezky. Tato světelná brána ze dvou čidel zabraňuje zásahu do dopravníku opět s cílem zamezit úrazu operátora. Třetí světelná brána se nachází u pásového dopravníku pro Crush-can. Světelná čidla kontrolují opět oblast pro druhý kontejner na odřezky a pásový dopravník. Poslední světelná závora se nachází za laserovou komorou (viz. Obrázek 18)

- Blokový náčrt pracoviště Laser003



Obrázek 18 Rozložení pracoviště Laser003 [vlastní zdroj]

Tabulka 1 Legenda k pracovišti Laser003 [vlastní zdroj]

OZNAČENÍ	POPIS
1	Koš na odřezky
2	Proklady na laser
3	Světelná brána
4	Kontrola znečištění vzduchu
5	Electric Enclouser air
6	Diskový laser
7	Zásobník s dopravníkem pro polotovary
8	Svařovací laserová komora
9	Zakrytá spádová plocha
10	Pásový dopravník
11	Pracovník
12	Skladový prostor pro hotové výpalky
13	Prostor pro operátora
14	Skladový prostor pro KLT
15	PC
16	Kontejner na zmetky

### 3.2.3 Popis robota

V této práci je popsán kolaborativní robot s názvem CRX – 10iA/L (viz Obrázek 19) od výrobce FANUC, kterého společnost Shape Corp. před časem zakoupila s vizí budoucího využití na popisovaném pracovišti. Jedná se o lehkého jednoramenného kolaborativního robota o hmotnosti 39 kilogramů. Tento robot disponuje vysokou ochranou proti prachu a únikům oleje a je v souladu s bezpečností normou ISO 10218-1. Díky nízké hmotnosti lze robota snadno nainstalovat v široké škále aplikací. [16]

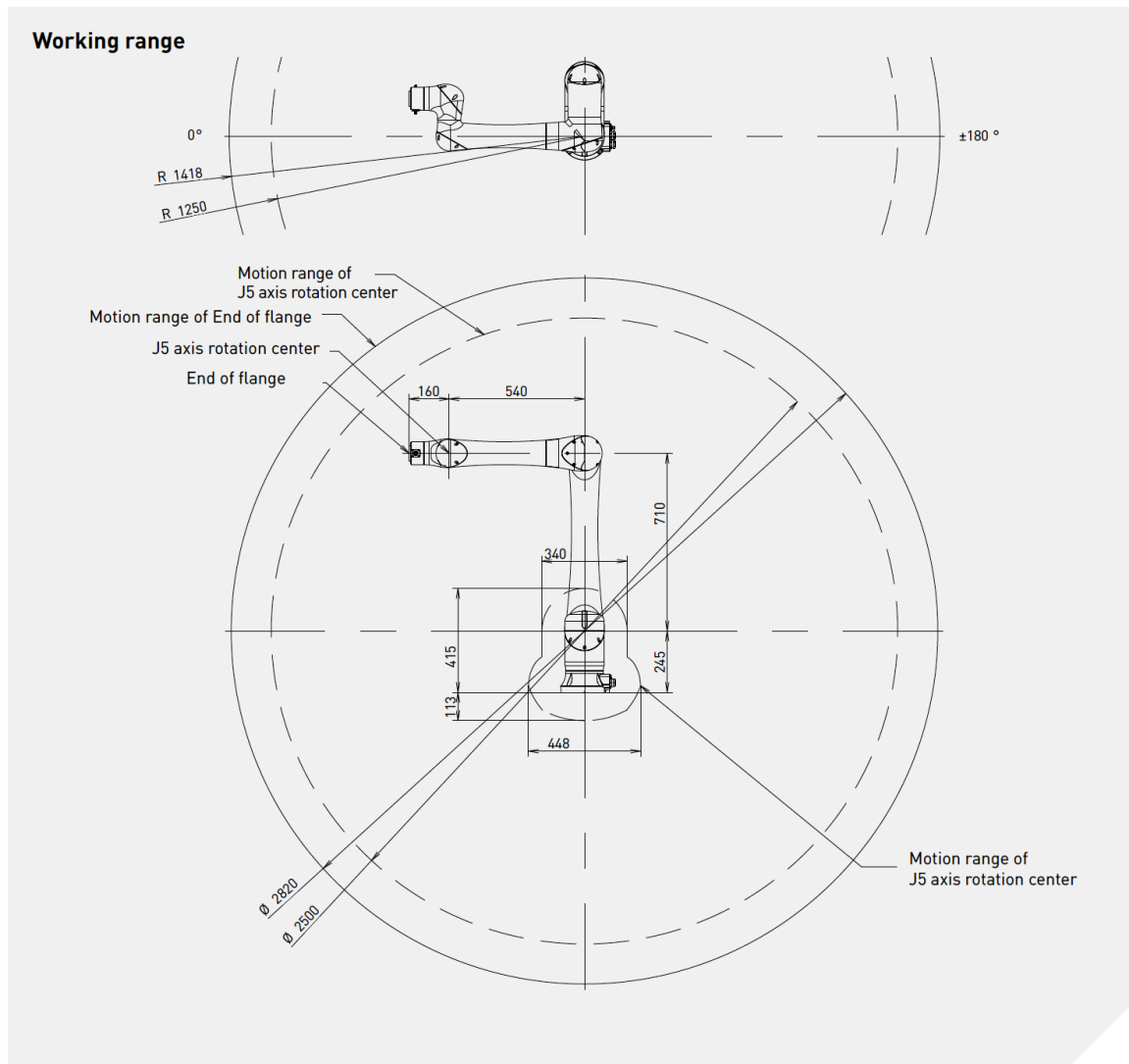
Mezi přednosti tohoto robota patří funkce zastavení při kontaktu. V případě, když by robot zasáhl člověka dojde k nouzovému zastavení a robot se v tento okamžik stane nehybný. Tato funkce nachází uplatnění i u kolizi s vnějším prostředím. Další předností je možnost snadného připojení. Disponuje možností připojit zásuvný software, který umožňuje instalaci rozhraní pro periferní zařízení jako je například systém iRVision, nebo technologie senzorů síly. Robota lze i programovat pomocí ručního navádění. Tato funkce ručního navádění funguje na bázi manipulace s robotem na požadovanou pozici a jejího uložení do tabletu pomocí funkce drag & drop. V rámci ručního navádění lze pouze manipulovat s robotem na vybrané pozice, ale pro práci s efektozem je nutné využít programové bloky pro jeho sevření či uvolnění.

Součástí tohoto robota je i řídicí jednotka R-30iB Plus mini o hmotnosti 19 kilogramů. Disponuje malými rozměry s možností začlenění i do mobilních platforem jako může být například autonomní AGV. [16]



Obrázek 19 Lehký kolaborativní robot CRX - 10iA/L [15]

Kolaborativní robot CRX se pohybuje v šesti-osém prostředí s dosahem 1418 mm od základny. Tento robot se skládá z 6 kloubů, které je možné jednotlivě, nebo současně ovládat v prostoru (viz. Obrázek 20). Robot dokáže manipulovat až s 10 kilogramovým závažím. Robot je schopen pracovat v prostředí od 0 – 45 °C a při pohybu vydává zvuk nižší než 70 decibel. [16]



Obrázek 20 Pracovní prostor kolaborativního robota CRX - 10iA/L [15]

Robot aktuálně neobsahuje strojové vidění, jeho návrh bude součástí praktické části práce.

### 3.2.4 Popis průběhu procesů na pracovišti Laser003

Na začátku každé směny pracovník nejprve zkontroluje místa a předměty dané bezpečnostními předpisy. V případě, že je všechno v pořádku, tak vyčistí stroj od odřezků a dalších zbytků materiálu. Pracovník dále čistí od odřezků i dopravníky, a to dopravníky sloužící k přesunu odřezků, ale i k pohybu výpalků, na které taktéž dopadávají odřezky.

Dalším krokem pracovníka je případně spustit stroj a změřit zkušební výpalek. Podle tohoto zkušebního výpalku se případně přenastaví stroj s tím, že se proces se zkušebním výpalkem opakuje. Při plném běhu stroje pracovník vizuálně kontroluje všechny výpalky vyráběné dle výrobního plánu. Operátor se výhradně zaměřuje na vyřezané otvory a jestli není Crush-can prasklý. V případě, že došlo k porušení Crush-Can musí pracovník zvýraznit toto

porušení červenou barvou. U otvorů je důležité, aby každý otvor byl plně vyříznut a nezbyl žádný ořep.

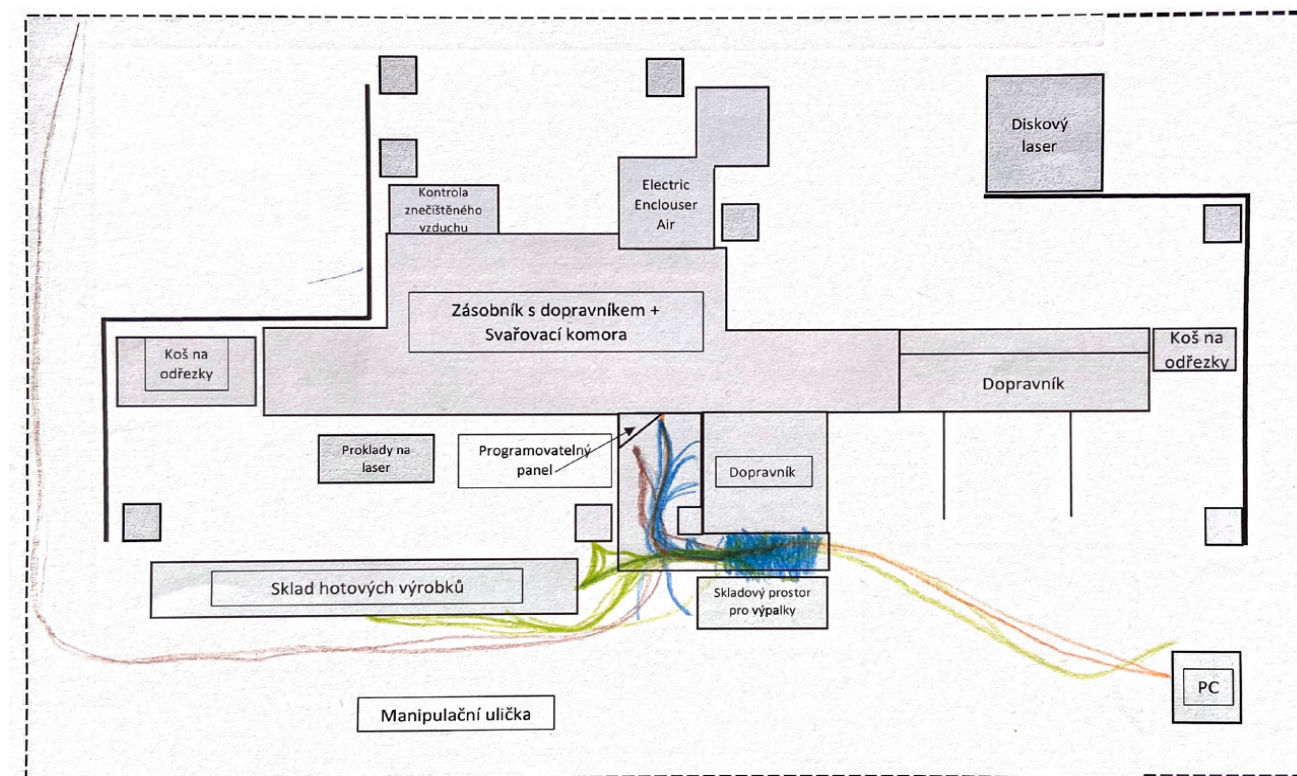
Pracovník při běhu stroje kontroluje zásobník, a to zejména v okamžik, když dochází k najetí nového profilu. Dále si připravuje manipulační jednotky, a to konkrétně KLT do kterých uskladňuje hotové výpalky. Při naplnění maximálního počtu jednotek KLT na jednu paletu pracovník pomocí manipulačního vozíku připraví další paletu s prázdnými jednotkami KLT.

Pracovník na konci každé směny zapisuje počet hotových výrobků na tabuli umístěnou na dveřích laserové komory, tak i do počítače u pracoviště.

### 3.2.5 Spaghetti digram

Pro analýzu pohybu pracovníka v čase byl použit Spaghetti diagram (viz. Obrázek 21). Jedná se o nástroj, jehož funkcí je rozpoznání plýtvání a jejímu zamezení. Tento nástroj se používá pro sledování pohybu materiálu a osob, kdy dojde k zakreslení pohybu pracovníka, či materiálu ve sledovaném prostředí v předem definovaném úseku. [21]

Pro oddělení jednotlivých rozdílností byla využita barevná různorodost z důvodů větší přehlednosti.



#### Legenda

	– Obsluha laserového pracoviště		– Příprava MP
	– Obsluha PC		– Řešení problému se s strojem

Obrázek 21 Spaghetti diagram

Ve Spaghetti diagramu je zaznamenána pouze jedna osoba jejímž úkolem je obsluhovat pracoviště Laser003. V rámci vytvořeného diagramu (viz. Obrázek 21) je i využita barevná rozdílnost pro činnosti vykonávané pracovníkem z důvodu rozpoznání pohybů, které bude možné z automatizovat a které nikoliv. Sledovaný pohyb pracovníka byl rozdělen mezi čtyři kategorie a to:



- Obsluha laserového pracoviště
- Příprava manipulačních jednotek (MP)
- Obsluha PC
- Řešení problémů se strojem

Obsluha laserového pracoviště spočívá v manipulaci s výpalky a jejich kontrolou a její následné umístění do manipulační jednotky. Tato kategorie má vysokou pravděpodobnost provedení automatizace v podobě obsluhování dopravníku kolaborativním robotem.

Mezi další úkoly operátora patří i příprava manipulačních jednotek (standardizovaný typ KLT). Proces přípravy probíhá způsobem přivozu obalených jednotek na paletě operátorem obsluhující vysokozdvizný vozík na zvolené místo. Poté musí pracovník pracoviště rozbalit jednotky a přendat je na paletu sloužící jako místo pro ukládání hotových výpalků.

Činnost obsluha PC se rozumí zapisování počtu hotových kusů a volby programu určující co se zrovna vykonává na pracovišti. Pracovník má na výběr z několika typů činnosti jako je výroba, plánovaný či neplánovaný prostoj, údržba a jiné.

V rámci směny lze předpokládat, že může dojít k chybě v laserové komoře. Tento problém je schopen občas sám vyřešit operátor, nebo je přivolán TeamLeader, který zodpovídá za celou skupinu pracovníků a má dostatečné znalosti vyřešit problémy na všech pracovištích, za které je zodpovědný.

Ve spaghetti diagramu naprosto převládají modré čáry představující pohyb za účelem obsluhy laserového pracoviště. Aspekt rozdílných tras byl způsoben nedočkavostí operátora, než se k místu odběru přiblíží hotový výpalek. Dalším aspektem nejednotné trasy operátora je umístování hotových výrobků do KLT a s tím spojená nejednotná pozice pro ukládání výpalků.

Druhou nejvíce vyskytující kategorií v diagramu je cesta operátora pro manipulační jednotky. Pracovník vybaloval KLT jednotky v okamžik, kdy dokončil kontrolu a umístění výpalku do již připravené jednotky. Po vybalení části jednotek se pracovníkovi nahromadili tři hotové kusy s tím, že po jejich kontrole znovu vybalil část jednotek KLT. Tento způsob je v rámci času sice efektivní, ale není efektivní z pohledu trasy a úspory energie pracovníka.

Třetí kategorií pohybu je v rámci řešení problémů s laserovým pracovištěm, kdy došlo k zastavení výroby. Pracovník v moment zastavení stroje promptně vyhledal TeamLeadera a požádal ho o pomoc. Vedoucí pracovník problém vyřešil a ve druhém případě operátor vyřešil problém sám pomocí programovatelného panelu.

Posledním typem kategorie je Obsluha PC. Pracovník změnil typ programu a zapsal počet hotových kusů.

## 4 Návrh implementace průmyslového robota

V této kapitole dojde k popisu kroků, které vedly k vytvoření návrhu implementace průmyslového robota na pracovišti Laser003, které bylo popsáno v analýze současného stavu. Návrh vychází primárně z požadavků společnosti Shape Corp., analýzy současného stavu a zjištěných nedostatků na pracovišti. Součástí tohoto návrhu je taktéž popsání kritických bodů, u kterých bude navrženo řešení a výběr komponent pro průmyslového robota. Nyní bude tedy popsána specifikace požadavků na výsledný návrh.

### 4.1 Specifikace požadavků

Obsahem návrhu má být vytvoření konceptu pro implementaci průmyslového robota, který by měl nahradit pracovníka obsluhující dopravník laserové buňky, ze kterého odebírá, kontroluje a uskládá výpalky do manipulační jednotky. Návrh implementace by měl obsahovat koncepci, jak by tyto činnosti měl zastávat robot. Součástí návrhu bude i popis úprav pracoviště Laser003 pro úspěšnou implementaci průmyslového robota. Součástí návrhu bude i simulace v programu Roboguide, kde dojde k vytvoření části pracoviště na které bude robot implementován a následně provedeno nasimulování chodu robota. Tato simulace bude sloužit společnosti jako potvrzení navrhované funkčnosti implementace.

Společnost Shape Corp., usiluje o implementaci průmyslového robota na toto pracoviště z důvodu velké produkce výpalků a mírnou chybovostí pracovníků spočívající ve špatném vyhodnocování zmetků. Pracovník totiž vykonává poslední kontrolu zhotoveného kusu před odesláním s tím, že další kontrolu vykoná až pracovník v jiném závodě, kde v případě nalezení zmetku dojde k vrácení celého balení. Velikost jednoho balení je 432 kusů uloženo ve dvanácti manipulačních jednotkách na jedné paletě. Mimo omezení lidského faktoru si společnost slibuje od implementace ušetření pracovní síly, kterou by případně mohla přeorientovat na jiné pracoviště. Dále si společnost přeje využití již zakoupeného průmyslového robota, pro kterého prozatím nenašla uplatnění.

V rámci nahrazení pracovníka bude nutné aby průmyslový robot disponoval akčními členy, které budou schopny uchopit jednotlivé výpalky. Mezi další schopnosti bude patřit získání informace o uchopeném výpalku a porovnat se vzorovým výpalkem. Osvojení těchto smyslů bude klíčové pro robota, aby mohl nahradit pracovníka na tomto pracovišti, kde pracovník vykonává pouze obsluhu pásového dopravníku laserové buňky. Součástí návrhu bude porovnání jednotlivých komponent pro robota a výběr té nejvhodnější komponenty pro již zakoupeného robota.

V neposlední řadě bude návrh obsahovat případnou úpravu pracoviště, pro co nejsnazší a nejméně nákladnou implementaci, tak aby bylo možné průmyslového robota implementovat. Vychází se z předpokladu získaného z analýzy současného stavu, kde byla objevena řada problémů, pro které bude navrženo řešení. Předpokládá se, že součástí návrhu bude i tvorba přípravku pro laserové pracoviště a případně pro jednotlivé komponenty pro průmyslového robota. Navržené přípravky budou představeny v následujících kapitolách.

## 4.2 Posouzení vhodnosti implementace kolaborativního robota

Při posuzování vhodnosti implementace průmyslového robota na pracoviště Laser003 bylo nahlíženo na již zpracovanou analýzu současného stavu a na jednotlivé činnosti, které v současnosti zastává pracovník. Při zkoumání pracovní náplně pracovníka byly vybrány činnosti, které dokáže vykonávat robot a které nikoliv. Cílem tohoto návrhu je minimalizovat nutnost zásahu pracovníka na tomto pracovišti. Při návrhu byla vypracovaná tabulka, která znázorňuje všechny procesy, které pracovník vykonává a zda-li je možné tyto procesy vykonat robotem (viz. Tabulka 2). Procesy, které může vykonávat robot se spoluprací s teamleadrem (není třeba, aby byl operátor stále přítomen, proto je návrh vykonávat tyto činnosti team leaderem, který je bude řešit po určité časové periodě) zodpovídající za celou skupinu laserových pracovišť jsou označeny jako „Nový stav“ a činnosti vykonávané pouze operátorem jako „Současný stav“.

Tabulka 2 Činnosti vykonávané na pracovišti a jejich možná robotizace

Činnosti vykonávané na laserovém pracovišti při manipulaci s výpalky	Současný stav	Nový stav	
	Operátor	Robot	TeamLeader (TL)
Odběr výpalku	X	X	
Vizuální kontrola	X	X	
Uložení výpalku do MJ	X	X	
Příprava MJ	X		X
Zápis hotových kusů	X		X
Oznámení TL o chybě stroje	X		X

Z výsledné tabulky vychází nutné rozdělení šesti činností na tři, které bude zastávat robot, a tři které budou převedeny na TeamLeadera. Robot je schopen při využití úchopného chapadla odebírat výpalky s nutností instalace přípravku, který umožní stabilní a stálou polohu odběru výpalku. Tento přípravek bude popsán v následujících kapitolách. Robot je taktéž schopen vizuální kontroly výpalků při využití kamery. Kritická místa spojená s kamerou jako je umístění a parametry kamery budou taktéž popsány v následující kapitole. Dalším bodem, který může robot zastávat je ukládání výpalků do manipulačních jednotek. Ukládání a příprava MJ bude taktéž popsána v následujících kapitolách.

První činností, která by byla převedena na TeamLeadera je příprava manipulačních jednotek. Samotný robot si při současném prostorovém uspořádání a dalších aspektů není schopen sám připravit paletu a prázdné manipulační jednotky. Další činností je zápis počtu hotových výrobků do systému. Automatizace tohoto zápisu je možné skrze informaci získané kamerou o počtu zkontrolovaných správných kusů a následně komunikace s databází hotových kusů. Tato automatizace, ale nebude součástí návrhu implementace. Poslední činností, která bude převedena na TeamLeadera je oznámení o chybě stroje odpovědné osobě, která je z pravidla TeamLeader. Robot je vybaven světlem, který signalizuje chybu či kolizi. V případě, že robot nezaměří skrze kameru výpalek v nějakém pravidelném intervalu, může dojít k rozsvícení světla červenou barvou, čímž bude signalizovat chybu TeamLeaderovi.

Z tabulky 2 vyplývá, že činnosti byly rozděleny v poměru tří činností robot a tří činností TeamLeader z původních šesti činností vykonávané pracovníkem. Zautomatizování tří činností

z šesti celkových se může jevit jako nedostatečné, ale ze Spaghetti diagramu zpracovaném v analýze současného stavu je viditelné, že právě činnosti jako „Odběr výpalku“, „Vizuální kontrola“ a „Uložení výpalků do MJ“ zastává v pracovní náplni pracovníka naprostou většinu ze všech vykonávaných činností.

### 4.3 Návrh výsledného procesu pro implementaci robota

Předpokládaná strategie pro implementaci průmyslového robota předpokládá, že robot bude umístěn před pásovým dopravníkem, tak aby případný pracovník měl při poruše robota stále přístup k pásovému dopravníku. Dalším z důvodu pro toto umístění je kvůli vzdálenosti umístění manipulačních jednotek, tak aby robot dosáhl na každou pozici pro uložení vypáleného dílu.

Odběr výpalku je předpokládán z jedné vybrané pozice, která bude vycházet z dané trajektorie vypáleného dílu po dopravníku, tak aby byla dráha robota pro uchopení a vizuální kontrola co nejkratší a nejméně problematická. Tato skutečnost bude mít značný dopad na dobu trvání manipulačního cyklu robota.

Robot bude odebírat výpalky jednotlivě s využitím úchopné hlavice, tak aby nemuselo dojít k přeuchování výpalku za účelem dodržení krátkého výrobního taktu. Setkáváme se s kritickým bodem a to výběru správné úchopné hlavice robota, tak aby při uchopení nedošlo k zakrytí z žádnému z vyříznutých otvorů. Součástí tohoto kritického bodu je i samotný rozměr crush-can.

Vizuální kontrola bude spočívat v načtení všech stran výpalku, kde byly vypáleny otvory a proveden svar. Předpokládané umístění kamery musí být takové aby byly všechny pozorované otvory a svar viditelný. Způsob umístění kamery bude řešen v dále popsané kapitole v řešení kritických bodů implementace.

Uložení správně zhotoveného dílu bude do manipulační jednotky KLT, která bude situována před pásovým dopravníkem na paletě, jako tomu je doposud. Způsob uložení bude vycházet ze způsobu úchopu, který jak už bylo zmíněno bude zevnitř. Aby byl zachován stávající způsob uložení výpalků v KLT je nutné uchopit výpalek zevnitř, aby nedošlo ke kolizi úchopného efektoru s ostatními výpalky.

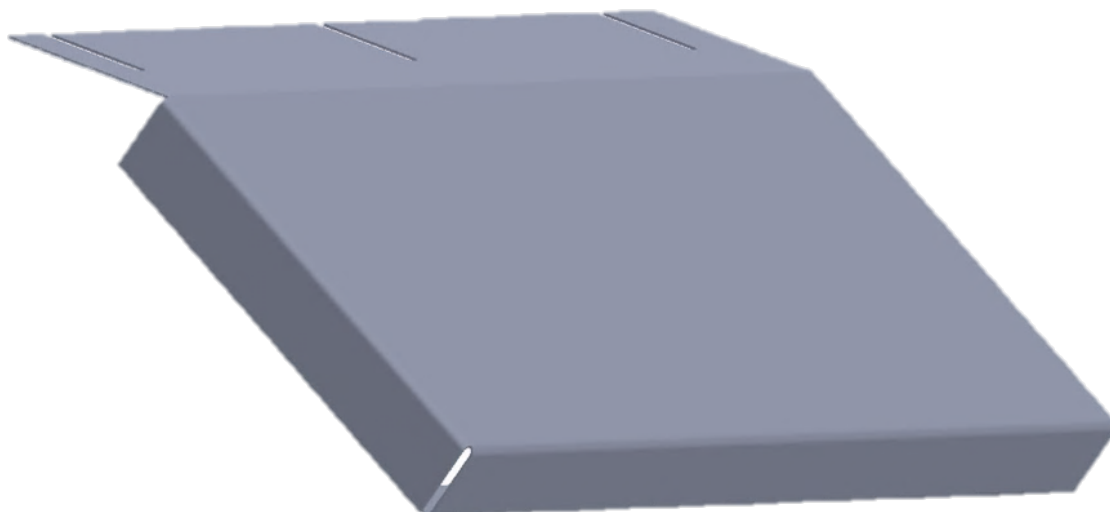
### 4.4 Návrh pracoviště-řešení kritických bodů

Při návrhu implementace byly odhaleny kritické body, které znemožňují přímou implementaci robota a je nutné nejprve vyřešit tyto zábrany. V rámci řešení bude navržena jedna varianta řešení každého kritického místa. Tyto body byly diskutovány s konzultantem této práce, neboli se zaměstnancem společnosti Shape Corp., který potvrdil existenci těchto kritických bodů a správnost řešení nabídnutých variant.

