

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

Studijní program: Průmyslové inženýrství a management  
N0715A270012

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Simulace automatizace procesu třídění pekárenských výrobků s  
využitím průmyslového robota**

Autor: Bc. Václav ČEPELÁK  
Vedoucí práce: Ing. Tomáš BROUM, Ph.D.

Akademický rok 2022/2023

## Zadání DP

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Bc. Václav ČEPELÁK</b>
Osobní číslo:	<b>S21N0017P</b>
Studijní program:	<b>N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management</b>
Téma práce:	<b>Simulace automatizace procesu třídění pekárenských výrobků s využitím průmyslového robota</b>
Zadávající katedra:	<b>Katedra průmyslového inženýrství a managementu</b>

### Zásady pro vypracování

1. Robotizace
2. SW nástroj – FANUC Roboguide
3. Simulace vybraného procesu v SW FANUC Roboguide
4. Realizace vybraného procesu v experimentální laboratoři
5. Závěr a vyhodnocení

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**  
Rozsah grafických prací: **0**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. HOTAŘ, Vlastimil. *Úvod do problematiky strojového vidění*. 1. vydání. Liberec: Technická univerzita, 2015. ISBN 978-80-7494-156-6.
2. CHLEBNÝ, Jan a kol. *Automatizace a automatizační technika: Prostředky automatizační techniky*. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.
3. KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Broum, Ph.D.**  
Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Konzultant diplomové práce: **Ing. Michael Froněk**  
ARC-Robotics s.r.o., Plzeň  
Datum zadání diplomové práce: **19. září 2022**  
Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2023**

L.S.

---

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

---

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

V Plzni dne 19. září 2022

## **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**

Chtěl bych poděkovat Ing. Tomáši Broumovi, Ph.D., pod jehož vedením jsem diplomovou práci zpracovával a také Ing. Michaelu Froňkovi, který byl mým konzultantem a poskytl mi cenné znalosti v oblasti robotizace.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Čepelák	<b>Jméno</b> Václav	
<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>	Simulace automatizace procesu třídění pekárenských výrobků s využitím průmyslového robota		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KPV	<b>ROK ODEVZD.</b>	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	70	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	60	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Diplomová práce se zabývá simulací automatizace procesu třídění pekárenských výrobků s využitím průmyslového robota. V teoretické části práce charakterizuje robotizaci a popisuje softwarový nástroj Fanuc Roboguide a jeho varianty. Praktická část využívá pracoviště s kolaborativním v laboratoři průmyslu 4.0, na kterém je proveden experiment. Toto pracoviště je přeneseno do softwarového nástroje Fanuc Roboguide, kde je provedena simulace stejného experimentu jako v laboratoři. Výsledky experimentu jsou následně zpracovány a vyhodnoceny.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	Automatizace, robotizace, simulace, třídění, pekárenské výrobky, robot

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Čepelák	Name Václav	
<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>	Simulation of the process automation of sorting bakery products using an industrial robot		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Industrial Engineering and Management	<b>SUBMITTED IN</b>	2023
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------------	---------------------	------

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

<b>TOTALLY</b>	70	<b>TEXT PART</b>	60	<b>GRAPHICAL PART</b>	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The diploma thesis deals with the simulation of automation of the sorting process of bakery products using an industrial robot. The theoretical part of the thesis characterizes the robotization and describes the software tool Fancu Roboguide and its variants. The practical part uses a collaborative workstation in the Industry 4.0 laboratory where the experiment is performed. This workstation is transferred to the Fancu Roboguide software tool, where a simulation of the same experiment as in the lab is performed. The results of the experiment are then processed and evaluated.
<b>KEY WORDS</b>	Automation, robotization, simulation, sorting, bakery products, robot

## Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	9
Seznam obrázků .....	10
Seznam tabulek .....	12
Úvod.....	13
1 Robotizace.....	14
1.1 Historie a definice robotizace .....	14
1.2 Druhy robotů.....	15
1.3 Odvětví využívající roboty .....	17
1.4 Průmyslový robot .....	19
2 Fanuc Roboguide.....	25
2.1 Varianty softwaru Fanuc Roboguide.....	25
2.2 Popis programu Fanuc Roboguide HandlingPRO.....	28
2.3 Systémy souřadnic kloubového robota.....	36
2.4 Programování kloubového robota Fanuc.....	37
3 Analýza současného stavu.....	40
3.1 Popis pracoviště v laboratoři průmyslu 4.0 .....	40
3.2 SW nástroj Fanuc Roboguide .....	41
4 Simulace vybraného procesu v SW Fanuc Roboguide .....	43
4.1 Příprava podkladů pro simulaci .....	43
4.2 Popis plánovaného procesu .....	45
4.3 Příprava modelu.....	47
4.4 Vlastní simulace v SW nástroji Fanuc Roboguide .....	47
5 Realizace vybraného procesu v experimentální laboratoři .....	58
5.1 Příprava realizace vybraného procesu .....	58
5.2 Nastavení kamerového systému .....	59
5.3 Import programů z prostředí Fanuc Roboguide .....	61
5.4 Vlastní realizace vybraného procesu .....	62
6 Vyhodnocení .....	64
6.1 Měření provedených simulací .....	64
6.2 Závěrečné vyhodnocení.....	66
Závěr.....	67
Seznam použitých zdrojů .....	68



## **Přehled použitých zkratk a symbolů**

AGV	Automated Guided Vehicle
AMF	American Machine and Foundry Corporation
AMR	Autonomní mobilní roboty
ČSN	Česká technická norma
KPV	Katedra průmyslového inženýrství a managementu
RIA	Americký institut pro robotiku
NC	Numerical Control

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Vývoj robotiky [28] .....	14
Obrázek 2: Robotický vysavač [5] .....	15
Obrázek 3: AGV z laboratoře KPV .....	16
Obrázek 4: Průmyslový robot [6] .....	16
Obrázek 5: Humanoidní robot [7] .....	17
Obrázek 6: Zemědělský robot [9] .....	18
Obrázek 7: Zdravotnický operační robot [10] .....	18
Obrázek 8: Průmyslové roboty [11] .....	19
Obrázek 9: Řídící jednotka robota z laboratoře KPV .....	20
Obrázek 10: Senzor vidění robota z laboratoře KPV .....	20
Obrázek 11: Koncový efektor robota pro uchopování z laboratoře KPV .....	21
Obrázek 12: Karteziánský robot [14] .....	22
Obrázek 13: SCARA robot [15] .....	22
Obrázek 14: Schéma válcového robota [16] .....	23
Obrázek 15: Delta robot [17] .....	23
Obrázek 16: Schéma dosahu polárního robota [19] .....	24
Obrázek 17: Obrázek kolaborativního robota z laboratoře KPV .....	24
Obrázek 18: Fanuc HandlingPRO [22] .....	25
Obrázek 19: Fanuc WeldPRO [24] .....	26
Obrázek 20: Fanuc PalletPRO [26] .....	27
Obrázek 21: Fanuc PaintPRO [27] .....	27
Obrázek 22: Úvodní okno FANUC ROBOGUIDE .....	28
Obrázek 23: Vytvořená nová pracovní buňka .....	29
Obrázek 24: Detail Fanuc Roboguide 1 .....	29
Obrázek 25: Prohlížeč buňky .....	30
Obrázek 26: Dialogové okno s výběrem verze softwaru Roboguide .....	31
Obrázek 27: Volba knihovny efektorů .....	31
Obrázek 28: Výběr modelu robota .....	32
Obrázek 29: Volba dalších softwarových možností .....	33
Obrázek 30: Přidání efektoru .....	34
Obrázek 31: Záložka UTOOL .....	35
Obrázek 32: Otočení a nastavení úchopu efektoru .....	35
Obrázek 33: Souřadnicový systém World [29] .....	36
Obrázek 34: Souřadnicový systém Joint [29] .....	36

Obrázek 35: Souřadnicový systém Tool [29].....	37
Obrázek 36: Souřadnicový systém User [29].....	37
Obrázek 37 TeachPendant z laboratoře KPV .....	38
Obrázek 38: Laboratoř průmyslu 4.0 .....	41
Obrázek 39: Model robota z laboratoře v SW nástroji Fanuc Roboguide .....	42
Obrázek 40: Robot z reálného prostředí pekárny [31] .....	43
Obrázek 41: SW nástroj CAD Exchanger .....	44
Obrázek 42: Model boxu vytvořený v SW nástroji Autodesk Inventor.....	44
Obrázek 43: Detail pracoviště v SW nástroji Fanuc Roboguide.....	45
Obrázek 44: Rozmístění barevných puků k boxům v simulaci.....	46
Obrázek 45: 3D model části pracoviště v laboratoři průmyslu 4.0.....	47
Obrázek 46: Pohled kamery na barevné puky a boxy k identifikaci.....	48
Obrázek 47: Pohled kamery na barevné puky náhodně rozmístěné na dopravníku.....	48
Obrázek 48: Robot přesunující puk do červeného boxu .....	49
Obrázek 49: Vývojový diagram první verze programu .....	50
Obrázek 50: Podprogram V_IDENTIFIKACE.....	51
Obrázek 51: Podprogram V_ODBER .....	52
Obrázek 52: Podprogram V_ODHOZ1 .....	52
Obrázek 53: Hlavní program.....	53
Obrázek 54: Vývojový diagram druhé verze programu .....	54
Obrázek 55: Upravený hlavní program .....	55
Obrázek 56: Upravený podprogram V_ODBER .....	56
Obrázek 57: Detail pracoviště s průmyslovým robotem Fanuc LR Mate 200iD/7L .....	57
Obrázek 58: 3D tisk boxů.....	58
Obrázek 59: Rozmístění barevných puků k boxům .....	59
Obrázek 60: Rozpoznávání jednotlivých boxů .....	60
Obrázek 61: Rozpoznávání přiřazených barev k jednotlivým boxům .....	60
Obrázek 62: Rozpoznávání náhodně rozmístěných puků se souřadnicemi a tolerancí shodnosti .....	61
Obrázek 63: USB port na TeachPendantu reálného robota.....	61
Obrázek 64: Reálný robot přesunující puk do červeného boxu .....	62
Obrázek 65: Grafy průměrných časů odklizení 1 puku a odklizení všech 16 puků.....	66

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Specifikace robota Fanuc CR-7iA/L [32] .....	40
Tabulka 2: Specifikace robota Fanuc LR Mate 200iD/7L [33] .....	56
Tabulka 3: Naměřené hodnoty v laboratoři na ZČU .....	64
Tabulka 4: Naměřené hodnoty v SW Fanuc Roboguide s kolaborativním robotem Fanuc CR-7iA/L .....	65
Tabulka 5: Naměřené hodnoty v SW Fanuc Roboguide s průmyslovým robotem Fanuc LR Mate 200iD/7L .....	65
Tabulka 6: Výsledné porovnání jednotlivých simulací .....	65

## Úvod

Robotizace a automatizace je nedílnou součástí rozvoje průmyslových i jiných odvětví. Dochází k rozvoji nových technologií, které usnadňují implementaci robotů do výrobních i dalších společností. Roboty dokážou zásadně snížit fyzickou zátěž pracovníků, chybovost, zvyšují produktivitu, efektivitu, jsou vhodné pro prostředí, kde by mohl být člověk ohrožen na zdraví a v dnešní době se dají přizpůsobit mnoha rozličným úkolům.

Cílem diplomové práce je simulovat proces automatizace třídění pekárenských výrobků s využitím průmyslového robota. Teoretická část práce se zaměřuje na popis robotizace, rozdělení robotů, dále se blíže orientuje na popis průmyslových robotů a jejich dělení. Druhá kapitola se zabývá softwarovým nástrojem Fanuc Roboguide, jeho různými variantami, bližším popisem varianty HandlingPRO, souřadnicových systémů a programováním průmyslového robota Fanuc.

Praktická část diplomové práce se zaměřuje na laboratoř průmyslu 4.0 na ZČU, dále se zabývá SW nástrojem Fanuc Roboguide. Následně se orientuje na přípravu simulace, přípravu modelu a na dvě verze vlastní simulace. Dále popisuje realizaci vybraného procesu v experimentální laboratoři. Zahrnuje přípravu vybraného procesu, nastavení kamerového systému robota, import programů do robota a vlastní realizaci vybraného procesu. V závěrečné kapitole jsou vyhodnoceny naměřené hodnoty jednotlivých simulací.

# 1 Robotizace

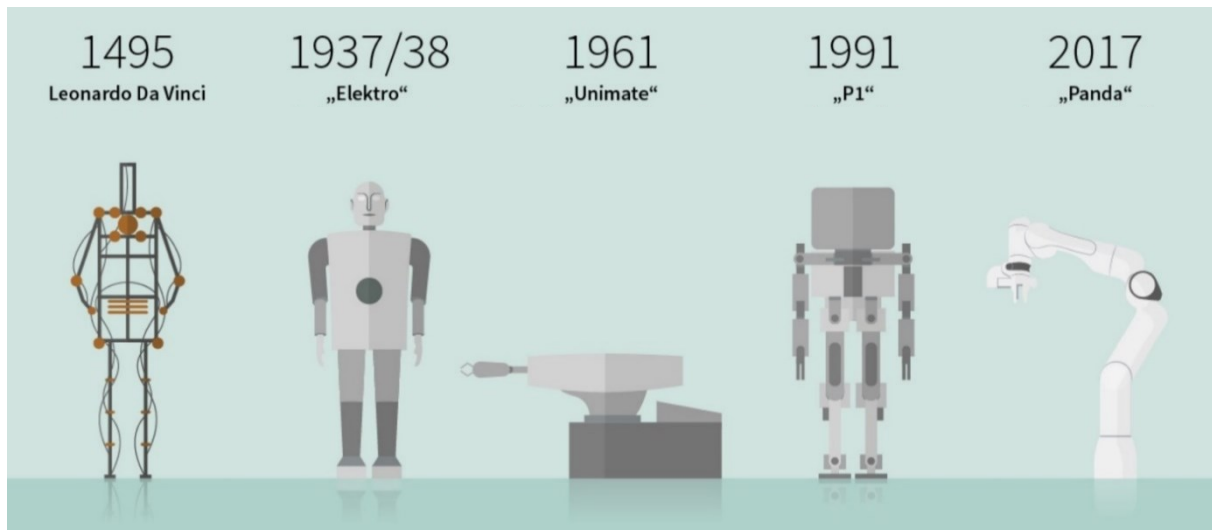
Tato kapitola se zaměřuje na definici a historii robotizace. Dále se zde objeví definice a základní rozdělení robotů, odvětví využívající roboty a detailnější informace o průmyslových robotech, jejich součástích a rozdělení.

## 1.1 Historie a definice robotizace

Snaha o nahrazení lidské práce pomocí strojů je tak stará jako lidská kultura. Nejstarší zmínky o samohybných mechanismech pocházejí ze starověkého Řecka a Číny.

V roce 1961 přinesla americká firma AMF (American Machine and Foundry Corporation) na trh mnohoúčelový automat, který nazvala průmyslový robot VERSATRAN. Tento průmyslový robot plnil funkci člověka u výrobního zařízení, ale neměl jeho podobu.

Důležitým milníkem v historii robotizace a automatizace je vynález číslicového řízení (NC – Numerical Control). V té době se začaly realizovat představy o automatické výrobě. Spojení NC výrobních zařízení a průmyslových robotů na přelomu 20. a 21. století umožnilo vznik zcela automatizovaných továren. [1]



Obrázek 1: Vývoj robotiky [28]

Nyní byla uvedena historie robotizace. Jelikož se robotizace obecně soustředí na nejrozličnější druhy robotů, tak budou v následující podkapitole základně uvedeny.

Dále je potřeba definovat pojem robot. Definici slova robot vyslovil například Ing. Ivan M. Havel, CSc. ve znění: „Robot je automatický nebo počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní, cílově orientované interakce s přirozeným prostředím, podle instrukcí od člověka. Tato interakce spočívá ve vnímání a rozpoznávání tohoto prostředí a v manipulování s předměty, popř. v pohybování se v tomto prostředí.“ [2]

Norma ČSN ISO 8373 definuje robota následovně: „Automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď upevněn na místě nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích.“ [3]

Americký institut pro robotiku (RIA) definuje pojem robot jako: „Přeprogramovatelný vícefunkční manipulátor určený k přemísťování materiálu, součástí, nástrojů nebo specializovaných přístrojů pomocí různě naprogramovaných pohybů za účelem provádění různých úkolů.“ [4]

Je mnoho dalších definic, které popisují robota různými způsoby, ale oblastí, kterou se tato práce zabývá je především průmysl, a proto výchozí definicí robota bude definice určená normou ČSN ISO 8373.

## 1.2 Druhy robotů

Vzhledem k neustálému vývoji a inovacím v oblasti robotiky se robotizace stává dostupnější a využívá ji stále větší počet průmyslových odvětví. Pokroky ve výpočetním výkonu a schopnostech umělé inteligence znamenají, že nyní můžeme používat roboty k plnění různých úkolů mnoha způsoby. Roboty lze obecně dělit do několika kategorií.

### Autonomní mobilní roboty (AMR)

AMR se pohybují volně po určeném prostoru a rozhodují se téměř v reálném čase. Technologie, jako jsou senzory a kamery, jim pomáhají přijímat informace o jejich okolí. Jejich integrovaný počítač jim pomáhá analyzovat a učinit informované rozhodnutí – ať už se jedná o přesun, manipulaci nebo provedení jakéhokoli jejich úkolu. Jsou to mobilní řešení, která ke své práci vyžadují omezený lidský vstup. [8] Autonomním mobilním robotem je například robotický vysavač vyobrazen na obrázku 2.



Obrázek 2: Robotický vysavač [5]

### Automaticky vedená vozidla (AGV)

Na rozdíl od AMR se AGV pohybují po předem definovaných trasách, které jsou tvořeny různými způsoby. Běžně se využívají ve výrobních halách a skladech, kde se využívají k přesunu položek materiálu k výrobním zařízením. Ukázkou AGV je možné vidět na obrázku 3.



Obrázek 3: AGV z laboratoře KPV

### Průmyslové roboty

Nejčastějším příkladem průmyslových robotů jsou kloubové roboty (také známé jako robotické paže) mají napodobovat funkce lidské paže. Obvykle se skládají ze dvou až deseti otočných kloubů. Každý další kloub nebo osa umožňuje větší rozsah mobility – díky tomu jsou ideální pro obloukové svařování, manipulaci s materiálem, obsluhu strojů, balení nebo kontrolu.



Obrázek 4: Průmyslový robot [6]



## Humanoidi

Humanoidi mohou spadat pod kategorii AMR robotů, ale obecně se tento termín využívá k identifikaci robotů, kteří vykonávají funkce zaměřené na člověka a často svým vzhledem napodobují člověka. Využívají mnoho podobných zařízení pro snímání jako AMR roboty a díky nim se mohou rozhodovat v reálném čase, plánovat, pohybovat se a vykonávat zadané úlohy. [8] Ukázka humanoida je na obrázku 7.



Obrázek 5: Humanoidní robot [7]

## Hybridy

V případě zkombinování různých typů robotů vznikají hybridní roboty, které jsou schopny vykonávat složitější úkoly. Například je možné spojit AMR s kloubovým robotem, který bude například vykonávat manipulační úkoly s balíky ve skladu. [8]

## 1.3 Odvětví využívající roboty

Společnost využívá robotiku různými způsoby v mnoha odvětvích. Roboty se nasazují za účelem zlepšení výsledků a snížení zátěže pracovníků, kteří se tak mohou soustředit na úkoly s vyšší přidanou hodnotou.

### Průmysl

Výrobní průmysl je dlouhodobě v popředí ve využívání různých typů robotů k dosažení lepších výsledků. AMR, AGV, kloubové roboty a koboty jsou nasazeny v továrnách a skladech za účelem urychlení, zvýšení efektivity a zvýšení bezpečnosti pracovníků. Používají se v různých aplikacích včetně svařování, montáže, přepravy materiálů a dalších. [36]

### Zemědělství

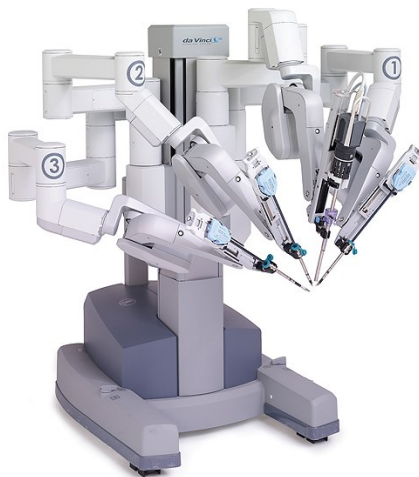
Roboty pomáhají zemědělcům obdělávat pole, sklízet úrodu a obhospodařovat dobytek efektivněji a rychleji. Lze využívat menších robotů na obdělávání půdy, kteří mohou pracovat samostatně a díky nízké hmotnosti snižují udusání půdy, čímž zvýší výnosnost. [36] Příklad průmyslového robota je na obrázku 6.



Obrázek 6: Zemědělský robot [9]

### Zdravotnictví

Různé typy robotů se využívají i ve zdravotnictví. Pomáhají zdravotníkům během rehabilitace, při manipulaci s pacienty nebo dokonce i v průběhu operací. [36]



Obrázek 7: Zdravotnický operační robot [10]

### Logistika

V případě logistiky robotika umožňuje logistickým a přepravním společnostem dodávat zboží rychleji a efektivněji. Využívají se AMR a AGV skladové roboty, které umožňují třídít, manipulovat, urychlovat a zvyšovat přesnost. [36]

### Maloobchod a pohostinství

Roboty lze použít k vylepšení zážitku zákazníka nebo hosta obchodu či hotelu. Obchody a pohostinské společnosti používají roboty k automatizaci inventarizačních procesů, čištění, úklidu nebo také hostům s jejich zavazadly. [8]

Diplomová práce se soustředí na oblast potravinářského průmyslu, proto bude dále rozveden průmyslový robot.

## 1.4 Průmyslový robot

Průmyslový robot je mechanické zařízení naprogramované, tak aby automaticky provádělo úkoly související s průmyslovou výrobou. Průmyslové roboty jsou přeprogramovatelné a lze je použít pro mnoho různých aplikací a díky tomu jsou považovány za formu flexibilní automatizace. Roboty jsou upřednostňované řešení automatizace, protože jsou velice efektivní ve zvyšování produktivity, dosažení vysoké kvality výrobků a snižování nákladů. Mezi hlavní dodavatele průmyslových robotů se řadí společnosti ABB, Fanuc, Kuka, Yaskawa, Kawasaki nebo například Nachi.

Průmyslového robota vystihuje definice od prof. P. N. Beljanina: „Průmyslový robot je autonomně fungující stroj-automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka při provádění pomocných a základních výrobních operací bez bezprostřední účasti člověka, a který je k tomuto účelu vybaven některými jeho schopnostmi (sluchem, zrakem, hmatem, pamětí a podobně), schopností samovýuky, samoorganizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí.“ [2]



Obrázek 8: Průmyslové roboty [11]

### 1.4.1 Části průmyslového robota

Průmyslové roboty se skládají z pěti hlavních komponent: řídicí jednotky, senzorů, robotického ramene, koncového efektoru a pohonu. [12]

#### Řídicí jednotka

Každý robot potřebuje řídicí jednotku, která zastupuje funkci mozek robota. Řídicí jednotka je počítač, který k instruování robota používá kód, který se běžně nazývá program. Do řídicí jednotky se programy nahrávají pomocí ovládacího panelu. [13]





Obrázek 9: Řídící jednotka robota z laboratoře KPV

### Senzory

Senzory poskytují průmyslovým robotům zpětnou vazbu o jejich pracovním prostoru. Nejčastěji se využívají senzory pro vidění a mikrofony, protože fungují jako oči a uši robota. Senzory umožňují robotům dynamicky se přizpůsobovat jejich pracovnímu prostředí. [13] Ukázka kamery robota je na obrázku 10.



