

# 2023

## Výroční zpráva Katedry robotiky



**Fakulta strojní,**

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**29. 1. 2024**

## Výroční zpráva za rok 2023

### Katedra robotiky

Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava

- Vedoucí katedry:** [prof. Dr. Ing. Petr Novák](#)  
tel.: 59 732 3595  
e-mail: petr.novak@vsb.cz
- Sekretariát:** [Ing. Petra Pišťáčková](#)  
tel.: 59 732 1280  
e-mail: petra.pistackova@vsb.cz
- Adresa:** VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robotiky  
ul. 17. listopadu 2172/15  
708 00 Ostrava – Poruba
- Web katedry:** <http://robot.vsb.cz>
- Sociální sítě:** <https://www.facebook.com/robot.vsb.cz>  
[https://www.instagram.com/katedra\\_robotiky/](https://www.instagram.com/katedra_robotiky/)  
<https://www.youtube.com/user/robot354>

<b>1 PROFIL PRACOVIŠTĚ .....</b>	<b>5</b>
<b>2 PERSONÁLNÍ SLOŽENÍ PRACOVIŠTĚ .....</b>	<b>6</b>
2.1 Seznam pracovníků .....	6
2.1.1 Odborný profil profesorů, docentů a odborných asistentů.....	6
<b>3 PEDAGOGICKÁ ČINNOST .....</b>	<b>7</b>
3.1 Pracovištěm garantované studium .....	7
3.1.1 Bakalářské studium .....	7
3.1.2 Magisterské studium.....	8
3.1.3 Doktorské studium .....	10
3.2 Obhájené závěrečné práce .....	11
3.2.1 Bakalářské práce .....	11
3.2.2 Diplomové práce .....	11
3.3 Seznam doktorandů – prezenční forma.....	12
3.4 Personální rozvoj.....	13
3.4.1 Získání titulu Ph.D. ....	13
3.4.2 Získání titulu docent.....	16
3.4.3 Získání titulu profesor .....	17
3.5 Studentské projekty.....	17
3.5.1 SGS 2023 .....	17
3.5.2 University Rover Challenge .....	19
3.5.3 European Rover Challenge .....	20
3.6 Spolupráce v pedagogické oblasti.....	21
3.6.1 Odborné přednášky z praxe .....	21
3.6.2 Závěrečné práce ve spolupráci s firmami .....	21
3.6.3 Významná spolupráce pracoviště se subjekty v ČR .....	21
3.6.4 Významná spolupráce pracoviště se zahraničními partnery .....	22
3.6.5 Přijetí zahraničních hostů nebo studentů .....	22
3.6.6 Zahraniční pobyty pedagogů a studentů Katedry robotiky .....	23
<b>4 VĚDECKO-VÝZKUMNÁ ČINNOST .....</b>	<b>24</b>
4.1 Řešené projekty .....	25
4.2 Hlavní směry výzkumu a vývoje na pracovišti.....	25
4.2.1 Návrh subsystému pro predikci pohybu člověka v pracovním prostoru robotu.....	26
4.2.2 Uzavřené kinematické řetězce v robotice .....	27
4.2.3 Výzkum konstrukčních prvků robotického ramene s řízeně měnitelným tvarem .....	28
4.2.4 Chytrá voxelizace mračna bodů do pevného gridu .....	29
4.2.5 Energetická optimalizace pracovišť s průmyslovými roboty .....	30
4.2.6 Kalibrace multikamerového systému .....	31
4.2.7 Návrh extruderu s tryskou s měnitelným průřezem pro 3D tisk plastů.....	31
4.2.8 Kompenzace driftu průmyslového robotu .....	32
4.2.9 Optimalizace doby trvání designových studií typových dílů využitím strojového učení .....	33
4.2.10 Rozšíření simulačního modelu laserového senzoru .....	34
4.2.11 Tisková hlava s nastavitelným průměrem trysky.....	35
4.2.12 Využití kolaborativního robotu pro aditivní výrobu součástí .....	36

4.3	Nově podané projekty .....	37
4.4	Nové laboratoře, laboratorní přístroje.....	37
4.5	Počítačové učebny, výpočetní technika .....	38
<b>5</b>	<b>SPOLUPRÁCE VE VĚDĚ A VÝZKUMU.....</b>	<b>39</b>
5.1	Spolupráce se subjekty v ČR .....	39
5.2	Spolupráce se subjekty v zahraničí .....	39
<b>6</b>	<b>ODBORNÉ AKCE.....</b>	<b>41</b>
6.1	Národní konference a semináře.....	41
6.2	Mezinárodní konference a semináře .....	41
6.3	Jiné akce.....	41
6.3.1	Exkurze na Centru robotiky a prezentace VaV výstupů katedry firmám .....	41
6.3.2	Exkurze na Centru robotiky pro SŠ a ZŠ.....	41
6.4	Jiné akce.....	42
6.4.1	Dobré ráno na České televizi .....	42
<b>7</b>	<b>PUBLIKAČNÍ ČINNOST .....</b>	<b>43</b>
7.1	Články v zahraničních časopisech .....	43
7.2	Příspěvky na mezinárodních konferencích .....	43

# 1 PROFIL PRACOVNÍŠTĚ

Katedra robotiky je již od svého vzniku (1989) zaměřena komplexně na problematiku robotiky, a to jak na všech úrovních výuky, tak i ve vědě a výzkumu a v odborné činnosti pro praxi. V souladu s aktuálními trendy rozvíjí pracovníci katedry témata průmyslové a servisní robotiky i aplikace robotů mimo strojírenství. To se projevuje ve výzkumu, ve výuce i v publikační činnosti. Ve výzkumu jsou založeny v tomto smyslu granty, smluvní výzkum a témata diplomových i disertačních prací. Ve výuce katedra zajišťuje několik oborů – Robotiku, specializaci v rámci bakalářského studijního programu Strojírenství a následně také v navazujícím magisterském studiu ve studijním programu Strojní inženýrství se třemi specializacemi na Fakultě strojní. Katedra rovněž garantuje stejnojmenný doktorský studijní program Robotika a bakalářský studijní program Mechatronika.