- Náhodná orientace výpalků

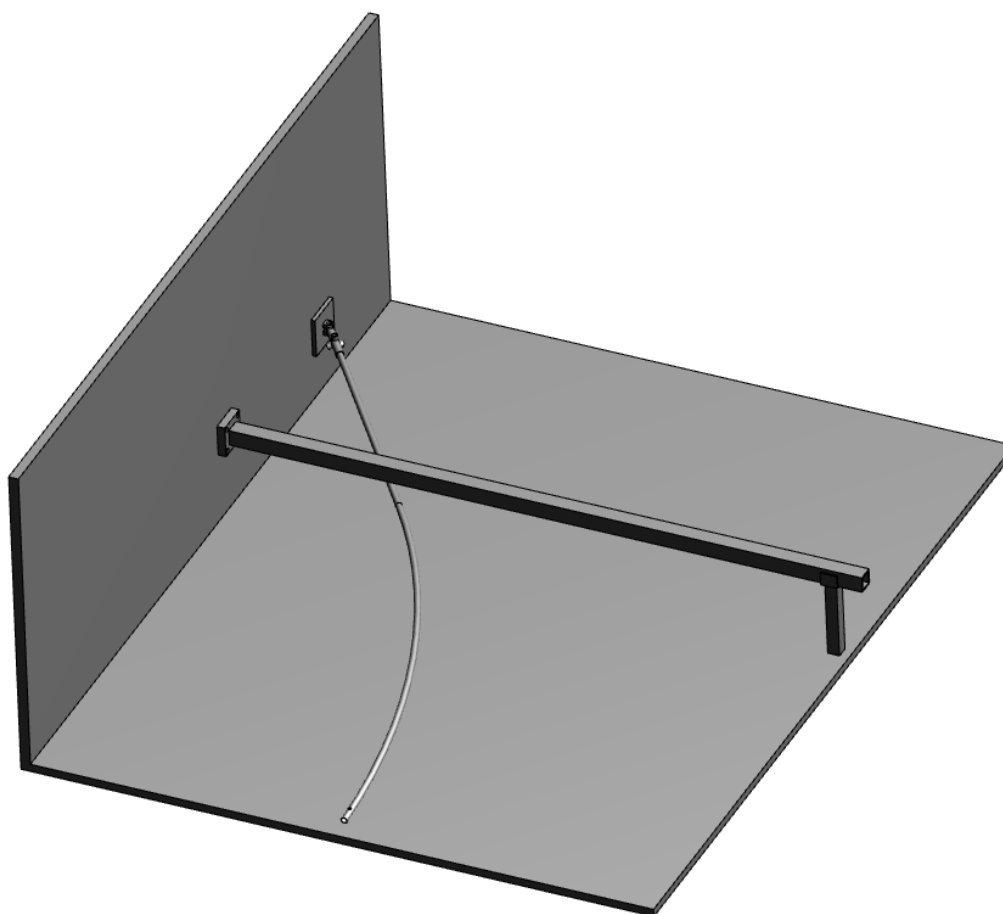
První kritický bod již byl popsán v analýze současného stavu. Jedná se o problematiku spojenou s pohybem dílu po pásovém dopravníku. Problém spočívá v nepředvídatelnosti dopadu výpalku na pásový dopravník, což by výrazně zkomplikoval odběr robotem. Entropie je obecně v automatizaci nežádoucí jev, kterému se snažíme minimalizovat, z důvodu velmi obtížného řešení systému, který by měl být co nejpřesněji popsán.

V rámci řešení tohoto kritického bodu byla navržena spádová plocha (viz. Obrázek 22), na kterou navazuje dopravník, ze kterého by měl robot odebírat výpalky. V rámci řešení došlo k prodloužení strany spádové plochy z důvodu zabránění odrazu výpalku od hrany v laserové komoře, čímž by mělo dojít k částečnému zamezení náhodné orientace výpalku.



**Obrázek 22 Návrh spádové plochy**

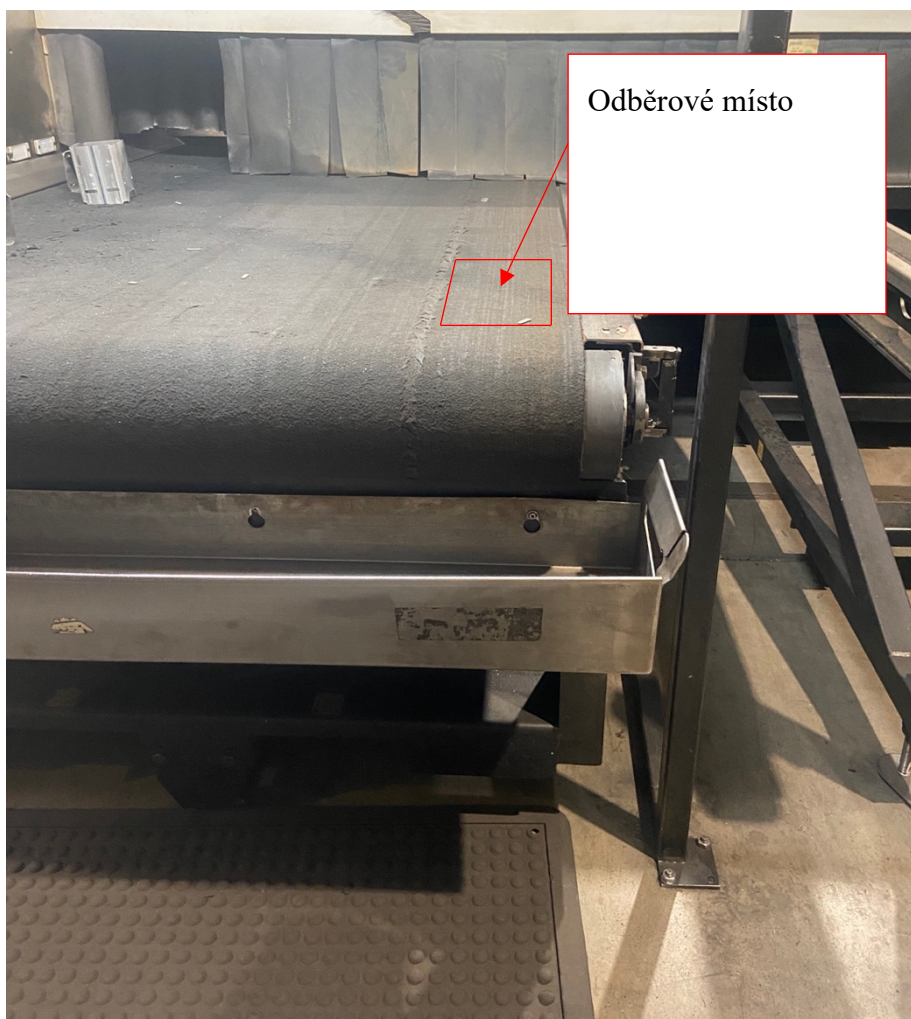
Dalším z přípravků je vodící tyč (viz Obrázek 23), která umožní snadný odběr výpalku přes koncový úchopný efektor na odběrné ploše, která bude definována později jako další z kritických bodů. Tato vodící tyč je umístěna v prostoru, ve kterém se pohybují výpalky na pásovém dopravníku. Konec vodící tyče je spojen se stranou dopravníku nad čidly a druhý konec vodící tyče směřuje k odběrnému místu. Funkce tyče je navádění výpalku z místa dopadu do pozice odběru. Návrh přípravku je orientační a finální realizace bude na společnosti Shape Corp.



**Obrázek 23 Návrh vodící tyče**

- Odběrové místo výpalku pro robota

Dalším z kritických bodů je odběrové místo výpalku (viz Obrázek 24). Jedná se o pozici na pásovém dopravníku ze které bude rameno robota skrze úchopnou hlavici uchopovat výpalky. Tato pozice je důležitá z důvodu časové náročnosti manipulace a identifikace. Princip identifikace je s touto pozicí spjat skrze umístění kamery, která bude popsána taktéž jako kritický bod později. Výhodou tohoto místa je přímý zdroj světelného záření nad touto pozicí, který je již nad dopravníkem umístěn. Pozice v tomto stavu nebude přesně definována, ale v pozdějším návrhu implementace bude uvažována pozice v levé dolní části dopravníku z pohledu laserové komory. Předpokládáme pozici výpalku orientovaného okrajovými výřezy, ke konci dopravníku. Přípravek na dopravníku zaručuje položení výpalku širší stranou na pás. Zabezpečení trajektorie výpalku na definovanou pozici bude zajištěno již popsanými přípravky řešené v předcházejících kritických bodech.



Obrázek 24 Předpokládaná odběrová pozice

- Způsob uchopení dílu

Uchopování výpalku je problematické z důvodu umístění vyříznutých otvorů a samotným rozměrům výpalků. Při uchopování nesmí dojít k zakrytí žádného z vyříznutých otvorů při uvažované strategii uchopování na jeden cyklus, bez nutnosti přeuchopování z důvodu dodržení krátkého výrobního taktu. Jediná možnost, jak díly tedy uchopit je ze vnitř. Pro uplatnění této strategie je nutné využití koncového úchopného efektoru s dostatečným rozpětím vnitřní vzdálenosti kleštin.

- Umístění kamery

V návrhu strategie implementace byl zmíněn postup, jak by proces vizuální kontroly měl vypadat. Jedním z klíčových prvků je spojení s umístěním kamery. Obecně existují dvě možnosti umístění kamery a to způsob statického umístění kamery mimo rameno robota a druhým způsobem je umístění kamery právě na rameno robota a to konkrétně na jeho hlavu. Tento způsob by byl problematický z důvodu možné kolize kamery s uchopeným výpalkem a malé vzdálenosti od výpalku ke kameře. Z tohoto důvodu je uvažováno, že výsledná implementace bude pracovat s kamerou umístěnou mimo robotické rameno. Místo umístění kamery, musí mít stabilní světelné podmínky pro zobrazení dostatečného detailu. Způsob umístění kamery bude popsán v následující kapitole.

- Umístění MJ

Dalším z problematických bodů je umístění palety respektive všech manipulačních jednotek umístěné na paletě. Přesně stanovená pozice pro umístění OK výpalků usnadní tvorbu programu robotického ramene.

V rámci řešení tohoto kritického bodu byla navržena zarážka sloužící pro zaražení palety do místa pro robota optimální (viz Obrázek 25). Zarážka je vyšší než samotná paleta a to z důvodu přesného umístění i samotných manipulačních jednotek, které je možné do sebe setovat a tím by mělo dojít k přesnému vymezení pozic pro uložení hotových výpalků.



Obrázek 25 Zarážka

- Dodržení výrobního taktu

Nejproblematictější prvkem této implementace je dodržení dvaceti sekundového výrobního taktu výpalku. Tento kritický bod bude řešen skrze každou část implementace a to uchopování, vizuální kontrola a ukládání dílu do manipulační jednotky. Odladování procesu trajektorie pohybu robota, který bude trvat nejdelší dobu bude odladován v programu Roboguide v předposlední podkapitole.

#### 4.5 Výběr komponent nutných pro úspěšnou implementaci

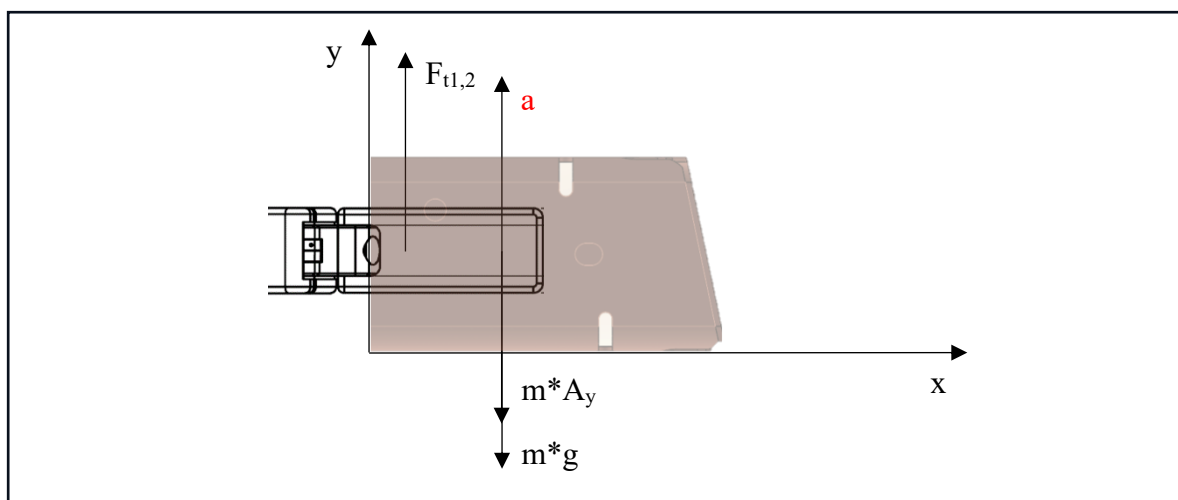
V rámci návrhu implementace je nutné vybrat takové komponenty, které umožní robotovi vykonávat funkci, které doposud vykonává člověk. Jak již bylo zmíněno robot musí ovládat

dva smysly a to vidění a uchopování. Na trhu je několik výrobců komponent pro manipulační roboty. Obvykle nabízí rozsáhlý sortiment všech typů a jako výrobci si snaží udržet jejich ekosystém, co se týče komunikačního rozhraní mezi komponenty, robotem a ovladačem. Společnost Fanuc se svými dodavateli nabízí CRX Plug-in, který umožňuje snadnou komunikaci mezi robotem a rozhraním. Tato skutečnost bude brána v potaz v rámci této implementace a tudíž se budeme orientovat pouze na komponenty od výrobce Fanuc, či od výrobců doporučených od Fanuc, který nabízí zmíněný doplněk.

#### 4.5.1 Úchopný koncový efektor

Mezi požadované parametry a funkce pro úchopné hlavice sloužící k manipulaci s výpalkem patří dostatečný rozsah uchopovacích kleštín. V rámci implementace se předpokládá, že bude nutný úchop zevnitř výpalku. Tento způsob úchopu je z důvodu zamezení zakrytí vypálených otvorů. Dalším parametrem je síla, kterou hlavice je schopná působit na výpalek skrze kleštiny. Při využití kleštiny s nedostatečnou silou vyprodukovanou na strany výpalku nemusí dojít k úchopu, a nebo k neudržení samotného výpalku při pohybu robota při úchopu výpalku ve vyšších rychlostech. Dalším z pozorovaných parametrů je napájení úchopné hlavice. Tento parametr je důležitý z důvodu nutnosti přívodu pracovního média na pracoviště. Dalším faktorem který je obecně důležitý je hmotnost samotného efektoru. V tomto případě, pro tuto implementaci není příliš důležitá z důvodu nízké hmotnosti samotného výpalku a tudíž nepatří v tomto případě mezi porovnávané faktory.

Pro určení minimální požadované síly včetně bezpečnosti, kterou musí vyvinout úchopný efektor na výpalek je nutné znát tyto parametry a platí následující diagram:



Obrázek 26 diagram působících sil

$A_y = 1,5 \text{ [m/s}^2\text{]}$  - Maximální zrychlení robota

$m = 0,429 \text{ [kg]}$  – hmotnost výpalku

$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$  – gravitační zrychlení

$f = 0,5 \text{ [-]}$  – součinitel tření mezi pryží a ocelí

$k = 2 \text{ [-]}$  - bezpečnost

$$F_t \geq \frac{m * (A_y + g)}{2f} * k \geq \frac{0,429 * (1,5 + 9,81)}{2 * 0,5} * 2 \geq 9,7 \text{ N} \quad (1)$$

Při znalosti těchto zmíněných faktorů byly vybrány od několika výrobců koncové úchopné efektor, které budou následně mezi sebou porovnány (viz Tabulka 3). Tabulka 3 obsahuje



výrobce s označením efektorů a pozorované faktory. V případě, že efektor splňuje požadované faktory je buňka označena jako „Ano“. V případě, že požadovaná vlastnost efektoru není splněna, je buňka označena jako „Ne“. Dále je zmíněno médium, kterým je hlavice napájena.

**Tabulka 3 Porovnání pozorovaných faktorů úchopných efektorů**

<b>Porovnání jednotlivých efektorů od různých výrobců z pohledů klíčových parametrů</b>							
Výrobci / Porovnané faktory	Schunk-EGU (dvouprsté)	Unigripper-CO/Light	SMC – Air Gripper	CKD- Gripper CRX	Robotiq – 2F 140	Weiss-Gripkit	New Era – Gripper for CRX
Požadovaný rozsah kleštin	Ano	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	Ne
Možnost vnitřního úchopu	Ne	Ne	Ano	Ne	Ano	Ne	Ne
Úchopná síla efektoru	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Napájení hlavice	Elektrické	Vzduch	Vzduch	Elektrické	Elektrické	Elektrické	Elektrické

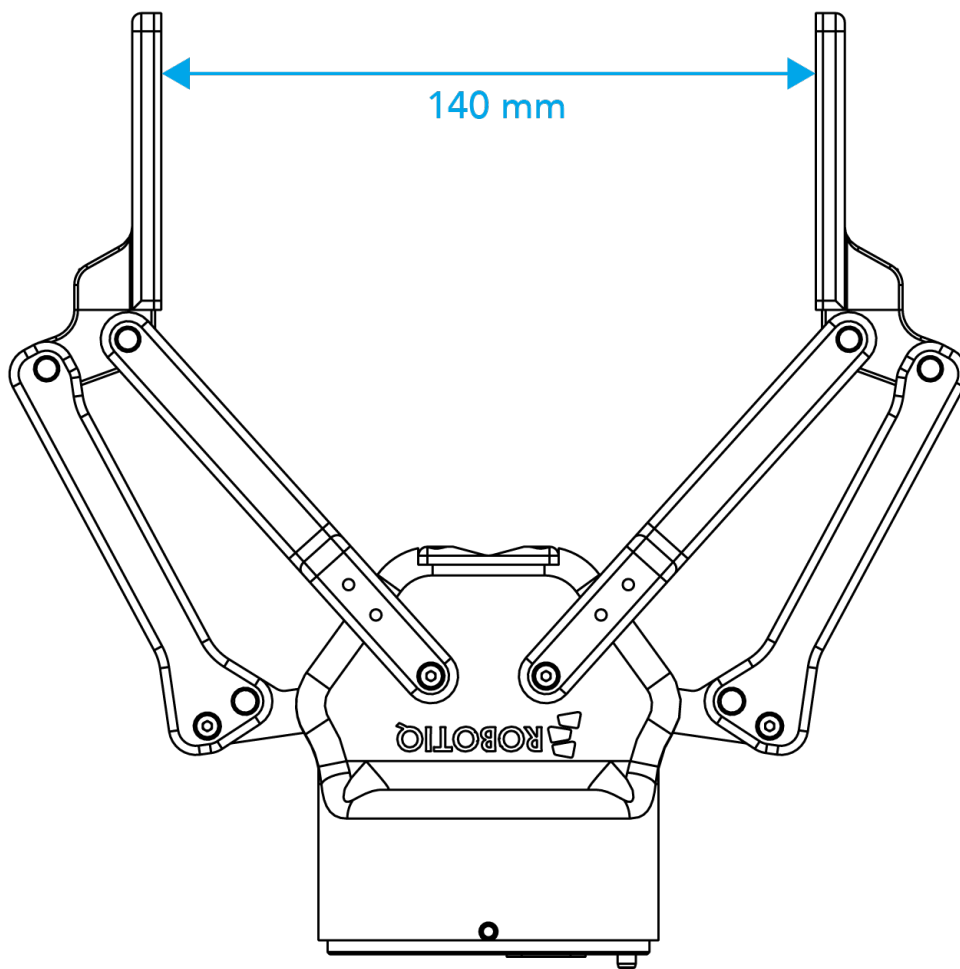
Z Tabulky 3 vychází jediný možný úchopný efektor od značky Robotiq s označením 2F – 140.

- Robotiq 2F - 140

Jak již bylo zmíněno v rámci návrhu implementace průmyslového robota byl vybrán koncový efektor od firmy Robotiq a to konkrétně model 2F – 140. Tento model lze využít u kolaborativních robotů a obsahuje CRX – Plugin, což bylo v rámci implementace na robota typu CRX od značky Fanuc žádoucí a spadalo to pod hlavní faktory výběru.

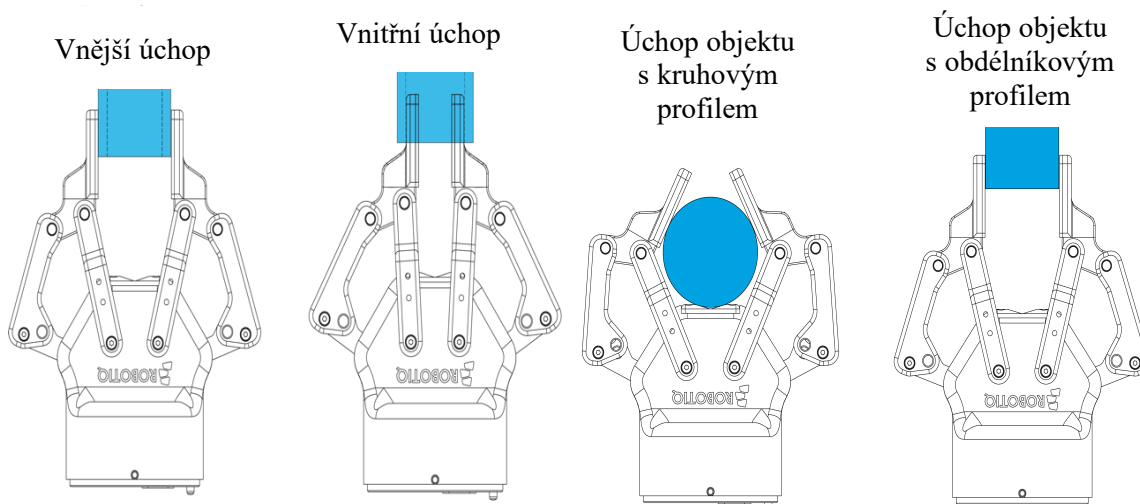
Mezi konstrukční vlastnosti efektoru patří rozpětí kleštin, které je až 140 mm a tudíž z výsledného výběru jako jediný dokáže uchopit výpalek (viz Obrázek 27). Síla úchopu je od 10 N až po 125 N a tudíž dokáže stabilně uchopit zmíněný výpalek, což z porovnání efektorů dokázali všechny modely. Dalším parametrem je rychlost uzavírání kleštin efektoru, která je až 250mm/s. Tato rychlost naznačuje, že případný úchop výpalku bude realizován v rámci zlomku sekundy a výslednou implementaci nebude zpomalovat úchop. Úchopný efektor s označením 2F – 140 je zkonstruován s ratingem IP40, což znamená, že je odolný před vniknutím cizích těles o maximálním rozměru 1 mm. Tato vlastnost je dostačující, dále na pracovišti nedochází k výskytu žádných kapalin, které by mohli ovlivnit životnost efektoru. Výrobce nabízí tento efektor i s přípravkem pro možnost využití dvou úchopných efektorů současně na jednom robotovi. [22]

## 2F-140



Obrázek 27 Maximální rozsah úchopu efektoru 2F – 140 [22]

Mezi významnou konstrukční výhodou úchopného efektoru patří možnost vnitřního úchopu. Čapadla samozřejmě dokáže uchopovat objekty i z vnějšku (viz Obrázek 28). Na stejném obrázku je i viditelné, že efektor může uchopovat objekty s kruhovým profilem.



Obrázek 28 Možnosti uchopování objektů 2F – 140 [22]

Z pohledu bezpečnosti výrobce uvádí, že úchopný efektor 2F – 140 má být použit pouze za účelem využití s průmyslovými roboty a výsledná implementace má splňovat všechny bezpečnosti prvky, tak aby bylo zabráněno jakémukoliv úrazu. Takle skutečnost má být realizována integrátorem efektoru. Společnost informuje, že může dojít k nebezpečným situacím, kdy je nutné zahrnout do implementace další bezpečnostní faktory aby byla stále dodržena bezpečnost procesů. [23]

#### 4.5.2 Kamera pro vizuální kontrolu

Jedním ze třech úkonů co má robot vykonávat je vizuální kontrola výpalku. Vizuální kontrola spočívá v nasnímání výpalku a to konkrétně svaru výpalku, který je situován na jedné straně výpalku a vypálených otvorů na zbylých třech stranách výpalků. V rámci toho je nutné vybrat komponentu, která bude schopna zmíněné vizuální kontroly. Z důvodů maximálního využití již zakoupeného robota od značky Fanuc je v zájmu implementace a kompatibility (požadavek od společnosti Shape) vybrat řešení taktéž od značky Fanuc. Společnost se v tomto případě zaměřuje na výrobu vlastních kamer na rozdíl od efektorů.