Obrázek 10: Senzor vidění robota z laboratoře KPV

## Robotické rameno

Většina průmyslových robotů je vzhledem velmi podobná v tom, že mají robotické rameno. Robotická ramena se mohou lišit tvarem a velikostí, ale obecně jsou navržena tak, aby napodobovala lidskou paži s ramenem, loktem a zápěstím. Tyto klouby umožňují robotům přesně umístit koncový efektor za účelem provedení úkolu. Každá část ramene robota slouží jako individuální stupeň volnosti nebo osa. Většina průmyslových robotů má 6 os pro rozsah pohybu podobnému rozsahu lidské ruky. [13]

## Koncový efektor

Koncový efektor je připevněn na konci robotického ramene a funguje obdobně jako lidská ruka. Existuje mnoho typů koncových efektorů, které se liší v závislosti na typu aplikace. Příkladem koncového efektoru úchopné zařízení pro manipulaci s díly za účelem díl přemístit nebo sestavení výrobku. Některé roboty lze vybavit více koncovými efekty, které lze automaticky měnit, což poskytuje možnost dokončit několik typů aplikací pomocí jednoho robota. [13] Příklad koncového efektoru je na obrázku 11.



Obrázek 11: Koncový efektor robota pro uchopování z laboratoře KPV

## Pohon robota

Pohon průmyslového robota tvoří motor nebo více motorů, které pohybují různými částmi robota. Průmyslové roboty jsou obvykle poháněny hydraulicky, elektricky nebo pneumaticky. Hydraulické pohony mohou poskytovat vyšší výkon a rychlost, elektrické pohony bývají méně výkonné a pneumatické pohony obvykle využívají menší roboty. [13]

### 1.4.2 Druhy průmyslových robotů

#### Karteziánské roboty

Karteziánské roboty, kterým se také může říkat lineární nebo portálové roboty. Tyto roboty pracují na třech lineárních osách, které využívají kartézský souřadnicový systém, což znamená, že se pohybují po přímkách ve třech osách. Jsou vysoce flexibilní v jejich konfiguracích a umožňují uživatelům upravit rychlost, přesnost, délku zdvihu či velikost robota. Využívají se

při přesných a těžkých operacích, dále se používají pro CNC stroje a také 3D tisk. [18] Náhled na karteziánského robota je na obrázku 12.



Obrázek 12: Karteziánský robot [14]

### SCARA roboty

SCARA roboty se pohybují ve třech osách stejně jako karteziánské roboty, a ještě k tomu využívají rotačního pohybu. Vynikají v bočních pohybech, jsou velmi přesné, běžně se pohybují rychleji než karteziánské roboty a také mají snazší integraci. Nejčastěji se využívají při montáži, paletizaci a balení. [18, 20] Ukázka SCARA robota od značky Fanuc je na obrázku 13.



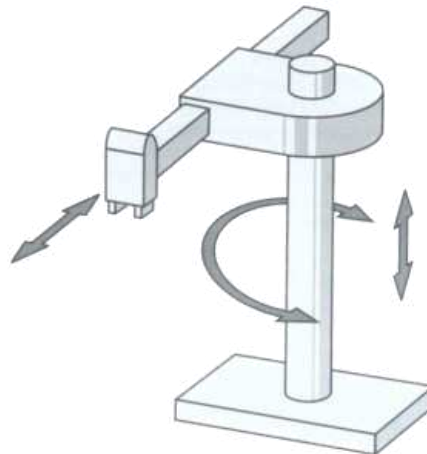
Obrázek 13: SCARA robot [15]

### Kloubové roboty

Kloubové roboty svým mechanickým pohybem a konfigurací os připomínají lidskou paži. Rameno je k základně připevněno otočným kloubem. Samotné rameno robota obvykle disponuje od dvou do deseti rotačních kloubů, které fungují jako jednotlivé osy, přičemž každý kloub představuje jeden stupeň volnosti. Většina kloubových robotů využívá čtyři až šest os. Mezi typické oblasti použití patří obloukové svařování, manipulace s materiálem, polotovary nebo výrobky, obsluha strojů a balení. [18, 20]

### Válcové roboty

Válcové roboty mají na základně otočný kloub a prismatický kloub úhlový pohyb kolem osy kloubu. Tyto roboty mají válcový pracovní dosah, což je dosaženo rotačním hřídelem a výsuvným ramenem, které se pohybuje vertikálně a horizontálně. Nejčastěji se využívají ve stísněných pracovních prostorech pro jednoduchou montáž a obsluhu strojů. [18] Schéma pohybu válcového robota je vyobrazeno na obrázku 14.



Obrázek 14: Schéma válcového robota [16]

### Delta roboty

Delta roboty nebo také paralelní roboty mají tři ramena připojená k jedné základně, která je umístěna nad pracovním prostorem. Příklad tohoto robota je na obrázku 15. Jejich pracovní dosah je ve tvaru polokoule a umožňují jemný a přesný pohyb vysokou rychlostí, protože je každý kloub koncového efektoru přímo ovládán všemi třemi rameny najednou. Delta roboty se často používají pro aplikace rychlého umístění nebo výběru v potravinářském, farmaceutickém a elektronickém průmyslu. [18, 20]

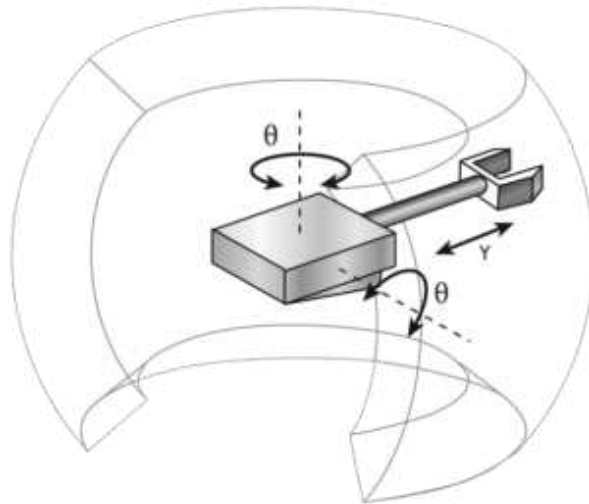


Obrázek 15: Delta robot [17]

### Polární roboty

Polární roboty známé také pod pojmem sférické roboty mají rameno se dvěma otočnými klouby a jedním lineárním kloubem spojeným se základnou otočným kloubem. Osy robota spolupracují a pohybují se podle polárních souřadnic, které tvoří jeho sférický pracovní dosah. Polární roboty jsou považovány za jedny z prvních typů průmyslových robotů, které byly kdy vyvinuty. Používají se pro vstřikování, tlakové lití, svařování anebo manipulaci s materiálem. [18] Rozsah pohybu polárního robota je zobrazen na obrázku 16.





Obrázek 16: Schéma dosahu polárního robota [19]

## Koboty

Koboty nebo také kolaborativní roboty jsou navrženy pro spolupráci s lidmi. Zatímco většina ostatních typů robotů vykonává své úkoly samostatně nebo v přísně izolovaných předem určených pracovních oblastech, koboti mohou sdílet prostory s pracovníky za účelem dosažení vyšší efektivity a snížení zatížení člověka. Často se využívají k úkolům, které jsou pro pracovníky namáhavé, často se opakující a nebezpečné. V některých případech koboti reagují na lidské pohyby a učí se z nich. [20] Ukázka kobota je na obrázku 17.



Obrázek 17: Obrázek kolaborativního robota z laboratoře KPV



## 2 Fanuc Roboguide

Tato kapitola bude zahrnovat popis programu Fanuc Roboguide, základní funkce a možnosti využití tohoto softwaru při realizaci řešení a programování fyzického robota.

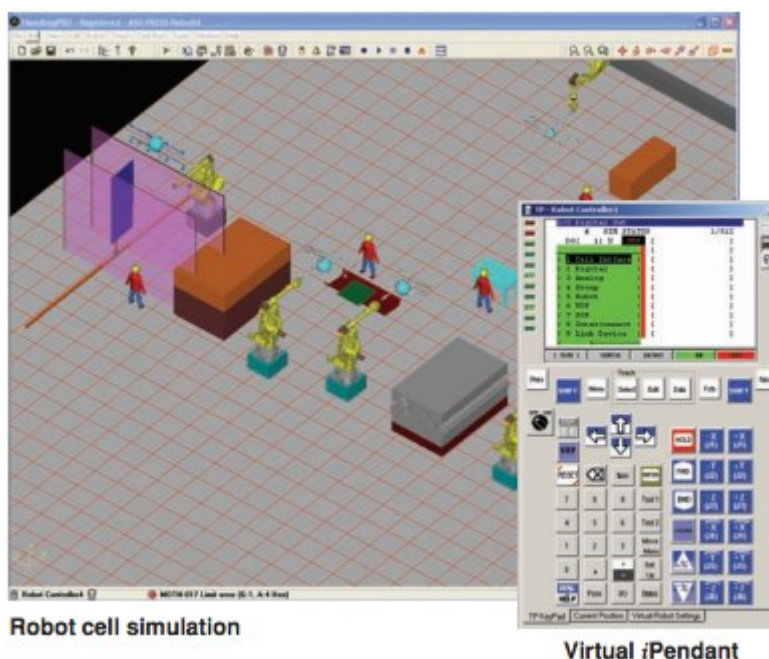
Fanuc Roboguide je softwarový nástroj pro simulaci robotického pracoviště s roboty od výrobce Fanuc. Program simuluje pohyby robota i aplikační příkazy, což přináší zkrácení času stráveného vytvářením nových konfigurací pohybu.

### 2.1 Varianty softwaru Fanuc Roboguide

Existuje několik variant softwaru Fanuc Roboguide, které se specializují na konkrétní oblasti aplikací průmyslových robotů a budou popsány níže.

#### HandlingPRO

HandlingPRO se používá pro aplikace, kde je potřebná manipulace s materiálem včetně nakládání/vykládání, balení, montáže a odebírání materiálu. Umožňuje generování automatické cesty robota od jednoho bodu k druhému, krom toho lze pohyby robota řídit i pomocí učicího pendantu, který je přímo zobrazitelný v programu. Mezi další funkce patří možnost vykreslit dosah robota, detekování kolizí robota s okolím, sledování a ukázání trasy robota, po které se bude v dané simulaci pohybovat, umožňuje vložení CAD modelů dílů, strojů, zařízení pro přesun dílů a překážek, zvládá přesné odhady doby trvání cyklů, a především umožňuje simulaci s 3D vizualizací. Součástí programu HandlingPRO je téměř celý sortiment robotů od výrobce robotů Fanuc. [21] Náhled na pracovní buňku v Fanuc HandlingPRO je na obrázku 18.

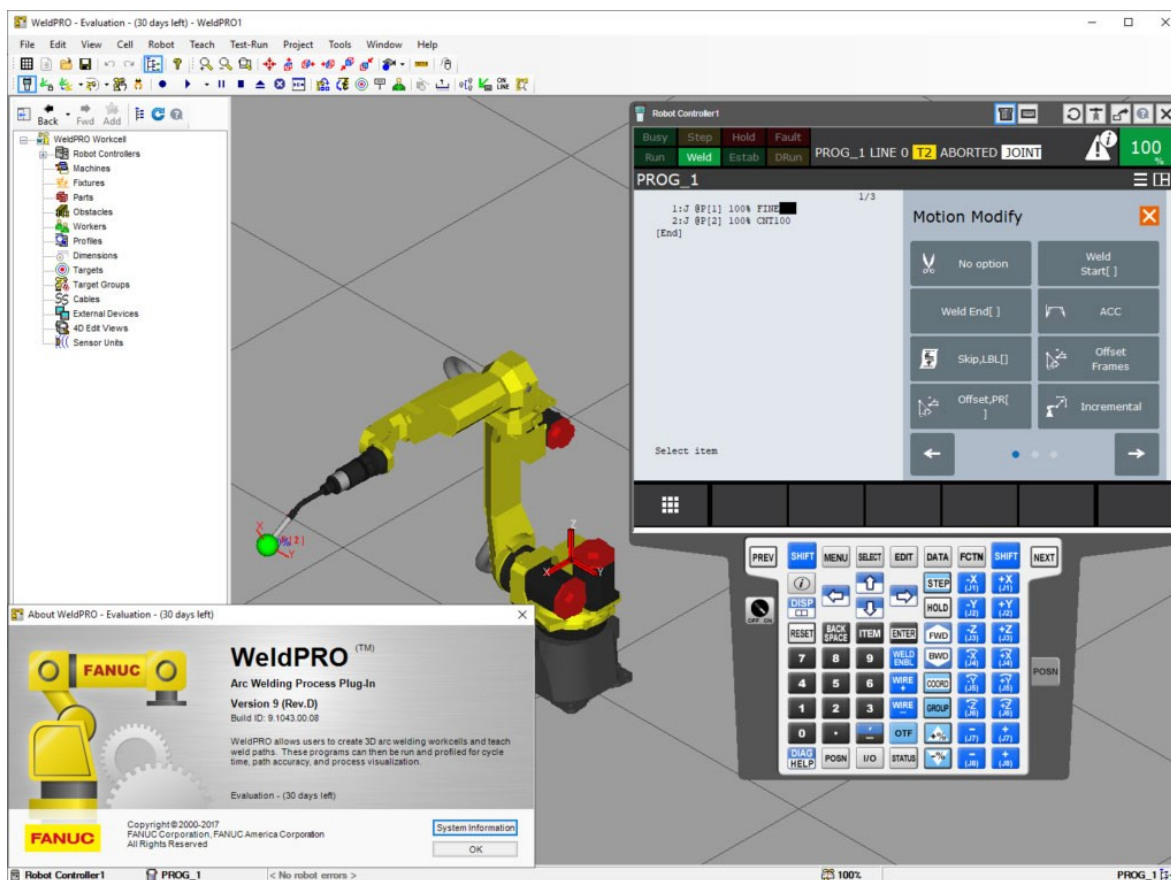


Obrázek 18: Fanuc HandlingPRO [22]

#### WeldPRO

WeldPRO je verze programu Roboguide, která umožňuje simulovat robotické obloukové svařování v 3D prostoru. Mnoho funkcí je společných jako s variantou HandlingPRO, ale přímo pro obloukové svařování jsou zde další možnosti jako je například vytváření dráhy pro svařování se správnými úhly hořáku a procesními parametry, definování pomocných os pro různé polohovače či kolejnice, kromě svaření lze simulovat i plazmové řezání a všechny

vytvořené programy lze převést na skutečného robota, což citelně zkracuje dobu jeho nastavování. [23] Náhled této verze SW nástroje Fanuc Roboguide je na obrázku 19.



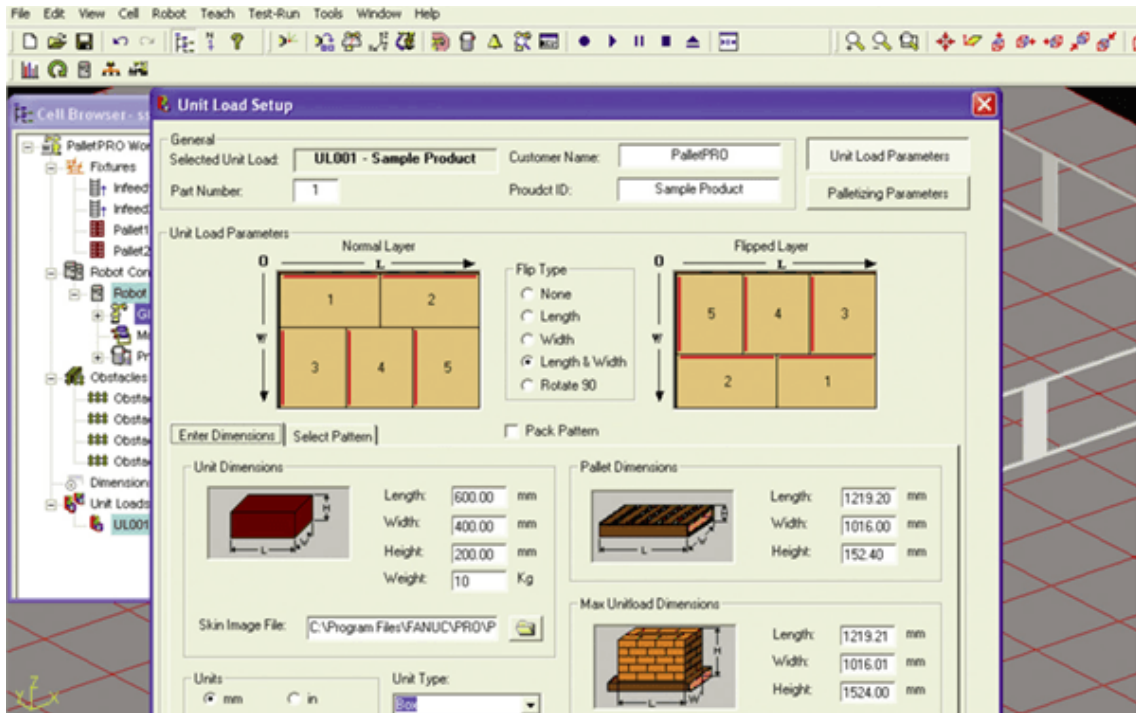
Obrázek 19: Fanuc WeldPRO [24]

## PalletPRO

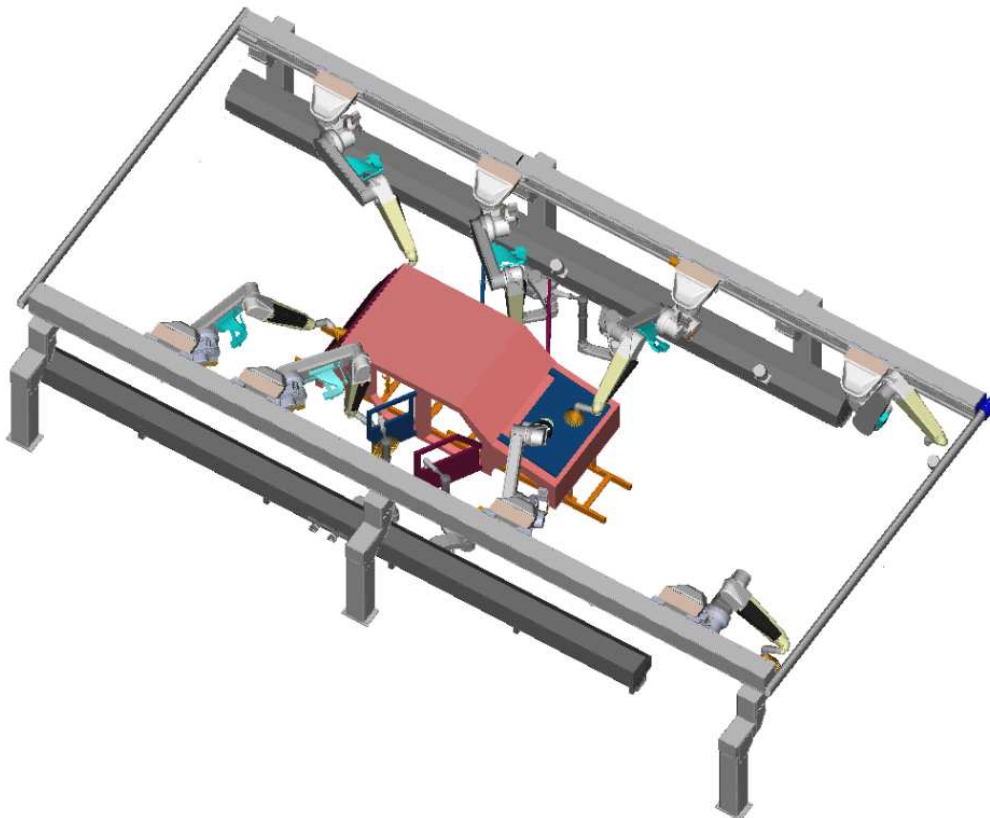
PalletPRO umožňuje uživateli vytvářet pracovní buňku s příjmovou a paletovou stanicí, skluzu a zásobníky palet. Součástí knihovny programu PalletPRO je mnoho standardních průmyslových vzorů pro paletizaci a díky tomu lze vytvořit a vizualizovat stovky konfigurací palet. [25] Nastavení paletizace je vyobrazeno na obrázku 20.

## PaintPRO

PaintPRO rozšiřuje možnosti využití simulací robotů o funkci generování robotických cest při procesu lakování. Lze vybírat mezi několika metodami lakování, upravovat šířku rozprašování, překryvu, rychlosti nátěru či přemísťování lakovací pistole. Program dle zadaných parametrů lakování po označení lakovaného dílu automaticky vypočte robotické cesty pro lakování a tím naprogramuje i robota. [25] Vytvořenou buňku v PaintPRO je možné vidět na obrázku 21.



Obrázek 20: Fanuc PalletPRO [26]



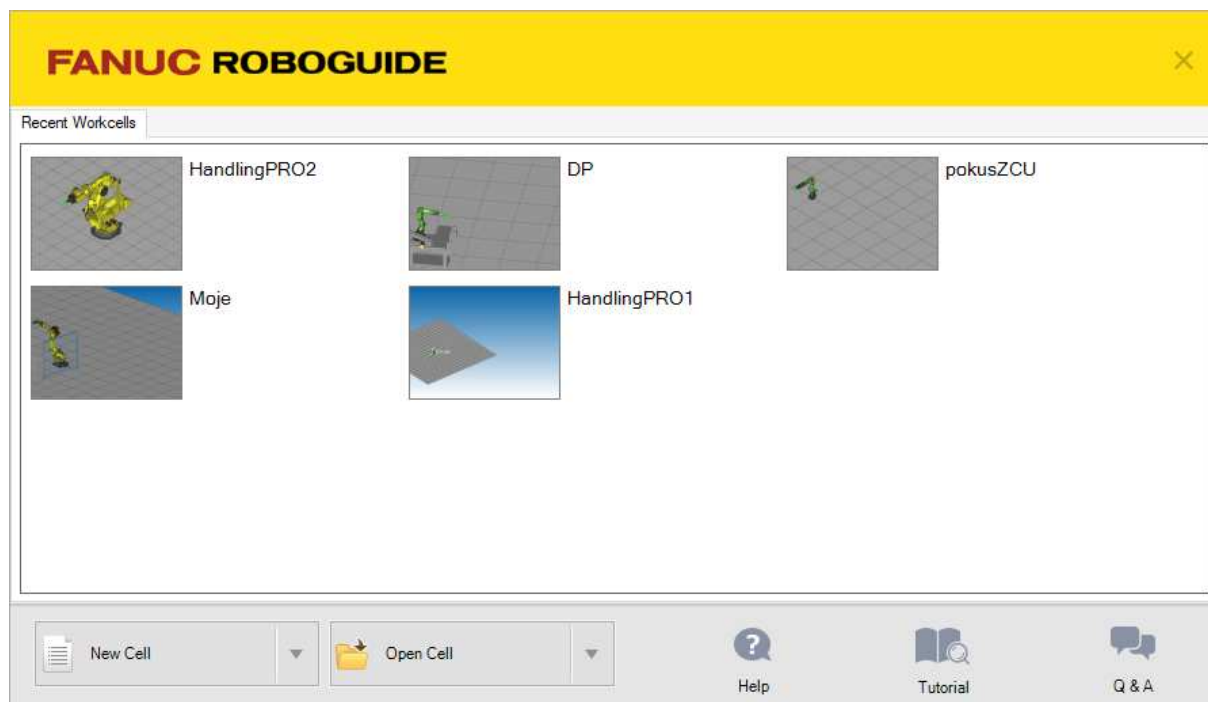
Obrázek 21: Fanuc PaintPRO [27]

Mezi další varianty lze zařadit ChamferinPRO, který umožňuje odstranění ořepů. Na základě 3D CAD dat se zvolí řádky pro odstranění a vygeneruje se robotická cesta. Dále iRPickPRO se specializuje na velmi rychlé sbírání a balení materiálu, který jezdí rychle po dopravníku.