Katedra se také intenzivně věnuje novým tématům ve vztahu ke konceptu Průmysl 4.0, zejména pak oblastem kolaborativní robotiky, Internetu věcí (IoT), digitálním dvojčatům atd. V této oblasti úzce spolupracuje s řadou nejen automotive firem v regionu.

Okruhy katedrou řešených problémů robotiky lze členit na: projekční, provozní, konstrukční, zkoušení a diagnostiku, simulace, měření, řízení a senzorku, dynamiku, využití počítačové podpory k řešení problémů a inovací v oboru. Katedra také profiluje zájemce z řad studentů o problematiku návrhu a nasazování řídicích systémů, určených pro procesní a vizualizační úrovně řízení v mechatronických systémech. Důraz je věnován zejména průmyslovým počítačům standardu PC a jejich vlastnostem, včetně metod zajištění požadované spolehlivosti provozu. Zájemcům z řad studentů magisterského a doktorského studia umožňuje katedra, formou individuálního studijního plánu, absolvovat vybrané předměty na Fakultě elektrotechniky a informatiky naší univerzity.

Výuková i výzkumná činnost katedry je dále zaměřena na matematické modelování mechanismů a jejich pohonů z hlediska řízení, na návrh technických i programových prostředků řídicích systémů polohovacích mechanismů a senzorické subsystémy, včetně zpracování obrazu technologické scény pro různé aplikace, nástroje a metody – včetně optimalizačních – pro návrh mechatronických systémů. Vědeckovýzkumná činnost katedry vede k posílení profilace katedry na problematiku servisní a kolaborativní robotiky, metod a nástrojů pro návrh příslušných systémů, jakožto zřejmý trend nejbližších let s širokými aplikačními možnostmi.

Katedra aktivně nabízí studijní stáže zahraničním studentům v rámci programů Erasmus+, IAESTE apod.

Pracovníci katedry i studenti řeší teoretické i aplikační úlohy, odpovídající uvedenému zaměření. Výuka probíhá v prostorách **Centra robotiky**, na různých typech průmyslových a kolaborativních robotů a jejich subsystémech, v **laboratořích servisní robotiky** a v **učebnách CAD systémů**. Pro robotiku a mechatroniku je typické široké a komplexní využití počítačové podpory pro všechny oblasti činností. Učebny CAD systémů jsou proto vybaveny odpovídajícími softwarovými nástroji.

## 2 PERSONÁLNÍ SLOŽENÍ PRACOVIŠTĚ

### 2.1 Seznam pracovníků

Vedoucí katedry:	prof. Dr. Ing. Petr Novák
Zástupce vedoucího katedry:	prof. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
Tajemník katedry:	Ing. Václav Kryš, Ph.D. Ing. Ján Babjak, Ph.D. <i>(od prosince 2023)</i>
Sekretariát:	Ing. Petra Pišťáčková
Profesoři:	prof. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D. prof. Dr. Ing. Vladimír Mostýn prof. Dr. Ing. Petr Novák
Docenti:	doc. Ing. Tomáš Kot, Ph.D. doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D. doc. Ing. Aleš Vysocký, Ph.D.
Odborní asistenti:	Ing. Stefan Grushko, Ph.D. <i>(do srpna 2023)</i> Ing. Dominik Heczko, Ph.D. Ing. Ladislav Kárník, CSc. <i>(do června 2023)</i> Ing. Václav Kryš, Ph.D. Ing. Jakub Mlotek, Ph.D. Ing. Petr Oščádal, Ph.D. Ing. Robert Pastor, Ph.D. <i>(do června 2023)</i> Ing. Jiří Suder, Ph.D. Ing. Michal Vocetka, Ph.D. Ing. Zdeněk Zeman, Ph.D.
Vědecko-výzkumní pracovníci:	Ing. Ján Babjak, Ph.D. Ing. Jan Bém Ing. Adam Boleslavský Ing. Daniel Huczala, Ph.D. <i>(do června 2023)</i> Ing. Jakub Chlebek Bc. Vyomkesh Kumar Jha Ing. Jakub Krejčí Ing. Jan Maslowski Ing. Tomáš Poštulka Ing. Tomáš Spurný Ing. Rostislav Wierbica