Kamery od této společnosti využívají systém iRVision, který je plně integrován v systému a nevyžaduje další zařízení, jako počítače či další obrazovky v rámci vizuální kontroly. Vision proces lze vytvořit buď na samotném pendantu, nebo ve webovém prohlížeči. Společnost Fanuc uvádí, že systém iRVision je plně implementovaný do spolupráce s jakýmkoli typem robota od této značky a využití tohoto systému je možné v jakýmkoli typu průmyslu, jako je například automotive, vesmírný a zdravotnický. [23]

Systém Fanuc iRVision nabízí možnost 2D a 3D systémů s možností detekovat pohybující se součásti různých velikostí a tvarů. Jednou z dalších výhod tohoto systému je možnost snímání a tedy i odběru jakkoliv orientovaného objektu. Kamera od společnosti Fanuc s tímto systémem je schopná rozpoznávat barvy a číst 1D a 2D čárové kódy a samozřejmě taktéž QR kódy. [23]

Mezi nabízené typy Vision systémů od společnosti Fanuc patří následující systémy, ze kterých je nutné zvolit vhodný pro tuto aplikaci:

- 2D Vision

Jedná se o systém který je schopen pracovat ve dvou osách respektive ve 2D prostředí s možností jakékoli natočením onoho prostředí. Tento systém patří mezi základní varianty a umožňuje snímat objekty, které se nepohybují. Společnost Fanuc slibuje tímto systémem zvýšenou flexibilitou výroby a možnost manipulovat s materiálem, odebírání objektů z palet a vizuální kontrolu. [24]

- 3D Laser Vision

Tento systém, který se označuje jako iRVision 3DL, je schopen pracovat v trojrozměrném prostředí a to v souřadnicovém systému X, Y, Z, W, P a R. Jedná se o hybridní senzor, který umožňuje snímání objektů ve třech rovinách. Systém využívá světelné záření pro detekci objektů. Výhodou tohoto systému je možnost rozeznat různé typy povrchů materiálů, jako je třeba rez a zbarvení materiálu. [25]

- 3D Area Sensor

Tento typ 3D senzoru využívá projektor světla pro možnost 3D měření. Sběr nasnímaných dat je ve třech rozměrech způsobem působení strukturovaného světelného záření, což přináší rychlí a spolehlivý výsledek měření. Tento typ senzoru nachází uplatnění zejména u odběru z palet a manipulačních jednotek, kde je materiál náhodně orientovaný ve velkých shlucích. [25]

- 3D Vision Sensor

IRVision s využitím 3D Vision sensor využívá projektor světla pro možnost 3D měření. Sběr nasnímaných dat je ve třech rozměrech způsobem působení strukturovaného světelného záření což přináší rychlý a spolehlivý výsledek měření. Systém 3DV může být využit pro odběr objektů z palet, kittování, vybírání z boxů, OK/NOK kontroly a další. Tento typ systému lze využít taktéž pro 2D aplikace v podmínkách nízkého kontrastu, nebo těžko rozpoznatelné objekty. [25]

Po představení jednotlivých systému, které společnost Fanuc nabízí je nutné vybrat z těchto zmíněných systémů.

Jak již bylo zmíněno v analýze současného stavu mezi kritická místa výpalku patří otřepy na samotném výpalku a prasknutí v místě svaru. V podkapitole předpokladu návrhu implementace je uveden předpoklad odběru pouze jednoho dílu z pásového dopravníku s tím, že nedojde k výskytu dalších objektů v odběrovém místě. Všechny tyto skutečnosti jsou klíčové pro výběr Vision systému.

Při porovnání vychází použití kamery, která je schopna měřit a vnímat prostor ve třech dimenzích jako nadbytečné. Pro vizuální kontrolu je dostačující vnímat obraz pouze ve dvou osách s možností porovnávat jestli je zkoumaný obraz totožný, nebo v definované míře podobný. Z tohoto důvodu bude použit systém 2D Vision.

- Finální výběr kamerového systému

Po výběru vision systému byla kontaktována společnost Fanuc, která nabídla v rámci implementace jeden typ kamery s označením SC130EF2 (viz Obrázek 29). Jedná se o kameru bez možnosti vnímání barev. Kamera nabízí možnost rozlišení až 1280 x 1024 pixelů. Kamera je dodávána s několika typy objektivů, kde byla zvolena varianta s 12 mm ohniskové vzdálenosti s označením LX-1-RO-VI-16-0-004 (viz Obrázek 29). Důvod pro tuto ohniskovou vzdálenost bude popsána v následující kapitole. Hmotnost kamery je 0,6 kilogramů s tím, že tento parametr v rámci implementace není důležitý z důvodu umístění kamery mimo rameno robota, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole. Kamera splňuje možnost kompatibility s řídicí jednotkou R-30iB plus mini a je možné ji propojit i se zbylými řídicími jednotkami dodávané společností Fanuc. [26]



Obrázek 29 Kamera SC130EF2 s objektivem LX-1-RO-VI-16-0-004 [vlastní zdroj]

#### 4.6 Návrh implementace komponent

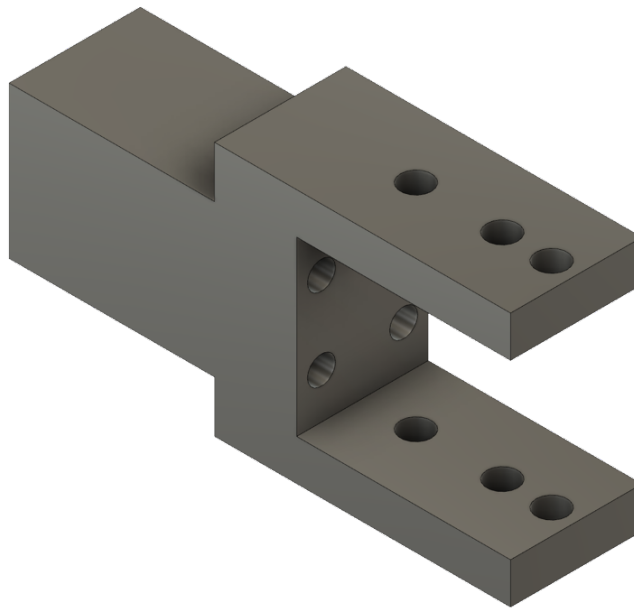
Po výběru jednotlivých komponent, který byl popsán v předchozí kapitole bude součástí návrhu i způsob implementace navržených komponent. Tento návrh bude obsahovat jak samotné umístění komponent, ale i jejich instalaci a uvedení do provozu.

- Umístění kamery

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole v popisu kritických míst, tak kamera bude umístěna mimo rameno robota. Na pracovišti je umístěna konstrukce sloužící jako nosný prvek světla s návodkou pro vizuální kontrolu výpalků pro operátory. Kameru lze umístit na tuto konstrukci s tím, že je nutné kameru vybavit přípravkem, na kterém bude kamera držet. Výhodou tohoto umístění je, že konstrukce není nijak spojena se strojem, nebo robotem a tudíž, není nutné se obávat vibrací, které by mohli značně ovlivnit kvalitu obrazu kamery.

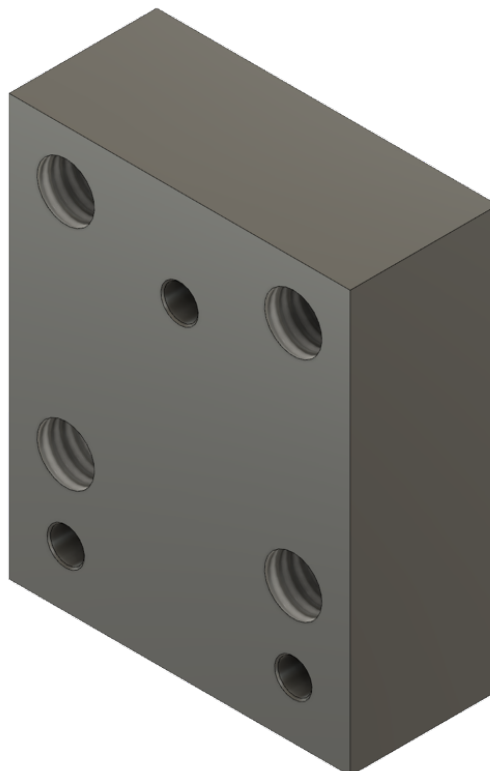
V rámci řešení umístění kamery byl vytvořen přípravek pro zmíněnou kameru. Jedná se o dva kusy, sloužící k uchycení samotné kamery a k uchycení k již zmíněné konstrukci.

První část, která je spojena s konstrukcí slouží k samotnému uchycení, ale i k získání potřebné vzdálenosti nad dopravníkem nutné k pozorování pohybujících se výpalků. Přípravek má tvar „Y“ (viz Obrázek 30) z důvodu ušetření materiálu a má 10 otvorů sloužící k uchycení ke zmíněné konstrukci a k uchycení k redukci pomocí šroubových spojů.



**Obrázek 30 Přípravek pro uchycení k redukci a konstrukci**

Druhá část (viz Obrázek 31) slouží pouze jako redukce mezi kamerou a držákem. Nutnost využití redukce je z důvodu rozměrů závitu na kameru a velké výšce samotného držáku. Redukce má čtyři otvory se závity, které slouží ke spojení s příprvkem pomocí šroubů. Další 3 otvory slouží ke spojení s kamerou taktéž pomocí šroubů se závitem M3.



**Obrázek 31 Redukce pro kameru a držák**

○ Výška umístění kamery

Výška umístění kamery nad výpalkem je důležitým parametrem pro implementaci. Výška umístění kamery ovlivňuje jak samotnou vizuální kontrolu, ale i robotické rameno respektive jeho trajektorii, kterou robotické rameno musí urazit. V případě, že kamera bude umístěna ve velké vzdálenosti od snímaného prostoru, aby byl snímání prostor kamery co největší, bude muset robotické rameno urazit velkou vzdálenost, jejíž zdolání prodlouží takt obsluhy robotického ramene. V případě malé vzdálenosti kamery od snímaného prostoru setkáváme se s opačnou situací a to s menším snímaným prostorem a kratší trajektorií. Kratší vzdálenost otevírá možnost viditelnosti detailů na snímaném objektu. Z předpokladů implementace vycházíme, že pozice pro odebrání výpalku z pásu bude fixní a to taktéž platí pro manipulační jednotku, která bude sloužit pro ukládání vypálených dílů. Z tohoto lze předpokládat, že cesta s větší snímanou plochou není nutná a za těchto předpokladů přináší pouze negativa pro implementaci.

Výsledná výška byla určena z experimentu, který bude představen v bodě tvorby programu pro kameru. Ze začátku experimentu byla určena vzdálenost kamery od snímané hrany výpalku. Tento proces spočíval v ladění vzdálenosti, kterou kamera potřebovala pro snímání detailu za uspokojivou dobu s určitou přesností. Tato vzdálenost je 318 milimetrů. Při této vzdálenosti vznikla snímaná oblast, která je viditelná v bodě tvorby programu pro kameru. Parametry nutné k určení velikosti snímané oblasti je výška umístění kamery od snímané strany výpalku  $M_r$ , která je jak již bylo zmíněno 318 mm. Dalším parametrem je samotný rozměr kamery  $V_k$ , jelikož výška je určena od konce konektoru kamery. Tento rozměr kamery je 113 milimetrů. Parametrem nutným k výpočtu je vzdálenost kamery od konektoru k image surface  $K_k$ , což je 50,7 milimetrů. Určená focal distance je taktéž nutným parametrem k výpočtu a jak již bylo zmíněno v popisu kamery, byla vybrána vzdálenost 12 milimetrů. Posledními parametry je velikost image senzoru a to jak pro osu x a y. V ose x je rozměr senzoru 6,88 mm a pro osu y je 5,42 mm. Výpočet pro určení přesné velikosti daného pole je následující:

$L_x$  [mm] – Velikost snímaného pole v ose x

$L_y$  [mm] – Velikost snímaného pole v ose y

$M_r = 318$  [mm] – Výška umístění kamery

$V_k = 113$  [mm] – Rozměr kamery od objektivu ke konektoru

$K_k = 50,7$  [mm] – Rozměr kamery od konektoru k image surface

$F_d = 12$  [mm] – Focal length (ohnisková vzdálenost)

$L_{cx} = 6,88$  [mm] – Rozměr image senzoru v ose x

$L_{cy} = 5,42$  [mm] – Rozměr image senzoru v ose y

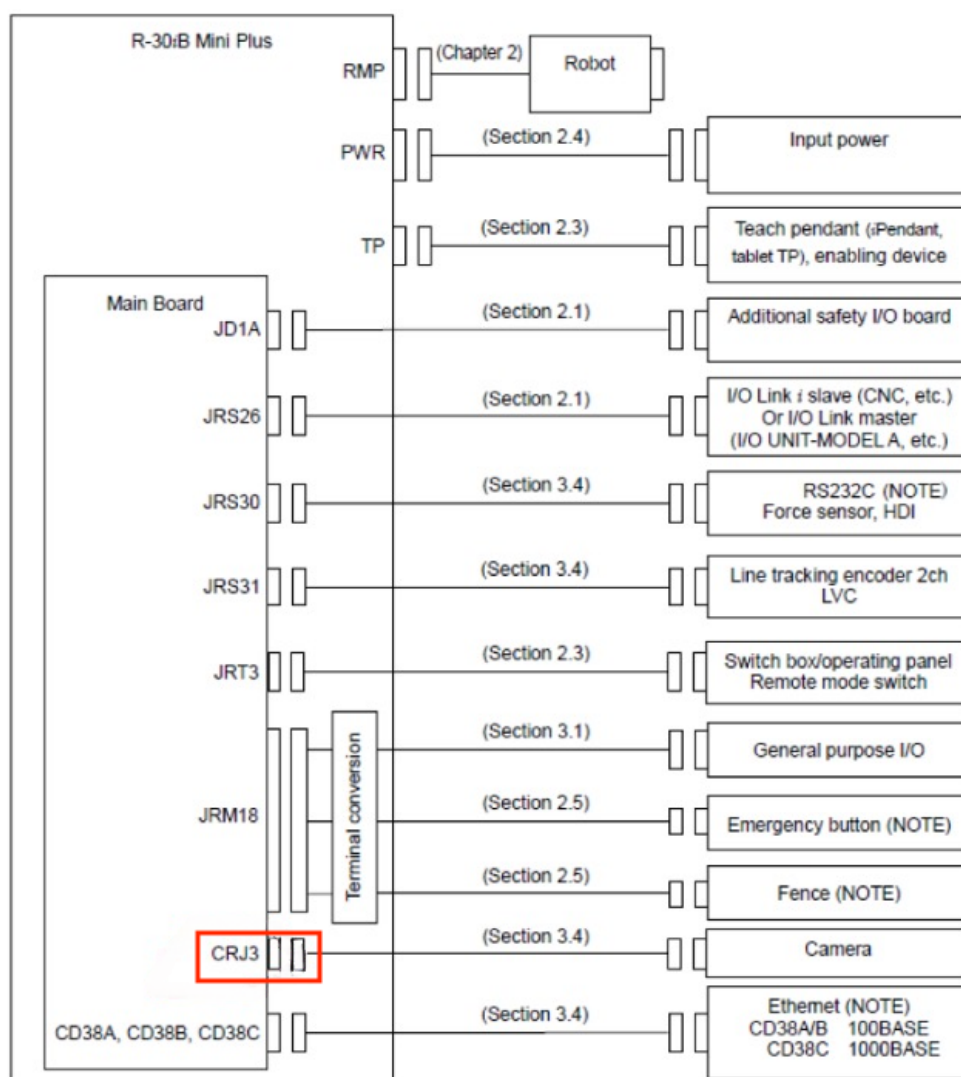
$$L_x = \frac{(M_r - V_k + K_k - F_d)}{F_d} * L_{cx} = \frac{(318 - 113 + 50,7 - 12)}{12} * 6,88 = 139,7 \text{ mm} \quad (2)$$

$$L_y = \frac{(M_r - V_k + K_k - F_d)}{F_d} * L_{cy} = \frac{(318 - 113 + 50,7 - 12)}{12} * 5,42 = 110,0 \text{ mm} \quad (3)$$

Tyto vzdálenosti naskýtají možnost přesahu snímaného předmětu, což by mohlo sloužit jako prostor v případě, kdy by došlo k neideálnímu uchopení výpalku koncovým úchopným efektoem.

- Zapojení kamery

Kameru je nutné zapojit přímo do řídicí jednotky R-30iB Mini Plus a nikoliv do konektoru samotného robota. V rámci tohoto zapojení je nutné upravit výstup řídicí jednotky, která je zapečetěna z důvodu zabránění znečištění vnitřku řídicí jednotky. Za účelem zapojení je tedy nutné vytvořit otvor pro kabel sloužící k propojení kamery s řídicí jednotkou. Kamera se v řídicí jednotce zapojuje přímo na hlavní desku řídicí jednotky přes konektor s označením CRJ3 (viz Obrázek 32). Schéma bylo vyžádáno od společnosti Fanuc z důvodu nestandardního případu využití fixně umístěné kamery s jednotkou R-30iB Mini Plus.

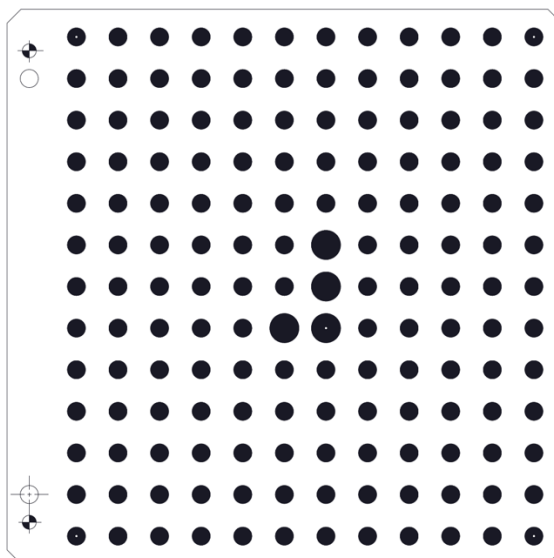


Obrázek 32 Schéma zapojení kamery

- Kalibrace kamery

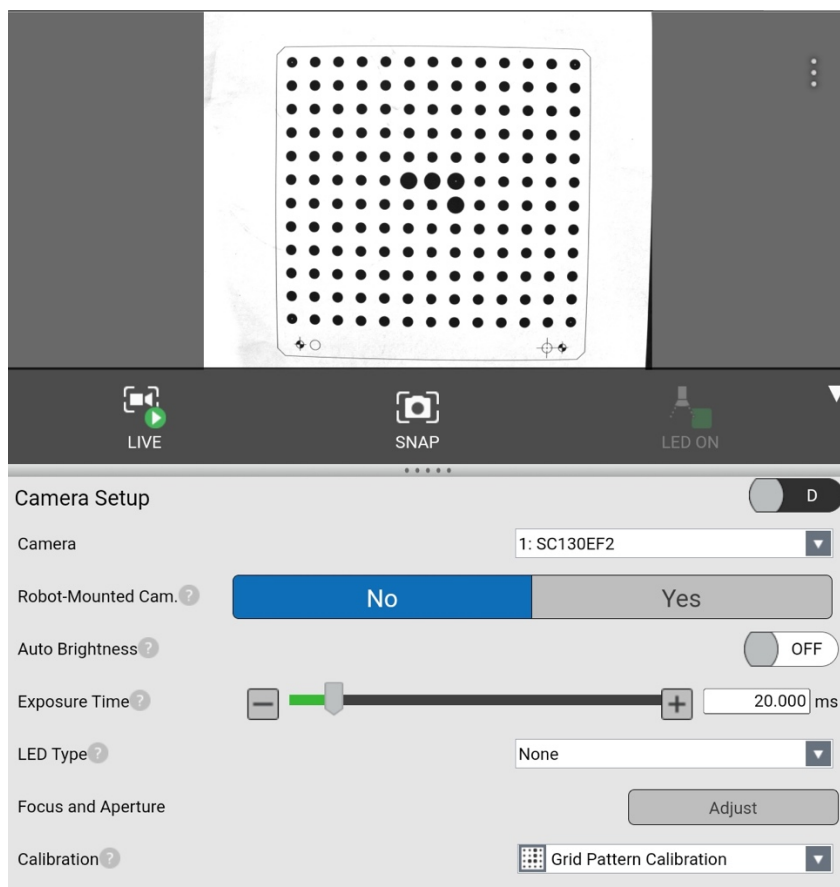
V rámci zapojení uvedené kamery do provozu aby byla plně funkční pro navrhovanou aplikaci, je nutné provést kalibraci kamery. Ke kalibraci kamery je od výrobce dodáván kalibrační panel (viz Obrázek 33) obsahující 156 obrazců sloužící ke kalibraci. Důležitým parametrem je vzdálenost mezi jednotlivými obrazci, která je v tomto případě 11,5 mm. Tento parametr využijeme v pozdější části samotné kalibrace. Kalibrační proces se skládá z procesů: nastavení kamery, nastavení kalibračního procesu, lokalizace kalibračního panelu, kalibrace, zobrazení kalibračních bodů a vyhodnocení procesu kalibrace. Kalibrace bylo prováděna na pendantu robota.





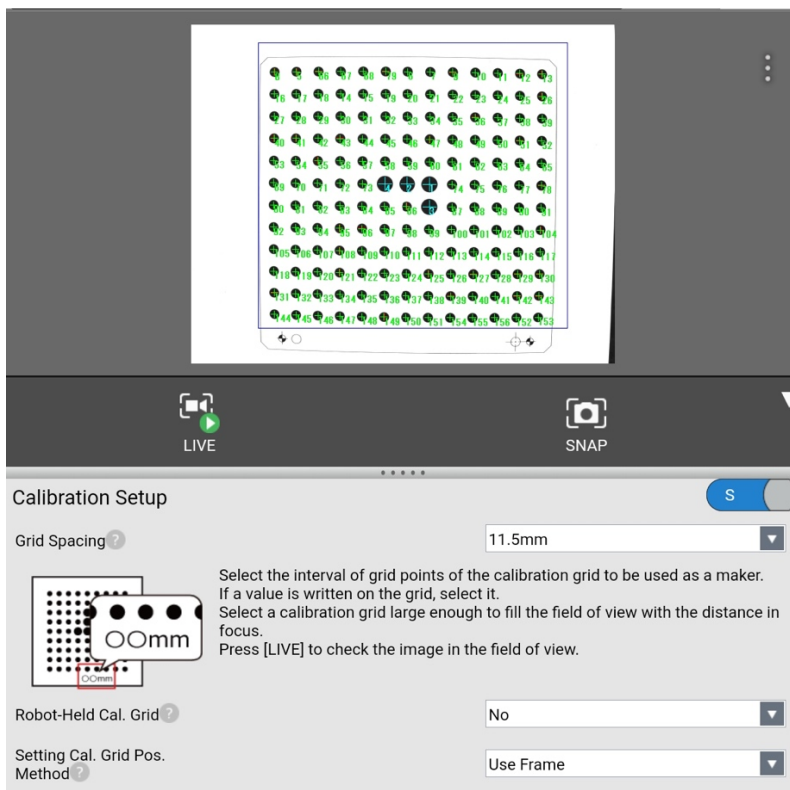
Obrázek 33 Kalibrační panel

Prvním krokem samotné kalibrace je nastavení kamery (viz Obrázek 34), kterou chceme kalibrovat. V tomto případě se jedná jak již bylo zmíněno o kameru SC130EF2 a vybereme ji z výběru. Možnost výběru je v tomto případě z důvodu využívání více kamer. V druhém bodě je možnost zvolit umístění kamery. V popisu kritických bodů bylo zmíněno, že kamera bude umístěna ve fixní poloze mimo robotické rameno. Kamera v tomto případě není vybavena světelným zdrojem, protože v rámci pracoviště již využijeme světelný zdroj na konstrukci. Dále zvolíme možnost kalibrace přes kalibrační panel.



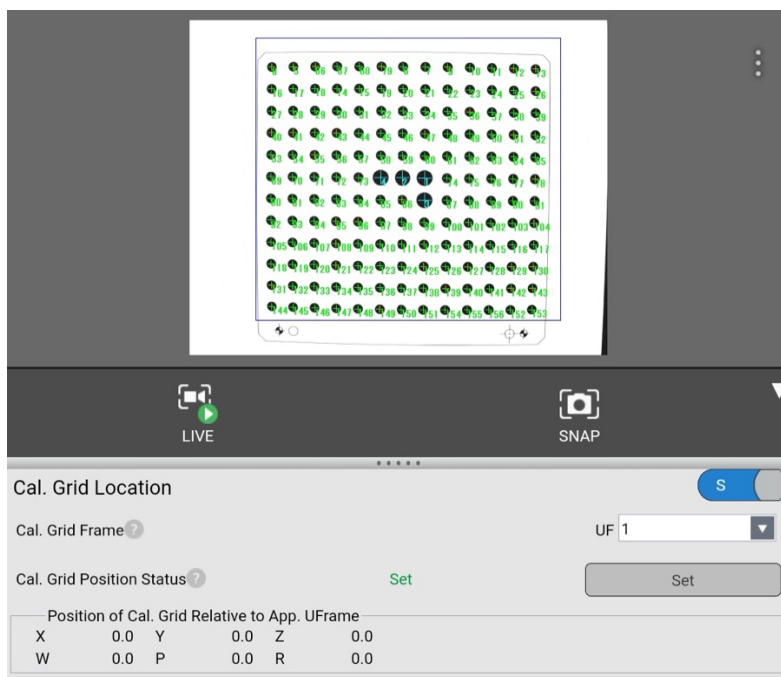
Obrázek 34 Kalibrace kamery část 1.