Tato práce se zaměřuje především na využití verze programu Fanuc Roboguide HandlingPRO, která bude více popsána v následující kapitole.

## 2.2 Popis programu Fanuc Roboguide HandlingPRO

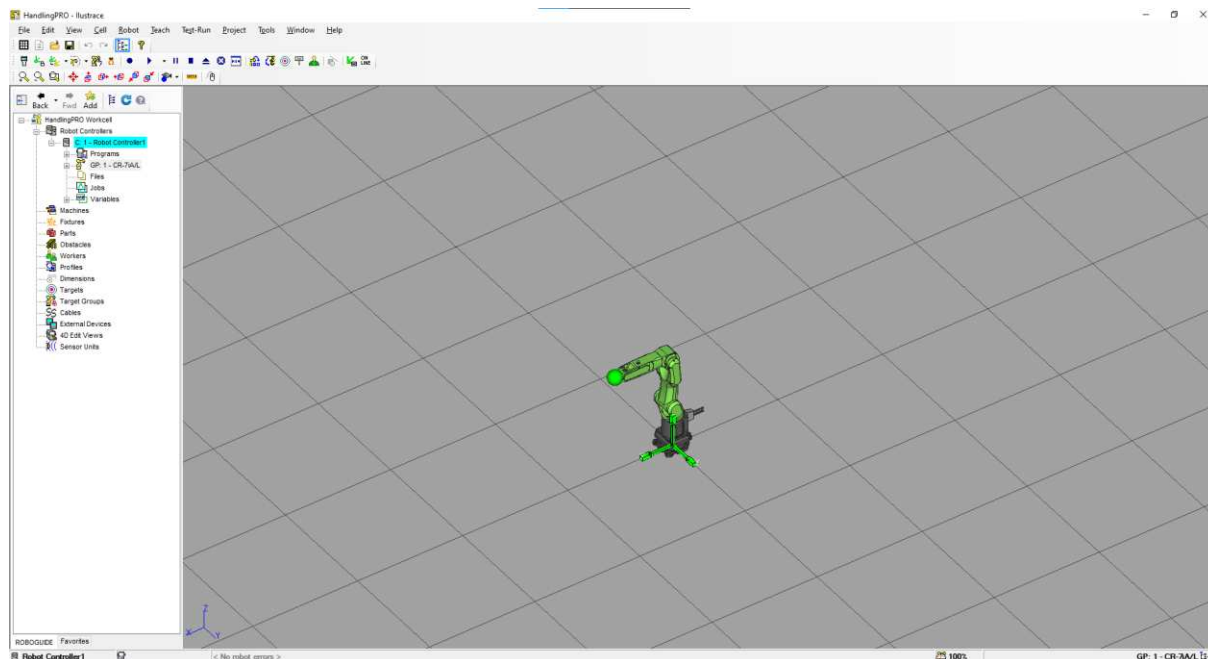
Po spuštění programu Fanuc Roboguide se zobrazí dialogové okno s možnostmi vytvoření nové pracovní buňky, otevření již vytvořené buňky, tlačítko nápovědy, výuky a otázek a odpovědí. Dále se zde nachází seznam nedávno otevřených pracovních buněk, viz obrázek 22.



Obrázek 22: Úvodní okno FANUC ROBOGUIDE

V rámci vytváření buňky je potřeba vybrat vhodné nastavení a také konkrétního robota. Po vytvoření buňky se zobrazí mřížka s vybraným robotem, které můžete vidět na obrázku 23.





Obrázek 23: Vytvořená nová pracovní buňka

Na levé straně lze vidět pole s prohlížečem buňky, kde je možné najít všechny objekty, které se v buňce, již nachází a také další objekty, které se mohou do buňky vložit. Toto pole je vyobrazeno na obrázku 25.

V horní části okna programu se nachází různá menu. Obsah jednotlivých menu je následující:

- File – uložení buňky, otevření buňky, vytvoření nové buňky, vypnutí celého software
- Edit – vkládání a kopírování objektů, tlačítka pro vrácení a obnovení provedené akce
- View – ovládání kamery, standardní pohledy, zobrazení panelu nástrojů a stavového řádku
- Cell – vkládání různých objektů do buňky a vlastnosti buňky
- Robot – zobrazení ovládacího pendantu, dosahu robota a rozsahu jednotlivých kloubů
- Teach – vytvoření nového programu, nové simulace, uložení a načtení existujících programů
- Test-run – zobrazení panelu běhu simulace, konfigurace běhu
- Project – přidání a vytvoření nových soborů
- Tools – diagnostika, správce doplňků
- Window – rozdělení okna do více pohledů na buňku
- Help – příručka, výuka, často kladené otázky

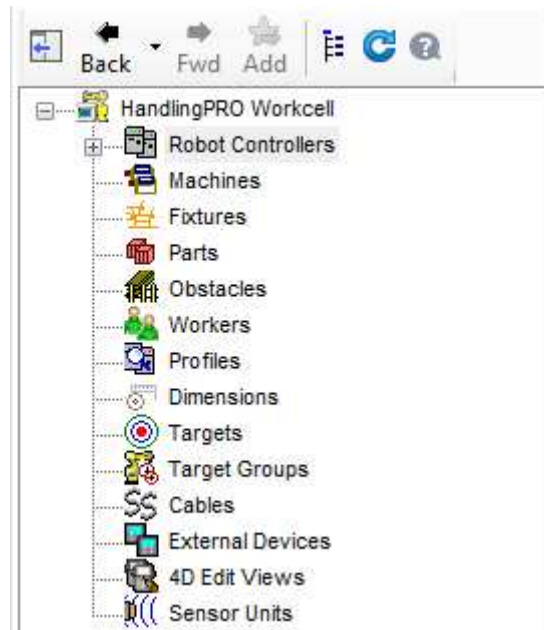


Obrázek 24: Detail Fanuc Roboguide 1

Pod řádkou s menu se nachází panel nástrojů, který obsahuje často využívané funkce právě z menu nad ním.

K ovládání programu se využívá převážně myš. K rotaci kamery je potřeba držet prvé tlačítko myši, k vodorovnému pohybu kamery je nutné držet stisknuté kolečko myši a k přiblížení a

oddálení kamery se používá otáčení kolečka myši. Levé tlačítko myši slouží k označení objektů v buňce, posouvání jednotlivých objektů a pomocí dvojkliku na objekt zobrazuje jeho vlastnosti a další nastavení.



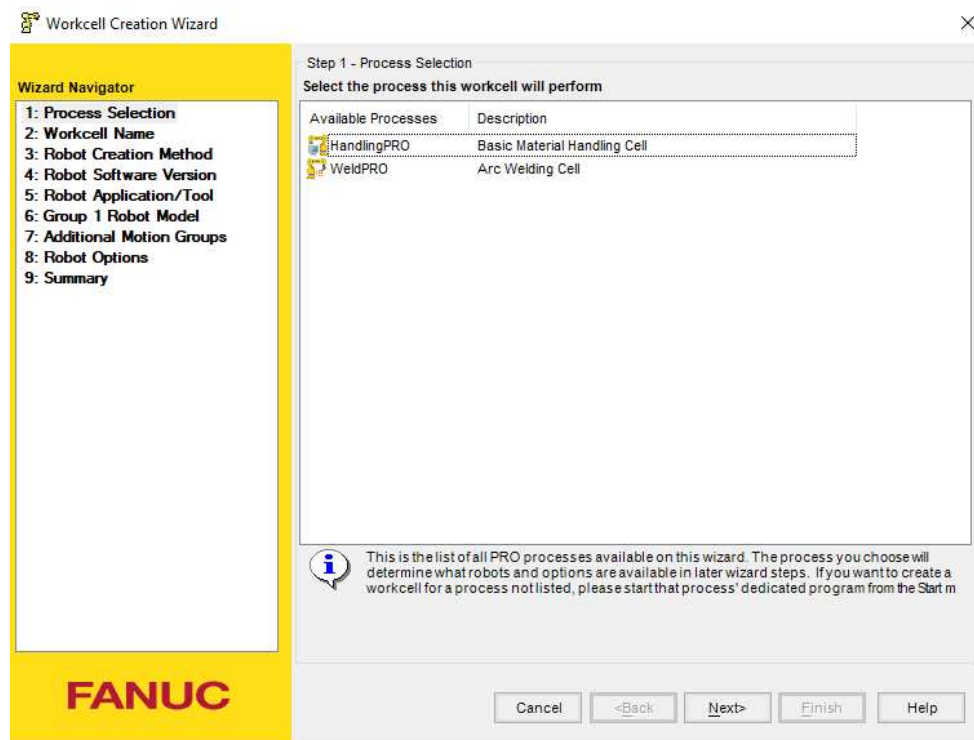
Obrázek 25: Prohlížeč buňky

V prohlížeči buňky se nachází všechny možné objekty, které jsou již vloženy do buňky nebo které se dají vložit. V programu Fanuc Roboguide jsou předinstalovány desítky objektů, jež lze využít pro návrh pracoviště průmyslového robota. Případně je možné nahrát své vlastní 3D objekty, které budou přesně zobrazovat simulované pracoviště.

Nyní budou uvedeny dvě základní operace se softwarem HandlingPRO tj. vytvoření pracovní buňky s výběrem robota a přidání vlastního efektoru.

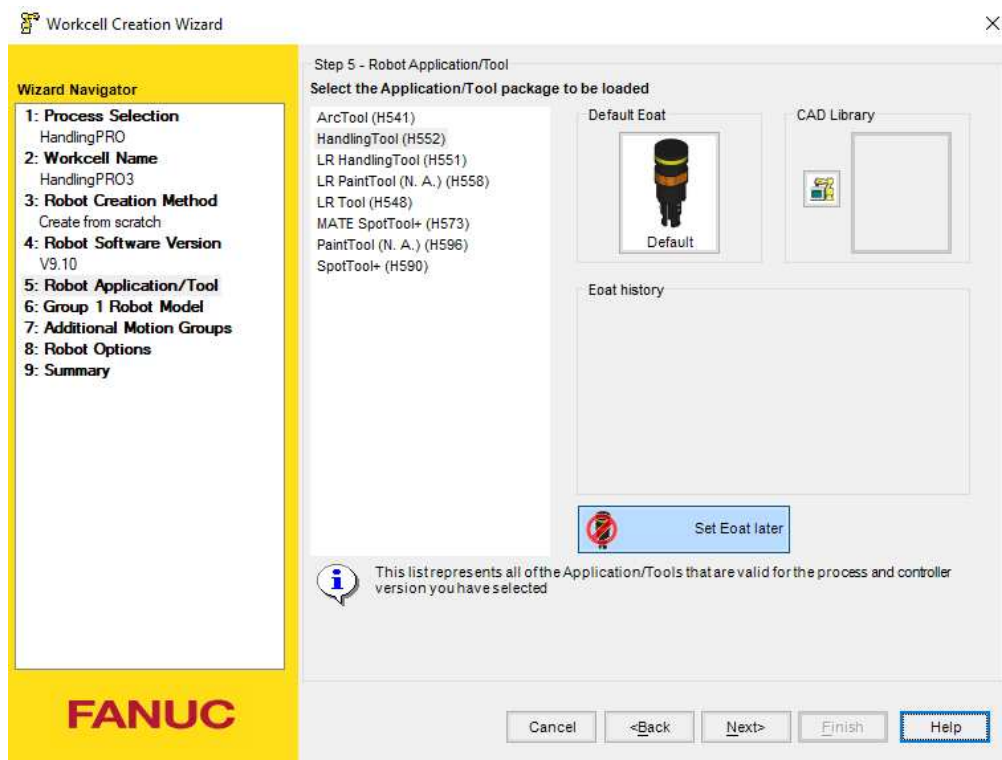
### Vytvoření pracovní buňky s výběrem robota

První akcí, která je potřeba udělat pro možnost simulací je vytvoření pracovní buňky. Na obrázku č. 22 je možné vidět v levém dolním rohu tlačítko s nápisem New Cell. Po jeho stisku se otevře dialogové okno, ve kterém je potřeba vybrat pro jakou verzi softwaru Roboguide se bude pracovní buňka vytvářet. Toto okno je možné vidět na obrázku 26.



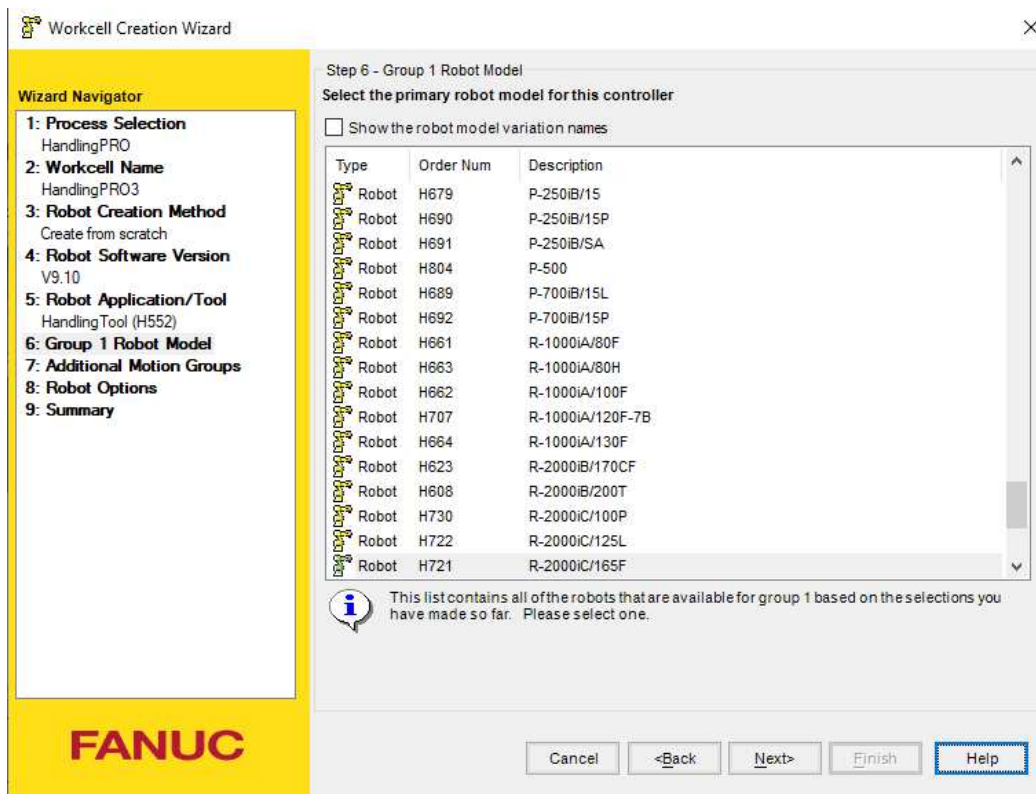
Obrázek 26: Dialogové okno s výběrem verze softwaru Roboguide

Po vybrání vhodné verze programu Roboguide je možné přejít dále, kde je potřeba pojmenovat vytvářenou pracovní buňku. V dalším kroku se volí metoda vytvoření robota, pro účely této práce se nastavení nechá výchozí. Ve čtvrtém kroku se vybírá verze vývoje softwaru, v tomto případě se zvolí ta nejnovější. V následujícím kroku se vybírá, které efektorů budou pro robota v softwaru k dispozici, v případě, že je nutné vložit vlastní efektor, zvolí se možnost Set Eoat later viz obrázek 27. Vložením vlastního efektoru se zabývá další část této práce.



Obrázek 27: Volba knihovny efektorů

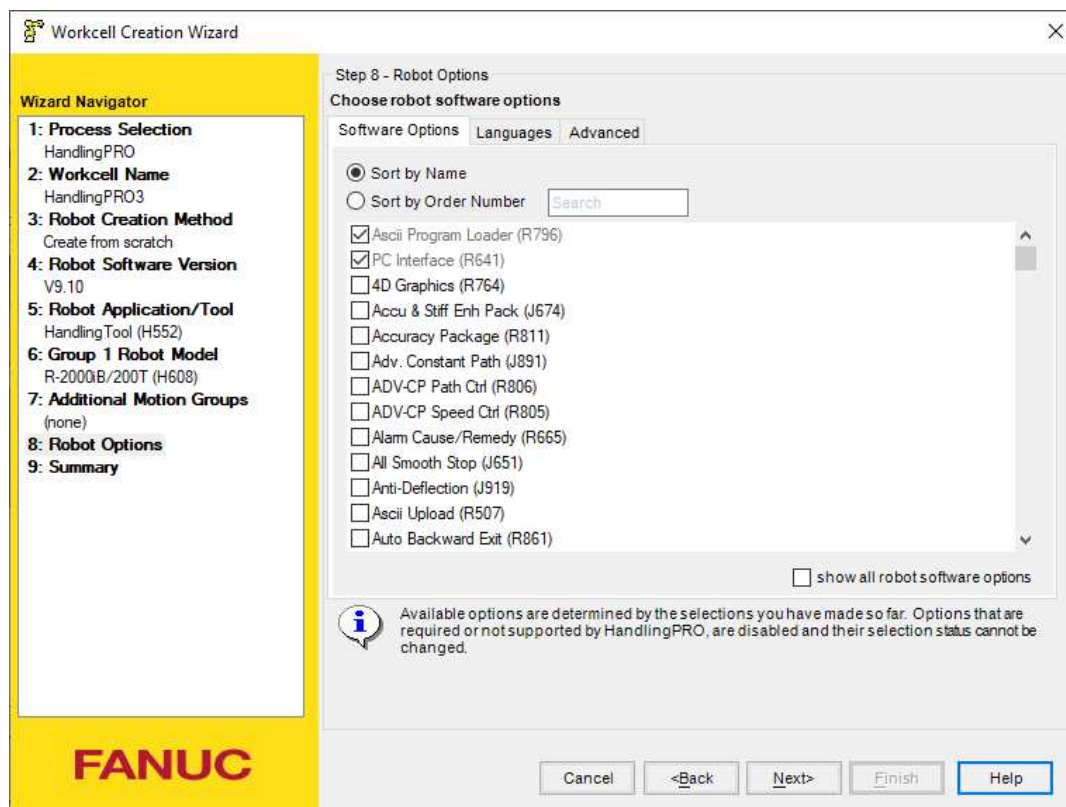
Šestý krok vyzývá k výběru konkrétního modelu robota, jak již bylo zmíněno program Roboguide obsahuje valnou většinu modelů robotů Fanuc, které lze právě v této části vybrat. Část seznamu robotů je možné vidět na obrázku 28. Součástí následujícího kroku je výběr případných dalších robotů, které budou pracovat ve skupině, v případě, že žádné další roboty nejsou, je možné pokročit k osmému kroku.



Obrázek 28: Výběr modelu robota

Předposledním krokem vytvoření pracovní buňky je zvolení různých softwarových možností, které podporují například strojové vidění, různé senzory a čidla a mnoho dalších viz obrázek 29. V posledním kroku už je jen shrnutí zvoleného nastavení z předchozích kroků a po stisku tlačítka Finish se začne vytvářet samotná pracovní buňka. Vytvořenou pracovní buňku lze vidět na obrázku 23.