#### 2.1.1 Odborný profil profesorů, docentů a odborných asistentů

Viz osobní profily dostupné z: <https://www.fs.vsb.cz/354/cs/kontakt/>

## 3 PEDAGOGICKÁ ČINNOST

### 3.1 Pracovištěm garantované studium

#### 3.1.1 Bakalářské studium

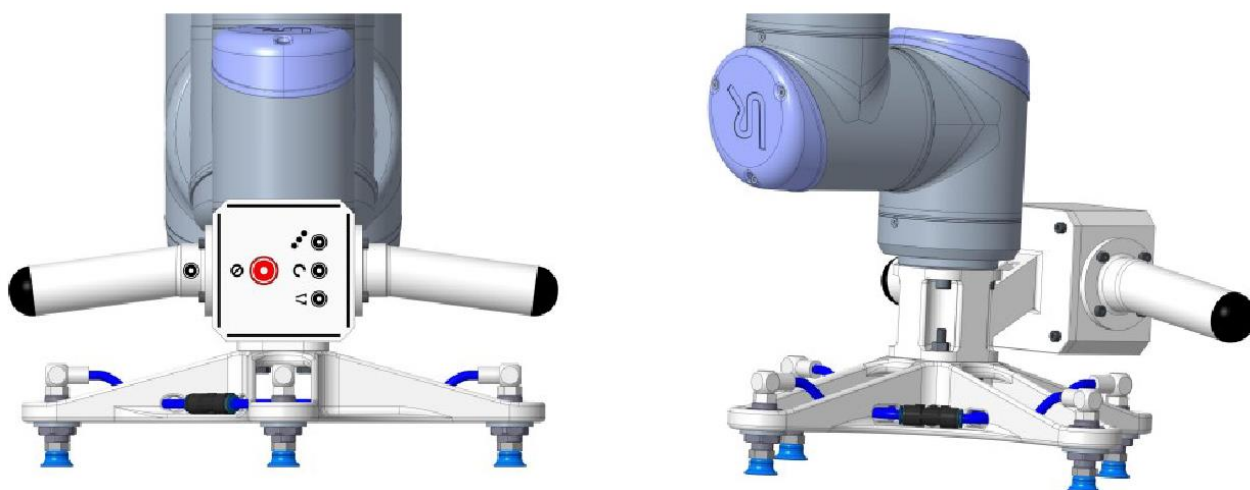
Název specializace:	<b>Robotika</b>
Studijní program:	Strojírenství
Kód programu/spec.:	B0715A270011/S07 (česky), B0715A270012/S04 (anglicky)
Garant specializace:	doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.

#### Profil absolventa:

Absolventi bakalářského studia v této specializaci se uplatní jako konstruktéři prvků robotů, manipulátorů a periferních zařízení robotizovaných pracovišť (dopravníků, zásobníků, hlavic průmyslových robotů aj.), ale také jako projektanti těchto zařízení a zejména provozní technici, zabezpečující provoz, seřízení, programování, diagnostiku, údržbu a opravy.

Možnosti uplatnění nejsou omezeny na strojírenství, protože roboty se rychle uplatňují v řadě dalších odvětví, jako jsou zemědělství, zdravotnictví, sklářský, potravinářský, textilní a obuvnický průmysl, služby apod. Vzhledem k tomuto trendu je možno hovořit o možnosti univerzálního prosazování této techniky.

Absolventi získají kromě nezbytného teoretického základu zejména praktické zkušenosti na robotizovaných pracovištích v nově vybudovaných laboratořích průmyslových robotů. Přímou součástí studia je zvládnutí práce na počítači pro celé spektrum činností, počínaje využitím textových editorů, přes tabulkové procesory a zvládnutí konstruování pomocí CAD systémů, až po využití počítačů v řídicích systémech robotů a automatizovaných zařízeních.



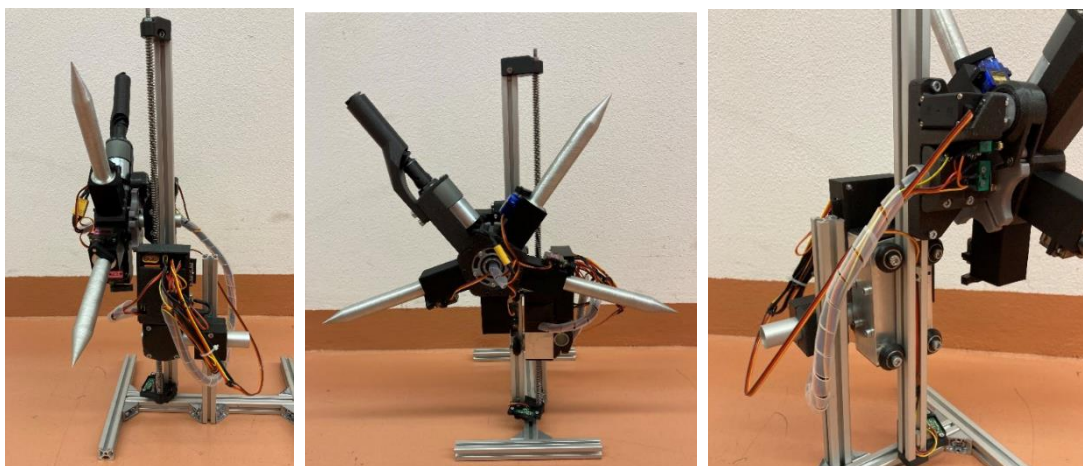
Obr. 3.1: Bc. David Kolář – Zařízení pro ruční vedení robotů  
(bakalářská práce, vedoucí: Ing. Rostislav Wierbica)

Název: **Mechatronika**  
Kód studijního programu: B0714A270002  
Garant SP: prof. Ing. Zdenko Bobovský, PhD.

### Profil absolventa:

Cílem studia v tříletém studijním programu Mechatronika je vychovat absolventy se širokými praktickými dovednostmi a základními teoretickými znalostmi v multidisciplinárním oboru Mechatronika. Potřebné cílené znalosti a dovednosti získají studenti absolvováním řady předmětů z Fakulty strojní a dále z Fakulty elektrotechniky a informatiky, zejména v oblastech automatizace, elektrotechniky a elektroniky, strojírenství a robotiky. Důraz je kladen na schopnost využívat moderní výpočetní metody a efektivně vyhodnocovat výstupy technických měření.

Absolventi bakalářského studijního programu Mechatronika mají znalosti potřebné pro práci se systémy s komplexní strukturou, které tvoří vzájemně propojené mechanické, elektrické a řídicí subsystemy. Mají znalosti z oblasti měření, ze syntézy řídicích systémů, návrhu regulačních obvodů, dále znalosti o vlastnostech a možnostech použití akčních členů a senzorů. Znalosti z mechaniky, měření a zpracování signálů jim umožňují řešit aplikační úlohy v oblasti řízení systémů s vysokou dynamikou a vysokými nároky na výsledné užité vlastnosti stroje. Znájí základní metody syntézy mechatronických systémů a ovládají nástroje počítačové podpory jejich návrhu.