Druhým krokem je prvotní nastavení kalibračního procesu (viz Obrázek 35). Nejprve je vybrán rozměr mezery mezi jednotlivými obrazci a jedná se jak již bylo zmíněno o hodnotu 11,5 mm. V tomto případě, nevyužíváme možnost uchopení kalibračního panelu pomocí robota, ale pomocí podložky, na kterém je kalibrační panel umístěn pod kameru, tak aby všechny body byly viditelné.



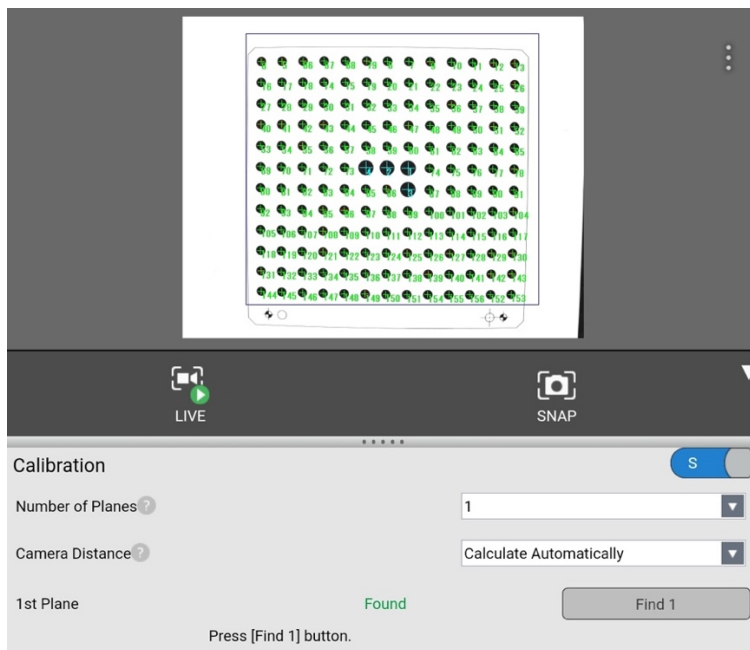
Obrázek 35 Kalibrace kamery část 2.

Třetím krokem je určení lokace kalibračního panelu (viz Obrázek 36). Výběr lze zjednodušit přes tlačítko „Set“, kde vybereme pozici ve které se nachází kalibrační panel.



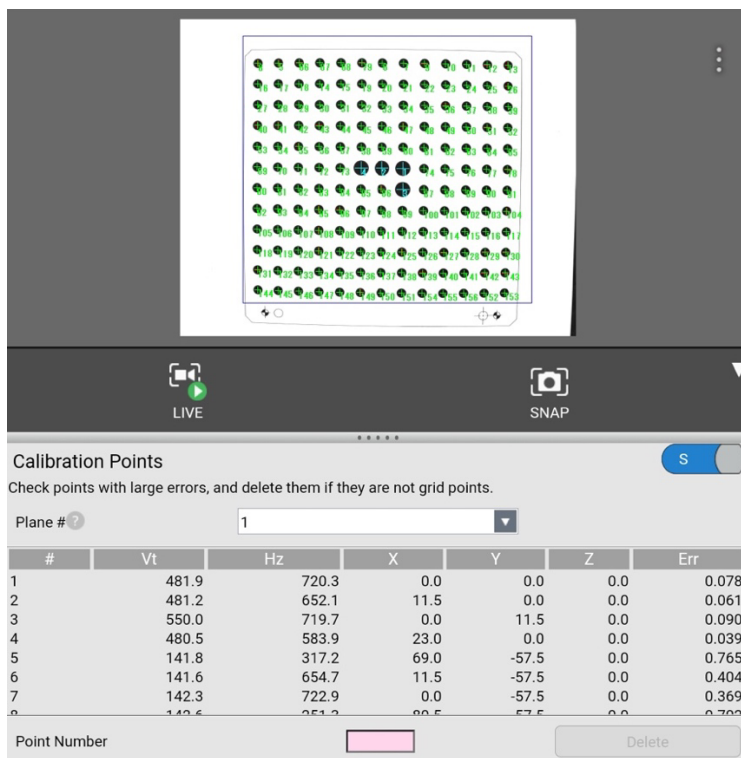
Obrázek 36 Kalibrace kamery část 3.

Následujícím krokem je samotná kalibrace (viz Obrázek 37), kde zvolíme počet kalibračních panelů, který je v tomto případě pouze jeden. Dalším bodem je zvolení vzdálenosti kamery od kalibračního panelu. V tomto případě lze zvolit možnost automatického určení systémem. Po zvolení těchto možností vybereme možnost „Find 1“ a dojde k nalezení bodů na kalibračním panelu.



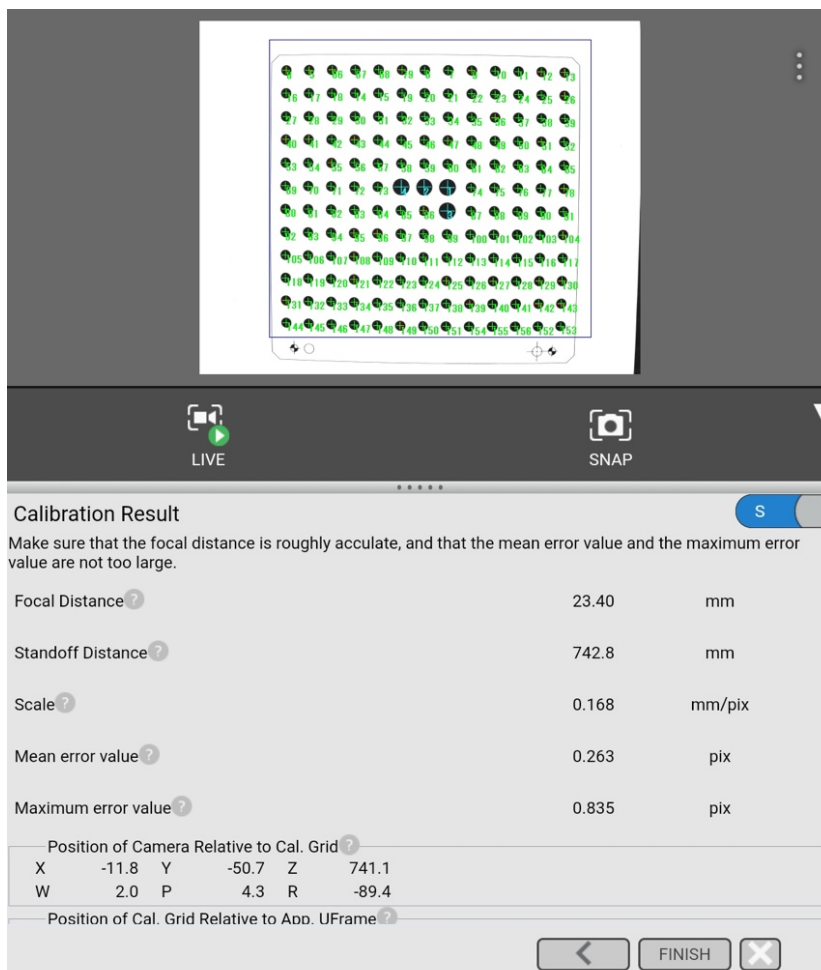
Obrázek 37 Kalibrace kamery část 4.

V poslední části nastavení kalibrace se nám zobrazí výčet jednotlivých bodů a jejich souřadnice (viz Obrázek 38). V případě, že by se načítal bod, který načíst nechceme lze vybrat nechtěný bod a v systému jej smazat.



Obrázek 38 Kalibrace kamery část 5.

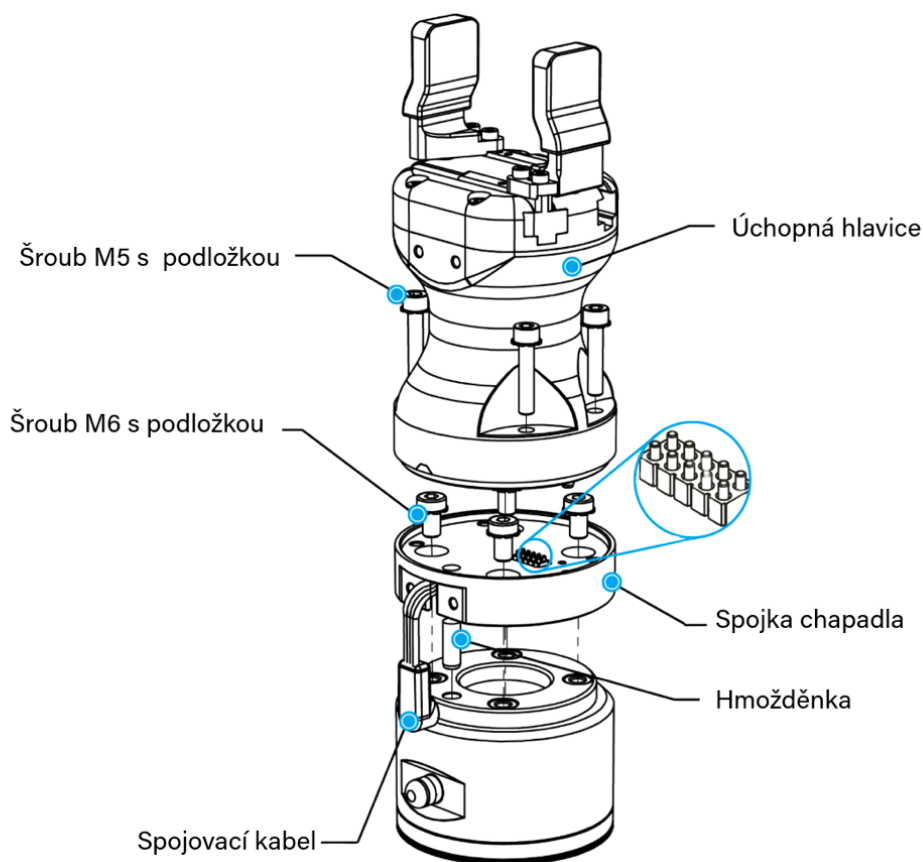
Finální částí kalibrace (viz Obrázek 39) je odsouhlasení výsledků kalibrace, kde nám v našem případě vyšla chyba 0,263 pixelu s tím, že je tato chyba ještě v mezích vyhovující chyby.



Obrázek 39 Kalibrace kamery - výsledek kalibrace

- Instalace úchopného efektoru 2F - 140

V rámci mechanické instalace úchopného efektoru je dodán od společnost Robotiq spojovací materiál a přípravek pro komunikaci s robotem. Mezi spojovací materiál patří dva typy šroubů se závitem M5 a M6 a podložky pod hlavu šroubu. Montáž je rozdělena do 3 kroků, kde první krok je montáž spojky chapadla. Jedná se o část efektoru, kde jsou umístěny piny a spojovací kabel, které slouží pro přenos dat skrze efektor a robot. Předposledním krokem montáže je ukotvení hlavy robota s kleštinami. Tato část je přišroubovaná ke spojce s tím, že v rámci montáže je nutné dbát zvýšené opatrnosti při umísťování hlavice z důvodu poškození komunikačních pinů (viz Obrázek 40). Obrázek 40 vyobrazuje efektor 2F-85, ale schéma zapojení je v tomto případě identické.



Obrázek 40 Zapojení úchopného efektoru 2F – 140 [22]

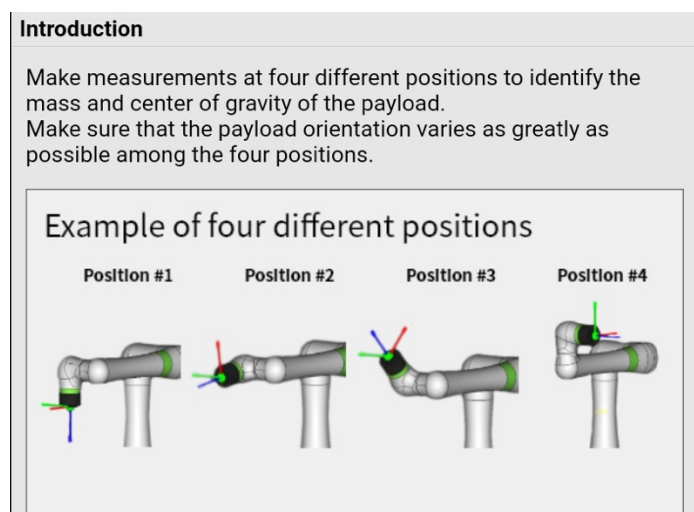
Po montáži je nutné instalovat do systému robota doplněk (plug-in), který je dostupný na stránkách výrobce. Po stažení je nutné soubor rozbalit a uložit na paměťové médium, ze kterého nahrajeme soubor do řídicí jednotky R-30iB Plus mini. Tato jednotka byla již popsána v předchozích kapitolách. Následně zvolíme na ovladači možnost PLUGINS a zvolíme možnost instalace staženého doplňku k chapadlu. Po nějaké chvíli dojde k instalaci a doplněk se objeví v nainstalovaných doplňcích s tím, že až v tento moment propojíme spojovací kabel s hlavou robota.

- Nastavování těžiště chapadla

Po zapojení a instalaci rozšiřujícího plug-in je nutné pro práci s chapadlem nastavit „Payload“. Každý robot potřebuje znát těžiště a zatížení nástrojů aplikace, pro kterou je využíván. Obecně mohou mít roboty připojeny nástroje na více os, ale tento robot je uzpůsoben jen pro zatížení na přírubě šesté osy. Bez nastavení „Payload“ se robot pravděpodobně ani nehýbne protože si myslí, že na něj působí člověk, nebo vnější předmět. Těžiště a hodnota payload je robotem zohledňována při výpočtu trajektorii robota. V rámci systému od společnosti Fanuc, je připravený postup o devíti krocích pro vykonání této změny nastavení v následujícím sledu: Seznámení s procesem -> Volba čísla pořadí payload -> Určení hmotnosti chapadla -> Série pohybových úkonů -> Provedení změn

První z kroků změny nastavení je seznámení s procesem, který nás informuje, že bude nutné pohybovat s robotickým ramenem. Cílem bude dostat robotické rameno do 4

znázorněných pozic (viz Obrázek 41) s tím, že systém po vyplnění potřebných hodnot vypočte změněnou hodnotu svého těžiště. Druhým krokem je volba čísla pořadí payload.



Obrázek 41 Proces změny nastavení Payload Část 1.

Třetím krokem je určení hmotnosti uchopovacího chapadla. Existují dva způsoby, jak tento parametr zjistit. Prvním ze způsobů nachází uplatnění v případě, kdy neznáme přesnou hmotnost chapadla. Hmotnost uchopného členu vyhodnotí sám robot způsobem vyhodnocení zátěže v různých polohách. V tomto případě využijeme druhý způsob, kdy známe hodnotu hmotnosti uchopného efektoru (viz Obrázek 42). Tato hodnota je uvedena výrobcem v tabulce hodnot TCP a středu těžiště produktů Robotiq (viz Tabulka 4) [27].

Tabulka 4 TCP a těžiště hmotností produktů Robotiq [27]



## TCP a těžiště hmotností produktů Robotiq

Úchopné efektor, Senzory a kamery

Produkty	Poloha těžiště (mm)			TCP (mm)			Hmotnost (g)
	X	Y	Z	X	Y	Z	
				0,0	0,0	0,0	
FT Sensor	-6,0	0,0	13,5	0,0	0,0	37,5	410
Camera	-6,5	6,6	4,0	0,0	0,0	13,5	195
Dual grippers plate	0,0	0,0	15,5	-	-	-	265
2F-85	0,0	0,0	60,0	0,0	0,0	174,0	921
2F-140	0,0	0,0	75,5	0,0	0,0	244,0	1013
Hand-E	0,0	0,0	59,0	0,0	0,0	157,0	1068
FT Sensor + 2F-85	-1,7	0,0	71,7	0,0	0,0	211,5	1413
FT Sensor + 2F-140	-1,6	0,0	84,1	0,0	0,0	281,5	1505
FT Sensor + Hand-E	-1,6	0,0	73,6	0,0	0,0	194,5	1560
Camera + 2F-85	-1,3	1,3	55,9	0,0	0,0	175,5	1000
Camera + 2F-140	-1,2	1,2	70,9	0,0	0,0	246,5	1092
Camera + Hand-E	-1,1	1,1	56,3	0,0	0,0	159,5	1147
FT Sensor + Camera + 2F-85	-2,6	0,9	70,2	0,0	0,0	213,0	1410
FT Sensor + Camera + 2F-140	-2,5	0,9	82,5	0,0	0,0	284,0	1502
FT Sensor + Camera + Hand-E	-2,4	0,8	72,6	0,0	0,0	197,0	1557

V rámci čtvrtého kroku, kdy efektor využíváme bez žádných přidáných prvků je hmotnost 1013 gramů (viz Tabulka 4). Tuto hodnotu vyplníme následně do systému (viz Obrázek 42).

**Entering the Payload Mass**

If the mass of the payload to be identified is known, select **Payload Mass Is Known**. Otherwise, select **Payload Mass Is Not Known**. Then tap **NEXT STEP**.  
\* The center of gravity position can be more accurately identified when the mass is specified.

Payload Mass is Not Known

Payload Mass is Known

**Entering the Payload Mass**

Enter the mass of the payload to be identified.

Payload Mass (kg) 1.013

Obrázek 42 Proces změny nastavení Payload Část 3 a 4

Následujícími kroky nastavení těžiště koncového úchopného efektoru bude série pohybových úkonů do definovaných pozic systémem. První z těchto pozic je vyobrazena na obrázku 43 v levé horní části. Pohyb robota je v tomto případě nutné udělat přes ovládací panel a po dosažení zmíněné pozice je nutné zvolit možnost „Measure“. Pro druhou, třetí a čtvrtou z pozic, která je taktéž vyobrazeny na obrázku 43 platí stejný postup.

**Measurement at Position #1**

Move the robot to the 1st position with **Robot Operation** panel. Then, tap **Measure** to make measurements.  
\*If the payload setting and actual load differs largely, Manual guided teaching will be inoperable.

Measure

**Measurement at Position #2**

Move the robot to the 2nd position with **Robot Operation** panel. Then, tap **Measure** to make measurements.  
\*If the payload setting and actual load differs largely, Manual guided teaching will be inoperable.

Measure

**Measurement at Position #3**

Move the robot to the 3rd position with **Robot Operation** panel. Then, tap **Measure** to make measurements.  
\*If the payload setting and actual load differs largely, Manual guided teaching will be inoperable.

Measure

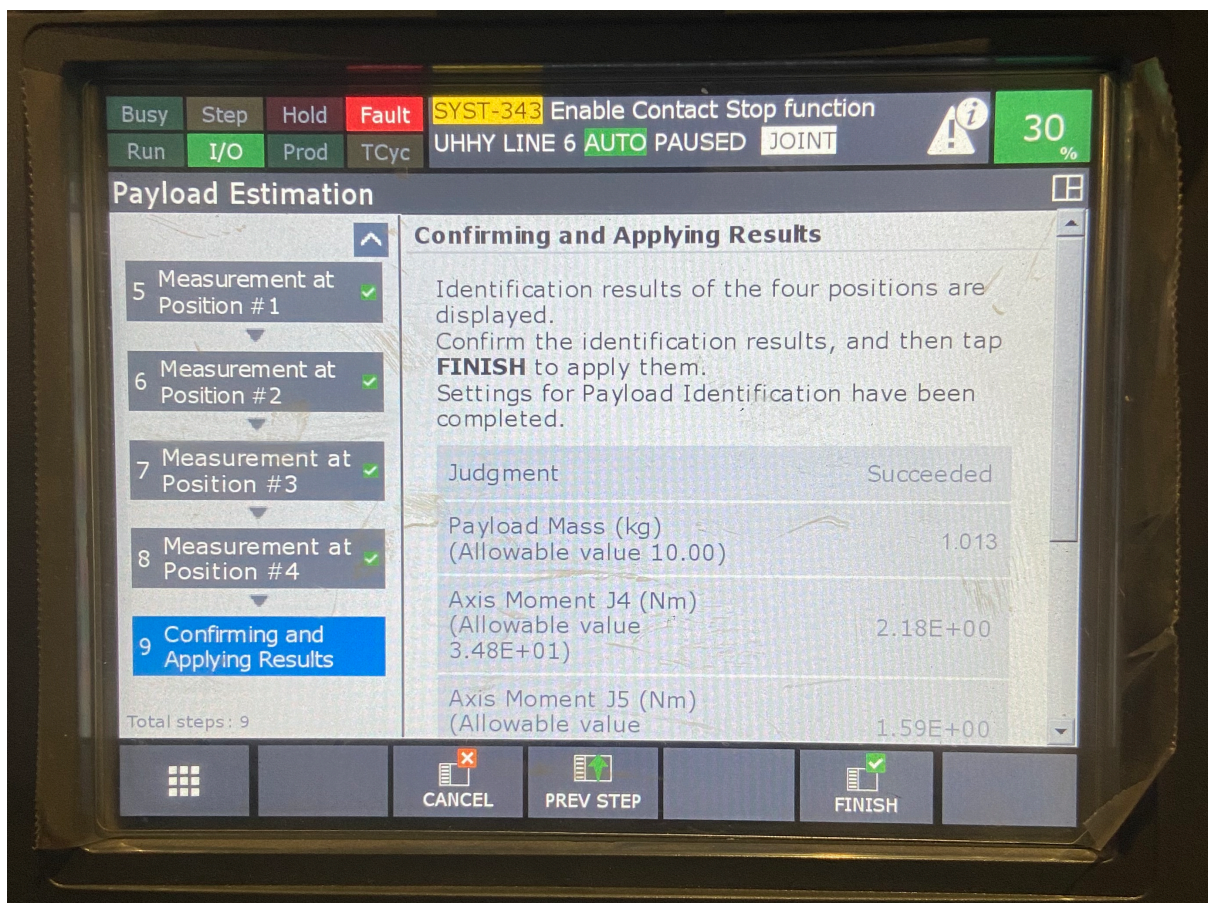
**Measurement at Position #4**

Move the robot to the 4th position with **Robot Operation** panel. Then, tap **Measure** to make measurements.  
\*If the payload setting and actual load differs largely, Manual guided teaching will be inoperable.

Measure

Obrázek 43 Proces změny nastavení Payload Část 5, 6, 7 a 8

Posledním krokem je odsouhlasení výčtu zvolených možností při nastavování změny polohy těžiště (viz Obrázek 44). Systém je sám schopný vyhodnotit, zda-li byl proces proveden správně a v případě, že by k tomu tak nedošlo, tak by bylo nutné proces opakovat. Odsouhlasení daného procesu je v řádce „Judgment“ v podobě „Succed“. V dalším řádku s názvem „Payload Mass (kg)“ je uvedena nastavená hodnota a to 1,013 kilogramů. Systém i v tomto případě upozorňuje na limitaci robota a to ohledu možnosti zatížení robota a to hmotností 10 kilogramů. V dalších řádcích jsou uvedeny hodnoty působících momentů v jednotlivých osách s taktéž zmíněným omezením, které je ve všech případech splněno.



Obrázek 44 Proces změny nastavení Payload část 9

Po odsouhlasení a aplikování výsledků, je proces změny nastavení payload dokončen. S robotem je v tento moment možné plně pohybovat i s připojeným úchopným koncovým efektořem a to i ve vyšších rychlostech.

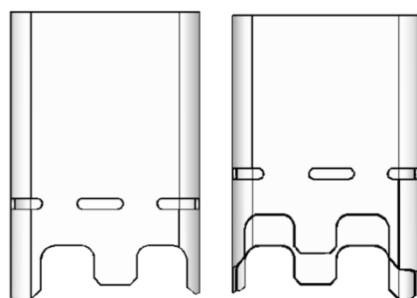
- Vytvoření programu pro kameru

V rámci návrhu implementace byly vytvořeny visiony procesy pro zakoupenou kameru. Jedná se o program kamery, díky kterému je kamera schopna rozeznávat od sebe chybné výpalky a výpalky bez chyb. Program se tvoří v záložce systému iRVision s tím, že lze pomocí ovladače vytvářet vision data, jako je již zmíněný vision proces. Systém disponuje jednotlivými typy procesů s tím, že pro tuto aplikaci je dostačující typ pevného umístění 2D kamery z důvodu využití pouze jedné 2D kamery a pouhého zkoumání správné/špatné.

Pro tvorbu vision procesů budeme opět vycházet z již zmíněných předpokladů pro implementaci. Klíčovým parametrem v rámci návrhu je doba trvání jednotlivých úkonů. Z tohoto důvodu se budeme snažit nalézt optimální řešení doby trvání procesu vizuální kontroly. Ze zkušenosti pracovníků a teamleaderů dochází k nejčastěji k porušení svaru. Tento



faktor se pokusíme zohlednit v rámci návrhu programu pro kameru, ale i pro program samotného robota. Cílem programu je poznat vyříznutí otvorů a neporušení struktury svaru. Zkoumání bude probíhat způsobem uchopení výpalku a postupného natáčení pod zorným polem kamery, tak aby jednotlivé strany výpalku byly viditelné s tím, že výpalek může být orientován na odběrovém místě ve 2 pozicích (viz Obrázek 45) – vodící tyč a spádová plocha zajišťují polohu výpalku v jedné z těchto 2 pozic.



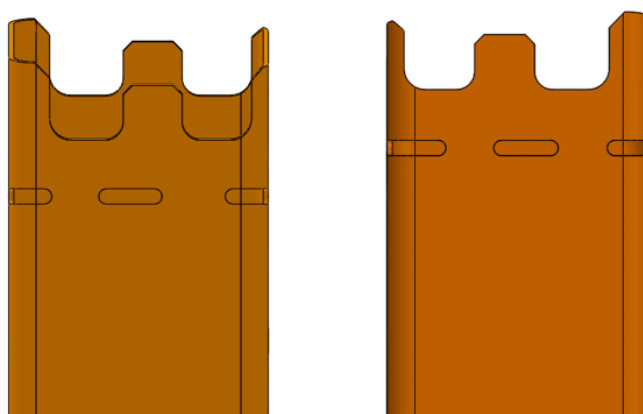
Směr pohybu po dopravníku

Obrázek 45 Možné orientace výpalků na odběrovém místě

Na základě těchto informací byly vytvořeny dva 2D Single View vision procesy s názvy PDSDOPRAVNIKEM a PDSDOPRAVNIKEMHRANY. Důvod výskytu dvou vision procesů bude vysvětlen později v této kapitole. Nejprve bude uveden a vysvětlen postup tvorby nástroje vision proces pro tuto aplikaci.