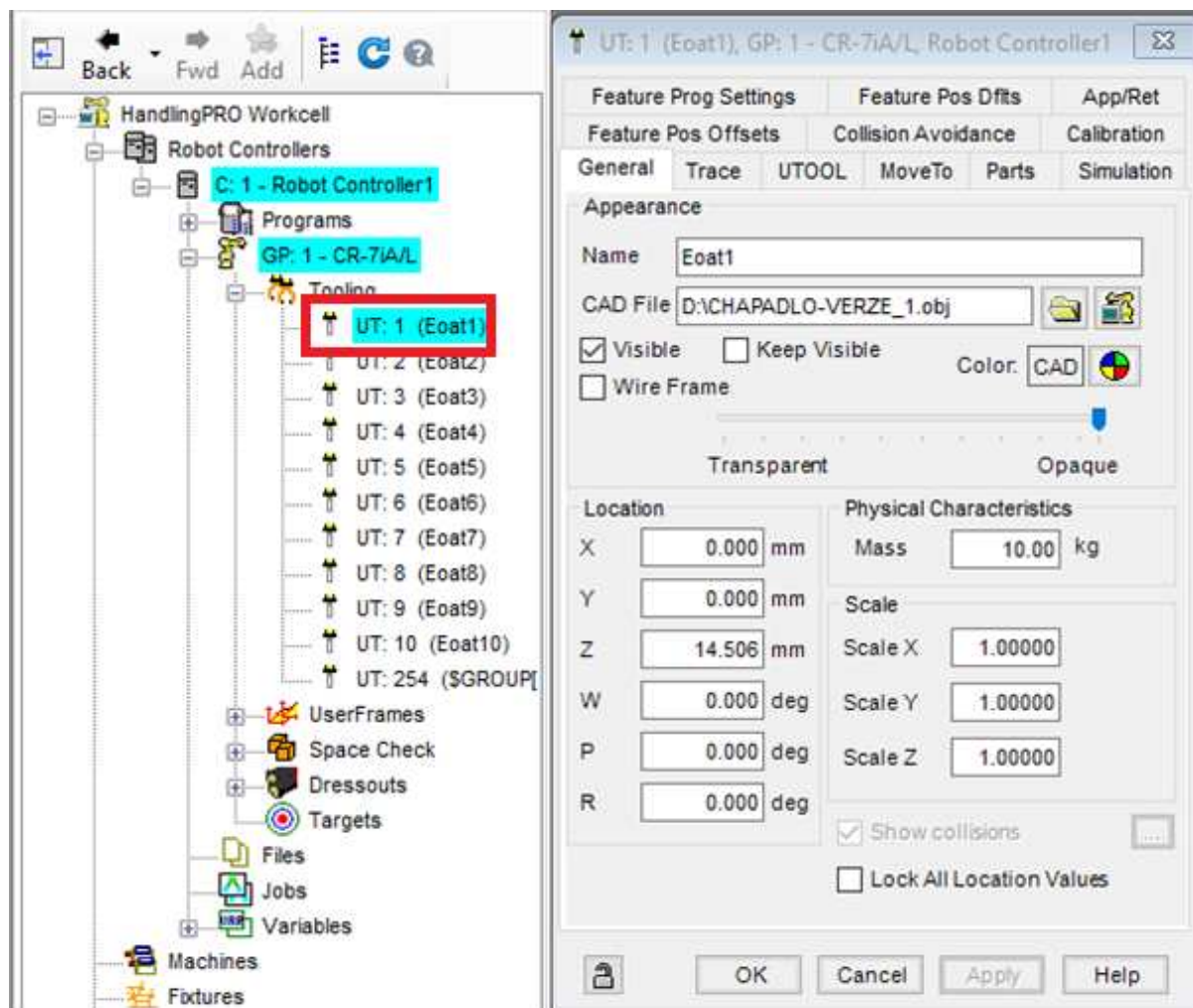




Obrázek 29: Volba dalších softwarových možností

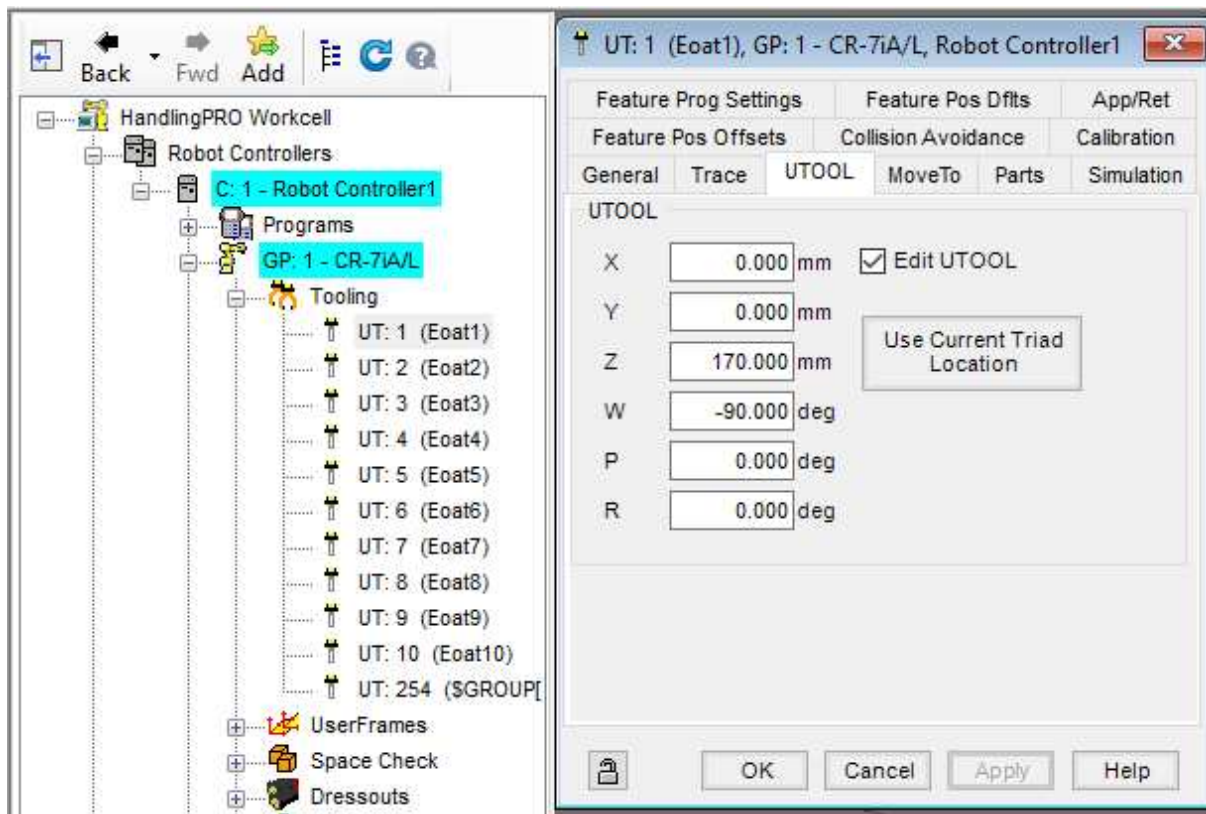
### Přidání vlastního efektoru

Robot Controllers je nejdůležitější záložkou z prohlížeče buňky. Obsahuje všechny přidané roboty do buňky a lze zde pro ně jednotlivě upravovat nastavení. Nejpodstatnější je u robota zvolit a nastavit jeho efektor. V knihovně Fanuc Roboguide jsou již nějaké základní efektor, které lze jednoduše vybrat, případně je možné přidat vlastní. Na obrázku 30 je možné vidět otevřené menu, které se otevře pomocí dvojkliku na ikonu s nápisem UT: 1 (Eoat1) v prohlížeči buňky. Dále v otevřeném menu je potřeba kliknout na ikonu složky, kde lze vybrat vlastní efektor.



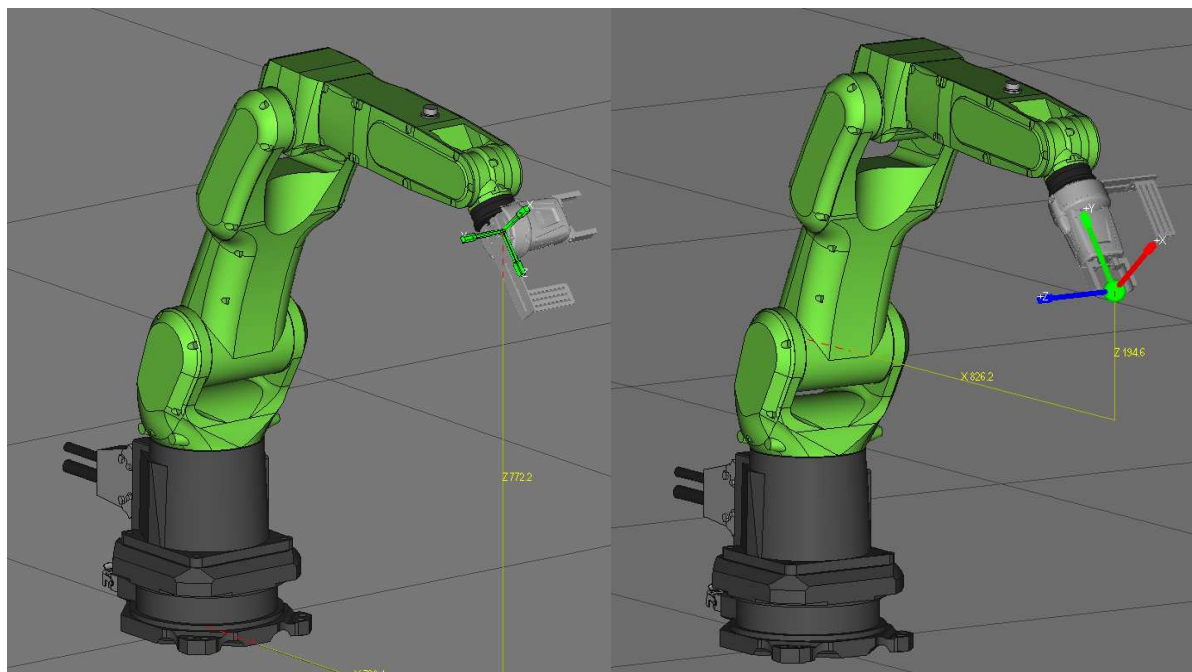
Obrázek 30 Přidání efektoru

Po přidání efektoru je potřeba ho zpravidla správně otočit a nastavit místo, ve kterém bude uchopovat předměty. Efektorem je možné otočit pomocí úpravy souřadnic v oddílu Location. Místo úchopu je v programu znázorněno zelenou koulí. Pozice, kde bude efektor uchopovat předměty, se upravuje ve stejném menu, jako se přidává vlastní efektor, ale pod záložkou UTOOL. Což je znázorněno na obrázku 31. Je potřeba zaškrtnout možnost Edit UTOOL, aby bylo možné místo úchopu upravit, poté se jednoduše zadají souřadnice obdobně jako u otočení efektoru.



Obrázek 31: Záložka UTOOL

Na obrázku 32 je vlevo znázorněno první přidání vlastního efektoru a napravo je již efektor správně otočený i nastavené uchopovací místo.



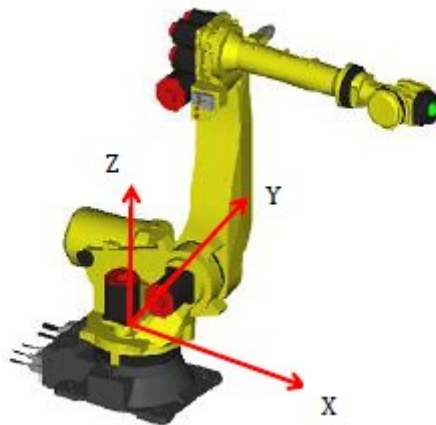
Obrázek 32: Otočení a nastavení úchopu efektoru

## 2.3 Systémy souřadnic kloubového robota

Kloubový robot Fanuc umožňuje pohyb ramene v několika souřadnicových systémech, které jsou důležité pro programování a nastavení samotného pohybu robota. Souřadnicové systémy budou popsány v této kapitole.

### Souřadnicový systém World

Souřadnicový systém World je standardním kartézským souřadnicovým systémem, který není možné měnit. Středový bod nástroje se tedy v tomto souřadnicovém systému pohybuje po osách X, Y a Z. Souřadnicový systém je vztažen k základové desce robota. V ovládacím pendantu robota lze najít aktuální polohu robotického nástroje právě v kartézských souřadnicích. Pohyb robota v tomto systému více opotřebuje pohonné ústrojí robotas, jelikož se musí pohybovat všechny klouby koordinovaně. [29]



Obrázek 33: Souřadnicový systém World [29]

### Souřadnicový systém Joint

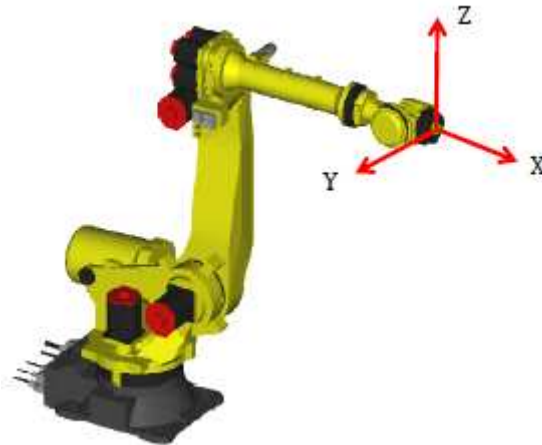
V tomto souřadnicovém systému se robot pohybuje nezávisle v rámci os jednotlivých kloubů. Během posuvu v tomto souřadnicovém systému se robot pohybuje nelineárně, ale zpravidla je tento pohyb rychlejší a pro robota méně namáhavý než pohyb v systému World. Jelikož se robot nepohybuje lineárně, je potřeba se ujistit, že bude mít kolem sebe dost prostoru a nebude hrozit kolize s okolními objekty. [29]



Obrázek 34: Souřadnicový systém Joint [29]

### Souřadnicový systém Tool

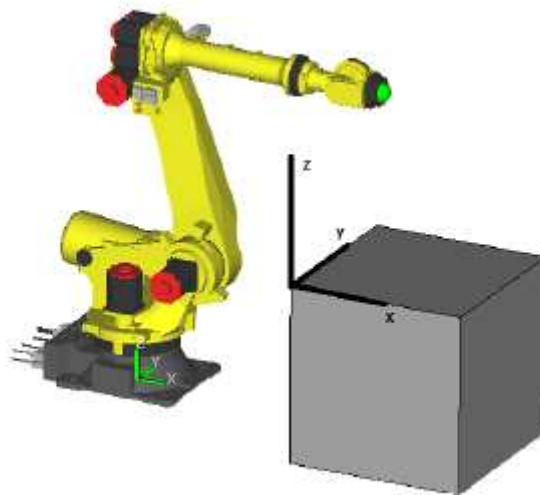
Souřadnicový systém Tool je souřadnicovým systémem nástroje robota. Je to obdobně jako u systému World kartézský souřadnicový systém, ale jeho počátek je vztažen k přírubě zápěstí robota. Základem prostoru nástroje je pracovní bod nástroje nebo také bod úchopu, který byl nastavován v předchozí kapitole. [29]



Obrázek 35: Souřadnicový systém Tool [29]

### Souřadnicový systém User

Souřadnicový systém User je definován uživatelem. Vztahuje se pouze ke konkrétnímu programu, vztahuje se na uživatelský systém a lze ho umístit do jeho libovolného místa. V případě, že uživatelský systém není definovaný, odpovídá souřadnicový systém User souřadnicovému systému World. [29]



Obrázek 36: Souřadnicový systém User [29]

## 2.4 Programování kloubového robota Fanuc

Se souřadnicovými systémy úzce souvisí samotné programování robota, a to především pohybové příkazy. Základní příkazy pro programování robota budou uvedeny a popsány v této

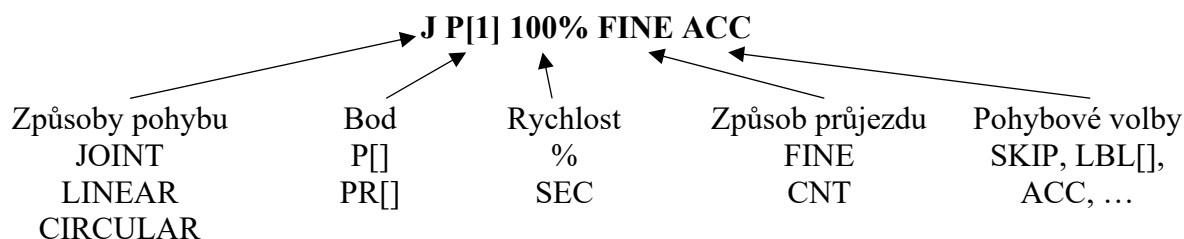


kapitole. V softwaru HandlingPRO se robot programuje ve virtuálním pendantu, který je obdobou reálného pendantu reálného robota. Reálný TeachPendant robota je na obrázku 37.



Obrázek 37 TeachPendant z laboratoře KPV

Jak již bylo zmíněno základními prvky programování robota jsou pohybové příkazy. Příklad takového příkazu je následující:



**JOINT** je první volbou pohybu robota, který je základním způsobem přemístění robota do konkrétní polohy. Při tomto způsobu pohybu se robot zpravidla pohybuje nelineárně a orientace nástroje se při pohybu mění.

**LINEAR** je dalším ze způsobů pohybu robotu. Jak již název naznačuje, robot se pohybuje po přímkách lineárně a trasa se řídí podle středového bodu nástroje.

**CIRCULAR** je posledním způsobem pohybu robotu. Trasa se opět řídí dle středového bodu nástroje, ale je potřeba určit přechodný bod, přes který bude opisovat kružnici.

Mezi další základní programovatelné funkce patří, jakým způsobem robot bude projíždět zvoleným bodem.

Příkaz **FINE** zdůrazňuje, aby robot nejen přesně projel zadaným bodem, ale i se v tomto zvoleném bodě zastavil a až poté pokračoval k dalšímu bodu.

Příkaz **CNT** nastaví průjezdový bod, ve kterém se robot nezastaví a pokračuje v pohybu až do dalšího cílového bodu. Zapsáním číselice od 1 do 100 za příkaz CNT se definuje, jak moc se

robot k danému průjezdovému bodu přiblíží, s tím že CNT 0 = FINE a čím blíže ke 100 tím bude robot od průjezdového bodu dále.

Mezi další rozšiřující volby, které napomáhají optimalizaci programů patří příkaz **ACC**, kterým lze zkracovat či prodlužovat čas brždění nebo zrychlení pohybu robota z nuly na nastavenou rychlost. Tuto funkci lze nastavit v rozsahu 20-150 %. V případě nastavení 50 % bude potřebovat robot ke zrychlení dvakrát delší čas než standardní. Takto lze zkrátit celkovou dobu vykonávání programu.

**PTH** je dalším doplňujícím příkazem, který slouží k vylepšení plynulosti pohybu (pro CNT 1 a více), když se robot pohybuje na krátké vzdálenosti. [29]

### 3 Analýza současného stavu

Tato kapitola se bude zabývat seznámením se s pracovištěm v laboratoři průmyslu 4.0 katedry KPV, kde bude realizována praktická část této práce. Simulace budou probíhat v softwaru Fanuc Roboguide HandlingPRO, ale také v prostředí laboratoře.

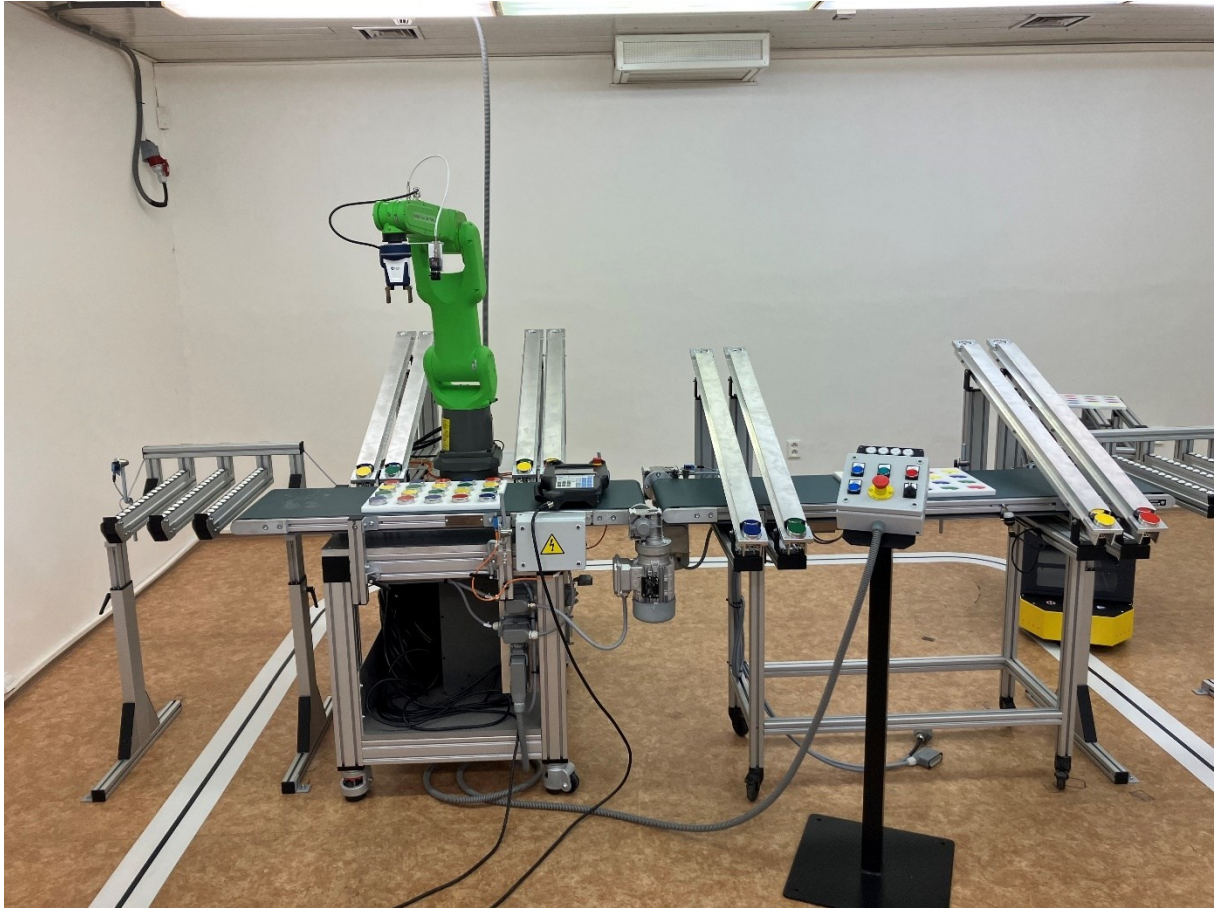
#### 3.1 Popis pracoviště v laboratoři průmyslu 4.0

Laboratoř průmyslu 4.0 se nachází na Západočeské univerzitě v Plzni. Součástí laboratoře je i experimentální pracoviště, na kterém se bude odehrávat praktická část této práce. Součástí pracoviště je robot Fanuc CR-7iA/L, který má 6 otočných kloubů, unese až 7 kg, je schopen pohybovat se rychlostí až 1 m/s a není nutné ho jakýmkoli způsobem oddělovat od lidských pracovníků. Jedná se o kolaborativního robota, který pokud narazí do člověka, tak se zastaví a je možné ho i odtlačit. Podrobnější specifikace je uvedena v tabulce 1. Kromě robota samotného je zde možné nalézt příslušenství robota, například: řídicí jednotku a ovládací pendant. Na konci robotického ramene se nachází koncový efektor, který dokáže uchopovat barevné pukly a také je zde připevněna kamera, která působí jako senzor vidění robota, pomocí kterého dokáže robot rozeznávat různé barvy a tvary. Dále je u robota pásový dopravník a čtyři zásobníky barevných puků. V laboratoři se také nachází automatické vozidlo Weasel AGV, které jezdí po předem definované dráze, jenž je znázorněna na podlaze v podobě černého pruhu v bílém poli. Pracoviště laboratoře je vyobrazeno na obrázku 38.

Fanuc CR-7iA/L		
Maximální zatížení zápěstí		7 kg
Maximální dosah		911 mm
Počet řízených os		6
Opakovatelnost		±0,01 mm
Mechanická hmotnost		55 kg
Rozsah pohybu os	J1	340°
	J2	166°
	J3	383°
	J4	380°
	J5	240°
	J6	720°
Maximální rychlost efektoru		1 m/s

Tabulka 1: Specifikace robota Fanuc CR-7iA/L [32]

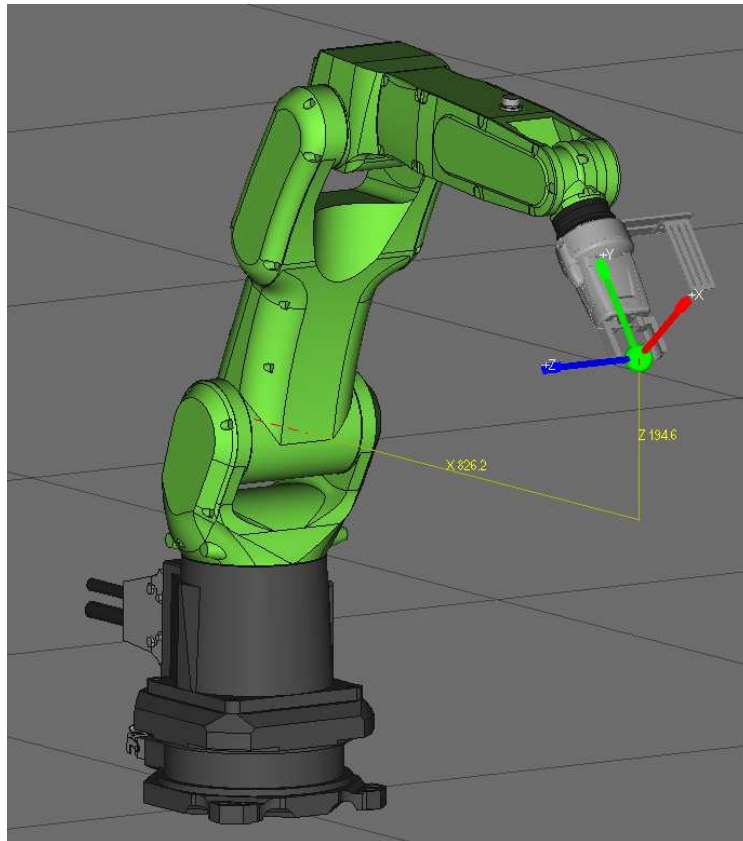




Obrázek 38: Laboratoř průmyslu 4.0

### 3.2 SW nástroj Fanuc Roboguide

V rámci vlastní simulace bude využíván SW nástroj Fanuc Roboguide HandlingPRO. Tento SW nástroj byl zvolen na základě typu robota v laboratoři průmyslu 4.0. Obsahuje přesný model robota Fanuc CR-7iA/L a jeho ovládání je úplně stejné jako ovládání reálného robota. Dále byl tento nástroj vybrán z důvodu potřeby manipulace s objekty, na které je software uzpůsoben. Do softwaru Fanuc Roboguide je možné importovat 3D modely za účelem doplnění téměř celého pracoviště v laboratoři průmyslu 4.0. Rozšiřující 3D modely byly získány z jiné diplomové práce. [30] Všechny tyto modely byly zcela statické, bylo potřeba je rozhýbat a na to má SW Fanuc Roboguide své nástroje, které budou použity v rámci simulace a dále popsány v následujících kapitolách.