Obr. 3.2: Bc. Tomáš Mokřý – Modul pro umístění sond pro mobilní robot K3P4  
(bakalářská práce, vedoucí: Ing. Tomáš Spurný)

### 3.1.2 Magisterské studium

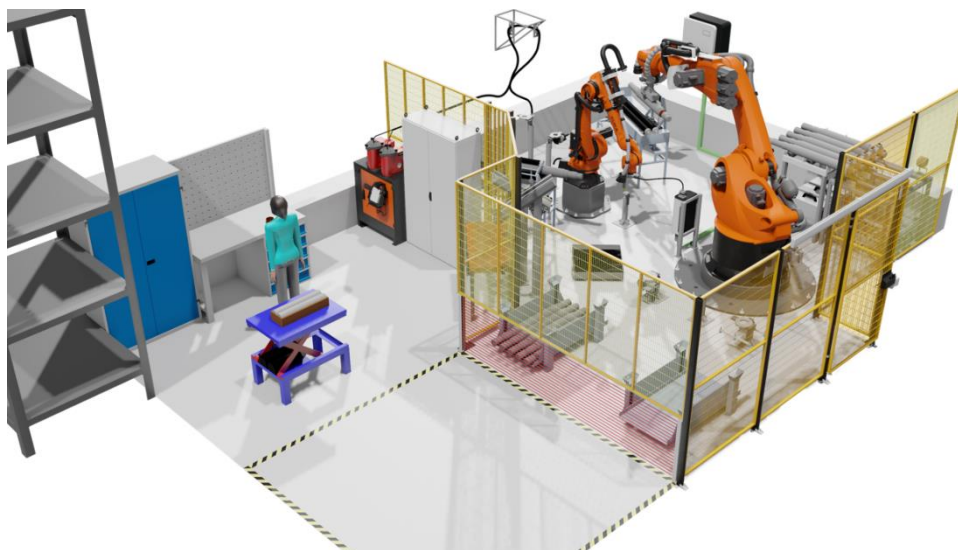
Název: **Robotika** (od š. r. 2022/2023)  
Kód studijního programu: N0719A270009 (česky), N0719A270010 (anglicky)  
Garant oboru: prof. Dr. Ing. Petr Novák

Jedná se o nově akreditovaný magisterský navazující studijní program, nahrazující stejnojmenný studijní program Robotika. Motivací bylo především modernizovat a aktualizovat obsahovou náplň výuky a vybavit absolventy kompetencemi a vědomostmi zohledňujícími současný stav tohoto velice dynamicky se rozvíjejícího oboru. Z tohoto důvodu tento studijní program nově nabízí tři specializace:



## Projektování Robotizovaných pracovišť

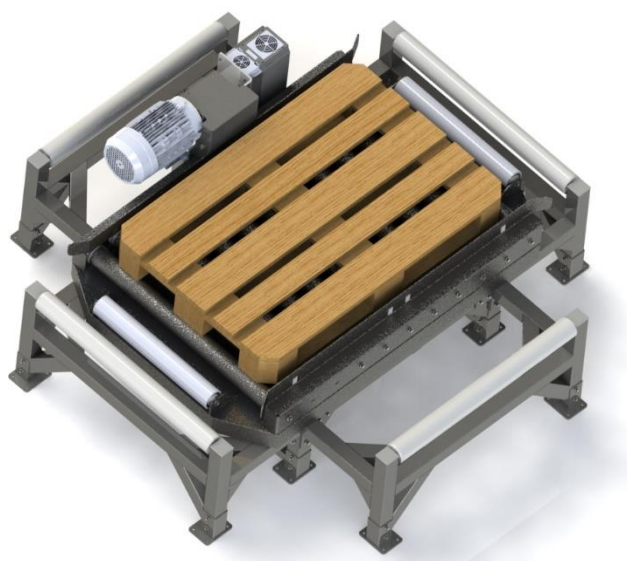
V rámci specializace Projektování robotizovaných pracovišť má absolvent odborné dovednosti v oblasti projektování robotizovaných pracovišť, včetně příslušných periferií, umí používat špičkové návrhové, simulační softwarové nástroje pro oblast projektování, dovede odborně komunikovat s dalšími odborníky jednotlivých specializací v rámci tvorby celého pracoviště a jeho vazby na okolí. Má základní odborné dovednosti v programování robotů, dovede zvolit vhodnou koncepci robotizace daného pracoviště s ohledem na vstupní požadavky.



Obr. 3.3: Ing. Matyáš Hodura – Návrh automatizace pracoviště lepení hřidelových kroužků  
(diplomová práce, vedoucí: Ing. Václav Kryš, Ph.D.)

## Konstrukce robotické techniky

V rámci specializace Konstrukce robotické techniky má absolvent odborné dovednosti potřebné pro navrhování, konstruování robotické techniky, včetně syntézy a analýzy kinematických struktur, zohlednění dynamických parametrů při návrhu a konstrukci. K tomuto dovede používat a rozumět špičkovým výpočtovým, návrhovým, konstrukčním, simulačním a optimalizačním softwarovým nástrojům. Má odborné dovednosti potřebné pro implementaci dalších subsystémů jako je řídicí, senzorický a akční a vazeb mezi nimi.



Obr. 3.4: Ing. Jan Filip – Konstrukční návrh zařízení pro otáčení europalet kolem vertikální osy  
(diplomová práce, vedoucí: doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.)