- PDSDOPRAVNIKEM

Jako první dojde k vysvětlení tvorby a funkčnosti nástroje 2D Single View Vision process pro strany 2 a 4 (viz Obrázek 46).

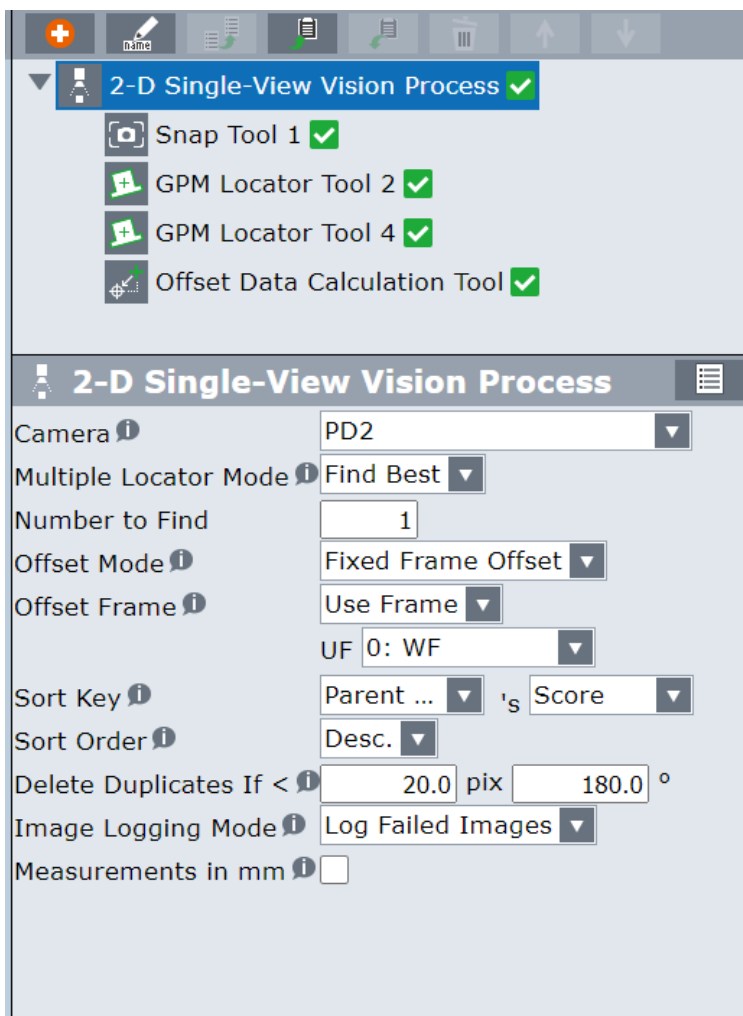


Strana 2

Strana 4

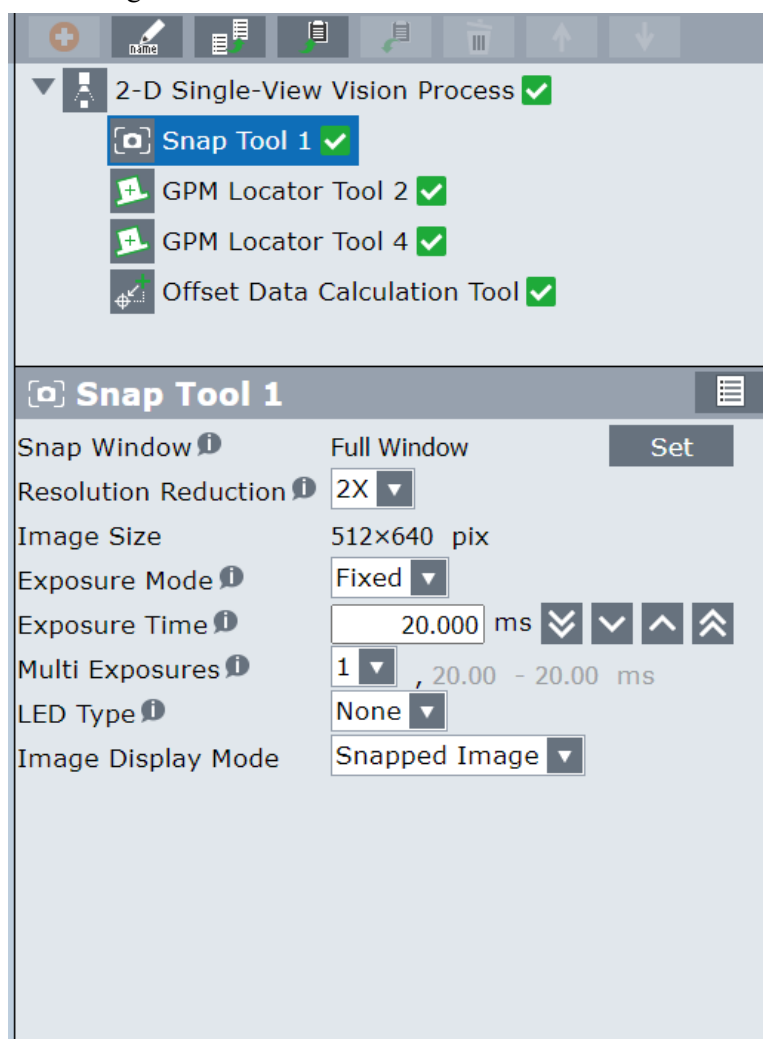
Obrázek 46 Strana 2 a 4

Jako první krok tvorby tohoto nástroje je zvolení kamery. V tomto případě byla zvolena kamera PD2, kterou jsme již zkalibrovali, jak je uvedeno v předchozí kapitole. Rozhraní nastavení, které je viditelné (viz Obrázek 47) je zobrazení Advanced, které nabízí pokročilé možnosti nastavení. Další z možností nastavení je způsob vyhodnocování nalezených objektů. V rámci vyšších nároků na proces vyhodnocování a vyšší míru detailu byla vybrána možnost „Find Best“ s tím, že hledáme vždy pouze jeden objekt. Kamera je umístěna ve fixní poloze a proto byla vybrána možnost „Fixed Frame Offset“ s možností 0: WF. Následující parametry (viz Obrázek 47) nebyly změněny oproti doporučeným hodnotám samotného nástroje.



Obrázek 47 2D Single View Vision Process PDS DOPRAVNÍKEM

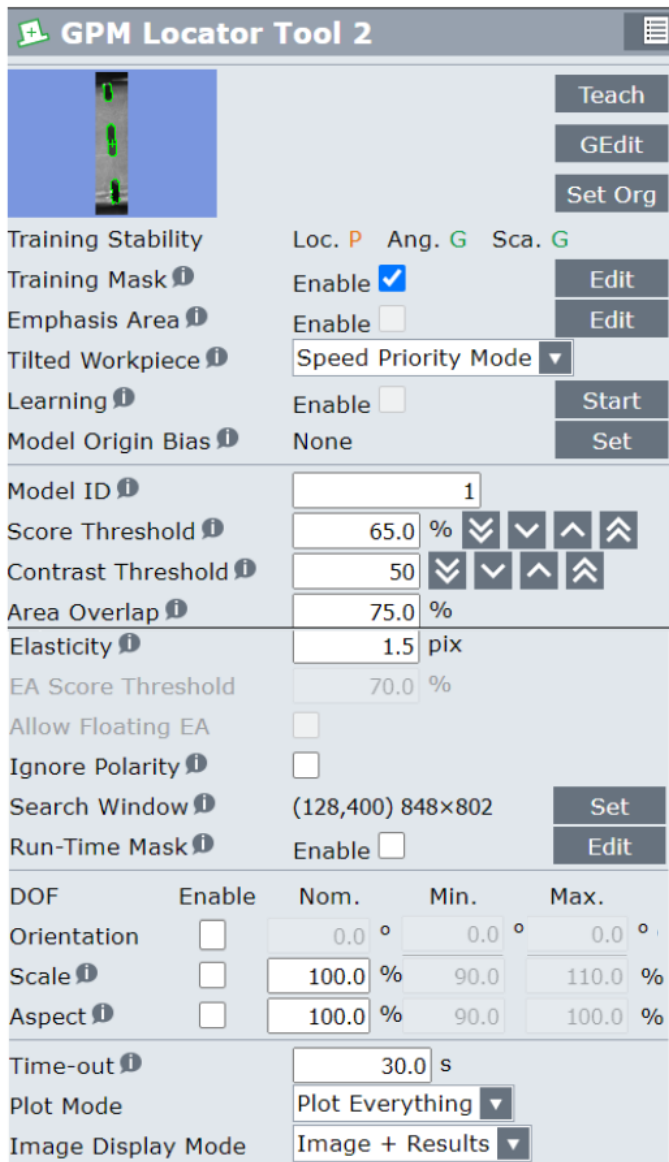
Dalším z částí nástroje vision procesu je Snap Tool 1 (viz Obrázek 48). V této části je možné měnit nastavení kamery jako je velikost snímané oblasti kamery, změny v rozlišení a módu a typu expozice.



Obrázek 48 Snap Tool 1 PDSDOPRAVNIKEM

Dalším nástrojem je GPM Locator Tool, díky kterému funguje proces vyhodnocování. Nejprve je nutné naučit systém objekt, respektive prvky objektu, které jsou pro nás v rámci identifikace klíčové (viz Obrázek 49). Pro stranu 2 to jsou tři vyřiznuté otvory. V rámci naučení systému je nutné selektovat vybrané prvky. Tuto selekci lze provést pomocí funkce „Training mask“. Eliminace dalších prvků zrychlí proces vyhodnocování a v rámci experimentu toto tvrzení bylo ověřeno. Při kontrolování celého výpalků, což není v rámci zadání ani nutné, docházelo ke značně delšímu času vyhodnocení. Pro tento pohled byla zvolena množnost Speed Priority mode bez možností Learning, které by zpomalovalo proces identifikace. Dalším klíčovým parametrem nastavení je „ScoreTreshold“, díky kterému určujeme správnost a nesprávnost jednotlivých dílů. Určená hodnota 65 bodů správnosti byla určena na základě experimentu příchodu špatných a správných kusů. Tento proces určení hodnoty musel být proveden pro všechny snímané pohledy. Tento postup je doporučen samotným výrobcem s tím, že počáteční hodnota nastavena systémem je 70 bodů. V případě nízkého skóre v možném intervalu <0-100> existuje skutečnost pomalejší lokalizace objektů. Výrobce nedoporučuje nižší hodnotu než 60 bodů. V případě, že je obraz příliš tmavý, či světlý lze ho upravit přes parametr „Contrast Treshold“, která má identický interval jako „Score Treshold“ s tím, že defaultní hodnota je 50 bodů. Tato hodnota se při experimentu ukázala jako ideální, a tudíž nedošlo k její úpravě. Parametr „Area overlap“ nachází uplatnění v situacích, kdy systém má problém určit jeden objekt a v rámci všech nastavení nachází více objektů spadajících do určené definice. Tato skutečnost se díky charakteru snímaného objektu neprojevila jako nutná ke změně, a proto zůstala defaultně nastavena systémem. Jelikož dochází ke snímání pouze

vyříznutých otvorů výpalku, je zde možnost oříznout obraz kamery, ve kterém dochází k vyhodnocování. Došlo k oříznutí oblastí ve kterých je velmi nepravděpodobné, že by se mohl objevit výpalek, a tudíž i vyříznuté otvory. Tato selekce snímaného prostoru značně zkrátila vyhodnocovací čas, kdy systém kamery nemusí hledat shodu v naučeném obrazu v celé oblasti, ale pouze ve vybrané.

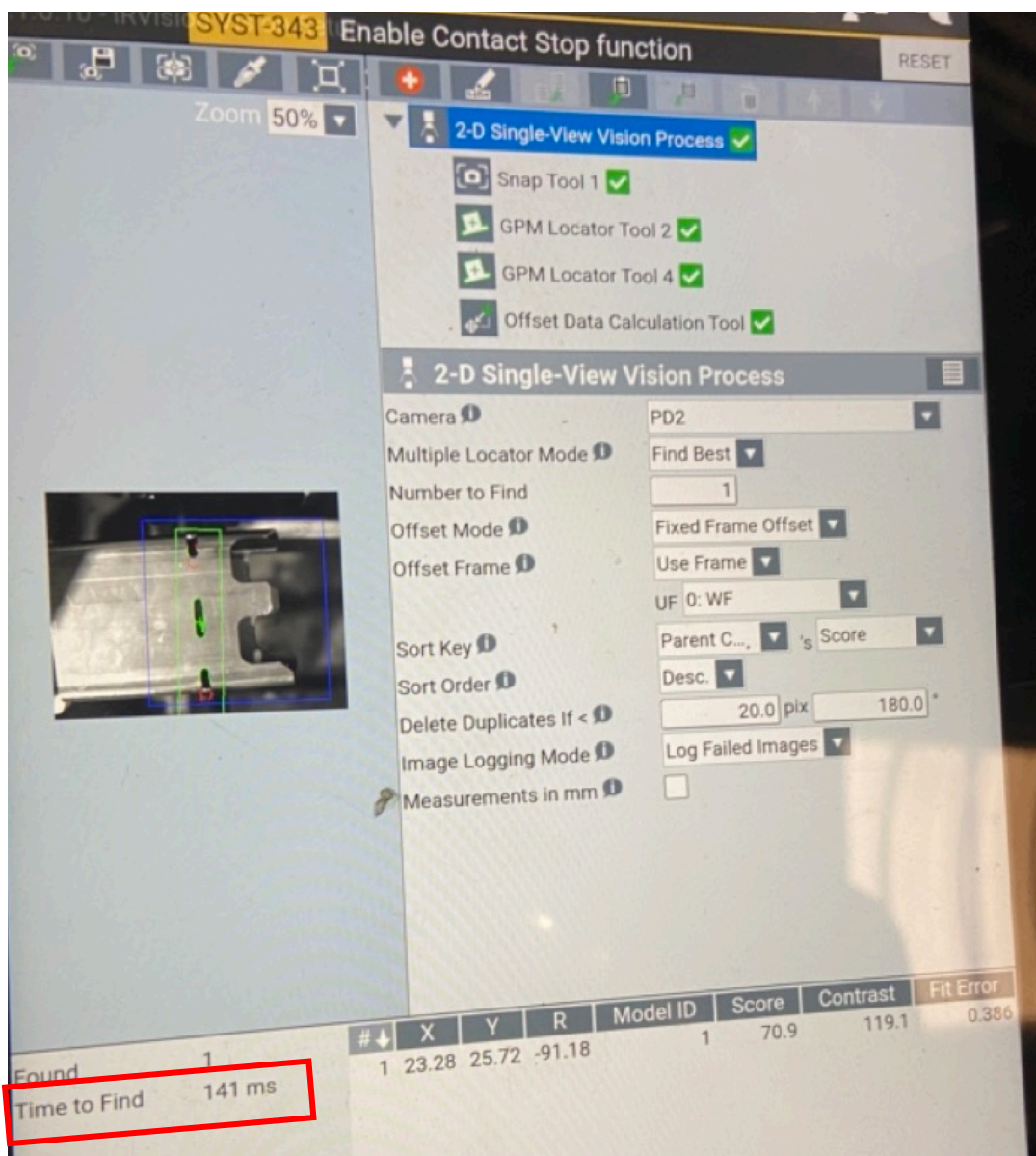


Obrázek 49 GPM Locator Tool 2 Strana 2

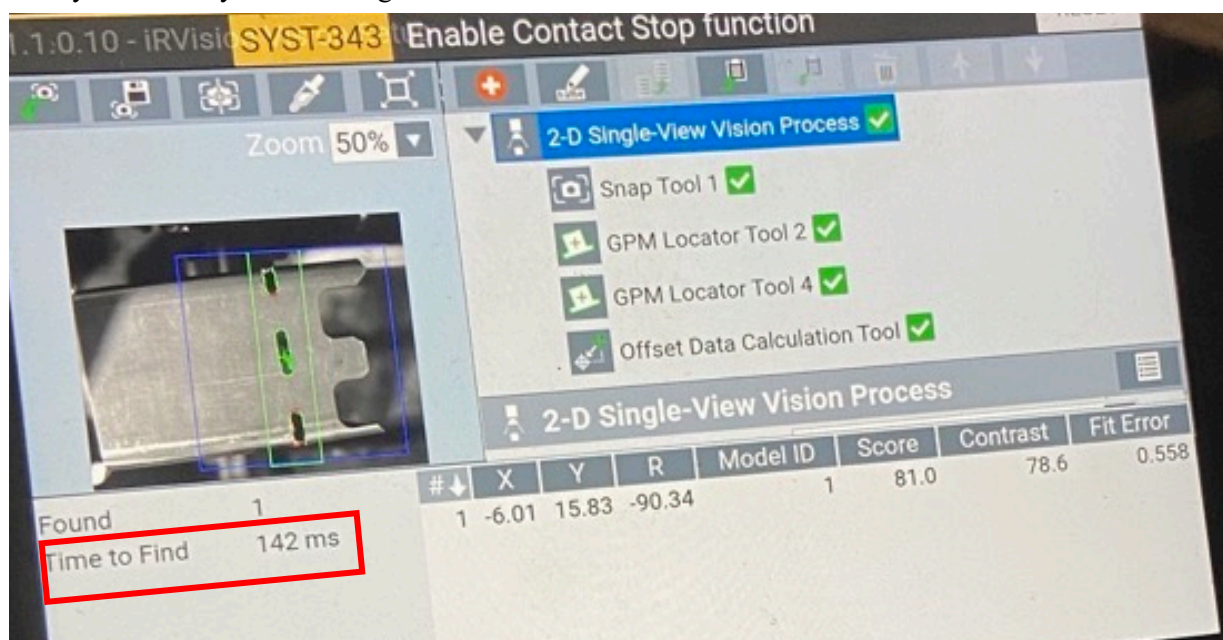
Nastavení GPM Locator Tool 4 proběhlo totožným způsobem z důvodu značné podobnosti stran. V rámci vyhodnocení zde byla využita možnost pojmenovávat jednotlivé strany objektu pomocí funkce Model ID. V rámci experimentu systém rozeznal i přes značnou podobnost, jestli se jedná o stranu definovanou nástrojem čtyři, nebo dva.

Dalším z nástrojů je výpočet středu snímaného objektu, který systém sám vyhodnotí po první identifikaci naučeného objektu. Tato funkce nabízí využití při manipulaci objektu v závislosti na naučeném obrazu při přeučopování. Z předpokladu návrhu implementace bez nutnosti přeučopení objektu, tato funkcionalita v rámci nutnosti provedení vision procesu byla provedena, ale nebyly provedeny žádné změny v rámci doporučených hodnot systémem. Z tohoto důvodu nebudou jednotlivé nastavitelné parametry popsány.

Po provedeném nastavení, které se jeví jako ideální z pohledu nejkratšího možného času za zmíněných skutečností, byl čas nutný na identifikaci strany dva 141 milisekund (viz Obrázek 50) a strany čtyři 142 milisekund (viz Obrázek 51) jak je viditelné na snímcích z pendantu při provádění experimentu .



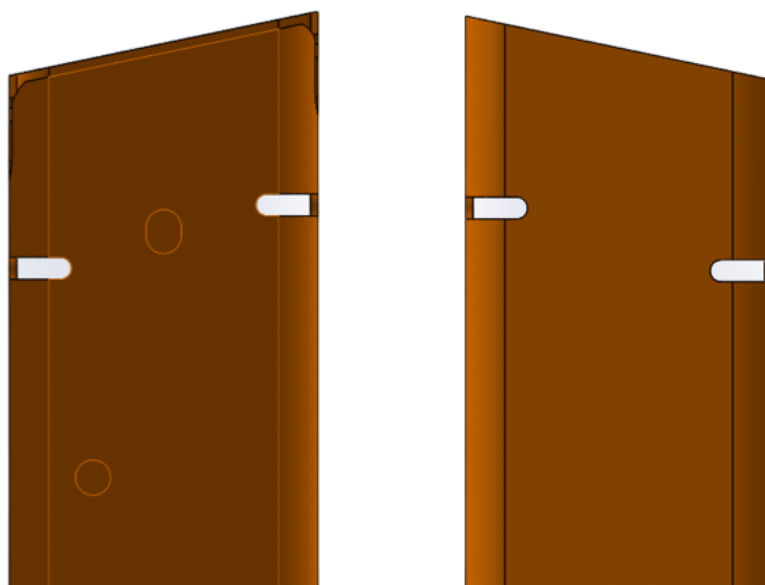
Obrázek 50 Výsledky experimentu pro stranu 2



Obrázek 51 Výsledky experimentu pro stranu 4

○ PDS DOPRAVNÍKEM HRANY

Druhý 2D Single View vision proces byl založen identicky kromě nástrojů pro identifikaci a proto přejdeme rovnou k popisu nastavení zmíněných nástrojů pro strany 1 a 3 (viz Obrázek 52). Na uvedeném obrázku znázorňující stranu 3 není zobrazen svar.



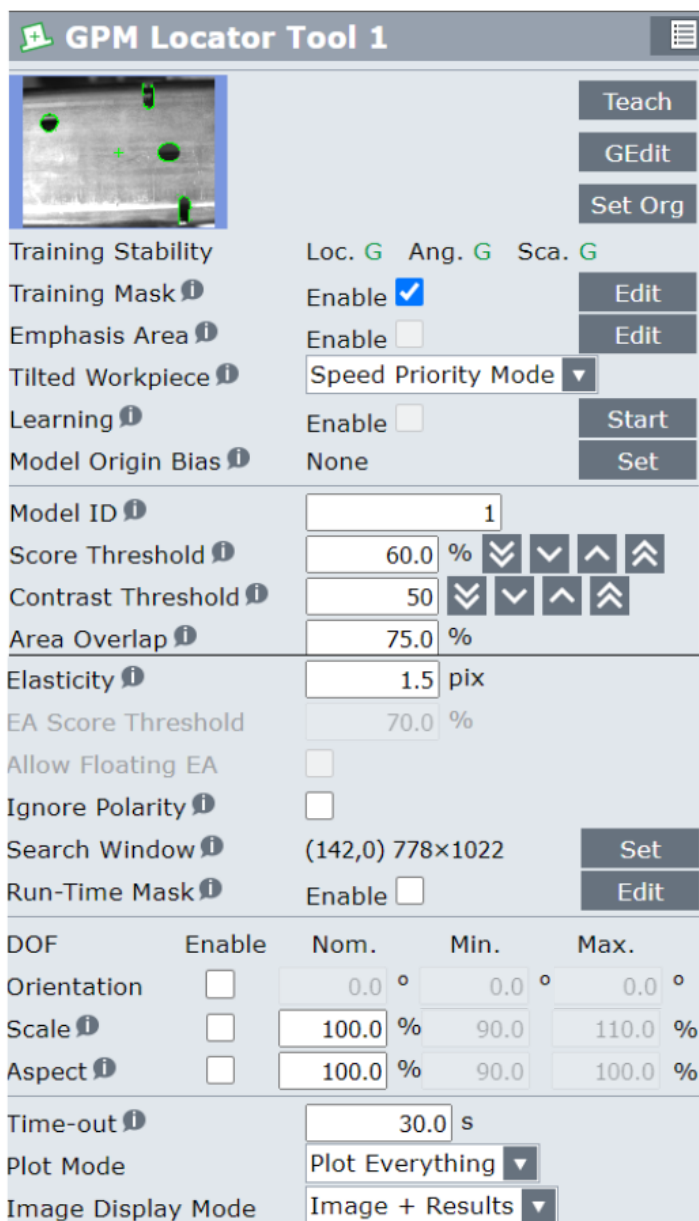
Strana 1

Strana 3

Obrázek 52 Strana 1 a 3

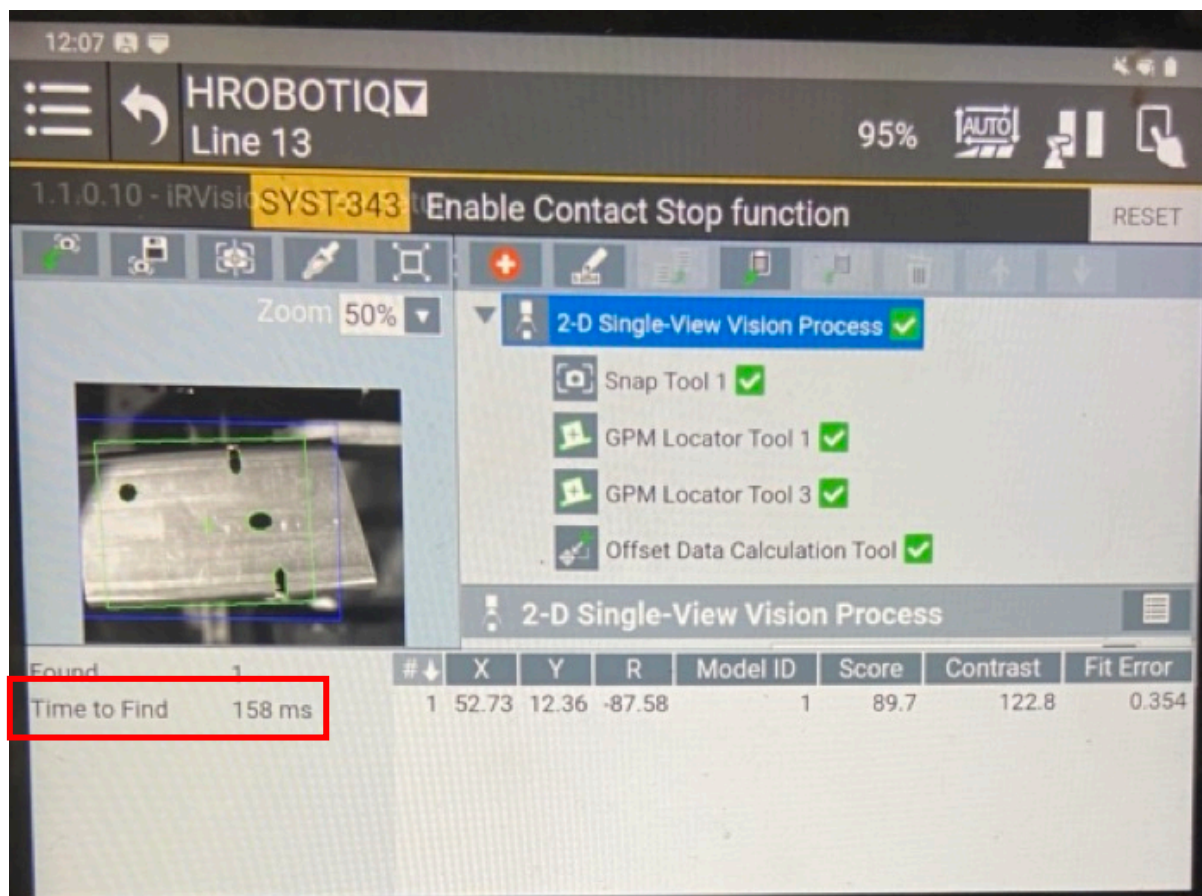
Nástroj na identifikaci strany 1 probíhal podobným způsobem jako u již popsáných nástrojů. Nejprve došlo k naučení celého tvaru první strany výpalků s tím, že přes funkci

„Training mask“ byly vybrány čtyři otvory první strany. Pro tento pohled byl taktéž vybrán „Speed Priority mode“ bez funkce learning. Tato funkce nebyla využita z důvodu 100% úspěšnosti identifikace i z naučeného jednoho pohledu s tím, že ale muselo být sníženo Score Treshold na 60%, což je stále v mezích stanovené výrobcem. Zbytek hodnot nastavování naučeného obrazu nebyl změněn od původních hodnot doporučených softwarem. Došlo avšak ke zmenšení vyhledávacího prostoru s tím, že došlo ke zkrácení času nutného k vyhodnocení. Kompletní nastavení nástroje je viditelné na obrázku 53.