Obrázek 39: Model robota z laboratoře v SW nástroji Fanuc Roboguide

## 4 Simulace vybraného procesu v SW Fanuc Roboguide

Tato kapitola bude zaměřena na přípravu simulace, dále na vlastní popis procesu, který bude probíhat v rámci simulace, a následně na vlastní provedení simulace.

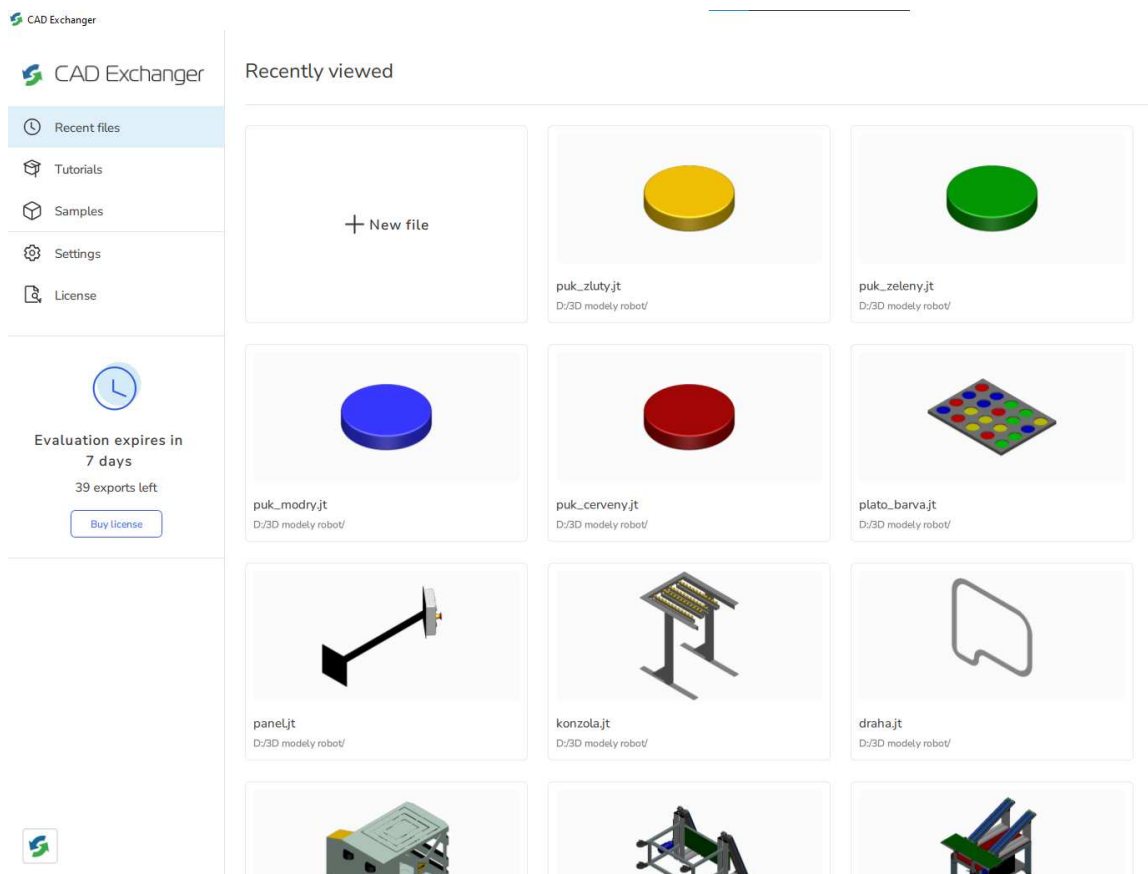
Účelem této práce je nasimulovat a realizovat v laboratoři průmyslu 4.0 reálný proces, který probíhá v pekárně. Valná většina aplikací v pekárnách pracuje pouze s jedním druhem pekařského produktu, jak je možné vidět na obrázku 40, proto bylo zvoleno vylepšení celého procesu o možnost rozpoznávání různých pekařských produktů, jak v rámci simulace v SW nástroji Fanuc Roboguide tak při realizaci simulace v laboratoři.



Obrázek 40: Robot z reálného prostředí pekárny [31]

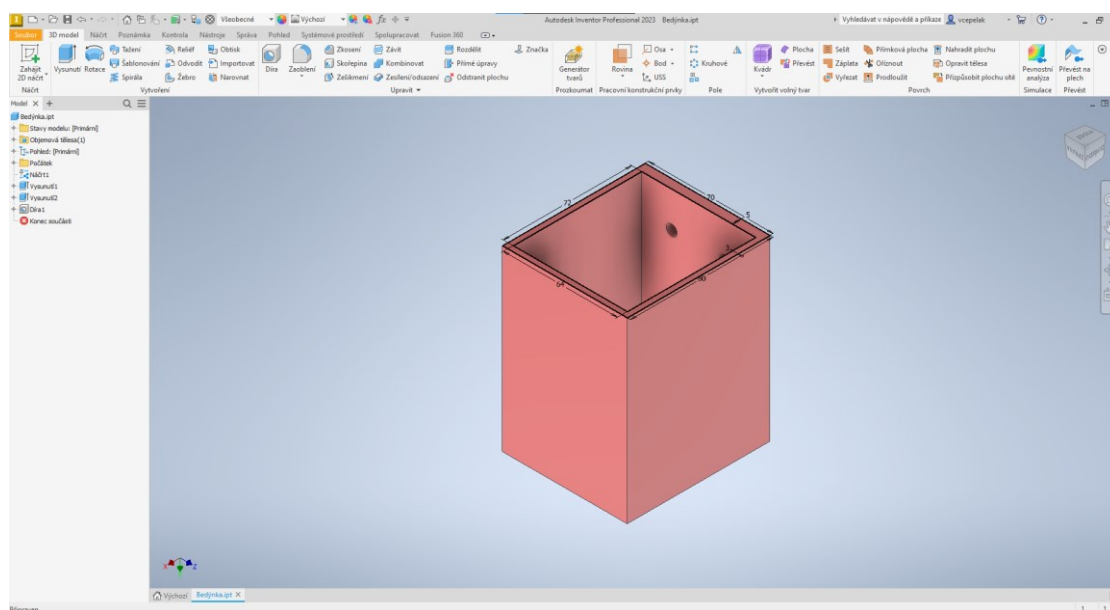
### 4.1 Příprava podkladů pro simulaci

V rámci simulace bylo potřeba importovat potřebné modely pracoviště. Tyto modely byly získány z jiné diplomové práce, jak již bylo zmíněno dříve, ale byly v nevhodném formátu, se kterým je SW Fanuc Roboguide nekompatibilní. Tento formát byl pro programy od společnosti Siemens konkrétně Process Simulate s příponou .jt. Bylo potřeba konvertovat modely do vhodného formátu např. .obj. Existuje mnoho internetových nástrojů, které nabízejí konverzi těchto dvou formátů, ale valná většina těchto konvertorů nebyla schopna převést tento typ souborů na požadovaný. Existují i aplikace, které lze nainstalovat. Úspěšná konverze proběhla v software CAD Exchanger, který byl využit pro modely simulace. Detail software CAD Exchanger je možné vidět na obrázku 41.



Obrázek 41: SW nástroj CAD Exchanger

Dalším požadavkem pro simulaci bylo vymodelovat boxy, do kterých bude robot třídit barevné puky. Tyto boxy byly vymodelovány v SW nástroji Autodesk Inventor. Tento program umožňuje uložení ve vhodném formátu pro import do SW Fanuc Roboguide, proto nebylo nutné využívat výše zmíněný konvertor i na tyto modely. Tento nástroj byl zvolen také z důvodu snadného exportu do vhodného formátu pro následný 3D tisk při vlastní realizaci procesu v rámci laboratoře průmyslu 4.0. Model boxu vytvořený v SW nástroji Autodesk Inventor je zobrazen na obrázku 42.

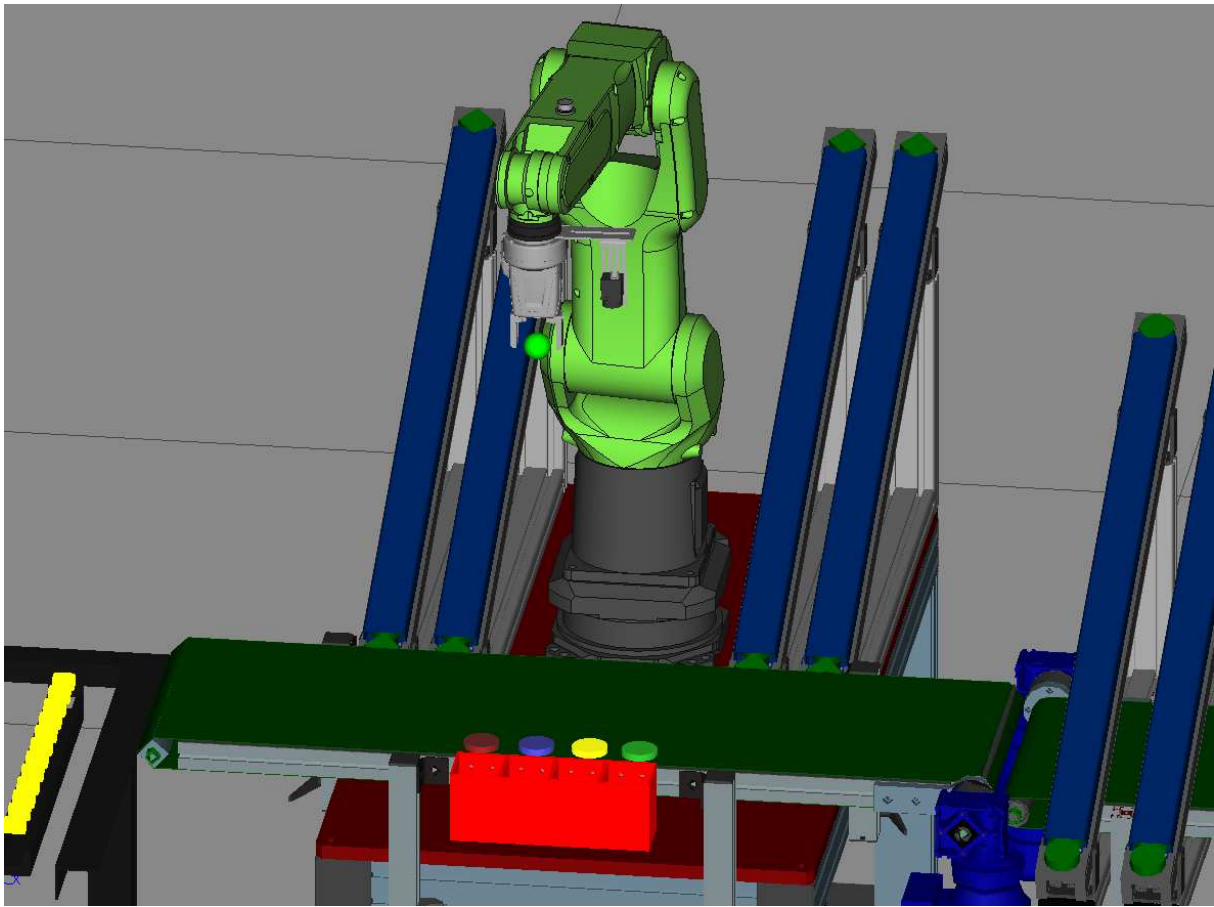


Obrázek 42: Model boxu vytvořený v SW nástroji Autodesk Inventor



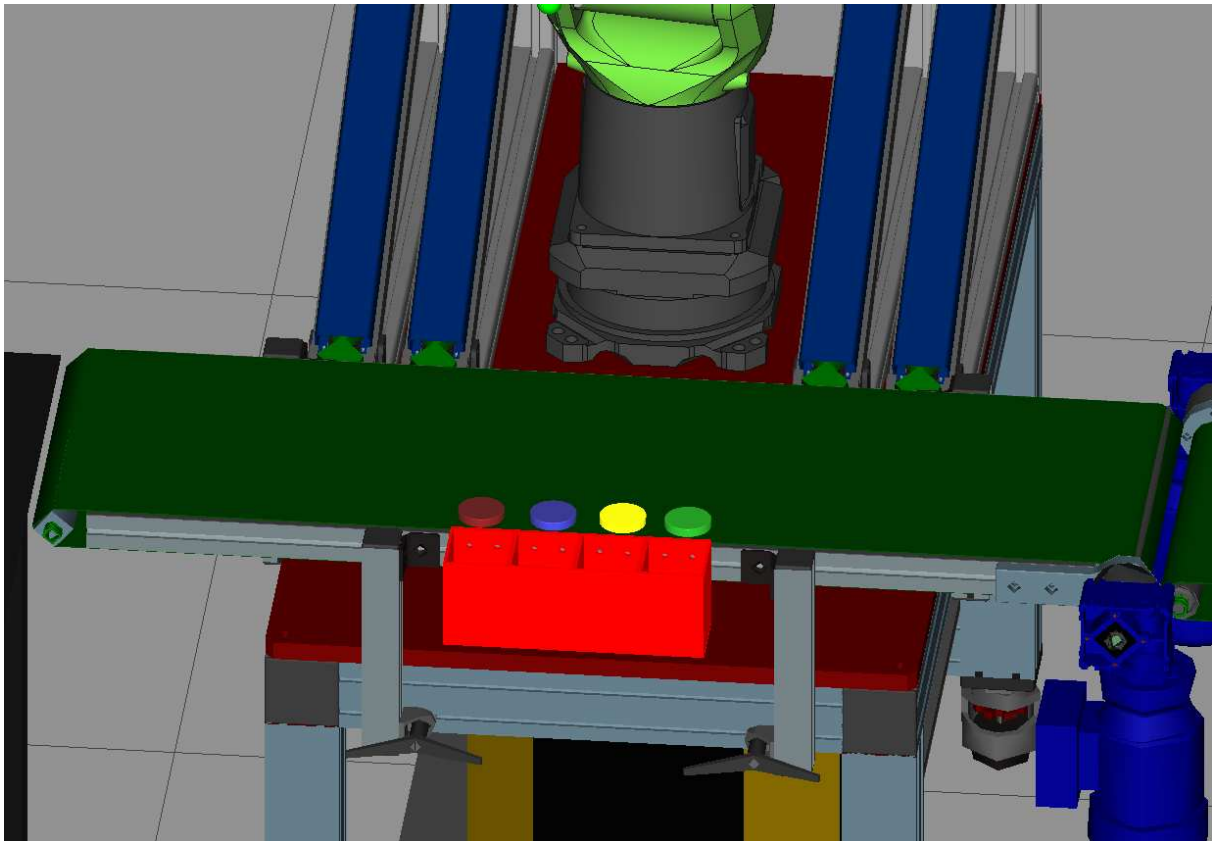
## 4.2 Popis plánovaného procesu

Hlavním úkolem robota v simulaci bylo roztrždit náhodně rozmístěné puky na dopravníku, které představují pekárenské výrobky, do čtyř červených boxů, které byly zmíněny výše.



Obrázek 43: Detail pracoviště v SW nástroji Fanuc Roboguide

Nejdříve je potřeba ukázat robotu, jakým způsobem bude barevné puky třídit. Jsou čtyři barvy puků: modrá, zelená, červená a žlutá. Jelikož jsou ale všechny čtyři boxy červené, tak je potřeba ke každému boxu na dopravníku položit puky jednotlivých barev, aby robot věděl, kam konkrétně, který barevný puk vložit. Barvy lze boxům přiřadit zcela náhodně, nezáleží na jejich pořadí, jen je potřeba puky položit do těsné blízkosti boxů, aby je byl robot schopen identifikovat. Viz obrázek 44.



**Obrázek 44: Rozmístění barevných puků k boxům v simulaci**

Robot provede identifikaci jednotlivých boxů a barevných puků k nim přiložených. Po celou dobu běhu programu má takto identifikované boxy uložené v paměti tzn. že není možné v průběhu běhu programu nijak měnit určenou barvu boxu. V případě, že je potřeba, aby robot třídil barevné puky v jiném barevném pořadí do boxů, je nutné ukončit běh stávajícího programu, položit puky k boxům k identifikaci a spustit celý program od začátku znovu.

Po identifikaci barev boxů je třeba ručně odstranit identifikační puky. Poté následuje spuštění samotného běhu procesu třídění puků. Jakmile začne běžet dopravník, je možné začít na něj pokládat puky v náhodném pořadí a rozmístění. Musí se dbát na vzdálenost mezi jednotlivými puky, jelikož by robot mohl kolidovat s druhým pukem, který by byl těsně vedle puku odebíraného.

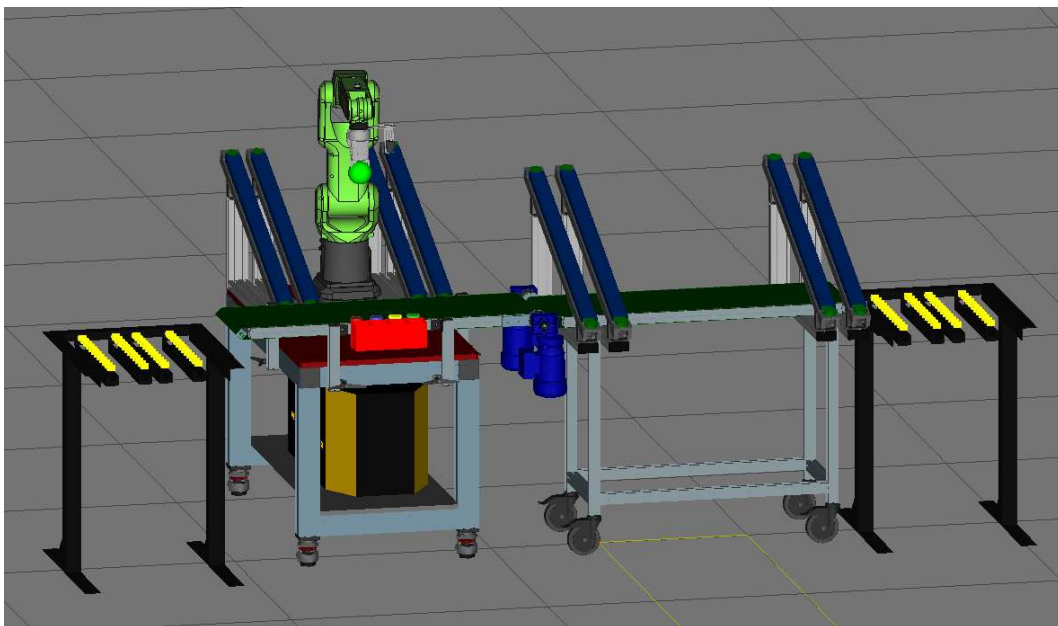
Z důvodu omezené kapacity boxů je možné do každého vložit maximálně pět puků. V případě, že by kapacita omezena nebyla, tak by robot dokázal třídít puky až do vyčerpání jejich zásoby.

Po umístění puků na jedoucí dopravník robot čeká na sepnutí optického čidla. Při sepnutí čidla je dopravník zastaven. Je nutné dopravník zastavit, jelikož v rámci aktuálního systému má dopravník konstantní rychlost a robot by za běhu dopravníku nebyl schopen puky identifikovat a odebírat. Robot rozpozná puky a jejich barvy a začne je třídít. Když na ploše skenované robotem již žádné puky nebudou, tak se opět spustí dopravník. Takto probíhá opakování procesu do vyčerpání zásoby připravených puků.

Pokud optické čidlo nesezne 15 sekund, tak se na TeachPendantu objeví hlášení o tom, že nepřijel žádný puk a celý program se ukončí.

### 4.3 Příprava modelu

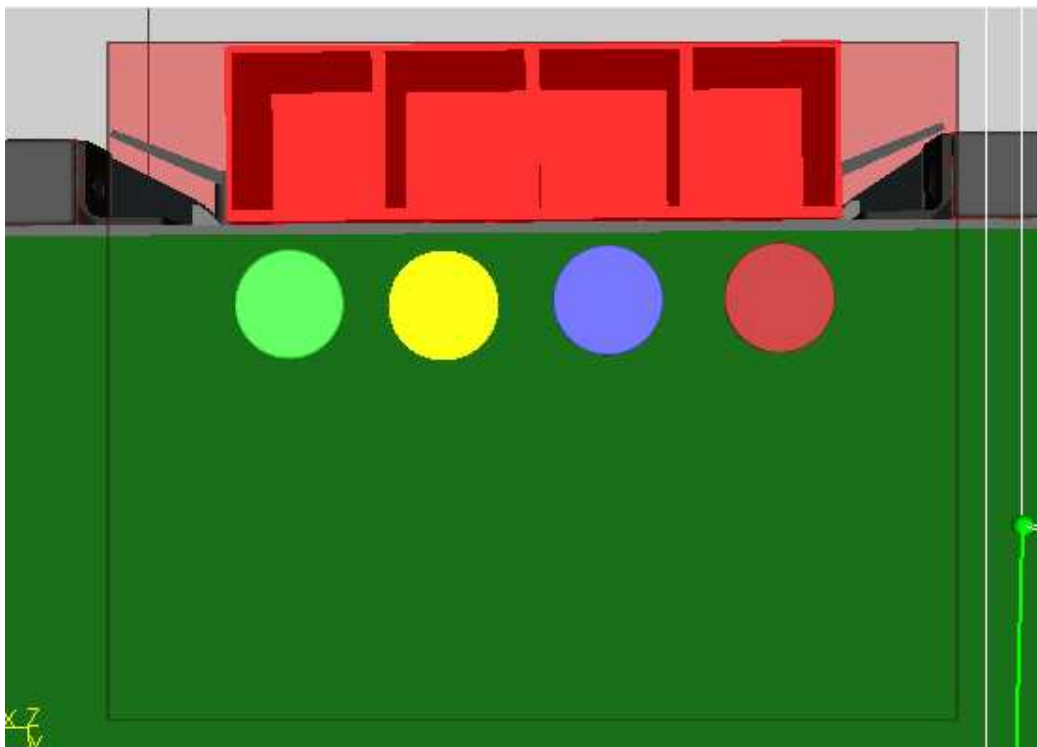
V rámci přípravy modelu pracoviště bylo potřeba importovat do SW nástroje Fanuc Roboguide potřebné modely. Import modelů je poměrně specifický, jelikož je potřeba nastavit, jak se budou modely chovat. V SW nástroji Fanuc Roboguide existuje několik kategorií modelů, se kterými bylo nutno pracovat. Robot byl importován přímo při nastavení buňky, které je zmíněno v kapitole 2.2. K robotu byl též přidán koncový efektor, který je též zmíněn v uvedené kapitole a na efektor byla přidána kamera, která je součástí knihovny modelů v SW nástroji Fanuc Roboguide. Dopravníky byly importovány pod označením „Machines“, aby bylo možné je rozpohybovat. Konzole na každé straně byly importovány jako „Fixtures“, protože nebylo potřeba s nimi nijak interagovat a byly jen na dokreslení podobnosti s pracovištěm v laboratoři průmyslu 4.0. V oddílu „Fixtures“ byly vloženy i červené boxy, které fungují jako zásobníky, do kterých se vkládají barevné puky a není potřeba s nimi nijak hýbat. Samotné puky byly přidány do složky „Parts“, díky čemuž mohou být přepravovány dopravníkem, manipulovány robotem a ukládány do červených boxů. Model pracoviště je zobrazen na obrázku 45.