## Servisní robotika

V rámci specializace Servisní robotika absolvent disponuje odbornými znalostmi navrhování a konstruování servisních robotů a jejich subsystémů, včetně jejich mechanické, hardwarové a softvérové části. Má znalosti o moderních materiálech a technologiích, včetně aditivních. Má znalosti o jednotlivých subsystémech, jako je řídicí, sensorický a akční, včetně vazeb mezi nimi. Má znalosti z oblasti lokomočních ústrojí, navigace a orientace. Má znalosti a umí je používat v oblasti moderních 3D návrhových, simulačních a inovačních systémů a výstupy těchto systémů umí aplikovat.



Obr. 3.5: Ing. Sebastian Matůš – Software pro teleoperační kontrolér  
(diplomová práce, vedoucí: Ing. Robert Pastor, Ph.D.)

### 3.1.3 Doktorské studium

Název: **Robotika** (od š. r. 2022/2023)

Číslo studijního programu: P0714D270003 (česky), P0714D270004 (anglicky)

Garant: prof. Dr. Ing. Petr Novák

#### Odborné znalosti absolventa

Studijní program je zaměřen na komplexní odborné znalosti absolventů zejména v oblasti konstrukce robotických zařízení, je silně interdisciplinární, absolventi získají poměrně rozsáhlé znalosti v oblasti tvorby a optimalizace mechanického subsystému s počítačovou podporou, v oblasti řízení a sensoriky je kladen důraz na nejnovější technické i programové prostředky řízení, vnímání prostředí a komunikace s člověkem.

#### Odborné dovednosti absolventa

Absolventi si osvojí metodiku vědecké práce v oblasti aplikovaného výzkumu a vývoje průmyslových i servisních robotů a jejich aplikací, s výrazným uplatněním mechatronického přístupu k vývoji těchto komplexních technických systémů.

#### Obecné způsobilosti absolventa

Absolventi dokážou vyhodnocovat nové poznatky a ideje v oboru s přihlédnutím k dlouhodobým společenským důsledkům jejich využívání, plánovat rozsáhlé činnosti tvůrčí povahy a získávat a plánovat zdroje pro jejich uskutečnění, řešit etické problémy související s tvůrčí činností nebo využívání jejich výsledků. Dokážou srozumitelně a přesvědčivě sdělovat vlastní poznatky v oboru ostatním členům vědecké komunity na mezinárodní úrovni i široké veřejnosti.

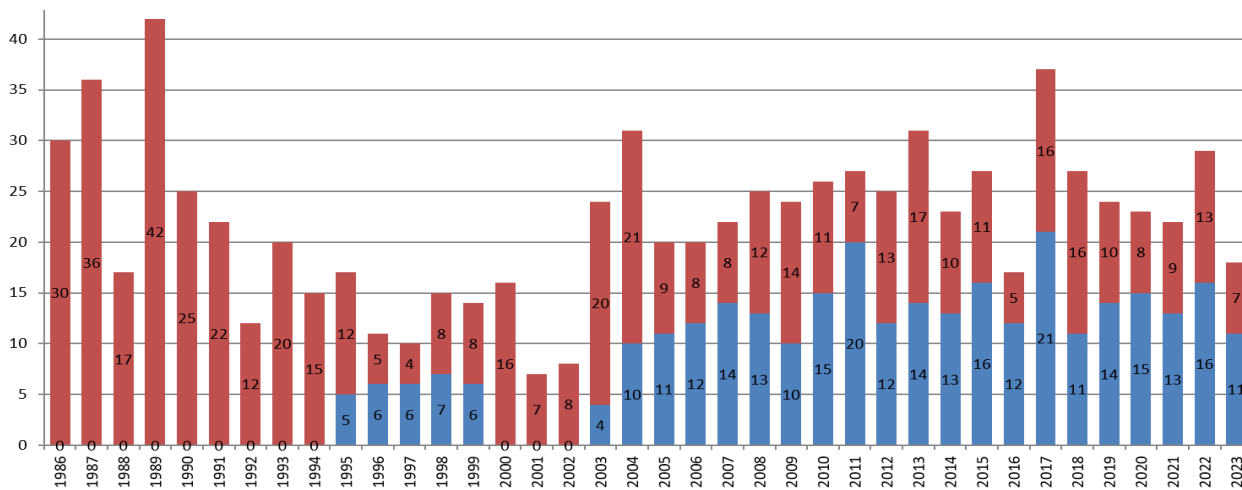
## 3.2 Obhájené závěrečné práce

### 3.2.1 Bakalářské práce

Student	Vedoucí	Téma
Dominik Bobek	Ing. Ondřej Moša	<a href="#">Simulační model demonstrační úlohy pro OpenManipulator</a>
Vojtěch Havlát	Ing. Jan Bém	<a href="#">3D model Centra robotiky</a>
David Kolář	Ing. Rostislav Wierbica	<a href="#">Zařízení pro ruční vedení robotů</a>
Matyáš Machalla	Ing. Jakub Chlebek	<a href="#">Návrh efektoru pro úlohu kreslení robotem</a>
Martin Musálek	Ing. Jakub Mlotek, Ph.D.	<a href="#">Analýza současného stavu dostupných pohonných jednotek s možným využitím pro modulární systémy</a>
Radomír Nový	Ing. Petr Oščádal, Ph.D.	<a href="#">Simulace mobilního robotu v bludišti</a>
Michal Oščádal	Ing. Jakub Mlotek, Ph.D.	<a href="#">Konceptní návrh automatického podavače krmiva</a>
Otto Pomp	Ing. Dominik Heczko, Ph.D.	<a href="#">Konstrukční návrh polohovadla pro skenování objektů</a>
Adam Říha	Ing. Václav Krys, Ph.D.	<a href="#">Konceptní návrh automatizace pracoviště pájení</a>
Jindřich Třaskoš	Ing. Petr Oščádal, Ph.D.	<a href="#">Simulace mobilního robotu sledujícího trajektorii s překážkami</a>
Kryštof Začal	Ing. Tomáš Spurný	<a href="#">Úprava robotického ramene pro servisní robot</a>
Eva Čížková (Mechatronika)	doc. Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.	<a href="#">Využití strojového vidění při kontrole desek plošných spojů</a>
Dominik Lanča (Mechatronika)	Ing. Jan Maslowski	<a href="#">Dvouosé orientační ústrojí pro robot K3P4</a>