Obrázek 53 GPM Locator Tool pro stranu 3

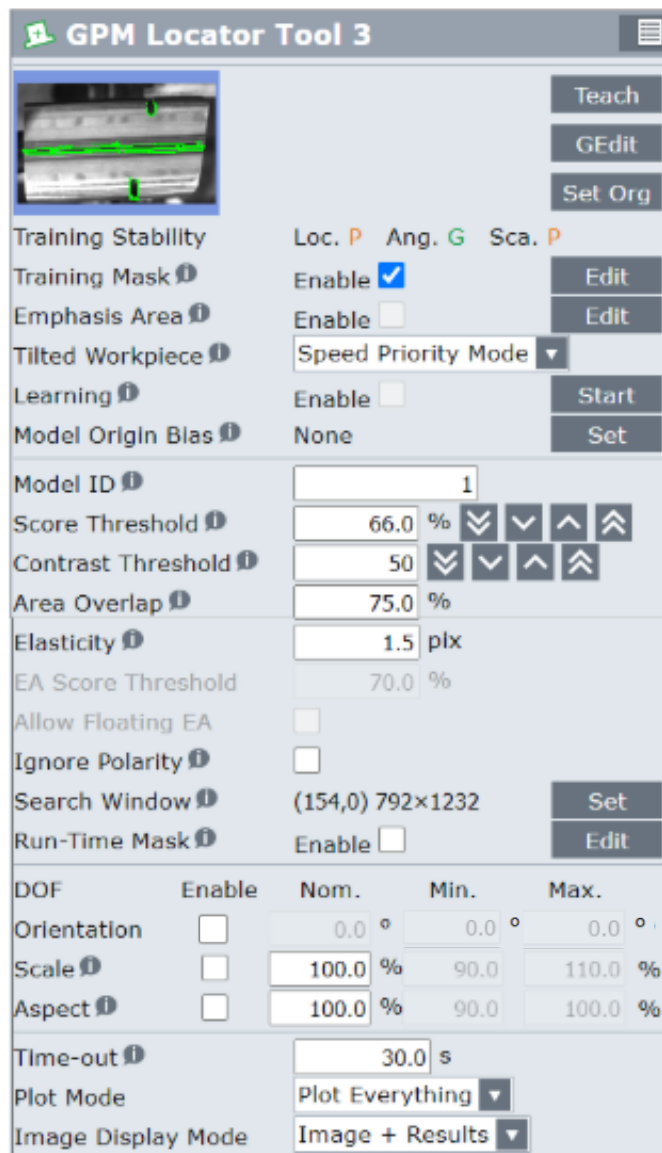
Při provádění experimentu, který spočíval jako u předchozích pohledů změnou parametrů s docílením 100% úspěšnosti identifikace za co nejkratší čas, byla výsledná hodnota nejkratšího času nutného k identifikaci 158 milisekund (viz Obrázek 54).



Obrázek 54 Výsledky experimentu pro stranu 1

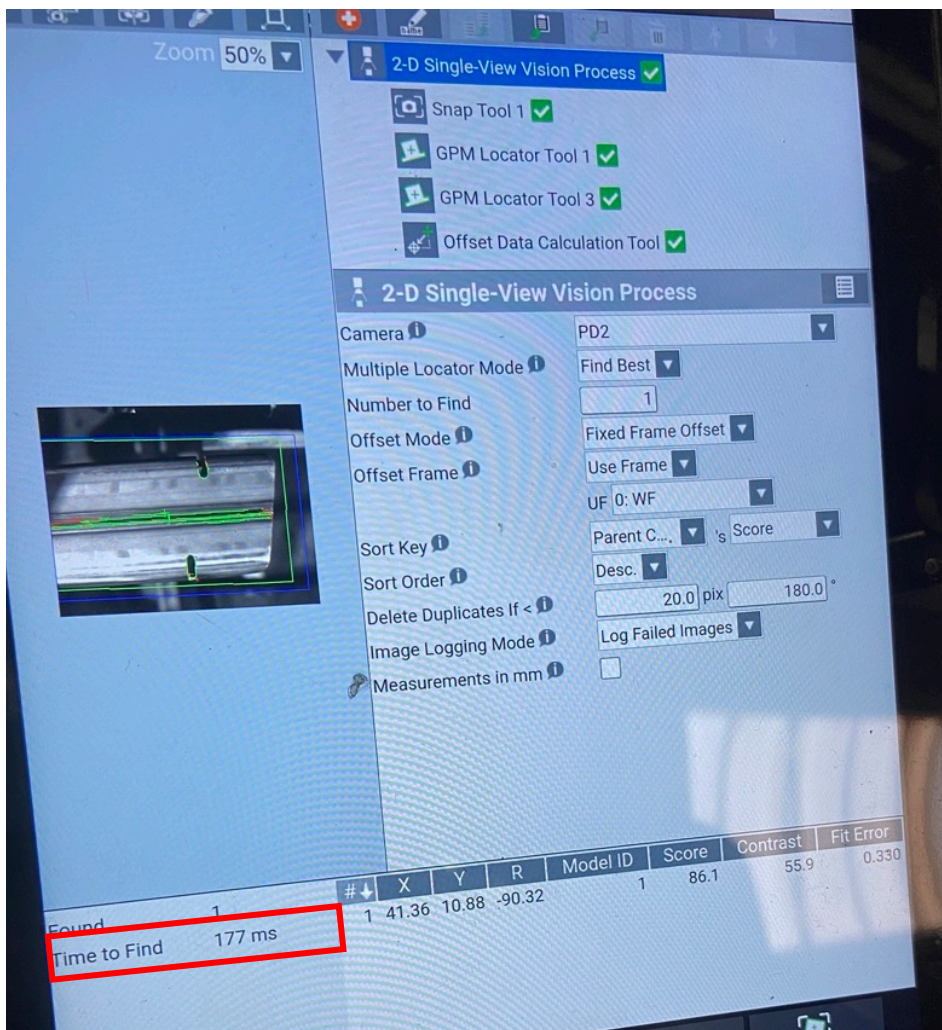
Poslední a nejkomplicovanější strana výpalku je strana se svarem. Na tuto stranu byl kladen značný důraz v rámci tvorby nástroje pro identifikaci. Proces naučení strany se svarem probíhal obdobně jako u předchozích pohledů. Jediný rozdíl byl ve snaze naučit svar s funkcí rozpoznání prasknutí. Tento systém i cestou zrychleného vyhodnocení bez nutnosti provedení „Learning“, které by značně prodloužilo proces vyhodnocení, byl schopen porušení svaru rozeznat. „Score Treshold“ pro svar bylo stanoveno na 66 procent (viz Obrázek 55).





Obrázek 55 GPM Locator Tool strana 3

Po provedení experimentu při uvedeném nastavení bylo dosaženo čas vyhodnocení a to 177 milisekund (viz Obrázek 56) se 100% úspěšností identifikace.



Obrázek 56 Výsledky experimentu pro stranu 3

Chybovost provedení svaru nabízí vytvoření programového sledu příkazů, tak aby došlo nejdříve k porovnání právě onoho svaru. S tím, že v případě chyby bude výpalek ihned bez dokončení procesu snímání zbylých stran umístěn do manipulační jednotky pro chybné kusy. Skutečnost, že je výpalek čtyřhran, lze vytvořit program pro robota, který bude pozorovat vždy jako první svarovou plochu, nebo stranu protější. Eliminace možnosti příchodu strany, kde není svar není možné za zmíněných podmínek odstranit. Tímto vzniká postup příchodu strany 1 a 3 dříve než strany 2 a 4. (Po kontrole strany 1, nebo strany 3 robot kontroluje postupně další strany). Tato skutečnost zrychlí způsob vyhodnocování chybného kusu. V rámci experimentu došlo ke 100% úspěšnosti správného rozpoznání kamerou. Tato vysoká úspěšnost by měla zabránit mírné chybovosti, kterou v současnosti vykazuje operátor, v případě implementace průmyslového robota.

Při sečtení je výsledný čas na provedení pozorování 618 milisekund. V rámci provedení experimentu za běžných podmínek byl simulován proces vyhodnocení, který spočíval ve vyhodnocení správného kusu, včetně pohybu robotického ramena v ose J6, tak aby docházelo pouze k natáčení výpalku do čtyřech zmíněných pozic. Tento proces za existence programu s využitím předčasného ukončení vyhodnocování nabízí nejdelší vyhodnocovací cyklus, který bude v rámci chybovosti pracoviště nejběžnější. Tento proces vyhodnocení včetně natáčení

robota trval 3 sekundy při rychlosti robota 90% z 250mm/s. Tento pohyb lze zrychlit při nastavení 100% maximální možné rychlosti robota 1000 mm/s

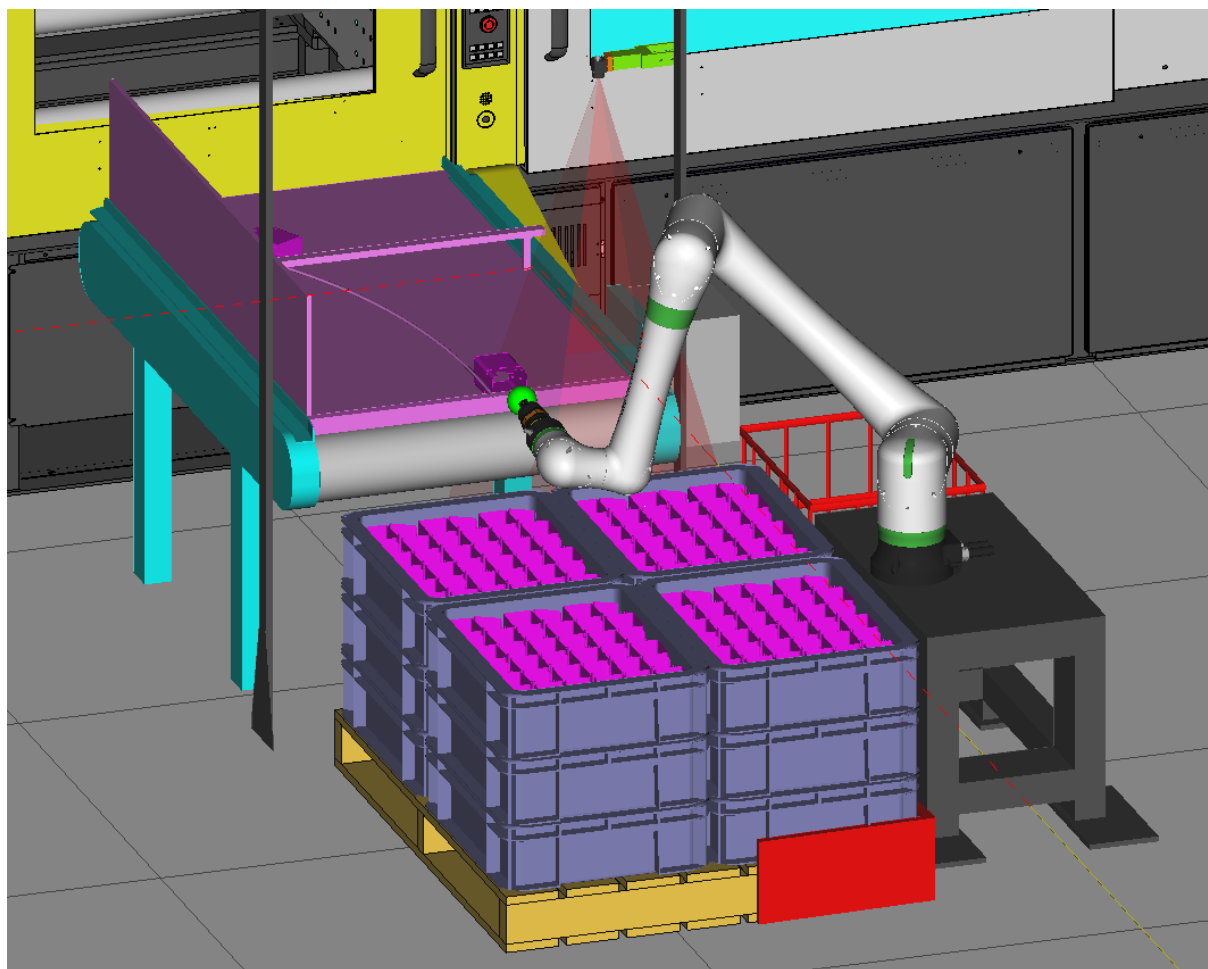
#### 4.7 Návrh pracoviště s vypracováním vizualizací v programu RoboGuide

V rámci ověření funkčnosti návrhu implementace průmyslového robota, byla vytvořena simulace ve vytvořeném virtuálním prostředí v programu RoboGuide od společnosti Fanuc. Tato simulace má taktéž sloužit jako editor možné změny uspořádání na pracovišti a jejího následného projevení na reálném pracovišti.

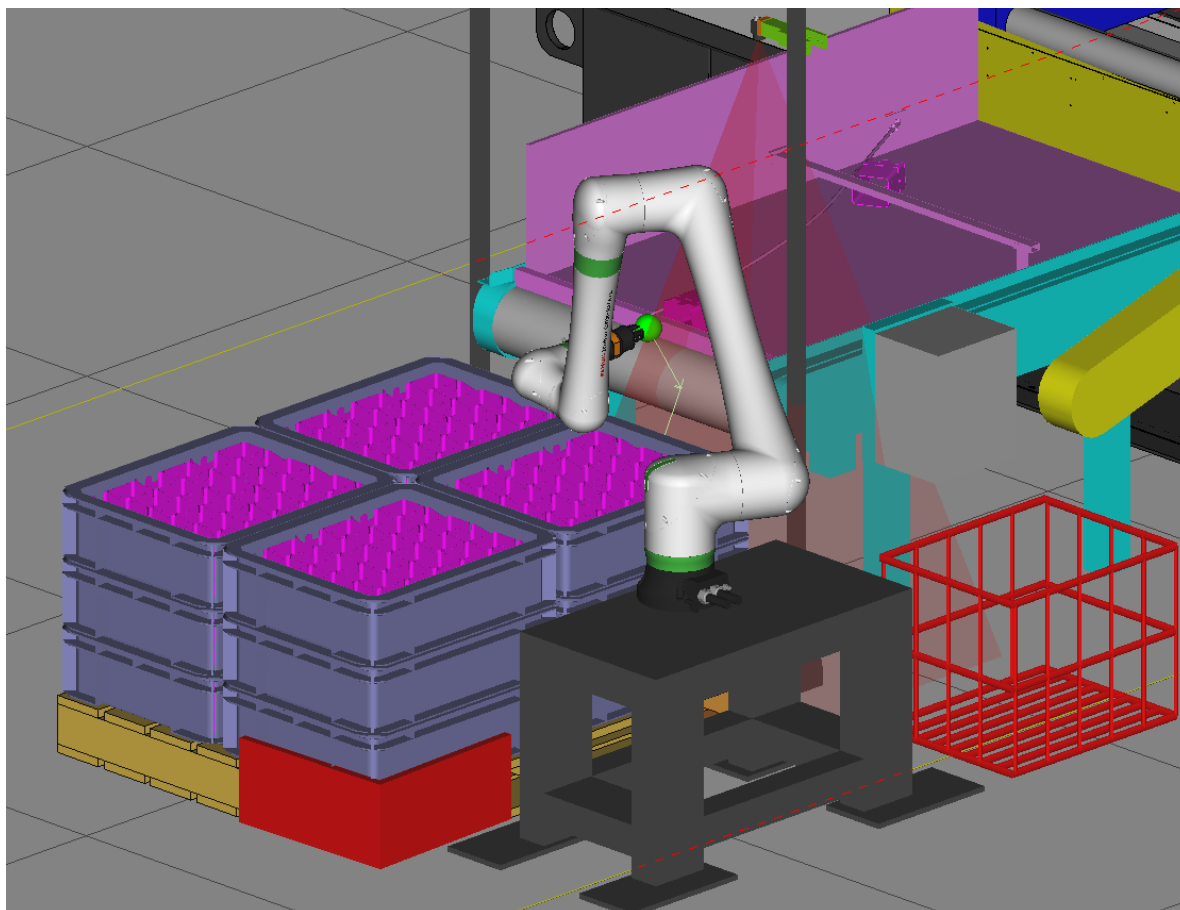
Virtuální prostředí pro simulaci se skládá ze vzorového stroje, dopravníku, robota a navržených přípravků pro implementaci průmyslového robota, které byly vytvořeny v rámci předchozí podkapitoly, v rámci řešení kritických bodů. Dále se pracoviště skládá z palety, manipulačních jednotek využívaných na pracovišti Laser003 a hotových výpalků.

Po vložení těchto zmíněných komponent do prostředí bylo nutné zvolit jejich umístění v prostoru. Značný důraz byl kladen na pozice robota a to z pohledu vzdálenosti od odběrného místa, vizuální kontrolu a ukládání správných výpalků do manipulačních jednotek. Umístění jednotlivých komponent vycházelo z předpokladů pro implementaci. Nejproblematictější bodem návrhu byla vhodná vzdálenost robota od nejvzdálenějších bodů umístěných výpalků v manipulačních jednotkách na paletě. Při odlaďování návrhu docházelo k situacím, kdy robot nedosáhl právě na tyto body při plnění požadovaných úkonů.

Výsledné pracoviště je viditelné na obrázku 57 a 58.



Obrázek 57 Navržené pracoviště pohled 1



Obrázek 58 Navržené pracoviště pohled 2

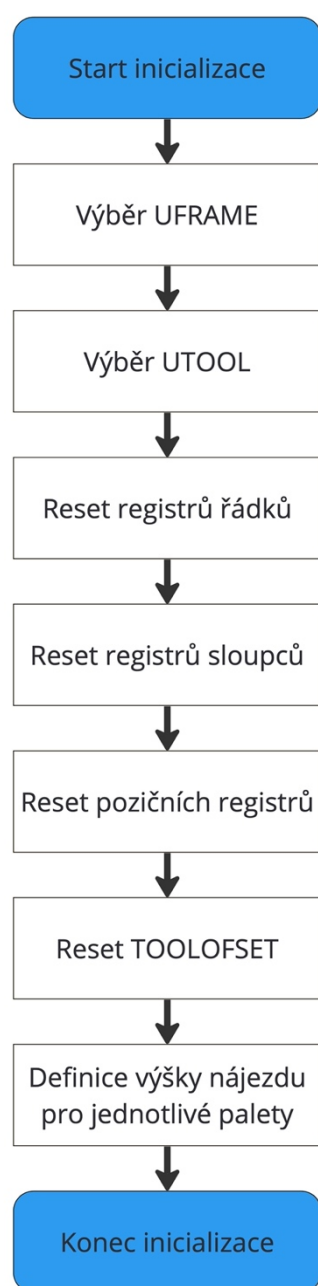
- Tvorba programu

Program pro robota je rozdělen do 4 fází (viz Obrázek 59) s tím, že úkolem tohoto programu je zaplnění jedné palety, respektive dvanácti manipulačních jednotek umístěné na jedné paletě. První z fází programu je inicializace prostředí, ve kterém se robot nachází. Následně dojde k naplnění manipulačních jednotek umístěné v první, druhé a třetí úrovni.



Obrázek 59 Vývojový diagram programu

Fáze inicializace se skládá z výběru prostoru přes příkaz „UFRAME“ a výběru nástroje přes příkaz „UTOOL“. V této fázi dochází i k vynulování registrů a pozičních registrů. Klasické registry jsou v tomto programu využívány jako čítače počtů řádků a sloupců. Poziční registry slouží k uchování hodnot pro tvorbu pole, s tím že k nim je po každém cyklu přičtena hodnota pro další pozici v poli. Dále pomocí pozičních registrů je vyresetován „TOOLOFSET“, což je hodnota velikosti odsazení nástroje. V poslední řadě jsou poziční registry využívány pro definování výšky nájezdu pro jednotlivé palety. V rámci návrhu inicializace byl navrhnout vývojový diagram (viz Obrázek 60).

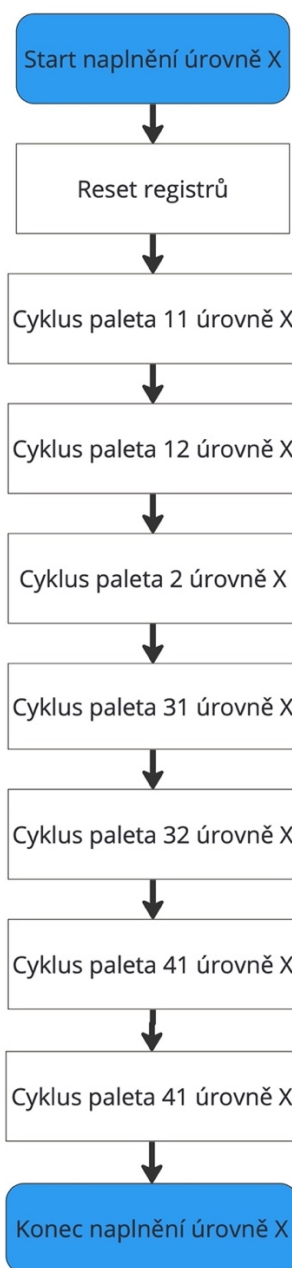


Obrázek 60 Vývojový diagram inicializace

Další vývojový diagram byl vytvořen pro naplňování jednotlivých polí v manipulačních jednotkách (viz Obrázek 61). Prvním krokem je vyresetování registrů, sloužící jako čítače řádků a sloupců pro jednotlivá vytvořená pole pro dané manipulační jednotky. Dále dochází k postupnému spuštění cyklů pro jednotlivá pole, náležící pro jednotlivé manipulační jednotky.

Toto rozdělení je z důvodu problematického umístování výpalků na manipulační jednotku. Problém spočívá ve velkém rozsahu umístěných pozic od počáteční pozice. Program využívá možnost vytvořit pole pro umístěné výpalky s pevně danou počáteční pozicí, sloužící pro umístění prvního kusu a následnému přičítání šířky, či délky výpalku s definovaným odsazením. Postupným naplňováním došlo k problému singularity, který byl vyřešen různým způsobem nájezdu do pevně zadaných počátečních pozic polí. Každé pole má definovanou svoji počáteční pozici.

Singularita v robotice znamená, že pro danou pozici existuje nekonečně mnoho řešení. S tím si tento robot nedokáže poradit a bylo tedy nutné vytvořit rozdělení pro ukládání výpalků. V zájmu vyřešení problému singularity robota byly tedy pro každou manipulační jednotku v každé úrovni vytvořeny dvě pole. Jediná manipulační jednotka, která dvě pole nepotřebovala je manipulační jednotka umístěna v pravém dolním rohu palety ve směru pohledu od dopravníku. Důvod je optimální umístění manipulační jednotky vůči robotovi. [28]



Obrázek 61 Start naplnění úrovně X

Pro návrh samotného cyklu pro jednotlivá pole v manipulačních jednotkách byl navrhnout vývojový diagram (viz Obrázek 62), na kterém budou podrobněji popsány jednotlivé procesy.