Obrázek 45: 3D model části pracoviště v laboratoři průmyslu 4.0

### 4.4 Vlastní simulace v SW nástroji Fanuc Roboguide

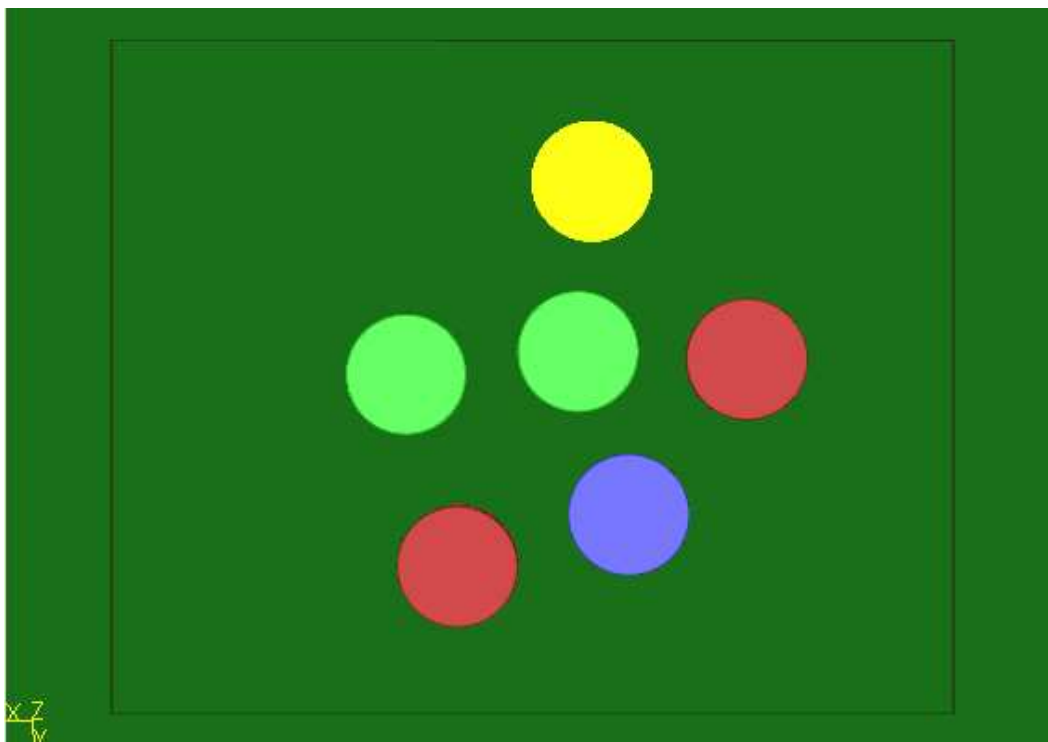
Součástí vlastní simulace bylo potřeba nejdříve nastavit identifikaci barev. Robot, pomocí kamery připevněné na přípravku vedle koncového efektoru, snímá aktuální zorné pole na dopravníku. Bylo nutné robota přesunout do polohy, kdy má kamera dobrý výhled na červené boxy a k nim přiřazené barevné puky. Pohled kamery na identifikační puky a boxy ve správné poloze je možné vidět na obrázku 46.



**Obrázek 46: Pohled kamery na barevné puky a boxy k identifikaci**

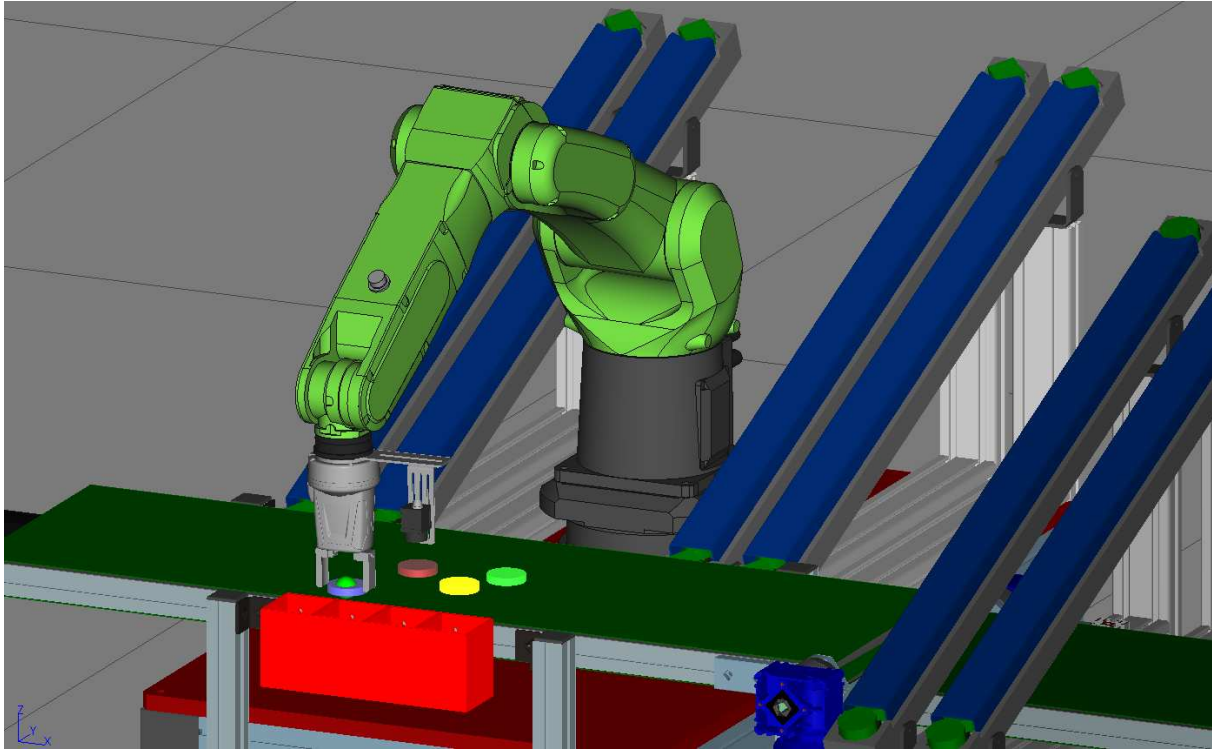
Dalším bodem bylo odebrání identifikačních puků pryč z dopravníku. V rámci simulace byly tyto puky jednoduše odstraněny.

V rámci zjednodušení simulace byly barevné puky ručně posazeny na dopravník, který byl poté spuštěn. Poté co puky dojely na určenou pozici, spustilo se rozpoznávání puků na robotovi. Pohled z kamery robota na konkrétní úsek dopravníku je vidět na obrázku 47. Zorné pole kamery bylo omezeno jen na úzký pruh pro zvýšení spolehlivosti rozpoznávání puků.



**Obrázek 47: Pohled kamery na barevné puky náhodně rozmístěné na dopravníku**





Obrázek 48: Robot přesunující puk do červeného boxu

#### 4.4.1 První verze simulace

První simulace se soustředila na základní program se smyčkou, kdy robot vždy odebral jeden puk, dojel zpět na původní výchozí pozici odkud fotil náhodně rozmístěné puky na dopravníku a až poté znovu třídil další puk do boxu. Tato smyčka se opakovala do doby, kdy byly na dopravníku nějaké puky. Poté byly na dopravník umístěny další puky a celý proces se opakoval. Takto neefektivní program byl použit z důvodu testování základních funkcí a zároveň byl použit i jako první test v reálném prostředí, aby byly ověřeny všechny předpoklady, které poskytla simulace. Jednodušší program byl také snazší na opravu případných vzniklých chyb v porovnání s komplexnějším programem. Vývojový diagram první verze simulace je vyobrazen na obrázku 49.



Obrázek 49: Vývojový diagram první verze programu

### Podprogram pro identifikaci boxů a jejich barev

Podprogram umožňuje uložení jednotlivých pozic a barev boxů do registrů robota. Robot si najede na pozici nad boxy. Vyfotí si aktuální pozici a vyhledá příslušné boxy a u nich položené barevné puky. Do registru R[71] až R[74] se postupně uloží přesné pozice boxů s jejich přiděleným barevným pukem. Program pro identifikaci boxů je na obrázku 50.

```
V_IDENTIFIKACE
13/13
1: UFRAME_NUM=1
2: UTOOL_NUM=5
3:L P[1] 500mm/sec FINE
4: WAIT 1.00(sec)
5: R[70]=71
6: VISION RUN_FIND 'V_IDENTIFIKACE'
:
7: LBL[1]
8: VISION GET_OFFSET
: 'V_IDENTIFIKACE' VR[1] JMP LBL
: [2]
9: R[R[70]]=VR[1].MODELID
10: R[70]=R[70]+1
11: JMP LBL[1]
12: LBL[2]
[End]
```

Obrázek 50: Podprogram V\_IDENTIFIKACE

### Podprogram pro identifikaci a odběr puků z dopravníku

Robot přijede na pozici pro focení a začne hledat puky ve zvoleném zorném poli na dopravníku. Identifikuje puky a uloží pozice do registru VR[1]. Poté přijede přibližně 100 mm nad puk a pomalu se přiblíží k odebíranému puku. Odebíraný puk uchopí a zvedne ho kolmo nahoru o 100 mm. V případě, že na začátku při identifikaci puků v tomto podprogramu nenalezne žádné puky, skočí díky návěští na konec tohoto podprogramu. První verze programu pro odběr barevných puků se nachází na obrázku 51.

```
V_ODBER 1/20
1: UFRAME_NUM=1
2: UTOOL_NUM=5
3:L @P[1:Foto] 500mm/sec FINE
4: WAIT 1.00(sec)
5: VISION RUN_FIND 'V_ODBER'
6: VISION GET_OFFSET 'V_ODBER'
: VR[1] JMP LBL[98]
7: R[69]=VR[1].MODELID
8:J P[2:Ref] 20% CNT25
: VOFFSET,VR[1]
: Offset,PR[70:OFFSET_Z_100]
9:
10:L P[2:Ref] 100mm/sec FINE
: VOFFSET,VR[1]
11: WAIT .50(sec)
12: RO[7:OFF:Uchop]=ON
13: WAIT .50(sec)
14:L P[2:Ref] 100mm/sec CNT25
: VOFFSET,VR[1]
: Offset,PR[70:OFFSET_Z_100]
15:
16: JMP LBL[99]
17: LBL[98]
18: F[70:OFF:NENALEZENO]=ON
19: LBL[99]
[End]
```

Obrázek 51: Podprogram V\_ODBER

### Podprogramy pro odhoz puku do příslušného boxu

Jednoduché podprogramy, díky kterým robot přejede z místa zdvihnutí puku nad místo odhození do správného boxu. Podprogramy pro odhoz jsou celkem čtyři pro každý box jeden. Ukázka podprogramu V\_ODHOZ je na obrázku 52.

```
V_ODHOZ1 1/9
1: UFRAME_NUM=1
2: UTOOL_NUM=5
3:L P[1] 500mm/sec CNT100
: Offset,PR[70:OFFSET_Z_100]
4:L P[1] 100mm/sec FINE
5: WAIT .50(sec)
6: RO[8:OFF:Pust]=ON
7: WAIT .50(sec)
8:L P[1] 500mm/sec CNT100
: Offset,PR[70:OFFSET_Z_100]
[End]
```

Obrázek 52: Podprogram V\_ODHOZ1

### Hlavní program

V hlavním programu se volají pomocí funkce CALL jednotlivé podprogramy popsané výše. Dále se zde nachází ještě podprogram V\_FOTO\_HOME, který jen přesune robota do výchozí pozice robota, odkud také fotí úsek dopravníku s puky.

Nejdříve se volá podprogram pro ustavení výchozí pozice, poté si robot identifikuje boxy a jejich barvy pomocí podprogramu V\_IDENTIFIKACE, který byl popsán výše. Dále se robot přesune zpět do výchozí pozice a čeká na stisk tlačítka. Po stisku tlačítka se pustí dopravník a robot čeká do té doby, než se sepne optické čidlo tím, že k němu přijede puk. Po sepnutí čidla se dopravník zastaví. Zavolá se podprogram V\_ODBER popsáný výše a poté se spustí jeden ze čtyř podprogramů V\_ODHOZ na základě hodnoty uložené v registru R[69]. Celý proces třídění puků se opakuje až do doby, kdy v určeném zorném poli není žádný puk. Poté se opět spustí dopravník, proces se opakuje znovu od řádky 5, kde je návěští, na které robot přejde na konci hlavního programu a celý výše popsáný proces jede od začátku. Pokud se 15 sekund čidlo nesepe na TeachPendantu se vypíše hlášení, že nepřišel žádný puk a program se ukončí, jak již bylo zmíněno dříve. Posloupnost instrukcí hlavního programu je možné vidět na obrázku 53.

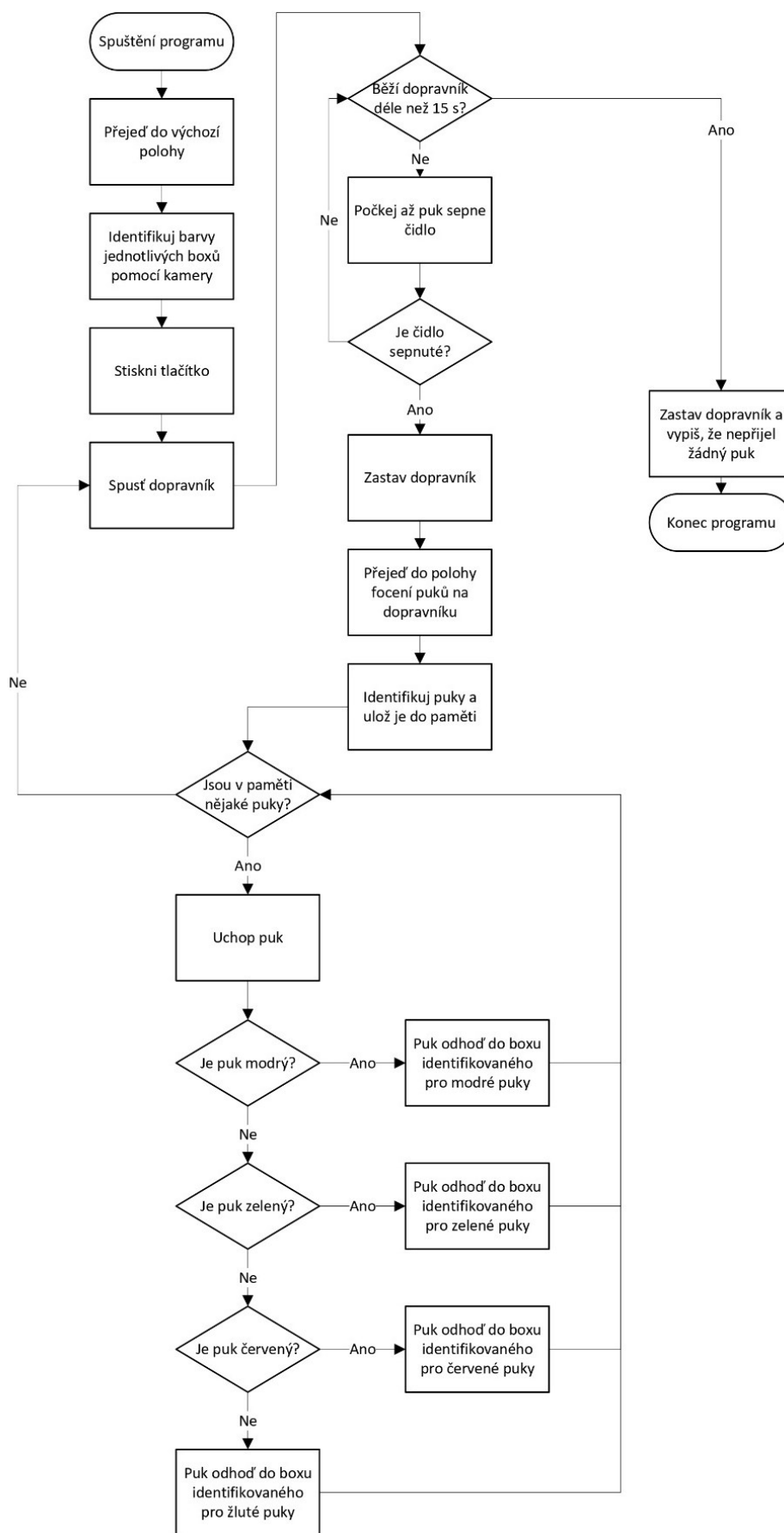
```
V_HLAVNI
1/19
1: CALL V_FOTO_HOME
2: CALL V_IDENTIFIKACE
3: CALL V_FOTO_HOME
4: WAIT (
: DI[16:OFF:TLACITKO OBSLUHA])
5: LBL[1]
6: CALL V_FOTO_HOME
7: DO[1:OFF:DOPRAVNIK_START/STOP]=
: ON
8: WAIT (DI[17:OFF:PALETKAVPOZICI])
: TIMEOUT,LBL[...]
9: F[70:OFF:NENALEZENO]=(OFF)
10: DO[1:OFF:DOPRAVNIK_START/STOP]=
: OFF
11: LBL[2]
12: CALL V_ODBER
13: IF (F[70:OFF:NENALEZENO]),
: JMP LBL[1]
14: SELECT R[69]=1,CALL V_ODHOZ1
15: =2,CALL V_ODHOZ2
16: =3,CALL V_ODHOZ3
17: =4,CALL V_ODHOZ4
18: JMP LBL[2]
[End]
```

Obrázek 53: Hlavní program

Problémem této první verze programu je, že pokaždé, když proběhne smyčka, kde se volá podprogram V\_ODBER, tak robot přejede do výchozí polohy a identifikuje puků na zastaveném dopravníku znovu i přesto, že je již má uložené z předchozího běhu tohoto podprogramu. Tato část programu byla předmětem optimalizace v další verzi, jejíž změny proti té původní budou popsány níže.

#### 4.4.2 Druhá verze simulace

Neefektivní proces z první simulace bylo potřeba zrychlit a zefektivnit. Po roztřídění jednoho puku bylo nutno eliminovat přejetí robota do výchozí pozice pro focení, jelikož polohu puků na dopravníku stačí vyfotit pouze jednou a poté je možné odebrat všechny takto identifikované puků. Pozice puků je uložena v paměti robota a není potřeba ji zjišťovat znovu, protože v rámci této simulace není předpokládáno, že by probíhal nějaký zásah do rozmístění puků, které přijdou po dopravníku. Vývojový diagram druhé verze simulace je vyobrazen na obrázku 54.



Obrázek 54: Vývojový diagram druhé verze programu



Bylo potřeba upravit především hlavní program, ale i podprogram V\_ODBER. První část hlavního programu zůstala ve srovnání s první verzí téměř stejná. V další části byly provedeny značné změny. Vyfocení a identifikace puků, které přijedou náhodně na dopravníku, bylo nutno přesunout z podprogramu V\_ODBER před smyčku hlavního programu, kde se řídí odklizení puků. Díky této úpravě uložil robot do své paměti všechny puky, které po dopravníku přijely. Polohu puků pro uchopení bylo potřeba ponechat ve smyčce, protože každý puk je na dopravníku jinde a robot si ji vypočítává pokaždé, když odhodí puk. Upravený hlavní program je znázorněn na obrázku 55.

```
V_HLAVNI
1/32
1: WAIT 5.00(sec)
2: CALL V_FOTO_HOME
3: CALL V_IDENTIFIKACE
4: CALL V_FOTO_HOME
5: WAIT (
: DI[16:OFF:TLACITKO OBSLUHA])
6: LBL[1]
7: CALL V_FOTO_HOME
8: DO[1:OFF:DOPRAVNIK_START/STOP]=
: ON
9: WAIT (DI[17:OFF:PALETKAVPOZICI])
: TIMEOUT,LBL[99]
10: F[70:OFF:NENALEZENO]={OFF}
11: DO[1:OFF:DOPRAVNIK_START/STOP]=
: OFF
12:
13: UFRAME_NUM=1
14: UTOOL_NUM=5
15:L @P[1:Foto] 500mm/sec FINE
16: WAIT 1.00(sec)
17: VISION RUN_FIND 'V_ODBER'
18:
19: LBL[2]
20: VISION GET_OFFSET 'V_ODBER'
: VR[1] JMP LBL[1]
21: R[69]=VR[1].MODELID
22: CALL V_ODBER
23: IF (F[70:OFF:NENALEZENO]),
: JMP LBL[1]
24: IF (R[69]=R[71:LL box]),
: CALL V_ODHOZ1
25: IF (R[69]=R[72:LR box]),
: CALL V_ODHOZ2
26: IF (R[69]=R[73:RL box]),
: CALL V_ODHOZ3
27: IF (R[69]=R[74:RR box]),
: CALL V_ODHOZ4
28: JMP LBL[2]
29: LBL[99]
30: UALM[10]
31: DO[1:OFF:DOPRAVNIK_START/STOP]=
: OFF
[End]
```

Obrázek 55: Upravený hlavní program



V rámci podprogramu V\_ODBER bylo ponecháno jen přijetí nástrojem robota nad puk. Dále byla upravena výška, ve které robot k pukům přijížděl, protože při přibližování k uchopení puku má robot nastavenou velmi nízkou rychlost, což znamená, že touto nízkou rychlostí robot nemusí urazit tak dlouhou vzdálenost jako v prvním případě. V této výšce robot operuje po celou dobu třídění puků. Upravený podprogram V\_ODBER je na obrázku 56.

```

V_ODBER
1/10
1: UFRAME_NUM=1
2: UTOOL_NUM=5
3: J P[2:Ref] 100% CNT25
   : VOFFSET,VR[1]
   : Offset,PR[70:OFFSET_Z_100]
4:
5: L P[2:Ref] 100mm/sec FINE
   : VOFFSET,VR[1]
6: WAIT .50(sec)
7: RO[7:OFF:Uchop]=ON
8: WAIT .50(sec)
9: L P[2:Ref] 100mm/sec CNT25
   : VOFFSET,VR[1]
   : Offset,PR[70:OFFSET_Z_100]
[End]
    
```