### 3.2.2 Diplomové práce

Student	Vedoucí	Téma
Bc. Jakub Častulík	doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.	<a href="#">Konstrukční návrh nástavby mobilní robotické platformy pro manipulaci a přepravu euroboxů</a>
Ing. Michal Jarka	doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.	<a href="#">Konstrukční návrh nadstavby mobilního servisního robotu pro dezinfekci ve společných prostorech VŠB-TU Ostrava</a>
Bc. Matyáš Hodura	Ing. Václav Krys, Ph.D.	<a href="#">Návrh automatizace pracoviště lepení hřidelových kroužků</a>
Bc. Václav Kožušník	doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.	<a href="#">Návrh subsystému mobilního servisního robotu pro manipulaci s knihami v knihovnách</a>
Bc. Jan Pavčo	doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.	<a href="#">Konstrukční řešení řetězového dopravníku s možností bočního posuvu europalet</a>
Bc. Sebastian Matůš	Ing. Robert Pastor, Ph.D.	<a href="#">Software pro teleoperační kontrolér</a>
Bc. Čeněk Slezák	Ing. Michal Vocetka, Ph.D.	<a href="#">Studie proveditelnosti automatizace lepení permanentních magnetů na rotorové pakety</a>



Obr. 3.6: Celkový přehled počtů absolventů oborů Katedry robotiky (Bc. – modrá, Ing. – červená)

### 3.3 Seznam doktorandů – prezenční forma

Student	Téma práce	Roč.	Školitel
Ing. Jakub Mlotek, Ph.D.*	Tvar měnitelné nosné prvky robotických systémů	4.	prof. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
Ing. Petr Oščádal, Ph.D.*	Optimalizace trajektorie ramene robotu v dynamicky se měnícím pracovním prostoru	4.	prof. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
Ing. Zdeněk Zeman, Ph.D.*	Topologický design ramen robotů	4.	prof. Dr. Ing. Petr Novák
Ing. Jan Bém	Využití pružných materiálů pro pasivní tlumení v robotice	3.	prof. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
Ing. Adam Boleslavský	Výzkum konstrukčních prvků robotického ramene s řízeně měnitelným tvarem	3.	doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.
Ing. Jakub Krejčí	Koncepce IoRT (Internet of Robotic Things) a její využití	3.	doc. Ing. Marek Babiuch, Ph.D.
Ing. Tomáš Spurný	Určení bezpečnostního prostoru pro kooperaci člověka s robotem pomocí počítačového vidění a AI	3.	prof. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
Ing. Rostislav Wierbica	Nalezení optimální kinematické struktury robotického manipulátoru pro danou úlohu	3.	doc. Ing. Tomáš Kot, Ph.D.
Ing. Tomáš Poštulka	Robotické systémy s uzavřeným kinematickým řetězcem	2.	prof. Dr. Ing. Petr Novák
Ing. Jan Maslowski	Kalibrace multikamerového systému snímající pracovní prostor	2.	prof. Dr. Ing. Petr Novák
Ing. Ondřej Moša	Vliv tvaru měnitelných nosných prvků manipulátoru na jeho přesnost	2.	prof. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
Ing. Jakub Chlebek	Optimalizace senzorického systému pro detekci překážek v okolí kolaborativního robotu	2.	doc. Ing. Tomáš Kot, Ph.D.

\* Úspěšné ukončení doktorského studia a získání titulu Ph.D. v srpnu 2023

## 3.4 Personální rozvoj

### 3.4.1 Získání titulu Ph.D.

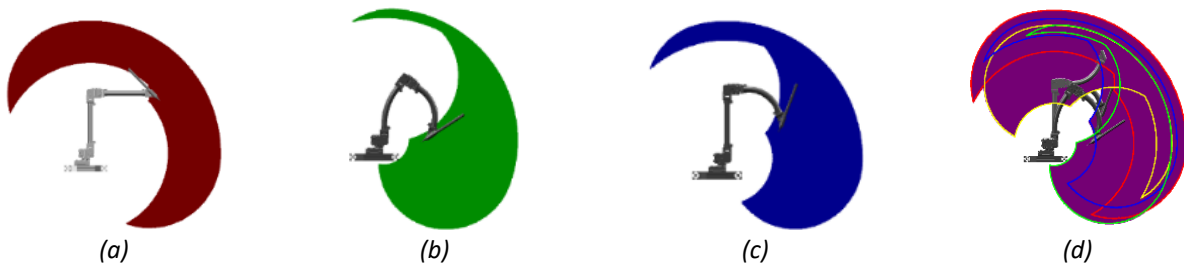
**Ing. Jakub Mlotek, Ph.D.**

Téma doktorské práce: **Tvarově měnitelné segmenty nosných prvků robotických systémů**

Školitel: prof. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.