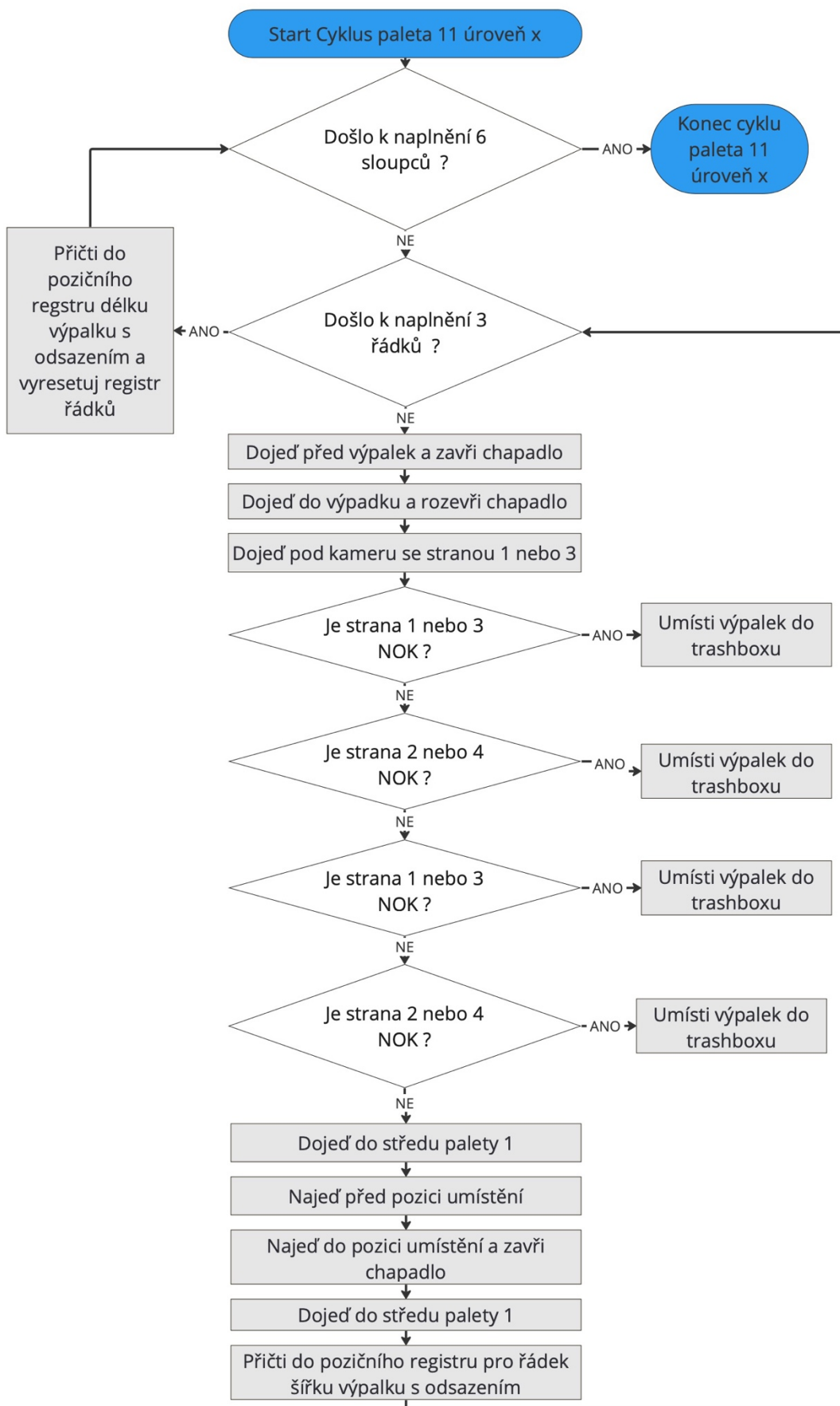
Na začátku vývojového diagramu je start cyklu pro první půlku manipulační jednotky umístěné na paletě pro první úroveň. Jedná se tedy o odběr osmnácti kusů. Rozdělení je z důvodu problematického umístění výpalků na manipulační jednotku, jak již bylo popsáno.

Program obsahuje tedy dva cykly pro řádky a sloupce manipulační jednotky. Po naplnění tří řádku v jednom sloupci, dochází k načtení vyšší hodnoty do pozičního registru přiřazené hodnotě sloupci v daném poli.

Hluběji v programu jsou uvedeny příkazy, které nařizují robotovi dojet před výpalek, uchopit výpalek a dojet pod zorné pole kamery. Robot má definované nájezdové pozice pro výpalek a využívá funkce plugin od společnosti Robotiq pro manipulaci s úchopným chapadlem.

Jak bylo popsáno v kapitole tvorby programu pro kameru, která slouží pro identifikaci OK/NOK kusů, je zde využita funkce příchodu vždy strany se svarem a nebo strany protější. V případě chyby na jakékoli straně výpalku dochází k okamžitému ukončení vyhodnocovacího procesu a následnému uložení NOK kusů do trashboxu. V případě, že vizuální kontrola prokáže, že se jedná o OK kus, dojde k nájezdu do středu palety, která byla pro téměř každou úroveň a pro každou manipulační jednotku definována zvlášť. Následně dojde k najetí do pozice před pozici umístění. Poté dojde k dojetí do pozice umístění a následně dojde k uvolnění výpalku s tím, že po vykonání umístění dojde k vrácení robota do pozice středu palety a po té i do pozice nájezdu. Následně dochází k opakování cyklu dokud nedojde k naplnění pole o šesti sloupcích a třech řádcích. V návaznosti na tento cyklus dojde ke spuštění dalšího cyklu pro zbytek manipulační jednotky a následně i pro zbylé manipulační jednotky v každé úrovni.

Podobným způsobem byl vytvořen program pro ostatní pole, manipulační jednotky a úrovně. Z důvodu značné podobnosti nebudou další cykly popsány.



Obrázek 62 Vývojový diagram části fáze 2



Výsledný program sloužící pro odběr, vizuální kontrolu a umístění do manipulační jednotky má tedy 14 cyklů a disponuje 1085 řádky. Z tohoto důvodu nebude program v textu uveden.

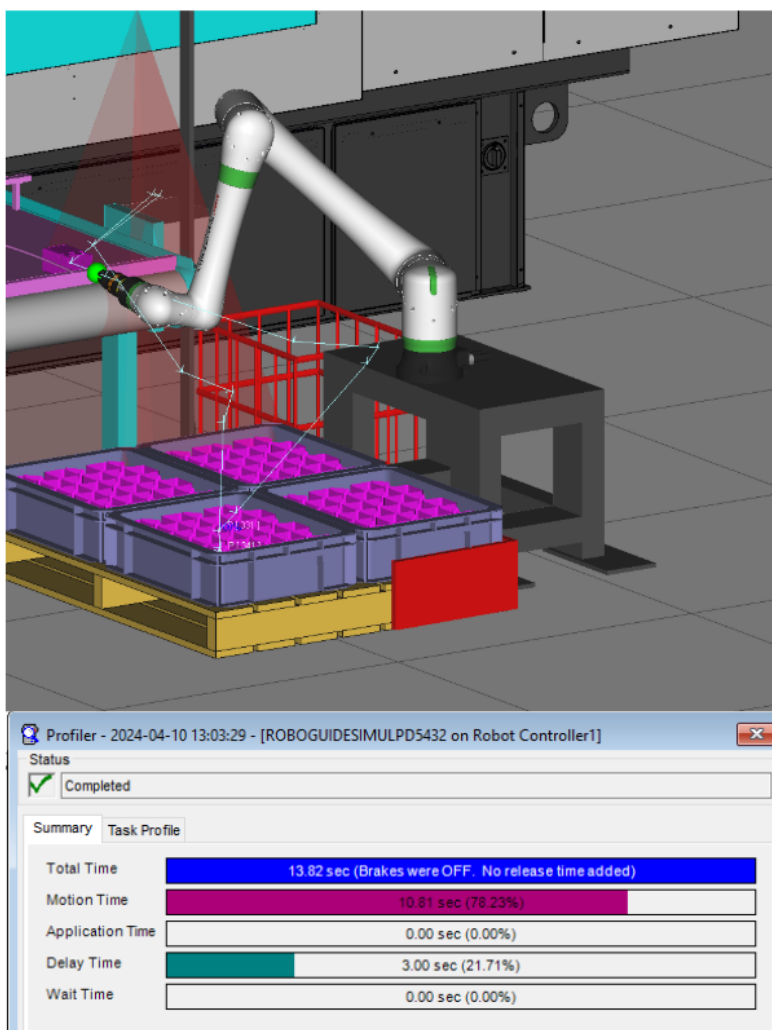
V následující části dojde k popisu tvorby simulace, pro kterou byl program napsán.

- Simulace

Po naprogramování robotického ramena došlo k tvorbě simulací obsluhy pásového dopravníku. Simulace měly za úkol zodpovědět dvě otázky a to následující: Jak dlouho trvá proces obsluhy výpalku a uloženého v nejvzdálenější pozici od robota ? Stihne robot naplnit jednotlivá patra ?

Pro zjištění času nutného pro obsluhu nejvzdálenějšího místa byla provedena simulace (viz Obrázek 63).

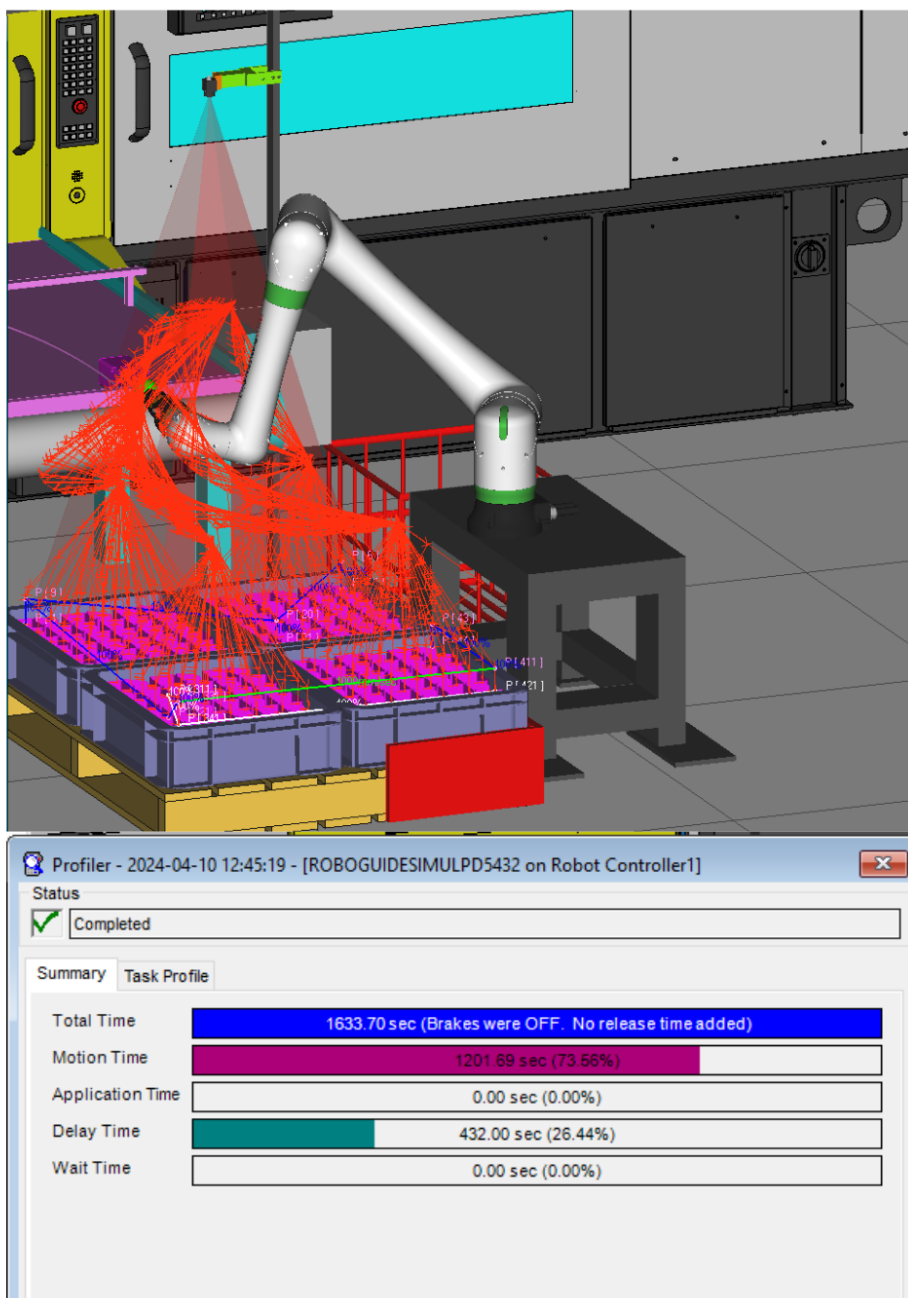
Program byl značně zjednodušen tím, že nebyla využita funkce naplnění definovaného pole, ale pouze jedna pozice s tím, že všechny ostatní prvky jako vizuální kontrola byly zachovány. Čas nutný pro vizuální kontroly byl stanoven na 3 sekundy, jak již bylo zjištěno z tvorby programy pro vizuální kontrolu. Využití této hodnoty je z důvodu provedení experimentu v reálném prostředí, které bude korespondovat nejvíce pro výslednou simulaci vzhledem k identičnosti prostředí.



Obrázek 63 Simulace nejvzdálenější pozice

Výsledný čas pro obsluhu této pozice byl vyčten z profileru, který slouží k rozložení časové náročnosti jednotlivých příkazů. Čas nutný pro obsluhu nejvzdálenější pozice je 13,82 sekund včetně vizuální kontroly. V porovnání se současným stavem, kdy tento proces trvá 20 sekund došlo k vytvoření úspory 6,18 sekund.

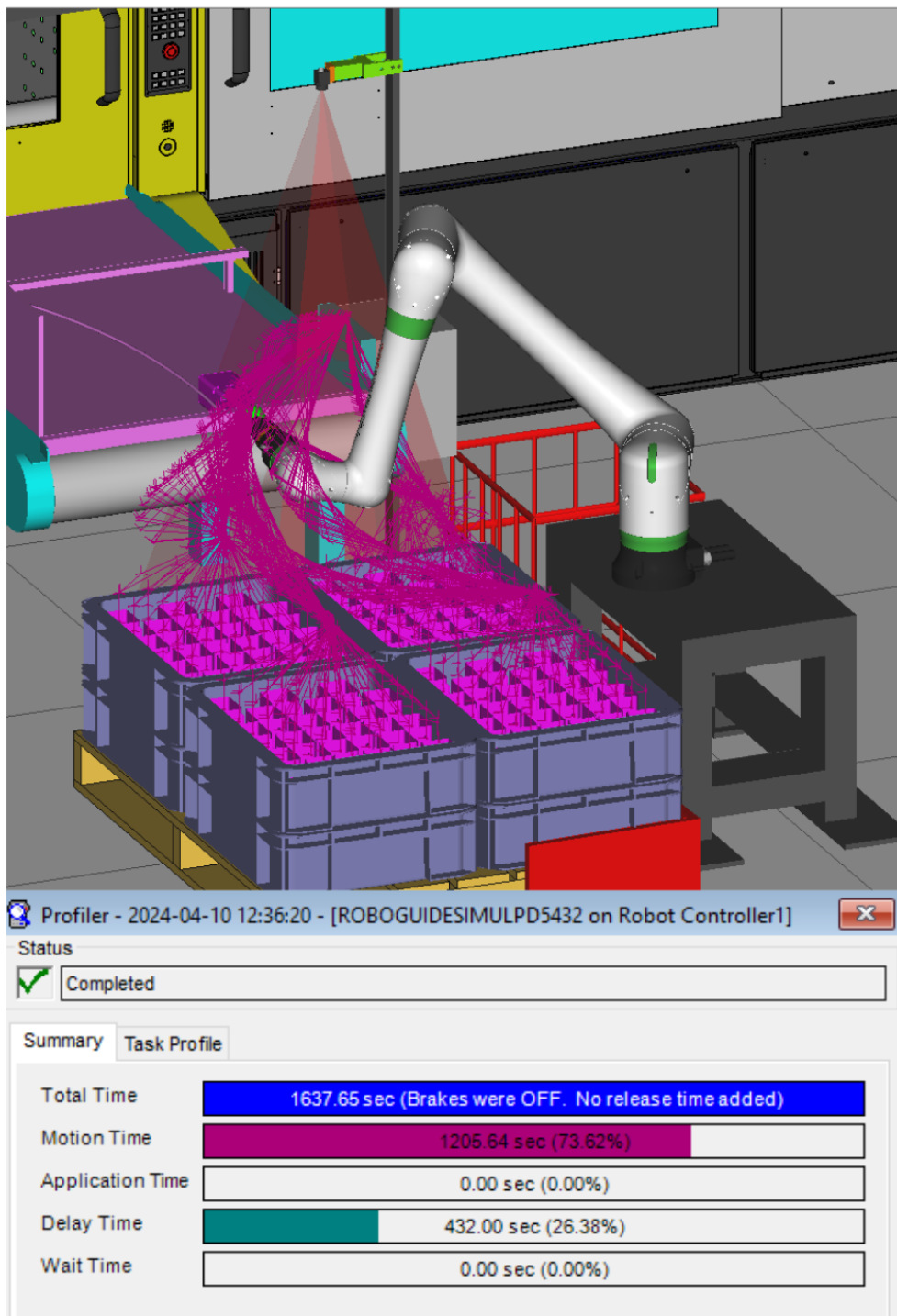
Druhá simulace se soustředila pouze na obsluhu výpalků v první úrovni a tedy pro 144 kusů. Tato úroveň je z pohledu vzdáleností nejproblematictější. Vzdálenosti mezi robotem, odběrem a výsledným prostorem pro uložení jsou největší. Největší vzdálenost ovšem naskýtá příležitost dosáhnouti vyšších rychlostí z důvodu větší vzdálenosti, na které může robot zrychlit. Simulace obsluhy první úrovně včetně vizuální kontroly měla trvání 1633,7 sekund s tím, že vizuální kontrola trvala pro 144 kusů 432 sekund (viz Obrázek 64). To znamená, že průměrný čas obsluhu jednoho kusu je 11,35 sekund a podmínka docílení času  $\leq 20$  sekund je tedy splněna.



Obrázek 64 Simulace první úrovně

Třetí simulace se zaměřila na obsluhu manipulačních jednotek ve druhé úrovni. Zde se setkáváme se situací, kde jsou vzdálenosti nutné pro uražení robotem kratší, než pro manipulační jednotky v první úrovni, ale prostor pro akceleraci robota je menší.

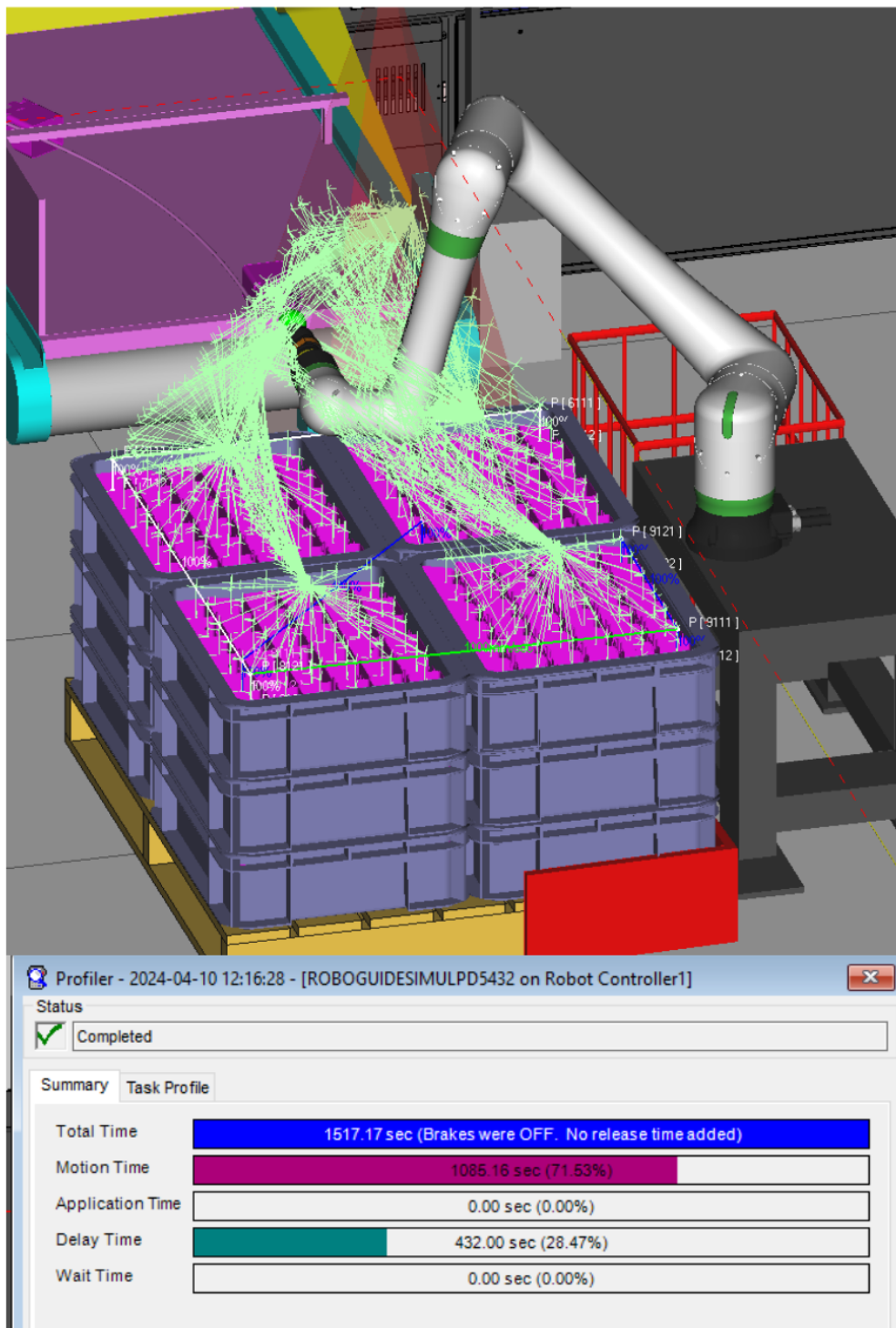
Výsledná simulace pro druhou úroveň trvala 1637,65 sekund včetně vizuální kontroly, která taktéž jako v první úrovni měla trvání 432 sekund (viz Obrázek 65). V tomto případě spadá průměrný čas na obsluhu jednoho výpalku 11,37 sekund a i pro tento případ platí, že podmínka doba trvání cyklu obsluhy je menší či roven než 20 sekund.



Obrázek 65 Simulace druhé úrovně

Čtvrtá simulace měla za úkol stanovit výsledný čas pro poslední úroveň manipulačních jednotek. V tomto případě, je vzdálenost kterou musí robot urazit nejkratší, ale tím je i prostor

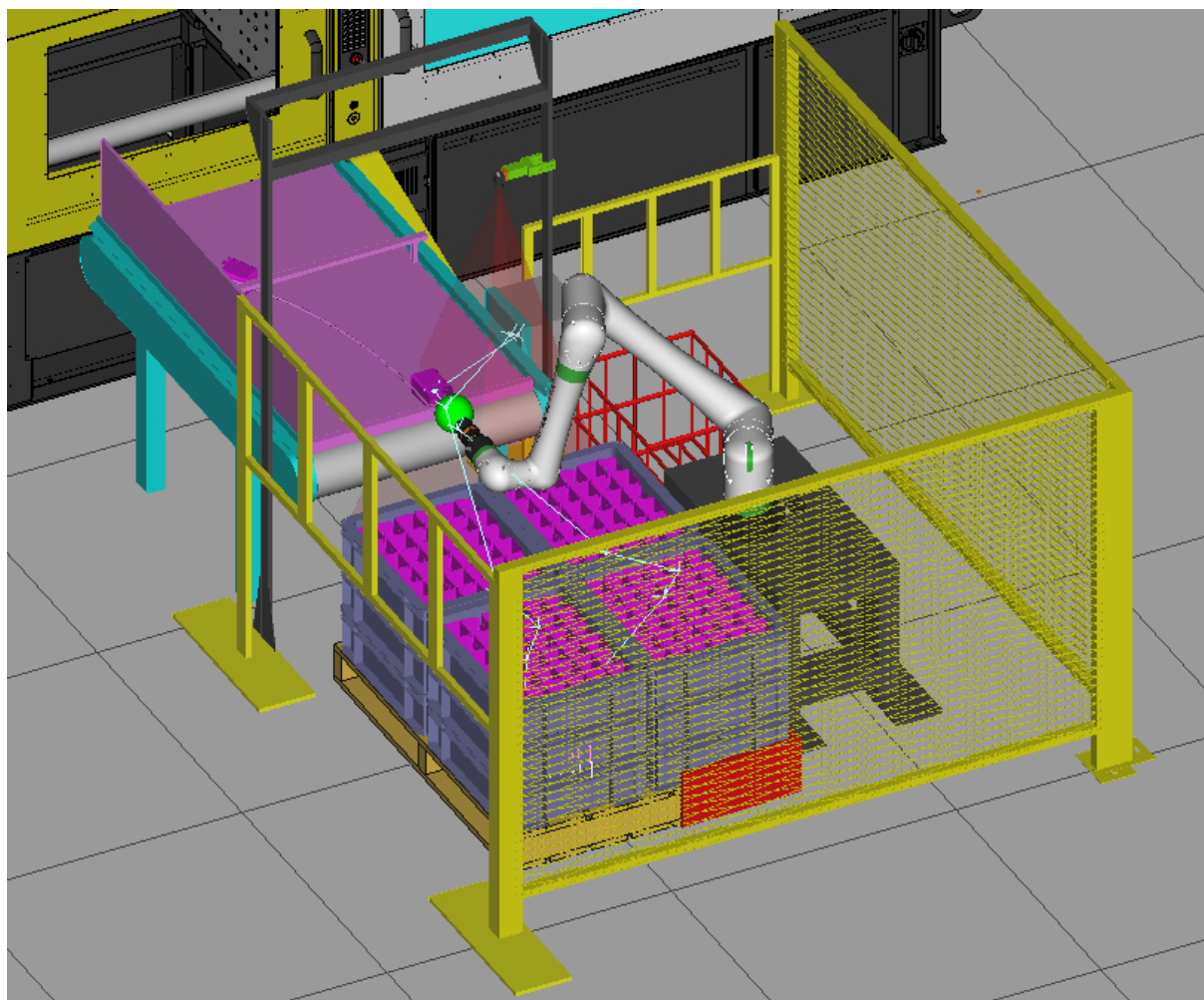
pro manipulaci s výpalkem nejmenší. V tomto případě museli být počáteční a nájezdové pozice upraveny tak, aby nedošlo ke kolizi. Výsledná simulace pro třetí úroveň trvala 1517,17 sekund včetně vizuální kontroly, která taktéž jako v první úrovni měla trvání 432 sekund (viz Obrázek 66). V tomto případě spadá průměrný čas na obsluhu jednoho výpalku 10,54 sekund a i pro tento případ platí, že podmínka doba trvání cyklu obsluhy je menší či roven než 20 sekund.