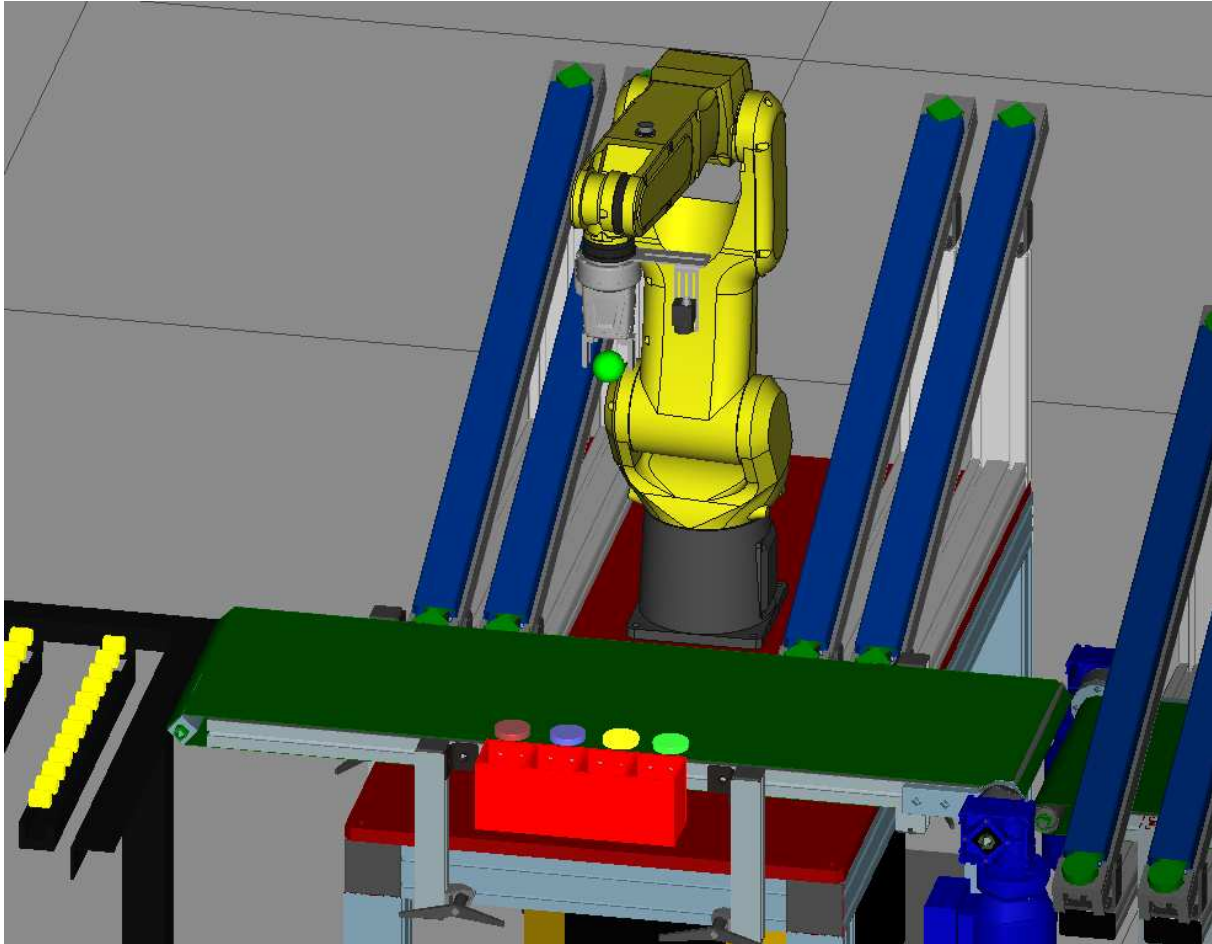
Obrázek 56: Upravený podprogram V\_ODBER

#### 4.4.3 Simulace s průmyslovým robotem

Pro ilustraci a srovnání byla vytvořena simulace ve Fanuc Roboguide s klasickým průmyslovým robotem Fanuc LR Mate 200iD/7L, který je obdobou robot Fanuc CR7iA/L, ale není kolaborativní. Vzhled průmyslového robota je možné vidět na obrázku 57. Zásadní odlišnost kromě kolaborativity je, že tento robot je dvakrát rychlejší a v praxi zrychlí celý proces třídění pekárenských výrobků. Nevýhodou je, že tento robot musí být oddělen od lidských pracovníků a nesmí s nimi přijít do kontaktu, když provádí naprogramované úkony. V tabulce 2 jsou uvedeny parametry robota Fanuc LR Mate 200iD/7L.

Fanuc LR Mate 200iD/7L		
Maximální zatížení zápěstí		7 kg
Maximální dosah		911 mm
Počet řízených os		6
Opakovatelnost		±0,01 mm
Mechanická hmotnost		27 kg
Rozsah pohybu os	J1	360°
	J2	245°
	J3	430°
	J4	380°
	J5	240°
	J6	720°
Maximální rychlost efektoru		4 m/s

Tabulka 2: Specifikace robota Fanuc LR Mate 200iD/7L [33]



**Obrázek 57: Detail pracoviště s průmyslovým robotem Fanuc LR Mate 200iD/7L**

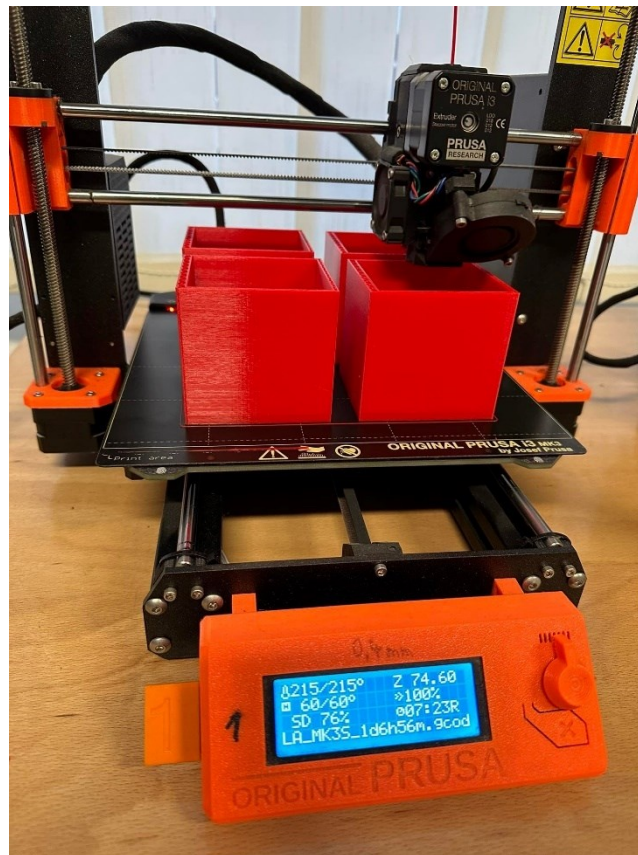
Simulovaný proces bude probíhat identicky jako u robota Fanuc CR-7iA/L. Kroky procesu budou shodné s odlišností v použitém robotovi. Byly využity všechny dříve vytvořené programy i nakonfigurované rozpočítávané modely pracoviště.

## 5 Realizace vybraného procesu v experimentální laboratoři

Obsahem této kapitoly bude příprava realizace vybraného procesu, nastavení kamerového systému reálného robota, import programů z SW nástroje Fanuc Roboguide do TeachPendantu reálného robota a vlastní realizace vybraného procesu.

### 5.1 Příprava realizace vybraného procesu

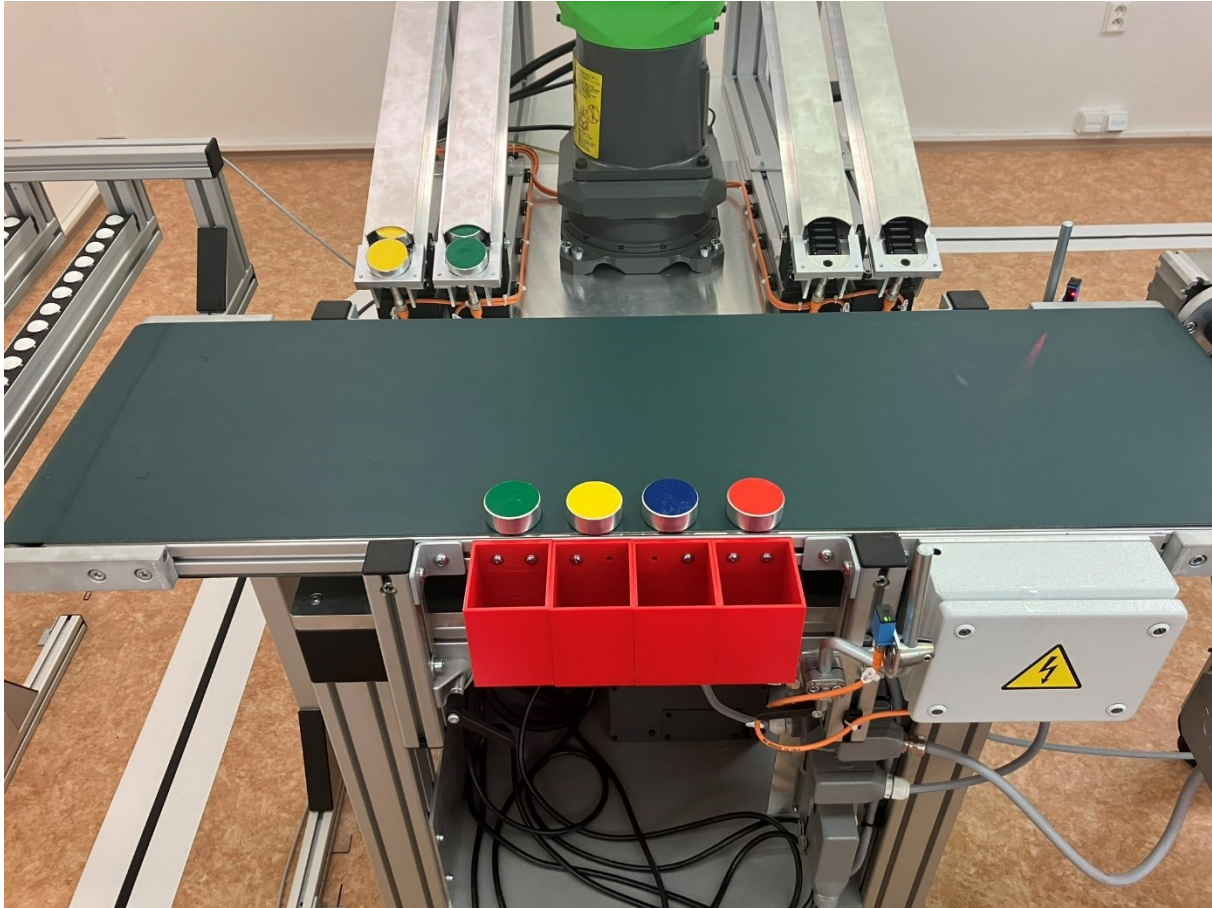
V rámci přípravy robotického pracoviště v laboratoři průmyslu 4.0 bylo potřeba připravit boxy, do kterých by robot třídil puky. Byly využity již vytvořené modely použité v SW nástroji Fanuc Roboguide, které bylo snadné přenést z programu Autodesk Inventor do software pro 3D tisk. Samotný 3D tisk všech čtyř boxů trval zhruba 17 hodin. Pokročilá fáze tisku je zobrazena na obrázku 58.



Obrázek 58: 3D tisk boxů

Dále bylo nutné vytisknuté boxy připevnit k profilu dopravníku u robota. Pro upevnění boxů byly využity matice s pružnou kuličkou, které jsou kompatibilní s hliníkovým profilem a jdou lehce vložit do jeho drážky. Boxy byly přišroubovány do těchto matic pomocí šroubů se závitem M5. Připevněné boxy na pracovišti v laboratoři je možné pozorovat na obrázku 59.





Obrázek 59: Rozmístění barevných puků k boxům

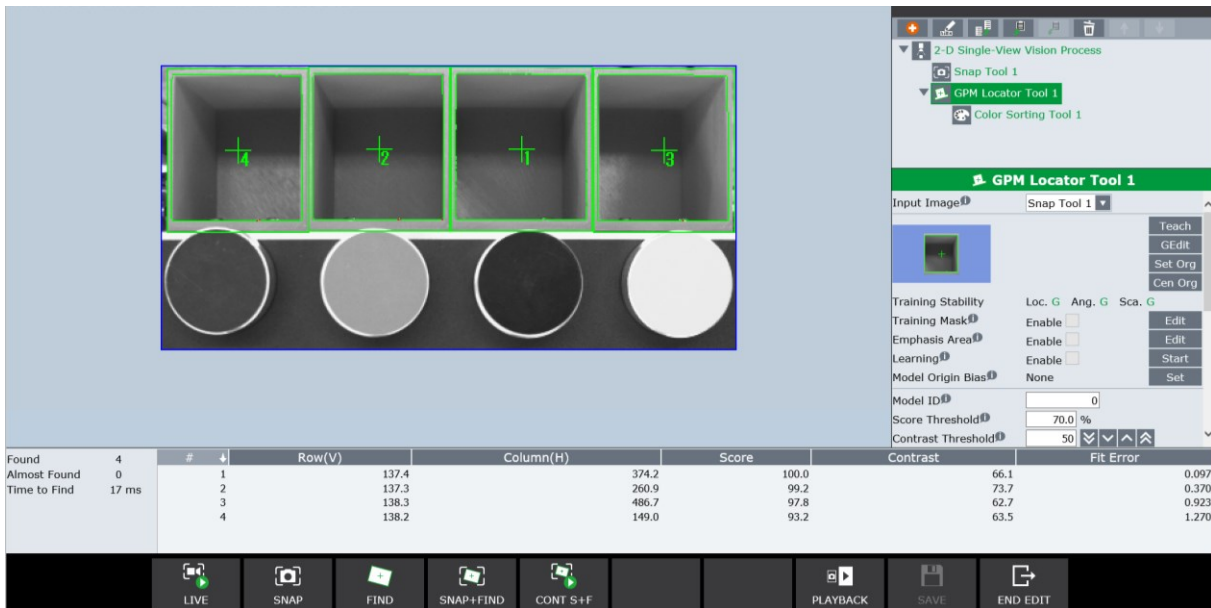
## 5.2 Nastavení kamerového systému

Součástí robota je software iRVision, který umožňuje robotu vidět ve 2D. Tento systém bylo potřeba nejdříve nastavit, aby mohl robot správně identifikovat puky v reálném prostředí laboratoře.

V rámci nastavení bylo nutné zvolit správnou kameru, která je nastavena a zkalibrována, poté následoval výběr vhodného souřadnicového systému, který byl též připraven pro použití a konfigurován pro použití stávajícího snímacího zařízení. Tento souřadnicový systém umožnil správnou identifikaci a výpočet polohy pro přesné odebírání puků z dopravníku.

Dále bude popsán celý proces nastavování jednotlivých úkonů pro konkrétní proces třídění barevných puků do červených boxů. Úvodním krokem bylo vymezení oblasti, ve které bude robot hledat a rozpoznávat jednotlivé červené boxy a k nim přiřazené barvy. Tento úkon byl vytvořen pomocí funkce Snap Tool, která je součástí software iRVision.

Dalším krokem byla identifikace jednotlivých boxů a jejich barev, iRVision je k tomuto velmi dobře uzpůsoben. Funkce GPM Locator Tool dokáže při označení jednoho boxu označit všechny ostatní boxy jen na základě podobnosti jejich tvaru. Podobnost s prvním označeným boxem je vyjádřena procentem. Rozpoznávání je jen v určité toleranci podobnosti, kterou lze libovolně nastavit. Na obrázku 60 je možné vidět proces identifikace jednotlivých boxů se skóre, které vyjadřuje podobnost s uloženým boxem, dle kterého software vyhledává.



Obrázek 60: Rozpoznávání jednotlivých boxů

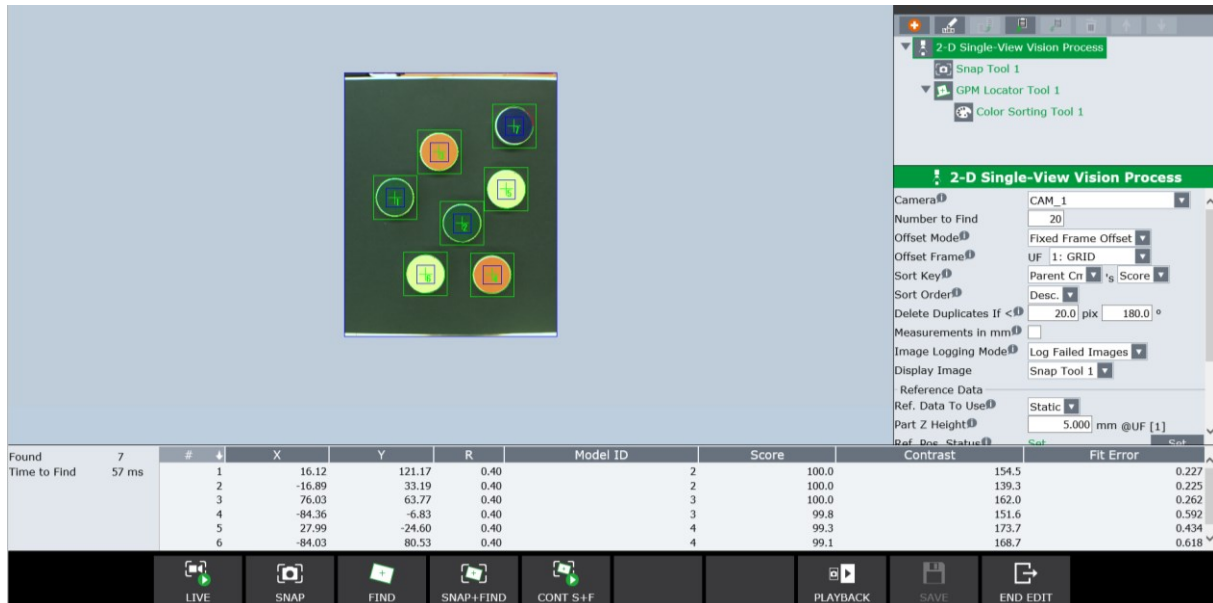
Následovně bylo nutné nastavit rozpoznávání barev, které jsou přiřazeny jednotlivým boxům. K tomu slouží funkce Color Sorting Tool, která je též součástí software iRVision. V nastavení této funkce bylo nutné označit oblasti, ve kterých se budou načítat jednotlivé barvy. Opět se nastavily určité předlohy dle, kterých se barvy rozeznávaly. Každá barva má určitou číselnou hodnotu, která se poté porovnává s nově načítanými barvami. Identifikaci barev znázorňuje obrázek 61.



Obrázek 61: Rozpoznávání přiřazených barev k jednotlivým boxům

Velmi obdobně jako při nastavení rozpoznávání boxů se postupuje i při rozpoznávání náhodně rozmístěných puků. Opět bylo potřeba nejdříve nastavit oblast, kde bude robot puků hledat. Poté byl označen jeden referenční puk, dle kterého se rozpoznávali ostatní. V neposlední řadě byly nastaveny oblasti na rozpoznávaných pukcích, kde se rozlišovala jejich barva. Na obrázku 62 je možné vidět identifikaci náhodně rozmístěných puků s jednotlivými barvami. Součástí

tohoto okna iRVision jsou zobrazeny souřadnice jednotlivých puků a také skóre, což představuje procento shodnosti jednotlivých obrysů puků a také jejich barev.



Obrázek 62: Rozpoznávání náhodně rozmístěných puků se souřadnicemi a toleranci shodnosti

### 5.3 Import programů z prostředí Fanuc Roboguide

Součástí programu Fanuc Roboguide existuje možnost exportu programů na flash disk. Tyto programy je možné importovat do reálného robota pomocí USB portu, který se nachází na TeachPendantu reálného robota, který je možné vidět na obrázku 63.



Obrázek 63: USB port na TeachPendantu reálného robota

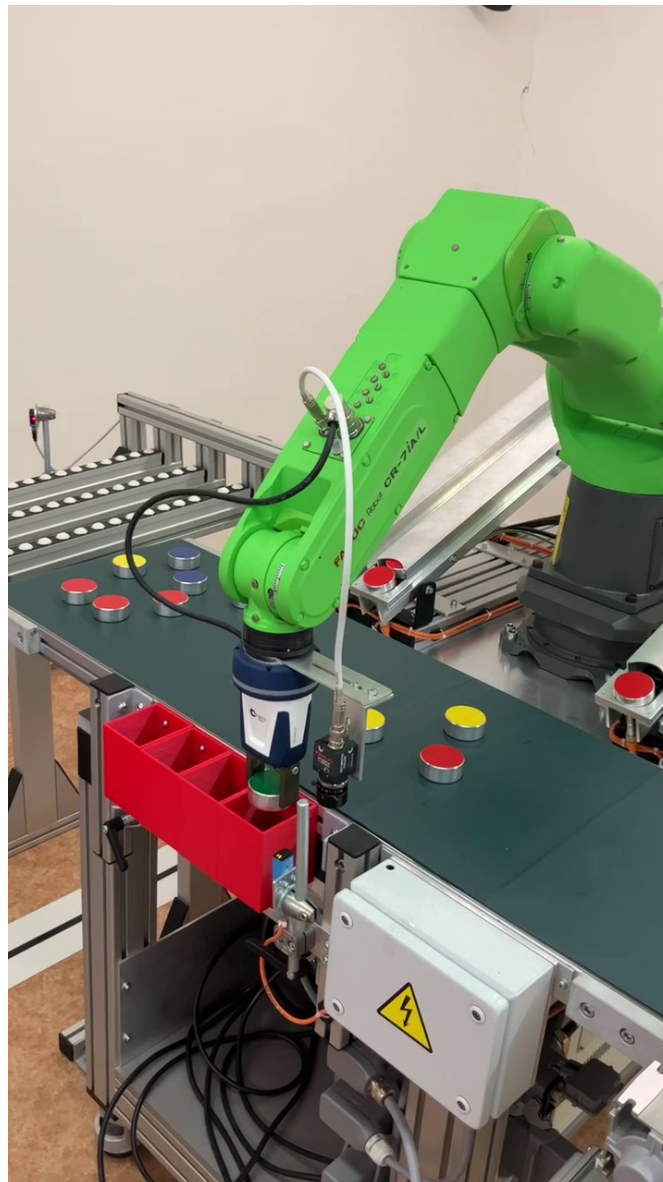


Souřadnicový systém je, ale odlišný ve Fanuc Roboguide proti reálnému robotovi. Bylo potřeba upravit souřadnice všech bodů. Nejjednodušším řešením bylo přejet robotem do požadovaných pozic a souřadnice stávajících bodů snadno přepsat. Logika všech přenesených programů zůstává stejná, proto je není potřeba nijak více upravovat.

#### 5.4 Vlastní realizace vybraného procesu

Pro vlastní realizaci byla využita veškerá nastavení z předchozích kapitol. Je nutné, aby byly rozsvíceny všechny tři řady zářivek v laboratoři, jinak je kamerový systém nespolehlivý a špatně rozeznává jak puky, tak jejich barvy.

K vlastní realizaci je nutný jeden operátor, který připraví puky k boxům k identifikaci. Robot přejel do polohy pro rozpoznání červených boxů a k nim přiřazených barev jednotlivých puků. Po úspěšném dokončení tohoto procesu musí operátor odstranit puky u boxů a pro spuštění dopravníku je potřeba stisknout tlačítko. Po stisku tlačítka se dopravník spustí a operátor může začít na dopravník pokládat puky. Robot přesunující barevné puky je na obrázku 64.