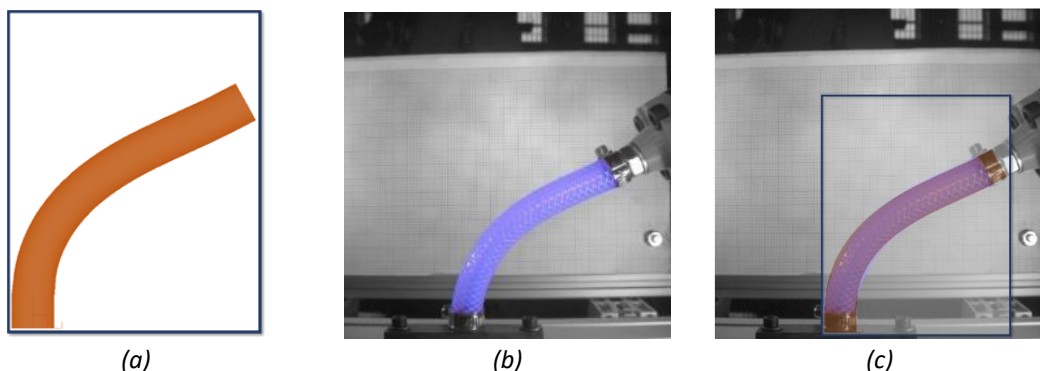
Anotace:

Disertační práce se věnuje možnostem zvyšování flexibility robotických manipulátorů. Robotický manipulátor s pevnými spojovacími segmenty mezi klouby a pevnou kinematickou strukturou má dobrou opakovatelnost polohování, nosnost apod. Nevýhodou je, že tyto systémy nejsou flexibilní a většinou slouží jednoúčelově. V případě změny pracovního úkolu může nastat stav, kdy stávající kinematika systému nebude dostatečná nebo optimální. Jedním ze způsobů řešení tohoto problému je změna konfigurace robotického systému a tím pracovního prostoru manipulátoru pomocí změny tvaru spojovacího segmentu. Cílem této práce je představit možnosti tvarově měnitelných segmentů na principu variability tuhosti. Segment s variabilní tuhostí využívá jádro z materiálu s nízkou teplotou tání. Při zahřátí tohoto jádra na danou teplotu, ztrácí jádro svou tuhost a segment lze zdeformovat. Po ochlazení, segment znovu zvýší zpět svou tuhost. Díky tomu lze měnit kinematiku manipulátoru. Tím dosáhnout změnu pracovní obálky a schopnost dosahu manipulátoru bez nutnosti montáže nebo demontáže prvků (Obr. 3.7). Dále pak uzpůsobit strukturu manipulátoru, aby svými vlastnostmi co nejvíce odpovídala požadované pracovní úloze.



Obr. 3.7: Tvar a velikost průřezu pracovní obálky manipulátoru s (a) rovnými segmenty, (b) deformovanými segmenty, (c) kombinací rovných a deformovaných segmentů, (d) sloučená pracovní obálka

V práci je popsáno určení možnosti ohybu segmentu tvarově měnitelného segmentu a metoda definice jeho délky. Jsou zde pomocí simulace představeny možnosti robotických systémů se zakřivenými segmenty. V práci je představen experimentální segment s variabilní tuhostí na základě použití materiálu s nízkou teplotou tání (Obr. 3.8).



Obr. 3.8: Porovnání výsledného matematického tvaru ohybu segmentu s reálným ohybem, (a) matematický tvar, (b) reálný tvar, (c) vizuální porovnání

**Ing. Petr Oščádal, Ph.D.**

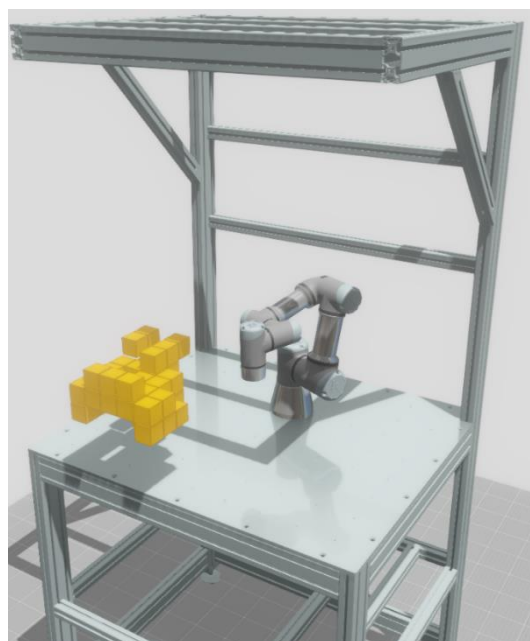
Téma doktorské práce: **Monitorování sdíleného pracovního prostoru mezi člověkem a cobotem**

Školitel: prof. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.

Anotace:

Práce se zabývá snímáním pracovního prostoru robotizovaného pracoviště určeného pro spolupráci člověka a kolaborativního robotu (cobotu). V rámci průmyslu 4.0 dochází k velkému nárůstu nasazování kolaborativních robotů. I přestože jsou tyto roboty přizpůsobeny pro spolupráci a sdílení pracovního prostoru s člověkem, efektivita pracoviště není tak vysoká jako u standardních průmyslových robotů. Jelikož cobot vykonává svoji předdefinovanou úlohu bez ohledu na pracovníka a objekty v pracovišti, může dojít ke kolizi. Díky vlastnostem cobotů je pak takovýto náraz běžně bezpečný a nedojde ke zranění pracovníka nebo poškození zařízení. Nicméně důsledkem i drobné kolize je prodloužení pracovního cyklu pracoviště, kdy zpravidla dojde k nouzovému zastavení cobotu. Dostupné bezpečnostní prvky v dnešní době neumožňují snímat celé dynamicky se měnící prostředí robotizovaných pracovišť natolik, aby mohla být v reálném čase přepřelánována trajektorie robotu, a tedy nedošlo ke kolizi mezi pracovníkem nebo objekty, které představují pro robot překážku.