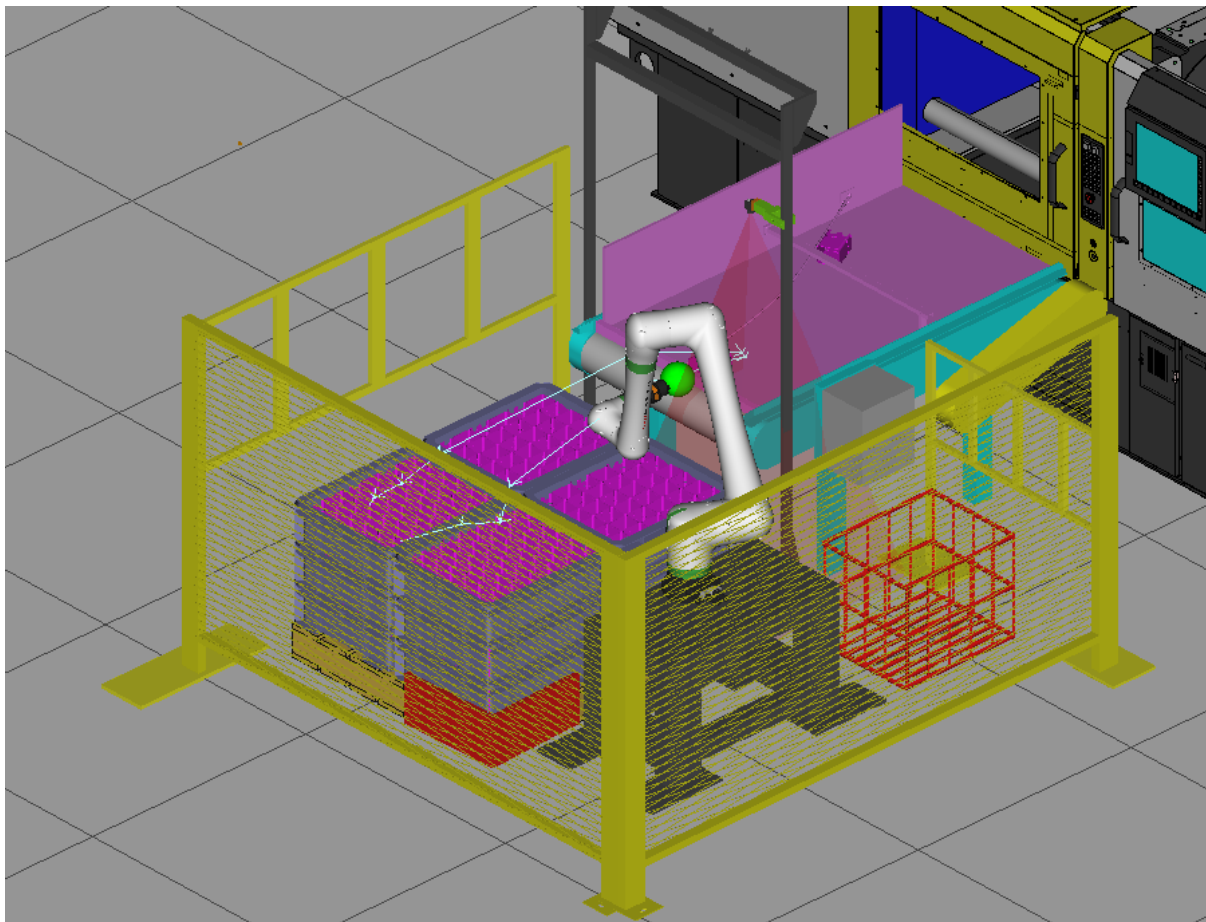
Obrázek 66 Simulace třetí úrovně

Tyto čtyři simulace prokázali, že robot je schopen obsluhy pásového dopravníku a tím nahradit pracovníka ve většině činnosti, které pracovník v současnosti vykonává.

Robot bohužel není schopen vykonávat zmíněné činnosti v kolaborativním režimu, ale s navýšením rychlosti až na 1000 mm/s. Průměrný čas simulace v kolaborativním režimu byl přibližně 22 sekund, tedy nad limitní hodnotou oproti vyhovujícím hodnotám s vypnutým kolaborativním režimem. To znamená, že robot musí být opatřen bezpečnostními prvky zabraňující přístup jakéhokoli pracovníku do prostoru, ve kterém robot pracuje. Hrubý návrh vytvořen na základě této skutečnosti je viditelný (viz Obrázek 67 a Obrázek 68). Bezpečnostním prvem je v tomto případě plot, který ohraničuje pracovní oblast robota. Plot je opatřen otvorem pro zajištění paletového vozíku s paletami. Proces doplňování buďto samotné palety a nebo jednotlivých úrovní musí probíhat způsobem doplňování mimo vyhraněný pracovní prostor. Otvor by měl být opatřen čidly pro identifikaci možných vniknutí. Posledním bezpečnostním prvkem by měla být verifikace v podobě spínače určující, že nehrozí žádné nebezpečí a nedojde k narušení pracovního prostoru robota.



Obrázek 67 Hrubý návrh bezpečnostních prvků pohled 1



**Obrázek 68 Hrubý návrh bezpečnostních prvků pohled 2**

V následující kapitole bude návrh implementace zhodnocen z pohledu technického a ekonomického. V technické části bude zhodnocena implementace z pohledu funkčnosti a zda-li došlo ke splnění požadavků od společnosti Shape Corp. V ekonomické části bude posouzena doba návratnosti navržené implementace průmyslového robota.

## 5 Technicko-ekonomické zhodnocení

V této kapitole dojde k zaměření na technicko-ekonomické hodnocení návrhu pracoviště, které bylo navrženo v rámci předchozí kapitoly. Hodnocení návrhu bude vytvořeno na základě stanovených požadavků od společnosti Shape Corp. Dále dojde k ekonomickému hodnocení, kde bude určena návratnost navržené investice.

### 5.1 Technické hodnocení

V rámci zhodnocení budou rozebrány jednotlivé aspekty přínosu navržené implementace průmyslového robota na pracoviště.

Průmyslový robot přináší na pracoviště v ideálním případě stálost a předvídatelnost. To ovšem znamená, že pracoviště na které by měl být robot implementován, by mělo mít tyto vlastnosti taktéž. V případě, že touto vlastností pracoviště nedisponuje je nutné ho upravit, tak aby bylo možné robota implementovat.

V předcházející kapitole byly provedeny simulace, které dokazují funkčnost navržené implementace průmyslového robota. Zmíněné simulace taktéž dokázali, že robot je schopen zastávat činnosti operátora, a je i schopen činnosti vykonávat znatelně rychleji než je limit pro odebrání 1 výpalku (viz

Tabulka 5).

**Tabulka 5** doba trvání simulací

Typ procesu	Čas [s]
Výroba výpalku v laserové komoře (Čas na odebrání 1 ks)	20
Takt simulace nejvzdálenější pozice	13,82
Takt simulace první úrovně	11,35
Takt simulace druhé úrovně	11,37
Takt simulace třetí úrovně	10,54

To otvírá příležitost možnosti zrychlení procesu vyřezování výpalků v laserové komoře v případě, že je to možné. Tím by došlo ke zvýšení efektivity pracoviště s tím, že při taktu obsluhy pro nejvzdálenější kus 13,82 sekund platí úspora času 30,9 % v porovnání s aktuálním stavem, kdy pro odebrání je prostor 20 sekund.

Jedním z problému na původním pracovišti, jak již bylo zmíněno v analýze současného stavu, je mírná chybovost při vizuální kontrole. Tato chybovost by měla být odstraněna pomocí kamery pro vizuální kontrolu. Tato skutečnost byla prokázána v rámci 100% úspěšnosti správného vyhodnocení v rámci experimentu při tvorbě programu kamery.

V rámci návrhu implementace byly doporučeny komponenty, které mají široké využití a dají se označit za univerzální. To přináší možnost využití komponent či samotného robota v dalších možných aplikacích.

Součástí návrhu je i nastíněn hrubý návrh bezpečnostních opatření pro implementaci průmyslového robota. Přidání bezpečnostních prvků je nutné kvůli rychlostem robota mimo kolaborativní režim.

## 5.2 Ekonomické vyhodnocení

V rámci tvorby návrhu o investici je důležitým parametrem pro společnost doba návratnosti investice. To znamená za jak dlouho se vložené finanční prostředky do navržené investice vrátí. Zvykem při tvorbě návrhu v rámci automatizace je doba návratnosti dvou let. Společnost v tomto konkrétním případě, nekladla důraz specificky na návratnost implementace, ale na využití již zakoupeného robota. Proto parametr návratnosti není nejdůležitějším parametrem, ale je přes to parametrem nutným v rámci provedení implementace. K provedení analýzy návratnosti bude využit následující vzorec.

$$\text{Doba návratnosti} = \frac{\text{Velikost investice}}{\text{Úspora nákladů}} \text{ [měsíce]} \quad (4)$$

Velikost investice vychází z nabídky od dodavatelů zobrazené v tabulce 6, do které byly zahrnuty veškeré položky, které jsou v rámci obsluhy pracoviště důležité. Těmito položkami buď společnost Shape Corp. již disponuje, nebo bude nutné provedení nákupu. Cena těchto položek vychází z obdržených cenových nabídek. Výsledná cena navržené implementace nezohledňuje cenu za bezpečnostní prvky, kdy v rámci diplomové práce došlo k vytvoření hrubého návrhu bezpečnostních prvků, které se společnost Shape Corp. plánuje pokusit vyřešit vlastními silami a z materiálu, kterým již disponuje. Jak již bylo zmíněno některými položkami již společnost disponuje a v rámci návrhu již cena za tyto položky nebude započítána a v kolonce cena budou tyto položky označeny symbolem „-“.

V rámci provedení návrhu byly navrženy redukce pro kameru. K výrobě těchto přípravků byla využita technologie 3D tisku, kterou firma také disponuje. V rámci konstrukce redukce byl kladen důraz na úsporu materiálu, a tím náklady na výrobu těchto přípravků byly téměř nulové v porovnání se zbytkem nákladů a tedy nebudou započítány.

Tabulka 6 Náklady na implementaci robota

Položky	Cena [Eur]
Kontejner na výstupní materiál	-
Kontejner na NOK kusy	-
Robot CRX-10iA/L	-
Úchopný efektor	4524,00
Kamera pro vizuální kontrolu	3976,00
Spádová plocha	21,4
Vodící tyč	23,9
Zarážka	32,2
Přípravek pro uchycení k redukci a konstrukci	-
Redukce pro kameru a držák	-
Celkem	8577,5

Výsledné ceny v Eurech bez DPH jsou v rámci zachování firemního tajemství vynásobeny koeficientem v intervalu  $\langle 0,9-1,1 \rangle$  a tudíž se nejedná o skutečné hodnoty stanovené prodejcem, ale pouze přibližné. Výsledná hodnota investice byla stanovena na 8577,5 Eur.



V rámci stanovení úspory vzniklé z navržené implementace je nutné stanovit dosavadní náklady na chod pracoviště. Úspora by měla vzniknout na základě nahrazení pracovníků průmyslovým robotem, respektive ušetření nákladů na mzdy. Zbylé náklady jako režijní náklady na materiál zůstávají stejné, a proto v analýze doby návratnosti nebudou uvažovány. Nutným nově vzniklým nákladem je spotřeba elektrické energie robotem. Výrobce uvádí, že průměrná spotřeba na jednu hodinu je 0,3 kW. Pro stanovení hodnoty spotřeby byla uvažována cena za kilowatthodinu 0,16 Eur.

Výpočet spotřeby elektrické energie bude proveden pro třísměnný provoz (3x 8 hodin) jako je tomu na pracovišti doposud. Nepředpokládá se úplné vypínání robota při přestávkách pracovníka. V rámci spotřeby elektrické energie se nepředpokládá úplné vypínání robota při pauzách pracovníků. Dále bude uvažováno 21 pracovních dní. Výpočet spotřeby elektrické energie (ER) za měsíc je tedy následující:

ER [Eur] - Výdaje na spotřebu elektrické energie robota za měsíc

$SE_r = 0,3$  [kW] - Spotřeba elektrické energie robota

$C_{kw} = 0,16$  [Eur] - Cena za kWh

$d_p = 21$  [den] - Počet pracovních dní v měsíci

$P_s = 3$  [počet směn] - Počet směn

$D_s = 8$  [hodin] - Délka směny

$$ER = SE_r * C_{kw} * D_s * P_s * d_p = 0,3 * 0,16 * 8 * 3 * 21 = 24,19 [Eur] \quad (5)$$

Dalším parametrem pro stanovení úspory je ušetření mzdy na pracovníka. Průměrné náklady na pracovníka, který vykonává tento typ pracovní náplně je 2 500 Eur. Jak již bylo zmíněno na pracovišti je třísměnný provoz a tedy budou nahrazení 3 pracovníci.

PNP = 2000 [Eur] - Průměrné náklady na pracovníka

$$\text{Úspora nákladů} = PNP - ER = 3 * 2500 - 24,19 = 7475,81 [Eur] \quad (6)$$

V tento okamžik je již možné stanovit dobu návratnosti podle vzorce, který byl uveden na začátku kapitoly ekonomického hodnocení.

$$\text{Doba návratnosti} = \frac{8\,577,5}{7475,81} = 1,14[\text{měsíců}] \quad (7)$$

Doba návratnosti byla stanovena na 1,14 měsíců a to pro případ, kdy již firma disponuje robotem a nemusí ho tedy již kupovat jako je to v případě společnosti Shape Corp.

V rámci ekonomického hodnocení bude i zhodnocena varianta, která bude uvažovat i pořizovací cenu již zakoupeného robota. Cena robota vychází z údajů poskytnutých společností Shape Corp. Tato informace může sloužit společnosti v rámci rozšíření průmyslových robotů na další pracoviště (viz tabulka 7).

Tabulka 7 Náklady na implementaci včetně robota

Položky	Cena [Eur]
Kontejner na výstupní materiál	-
Kontejner na NOK kusy	-
Robot CRX-10iA/L	52000
Úchopný efektor	4524
Kamera pro vizuální kontrolu	3976
Spádová plocha	21,4
Vodící tyč	23,9
Zarážka	32,2
Přípravek pro uchycení k redukci a konstrukci	-
Redukce pro kameru a držák	-
Celkem	60577,5

Výsledná hodnota investice včetně částky na robota je 60577,5 Eur bez DPH. Jednotlivé položky tvořící tuto částku jsou opět vynásobena koeficientem v intervalu  $<0,9-1,1>$  a tudíž se nejedná o skutečné hodnoty stanovené prodejcem, ale pouze přibližné. Postup pro stanovení doby návratnosti pro tento případ je identický jako byl v předcházející analýze.

Výdaje na spotřebu elektrické energie jsou taktéž 24,19 Eur. Úspora nákladu je taktéž zachována na 7475,81 Eur. Výsledná doba návratnosti je tedy:

$$Doba\ návratnosti = \frac{60577,5}{7475,81} = 8,1 \text{ [měsíců]} \quad (8)$$

Doba návratnosti 8,1 měsíců nepřevyšuje obvyklou dobu 24 měsíců. V případě, že by došlo k navýšení výrobního taktu laseru na 13,82 sekund, jak bylo zmíněno v předcházející kapitole, došlo by k razantnímu navýšení efektivity robota a tím pádem i ke snížení doby návratnosti.

## Závěr

Na základě požadavku od společnosti Shape Corp. byla vypracována diplomová práce, jejíž cílem bylo vytvoření návrhu implementace průmyslového robota na pracoviště. Diplomová práce se zaměřuje jak na teoretickou stránku problematiky, popis současného stavu a tak zejména tvorbu samotného návrhu.

První z kapitol je výroba, kde byla definována, členěna a byli zmíněné charakteristické pojmy spojeny s výrobou. Poslední podkapitolou jsou technologie, které využívá společnost Shape Corp. na pracovišti, pro které byl vytvořen návrh implementace průmyslového robota. Tento popis vznikl za účelem hlubšího pochopení problematiky spojené s tímto pracovištěm.

Druhá kapitola se věnuje průmyslové robotizaci. Ze začátku je uvedeno členění průmyslových robotů a manipulátorů. Vytvořené členění bylo v další podkapitole doplněno o charakteristické znaky jednotlivých typů. Další podkapitola byla věnována kolaborativním robotům. V této podkapitole byla definována kolaborace a byly uvedeny typy kolaborace s jejich popisem. Další dvě podkapitoly osvětlují možnosti vytvoření vazby průmyslových robotů s vnějším prostředím, jako je koncový efektor a vision systém. Poslední podkapitolou kapitoly průmyslová robotizace byla konfigurace již zmíněných členů.

Třetí kapitolou diplomové práce je analýza současného stavu. V této kapitole byla představena společnost Shape Corp. a pracoviště, pro které bude v rámci praktické části vytvořen návrh implementace kolaborativního robota. První podkapitolou této kapitoly je výrobek, který byl popsán a zmíněn postup výroby. Další podkapitolou je popis laserového pracoviště Laser003, kde jsou popsány jednotlivé části tohoto pracoviště. Dále byl popsán robot, který by v rámci návrhu mohl být implementován na již popsané pracoviště. Předposlední podkapitolou je popis průběhů procesů na pracovišti Laser003, které musí v současnosti vykonat pracovník na pracovišti. Analýza současného stavu byla doplněna spaghetti diagramem, který slouží k hlubšímu pochopení náplní pracovníka, kterého by mohl nahradit kolaborativní robot.

Čtvrtá kapitola se zaměřovala na zásadní oblast praktické části diplomové práce, respektive na návrh implementace průmyslového robota na pracovišti, které bylo popsáno v analýze současného stavu.

Tvorba návrhu začala představením požadavků společnosti Shape Corp. Základním požadavkem společností bylo dodržení výrobního taktu 20 sekund, za kterých dojde k vypálení výpalku. Za tento stanovený čas je v současnosti pracovník schopen uchopit, vizuálně zkontrolovat a umístit výpalek do manipulační jednotky.

Dále došlo k posouzení vhodnosti implementace kolaborativní robota z pohledu činností, které jsou na pracovišti prováděny z pozice pracovníka obsluhující pásový dopravník na pracovišti. Výsledné rozložení šesti činností vykonávaných v současnosti pracovníkem bylo rozděleno na tři činnosti pro robota a na tři činnosti pro teamleadera. Činnosti, které by byl schopen zastávat robot je odběr výpalku, vizuální kontrola a uložení výpalku do manipulační jednotky.

Z požadavků od společnosti Shape Corp. byla vytvořena strategie výsledného procesu pro implementaci. Tento návrh slouží jako předpoklad pro vytvořený návrh a pro snazší tvorby implementačního procesu.

V rámci provedení implementace bylo nutné upravit pracoviště, tak aby byl robot schopen přidělené činnosti vykonávat. V rámci analýzy kritických bodů na pracovišti bylo nalezeno 6 problematických bodů, kterým bylo navrženo řešení v podobě přípravků či jiných úprav.

Dále došlo k výběru nutných komponent, které by robotovi umožňovali vykonávat požadované činnosti. Z analýzy dostupných komponent umožňující uchopování objektů došlo k jejich porovnání a selekci optimálního úchopného efektoru nejlépe splňující požadované požadavky. Stejným postupem došlo i k výběru kamery sloužící jako člen vizuální kontroly.

V další části došlo k vytvoření návrhu pro přípravek pro vybranou kameru s redukcí a stanovení výšky umístění kamery nad objektem. Poté byl konkrétně popsán kalibrační proces, který umožňuje správnou funkčnost instalované kamery. Instalační proces byl proveden a popsán i pro vybraný úchopný efektor.

Z návrhu pro implementační proces byl vytvořen program pro vizuální kontrolu pozorovaného výpalku. Následně byl vytvořen program pro samotného robota.

V následující části praktické části byly provedeny čtyři simulace, které využili všechny navržené prvky zmíněné z předchozích kapitol a jasně určili, že navržený proces je plně funkční a robot je schopen obsluhovat dopravník rychleji, než je stanovený takt procesu vypálení. V závěru návrhu je doporučení prohloubit návrh bezpečnostními prvky, o které musí být systém doplněn.

Navržená implementace byla na základě provedených simulací zhodnocena po technické stránce a zdůrazněno, co může navržená implementace společnosti Shape Corp. přinést. Navržená implementace byla zhodnocena i po stránce ekonomické, kde byly stanoveny doby návratnosti pro dva scénáře a to pro situaci, kdy již byl robot a zakoupen a kdy nikoliv. Vytvořené hodnocení by mohlo sloužit jako podklad pro tvorbu nových pracovišť využívající průmyslové roboty.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] SYNEK, M. a E. KISLINGEROVÁ. *Podniková ekonomika 6. přepracované a doplněné vydání*. Praha: C. H. Beck, 2015. ISBN 978-80-7400-274-8.
- [2] BENEŠ, P. et al. *Automatizace a automatizační technika 1: Systémové pojetí automatizace*. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-3628-7.
- [3] NĚMEC, M. J. SUCHÁNEK a J. ŠANOVEC. *Základy strojírenské technologie 1*. Praha: ČVUT, 2016. ISBN 978-80-01-06056-8.
- [4] CHLEBNÝ, J. et al. *Automatizace a automatizační technika: Prostředky automatizační techniky*. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.
- [5] DVOŘÁK, M. *Technologie 2*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, 2001. ISBN 80-214-2032-4.
- [6] MORÁVEK, R. *Nekonvenční metody obrábění*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 1999. ISBN 80-7082-518-9.
- [7] SVELTO, O. *Principles of Lasers Fifth edition*. Milan: Springer, 2010. ISBN 978-1-4419-1301-2.
- [8] CAI, Z. *Robotics: From Manipulator to Mobilebot*. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2022. ISBN 978-9811253461.
- [9] RUMÍŠEK, P. ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE. In: *Automatizace (roboty a manipulatory)* [online]. Brno: 2003 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: [https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm\\_mechanizace\\_a\\_automatizace\\_roboty\\_rumisek.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_roboty_rumisek.pdf)
- [10] MATHESON, E. et al. *Human–Robot Collaboration in Manufacturing Applications: A Review* [Review]. London: 2019. <https://doi.org/10.3390/robotics8040100>.
- [11] NOVOTNÝ, F. V. HOTÁŘ a M. HORÁK. *Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství*. Liberec: 2020. ISBN 978-80-7494-545-8.
- [12] INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS. *Demystifying Collaborative Industrial Robots* [Positioning Paper]. Frankfurt: 2020.
- [13] KOLÍBAL, Z. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [14] FANUC CORPORATION. *FANUC Robot Vision and Force Control* [Katalog]. Shibokusa: 2021.
- [15] Fanuc. *FANUC iRVision* [online]. 2020 [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://crx.fanuc.eu/cs/irvision-robotic-vision-system/>
- [16] FANUC. *Lehký kolaborativní robot CRX-10iA/L* [online]. [cit. 2023-07-20]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stranka-filtru-robotu/kolaborativni-roboty/crx-10ial>
- [17] Fanuc.eu. *Řídící jednotka R-30iB Plus* [online]. [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/prislušenství/robot-controller-and-connectivity>

- [18] ShapeCorp. *Historie* [online]. 2022 [cit. 2023-07-13]. Dostupné z: <https://www.shapecorp.com/cs/historie/>
- [19] ShapeCorp. *Roll Forming* [online]. 2022 [cit. 2023-07-13]. Dostupné z: <https://www.shapecorp.com/manufacturing/roll-forming/>
- [20] ShapeCorp. *Produkty* [online]. 2019 [cit. 2023-07-13]. Dostupné z: <https://www.shapecorp.com/cs/produkty/>
- [21] JŮROVÁ, M. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada Publishing, a. s. 2016. ISBN 978-80-247-5717-9.
- [22] ROBOTIQ. *Gripper instruction manual* [PDF]. Canada: Robotiq, 2018.
- [23] FANUC EUROPE CORPORATION. *iRVision Brochure* [Brožura]. FANUC Europe Corporation, 2023.
- [24] Fanuc.eu. *Kamerové funkce pro roboty* [online]. 2023 [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/přisluslenství/vidění>
- [25] Fanucamerica.com. *Fanuc Robot Vision Products* [online]. 2024 [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/vision-products>
- [26] CORPORATION, F. *iRVision - ROBOT - FANUC CORPORATION*. *iRVision* [online]. 2021 [cit. 2024-03-07]. Dostupné z: <https://www.fanuc.co.jp/en/product/robot/function/irvision.html>
- [27] ROBOTIQ. *TCP and Center of Mass Table* [PDF]. Canada: Robotiq, 2018.
- [28] MECADEMIC. Mecademic industrial robotics. *What are Singularities in a Six-Axis Robot Arm?* [online]. 2023 [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: [https://www.mecademic.com/academic\\_articles/singularities-6-axis-robot-arm/](https://www.mecademic.com/academic_articles/singularities-6-axis-robot-arm/)