Obrázek 64: Reálný robot přesunující puk do červeného boxu

Dalším procesem je samotné rozpoznání a třídění puků náhodně položených na dopravník. Zde byly testovány obě verze programů importované z SW nástroje Fanuc Roboguide. Obě varianty po modifikaci jednotlivých bodů fungovaly bez jakýchkoli problémů.

Po vyčerpání zásoby puků a jejich roztrídění se opět spustí dopravník a pokud běží 15 sekund a není sepnuto optické čidlo, tak se na TeachPendantu vypíše hlášení o tom, že nepřišel žádný puk a celý program se tak ukončí.

## 6 Vyhodnocení

Obsahem této kapitoly bude popis měření simulovaného procesu, uvedení naměřených hodnot pro jednotlivé puky neboli pekárenské výrobky, celkové časy pro jednotlivá měření a také průměrné hodnoty ze všech měření. Na závěr zde bude uvedeno závěrečné vyhodnocení všech experimentů.

### 6.1 Měření provedených simulací

V této kapitole byly naměřeny časy druhých (finálních) verzí simulací v SW Fanuc Roboguide a také simulace na reálném robotovi v laboratoři. Bylo provedeno deset měření u každé simulace. Součástí každého měření bylo roztržení šestnácti puků neboli pekárenských výrobků. Proces, který byl měřen se skládal z přesunu robota z pozice vyložení puku, dále z přesunu k odebíranému puku, odebrání puku, přesunu odebraného puku k boxu a vyložení odebraného puku. Tento proces se pravidelně opakoval v celém běhu simulací a bylo jej možné porovnat. Postupně se v každém měření proces opakoval šestnáctkrát tzn., že se odebralo a odklidilo šestnáct puků neboli pekárenských výrobků.

V tabulkách 3, 4 a 5 je možné vidět naměřené časy jednotlivých simulací. Každá naměřená hodnota odpovídá odklizení jednoho ze šestnácti puků v jednom měření. V posledním zvyrazněném řádku tabulek se nachází celkový čas na roztržení všech šestnácti puků.

Robotické pracoviště v laboratoři s reálným kolaborativním robotem Fanuc CR-7iA/L									
Měření 1 [s]	Měření 2 [s]	Měření 3 [s]	Měření 4 [s]	Měření 5 [s]	Měření 6 [s]	Měření 7 [s]	Měření 8 [s]	Měření 9 [s]	Měření 10 [s]
5,66	5,45	5,66	5,50	5,19	5,24	5,55	5,88	5,59	5,60
5,28	5,68	5,77	5,71	5,32	5,03	5,58	5,49	5,74	5,54
5,71	5,58	5,20	5,25	5,86	5,25	5,98	5,87	5,41	5,36
5,42	5,70	5,83	5,63	5,08	5,63	5,55	5,58	5,35	5,26
5,54	5,58	5,65	5,05	5,45	5,16	5,33	5,86	5,62	5,96
5,11	5,94	5,44	5,44	5,12	5,45	5,10	5,04	5,80	5,26
5,65	5,90	5,74	5,25	5,47	5,27	5,75	5,04	5,15	5,82
5,54	5,37	5,05	5,49	5,53	5,20	5,46	5,27	5,52	5,81
5,07	5,09	5,70	5,66	5,54	5,58	5,55	5,95	5,49	5,02
5,75	5,73	5,03	5,43	5,12	5,54	5,95	5,60	5,38	5,54
5,34	5,21	5,39	5,27	5,43	5,67	5,10	5,78	5,37	5,22
5,79	5,08	5,92	5,36	5,56	5,43	5,31	5,13	5,76	5,43
5,19	5,19	5,10	5,42	5,28	5,47	5,42	5,33	5,53	5,78
5,11	5,48	5,57	5,43	5,95	5,55	5,79	5,44	5,38	5,44
5,78	5,12	5,41	5,31	5,10	5,30	5,89	5,71	5,66	5,05
5,52	5,48	5,31	5,10	5,06	5,61	5,13	5,01	5,75	5,69
87,46	87,58	87,77	86,30	86,06	86,38	88,44	87,98	88,50	87,78

Tabulka 3: Naměřené hodnoty v laboratoři na ZČU

Robotické pracoviště ve Fanuc Roboguide s kolaborativním robotem Fanuc CR-7iA/L									
Měření 1 [s]	Měření 2 [s]	Měření 3 [s]	Měření 4 [s]	Měření 5 [s]	Měření 6 [s]	Měření 7 [s]	Měření 8 [s]	Měření 9 [s]	Měření 10 [s]
5,98	5,58	5,33	5,20	5,22	5,45	5,17	5,45	5,83	5,05
5,24	5,54	5,24	5,16	5,74	5,35	5,68	5,77	5,07	5,71
5,09	5,21	5,14	5, 0	5,07	5,18	5,88	5,30	5,38	5,85
5,60	5,05	5,67	5,48	5,23	5,44	5,23	5,51	5,74	5,13
5,44	5,85	5,37	5,25	5,96	5,23	5,92	5,88	5,87	5,82
5,58	5,89	5,27	5,76	5,12	5,36	5,66	5,49	5,70	5,20
5,86	5,39	5,74	5,21	5,40	5,38	5,21	5,48	5,32	5,25
5,38	5,30	5,69	5,65	5,04	5,40	5,51	5,70	5,05	5,34
5,42	5,83	5,87	5,73	5,48	5,29	5,01	5,65	5,70	5,52
5,52	5,03	5,92	5,11	5,73	5,67	5,09	5,23	5,53	5,67
5,16	5,77	5,88	5,43	5,84	5,14	5,03	5,70	5,42	5,54
5,38	5,43	5,68	5,98	5,06	5,61	5,38	5,55	5,29	5,50
5,54	5,67	5,71	5,98	5,55	5,68	5,17	5,33	5,17	5,42
5,93	5,86	5,52	5,62	5,72	5,28	5,71	5,87	5,46	5,23
5,41	5,81	5,57	5,16	5,16	5,27	5,93	5,56	5,27	5,61
5,84	5,64	5,44	5,12	5,74	5,40	5,59	5,69	5,49	5,61
88,37	88,85	89,02	86,83	87,06	86,11	87,18	89,16	87,27	87,45

Tabulka 4: Naměřené hodnoty v SW Fanuc Roboguide s kolaborativním robotem Fanuc CR-7iA/L

Robotické pracoviště ve Fanuc Roboguide s průmyslovým robotem Fanuc LR Mate 200iD/7L									
Měření 1 [s]	Měření 2 [s]	Měření 3 [s]	Měření 4 [s]	Měření 5 [s]	Měření 6 [s]	Měření 7 [s]	Měření 8 [s]	Měření 9 [s]	Měření 10 [s]
4,38	4,61	4,40	4,57	4,52	4,62	4,76	4,48	4,65	4,38
4,52	4,64	4,53	4,48	4,61	4,58	4,59	4,62	4,41	4,45
4,74	4,46	4,53	4,49	4,48	4,39	4,79	4,57	4,77	4,80
4,46	4,56	4,33	4,61	4,43	4,62	4,57	4,53	4,65	4,39
4,32	4,41	4,66	4,80	4,69	4,34	4,67	4,52	4,63	4,32
4,49	4,45	4,78	4,38	4,64	4,69	4,69	4,43	4,45	4,42
4,62	4,49	4,33	4,54	4,71	4,79	4,60	4,49	4,31	4,69
4,75	4,48	4,31	4,65	4,58	4,59	4,36	4,68	4,57	4,49
4,32	4,72	4,60	4,61	4,57	4,56	4,59	4,72	4,75	4,53
4,45	4,34	4,54	4,67	4,69	4,68	4,33	4,41	4,40	4,49
4,38	4,32	4,51	4,47	4,65	4,46	4,61	4,36	4,44	4,67
4,54	4,37	4,80	4,34	4,40	4,66	4,72	4,72	4,49	4,54
4,78	4,57	4,73	4,62	4,48	4,57	4,42	4,48	4,41	4,70
4,47	4,79	4,61	4,61	4,37	4,35	4,68	4,47	4,68	4,42
4,55	4,42	4,49	4,33	4,33	4,69	4,40	4,53	4,43	4,37
4,50	4,44	4,45	4,35	4,55	4,55	4,60	4,31	4,41	4,78
72,28	72,07	72,60	72,52	72,70	73,13	73,38	72,33	72,46	72,42

Tabulka 5: Naměřené hodnoty v SW Fanuc Roboguide s průmyslovým robotem Fanuc LR Mate 200iD/7L

V tabulce 6 byly vypočteny průměry naměřených časů odklizení jednoho puku, dále jsou zde uvedeny průměry celkových časů na odklizení všech šestnácti puků.

Robot	Čas odklizení 1 puku [s]	Čas odklizení 16 puků [s]
Fanuc CR-7iA/L v laboratoři	5,46	87,43
Fanuc CR-7iA/L v Roboguide	5,48	87,73
Fanuc LR Mate 200iD/7L v Roboguide	4,54	72,59

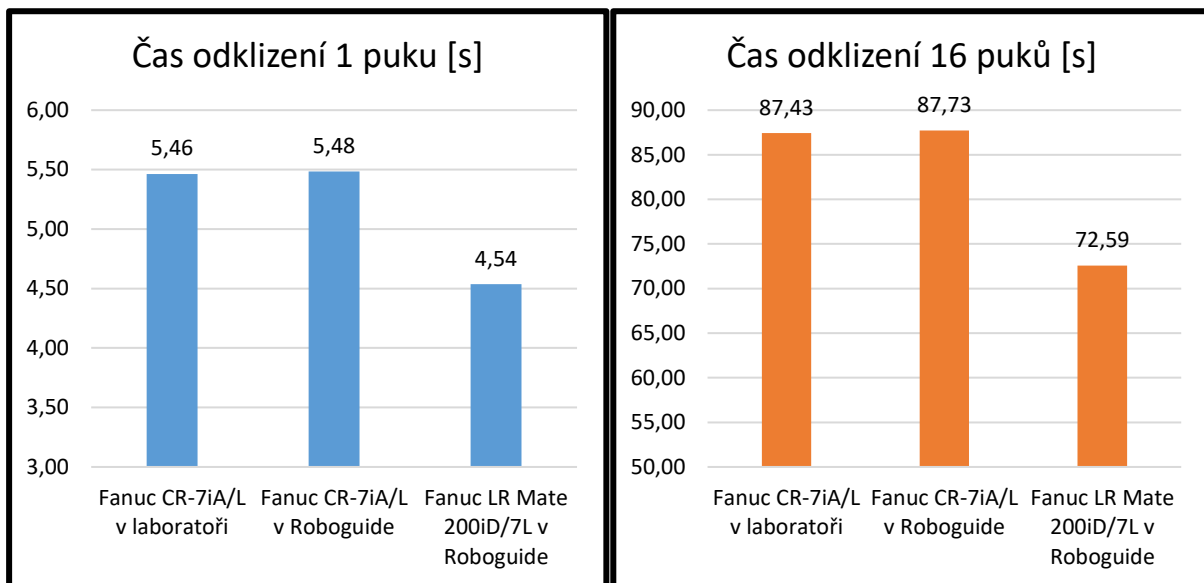
Tabulka 6: Výsledné porovnání jednotlivých simulací

Po naměření a zprůměrování hodnot vyšlo, že průměrný čas odklizení jednoho puku robotem v laboratoři průmyslu 4.0 je 5,46 sekund a průměrný čas pro odklizení všech šestnácti puků je 87,43 sekund. Průměrný čas odklizení jednoho puku kolaborativním robotem v SW nástroji Fanuc Roboguide je 5,48 sekund a průměrný čas odklizení všech šestnácti puků je 87,73 sekund. Robot Fanuc LR Mate 200iD/7L dokázal v SW nástroji Fanuc Roboguide odklidit jeden puk průměrně za 4,54 sekund a všech šestnáct puků odklidil průměrně za 72,59 sekund.

## 6.2 Závěrečné vyhodnocení

Cílem práce bylo simulovat automatizaci procesu třídění pečárenských výrobků s využitím průmyslového robota. Byly vytvořeny tři simulace v SW nástroji Fanuc Roboguide a jedna na reálném robotovi v laboratoři. Následovala analýza finálních verzí simulací jak v SW nástroji Fanuc Roboguide s kolaborativním robotem a průmyslovým robotem, tak na pracovišti s reálným kolaborativním robotem. Byly naměřeny časy v jednotlivých simulacích a v rámci této kapitoly budou výsledky měření vyhodnoceny.

Z tabulky 6 vyplývá, že stejný robot v laboratoři a v SW nástroji Fanuc Roboguide mají téměř shodné časy. Graficky je to pak znázorněno na obrázku 65. Na levé straně jsou vidět průměrné časy odklizení jednoho puku a na pravé straně jsou na grafu znázorněny průměrné časy odklizení všech šestnácti puků.



Obrázek 65: Grafy průměrných časů odklizení 1 puku a odklizení všech 16 puků

Může to být dáno poměrně věrným napodobením simulace ve Fanuc Roboguide na reálném pracovišti v laboratoři. Odpovídá to dobré vypovídací schopnosti simulačního nástroje. Drobná odchylka může být způsobena nahodilostmi v reálném procesu, vřemí a opotřebením reálného. Dále z tabulky 6 vyplývá, že teoreticky čtyřikrát rychlejší průmyslový robot Fanuc LR Mate 200iD/7L není o tolik rychlejší než kolaborativní robot, protože nemá možnost vyvinout tak vysokou rychlost z důvodu velmi krátkých vzdáleností. Průmyslový robot má čas rychlejší o 17,26 %. I přes tento fakt je tento robot stále téměř o sekundu rychlejší a pro aplikaci v praxi, kde je potřeba rychlejšího odebírání vhodnější.

Průmyslový robot má oproti kolaborativnímu robotu výhodu nejen v rychlosti, ale i v nižší pořizovací ceně tzn. i rychlejší návratnost investovaných prostředků. Vlastní buňka pro oddělení průmyslového robota od pracovníků a bezpečnostní prvky nejsou tak nákladné.

## Závěr

Cílem diplomové práce bylo simulovat proces automatizace třídění pekárenských výrobků s využitím průmyslového robota. Teoretická část práce byla zaměřena na popis robotizace, rozdělení robotů, dále se orientovala na popis průmyslových robotů a jejich dělení. Druhá kapitola se zabývala softwarovým nástrojem Fanuc Roboguide, jeho různými variantami, bližším popisem varianty HandlingPRO, souřadnicovými systémy a programováním průmyslového robota Fanuc.

V rámci praktické části diplomové práce bylo popsáno pracoviště v laboratoři průmyslu 4.0 na ZČU a také SW nástroj Fanuc Roboguide. Pracoviště z laboratoře bylo přeneseno do SW nástroje, kde se tento model připravil a realizovaly se dvě verze vlastní simulace procesu třídění pekárenských výrobků v podobě barevných puků za pomoci kolaborativního robota, který byl součástí výše zmíněného pracoviště v laboratoři průmyslu 4.0. Také byla vytvořena simulace s průmyslovým robotem pro porovnání s pomalejším kolaborativním robotem.

Poté se práce zabývala realizací simulovaného procesu na reálném pracovišti v laboratoři, kde bylo třeba připravit celé pracoviště, importovat programy do robota a realizovat celou simulaci procesu třídění pekárenských výrobků.

V závěrečné kapitole byly v rámci jednotlivých simulací naměřeny časy opakujících se procesů a tyto hodnoty byly porovnány a vyhodnoceny. Z vyhodnocení dílčích simulací vyplývá, že simulace na reálném pracovišti a v SW nástroji se stejným robotem mají téměř shodné časy a průmyslový robot je v SW nástroji zhruba o 20 % rychlejší.



## Seznam použitých zdrojů

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk, 2016. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] BELJANIN, Peter Nikolajevič. *Promyšlenyje roboty*. 1. vyd. Moskva: Mašinostrojenije, 1975, 397 s.
- [3] ČSN ISO 8373. *Roboty a robotická zařízení – Slovník*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 48 s. Třídící znak 186501.
- [4] HAVEL, Ivan M. *Robotika: Úvod do teorie kognitivních robotů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 280 s.
- [5] Xiaomi Mi Robot. In: *XM* [online]. 2020 [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://xm.cz/blog/wp-content/uploads/2020/06/recenze-xiaomi-mi-robot-vacuum-mop.jpg>
- [6] Fanuc LR Mate 200iD. In: *Fanuc* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/~media/corporate/products/robots/lrmate/lrmate200id/fea-ro-pr-lrm200-r-1.jpg?w=400>
- [7] Ameca A Humanoid Robot, 2022. In: *Brobible* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://brobible.com/wp-content/uploads/2022/09/Ameca-A-Humanoid-Robot-Promises-They-Will-Never-Take-Over-The-World.png>
- [8] Types of Robots: How Robotics Technologies Are Shaping Today's World. *Intel* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.intel.com/content/www/us/en/robotics/types-and-applications.html>
- [9] Naio Orio. In: *Naio* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.naio-technologies.com/wp-content/uploads/2021/03/hp-benefices-big-1-1100x950-c-default.jpg>
- [10] Da Vinci patient cart, 2013. In: *Design World* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.designworldonline.com/wp-content/uploads/2013/11/da-vinci-patient-cart.jpg>
- [11] Industrial Robot Sales Broke Records in 2018, 2019. In: *The Robot Report* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.therobotreport.com/wp-content/uploads/2019/06/Industrial-Robot-Sales-Broke-Records-in-2018.jpg>
- [12] What is an Industrial Robot?, 2022. *Robots Done Right* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://robotsoneright.com/Articles/what-is-an-industrial-robot.html>
- [13] The Main Components of an Industrial Robot, 2022. *Robots Done Right* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://robotsoneright.com/Articles/main-components-of-an-industrial-robot.html>
- [14] Cartesian Robot, 2018. In: *Process Solutins* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://processsolutions.com/wp-content/uploads/2018/10/Cartesian-Robot-Example.png>
- [15] SCARA Robot SR-6iA. In: *Fanuc* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/~media/corporate/products/robots/scara/int-ro-pr-6ia-r.jpg?w=400>
- [16] Cylindrical Robot, 2018. In: *Process Solutins* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://processsolutions.com/wp-content/uploads/2018/10/Cylindrical-Robot-Example-300x300.png>
- [17] Delta robot, 2018. In: *Process Solutins* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://processsolutions.com/wp-content/uploads/2018/10/Delta-Robot-Example.png>

- [18] What are the Different Types of Industrial Robots and Their Applications?, 2018. *Process Solutions* [online]. 1. října 2018 [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://processsolutions.com/what-are-the-different-types-of-industrial-robots-and-their-applications/>
- [19] Polar Robot, 2018. In: *Process Solutions* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://processsolutions.com/wp-content/uploads/2018/10/Polar-Robot-Example-300x287.png>
- [20] Průmyslové roboty: jaké jsou jejich druhy?, *Factory Automation* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-jake-jsou-jejich-druhy/>
- [21] ROBOGUIDE-HandlingPRO, 2008. In: *Productivity* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.productivity.com/wp-content/uploads/2019/06/ROBOGUIDE-HandlingPRO.pdf>
- [22] Fanuc HandlingPro software. In: *Fanuc America* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: [https://www.fanucamerica.com/images/default-source/roboguide-page-images/fanuc-handlingpro-software.png?sfvrsn=3fe8550b\\_0](https://www.fanucamerica.com/images/default-source/roboguide-page-images/fanuc-handlingpro-software.png?sfvrsn=3fe8550b_0)
- [23] ROBOGUIDE-WeldPRO, 2006. In: *Lab Midwest* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://labmidwest.com/wp-content/uploads/2021/01/FANUC-ROBOGUIDE-WeldPRO.pdf>
- [24] Fanuc Roboguide. In: *Lab Midwest* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://labmidwest.com/wp-content/uploads/2021/01/FANUC-ROBOGUIDE-2.jpg>
- [25] Fanuc Roboguide, 2008. In: *Lab Midwest* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://labmidwest.com/wp-content/uploads/2021/01/FANUC-ROBOGUIDE.pdf>
- [26] PalletPRO, 2014. In: *Motion Controls Robotics* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://motioncontrolsrobotics.com/wp-content/uploads/2014/12/palletpro-unitload.png>
- [27] Workcell with simulation of robotic path. In: *Fanuc America* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: [https://www.fanucamerica.com/images/default-source/roboguide-page-images/workcell-with-simulation-of-robotic-path-playbackb60421761ba9462dbbd7b09d657b67d0.png?sfvrsn=1dad678b\\_0](https://www.fanucamerica.com/images/default-source/roboguide-page-images/workcell-with-simulation-of-robotic-path-playbackb60421761ba9462dbbd7b09d657b67d0.png?sfvrsn=1dad678b_0)
- [28] Graphic Robot History. In: *Infiniteon* [online]. [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: [https://www.infineon.com/export/sites/default/\\_images/about-infineon/stories/Robotics\\_Wiki/IFX\\_Graphic\\_Robotic-History\\_1200x600px-EN\\_2.jpg\\_158314796.jpg](https://www.infineon.com/export/sites/default/_images/about-infineon/stories/Robotics_Wiki/IFX_Graphic_Robotic-History_1200x600px-EN_2.jpg_158314796.jpg)
- [29] ARC-ROBOTICS, 2019. *Obsluha a programování R-30iB*. Plzeň, 57 s.
- [30] PITTROVÁ, Kateřina. *Porovnání modelu v Tecnomatix Process Simulate s reálným robotizovaným pracovištěm* [online]. Plzeň, 2022 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: [https://portal.zcu.cz/StagPortletsJSR168/PagesDispatcherServlet?pp\\_destElement=%23ssSouboryStudentuDivId\\_5487&pp\\_locale=cs&pp\\_reqType=render&pp\\_portlet=souboryStudentuPagesPortlet&pp\\_page=souboryStudentuDownloadPage&pp\\_nameSpace=G635215&soubidno=234555](https://portal.zcu.cz/StagPortletsJSR168/PagesDispatcherServlet?pp_destElement=%23ssSouboryStudentuDivId_5487&pp_locale=cs&pp_reqType=render&pp_portlet=souboryStudentuPagesPortlet&pp_page=souboryStudentuDownloadPage&pp_nameSpace=G635215&soubidno=234555). Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Strojní fakulta. Ing. Tomáš Broum, Ph.D.
- [31] Apex motion control. In: *Baking Business* [online]. [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.bakingbusiness.com/ext/resources/2021/2/02222021-Apex.jpg?height=667&t=1614011373&width=1080>

- [32] Fanuc, 2020. *CR-7iA/L datasheet* [online]. [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/robots-datasheets-en/collaborative%20robots/datasheet-cr7ia%201%20english.pdf?la=en>
- [33] Fanuc, 2019. *LR Mate 200iD/L datasheet* [online]. [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/robots-datasheets-en/lr-mate/datasheet%20lrmate-200id-7l.pdf?la=en>
- [34] CHLEBNÝ, Jan a kol. *Automatizace a automatizační technika: Prostředky automatizační techniky*. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.
- [35] HOTAŘ, Vlastimil. *Úvod do problematiky strojového vidění*. 1. vydání. Liberec: Technická univerzita, 2015. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [36] 5 odvětví, která nejvíce zasáhne automatizace a robotizace, In: *Factory Automation* [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/5-odvetvi-ktera-nejvice-zasahne-automatizace-a-robotizace/>