Úvodní část této práce se zabývá analýzou současného stavu problematiky 3D vidění, kalibrací, filtrací prostředí a optimalizací umístění kamer na pracovišti. Na základě stanovených cílů disertační práce jsou následně zkoumány možnosti zvýšení přesnosti odhadu polohy kamer v prostoru. Nově navržený 3D gridboard pro určování polohy kamer byl implementován na průmyslovou i servisní aplikaci. Aby bylo možné data z kamer efektivně využívat pro řídicí systém manipulátoru, je dále vytvořena filtrační technologie, která umožňuje v reálném čase odstranit nepotřebná data a předávat jen nezbytně nutné informace pro nadřazený řídicí systém. Pomocí distribuované struktury bylo docíleno snímání a filtrování sledovaného prostoru v reálném čase, bez ohledu na počet kamer v systému, aniž by se zpomalovala obnovovací frekvence scény. Dále byla stanovena metodika rozmístění kamer na pracovišti, aby bylo možné efektivně snímat nebezpečný prostor, ve kterém hrozí kolize s cobotem. Na závěr je tato problematika experimentálně ověřena a implementována do reálného řídicího systému pro vyhýbání se dynamickým překážkám.



*Obr. 3.9: Detekce překážek na pracovišti s kolaborativním robotem, vlevo – reálné pracoviště s překážkami, vpravo – vizualizace překážek (žluté boxy)*

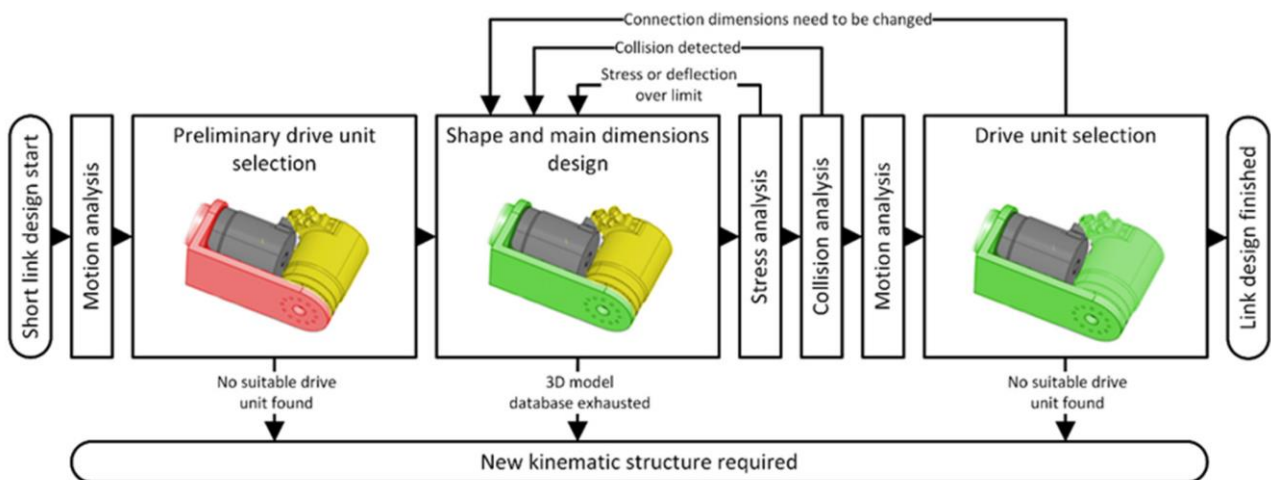
Ing. Zdeněk Zeman, Ph.D.

Téma doktorské práce: **Automatizovaný návrh robotických ramen**

Školitel: doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.

Anotace:

V dnešním rapidně se rozvíjejícím průmyslu se klade velký důraz na minimalizaci nákladů a doby trvání návrhu nových zařízení. To platí i pro návrh jednoúčelových robotických ramen. V rámci automatizace procesu návrhu strojních dílů a systémů, existuje na trhu v současné době mnoho softwarových nástrojů. Tyto nástroje jsou však omezeny pouze na návrh normalizovaných strojních dílů a řešení typických technických úloh a problémů jako je např: návrh ozubených soukolí nebo výpočet šroubových spojů. Stejně tak se v rámci evoluční robotiky zkoumají metody optimalizace kinematických struktur jednoúčelových robotických ramen, jejichž výsledky jsou ale pro praktické využití vždy nejisté. Automatizace návrhu robotických ramen za pomoci moderních metod vědomostního inženýrství, strojového učení a generativního designu by tedy nejen snížila náklady na návrh jednoúčelových robotických ramen, ale při propojení s algoritmy optimalizace kinematických struktur poskytla potřebnou zpětnou vazbu pro určení realizovatelnosti algoritmy vygenerovaných kinematik. Úvodní kapitola disertační práce se věnuje moderním metodám a přístupům k automatizaci návrhu mechatronických zařízení. Zároveň je proveden i průzkum trhu se zaměřením na dostupné softwary automatizovaného návrhu normalizovaných strojních součástí. Dále jsou stanoveny cíle práce, které vycházejí z rozboru zavedených metod návrhu robotických ramen. Vlastní část práce je rozdělena na vývoj softwarových nástrojů pro automatizaci návrhu robotických ramen, jejich testování v rámci návaznosti na algoritmy genetické optimalizace kinematických struktur a časovou optimalizaci doby trvání návrhu robotických ramen skrze navržený software využitím metod strojového učení. Závěr práce obsahuje zhodnocení dosažených výsledků.



Obr. 3.10: Postup automatického návrhu dílů manipulátoru

## 3.4.2 Získání titulu docent

**Doc. Ing. Aleš Vysocký, Ph.D.**

Téma habilitační práce: **Intuitivní způsoby ovládání robotu operátorem**

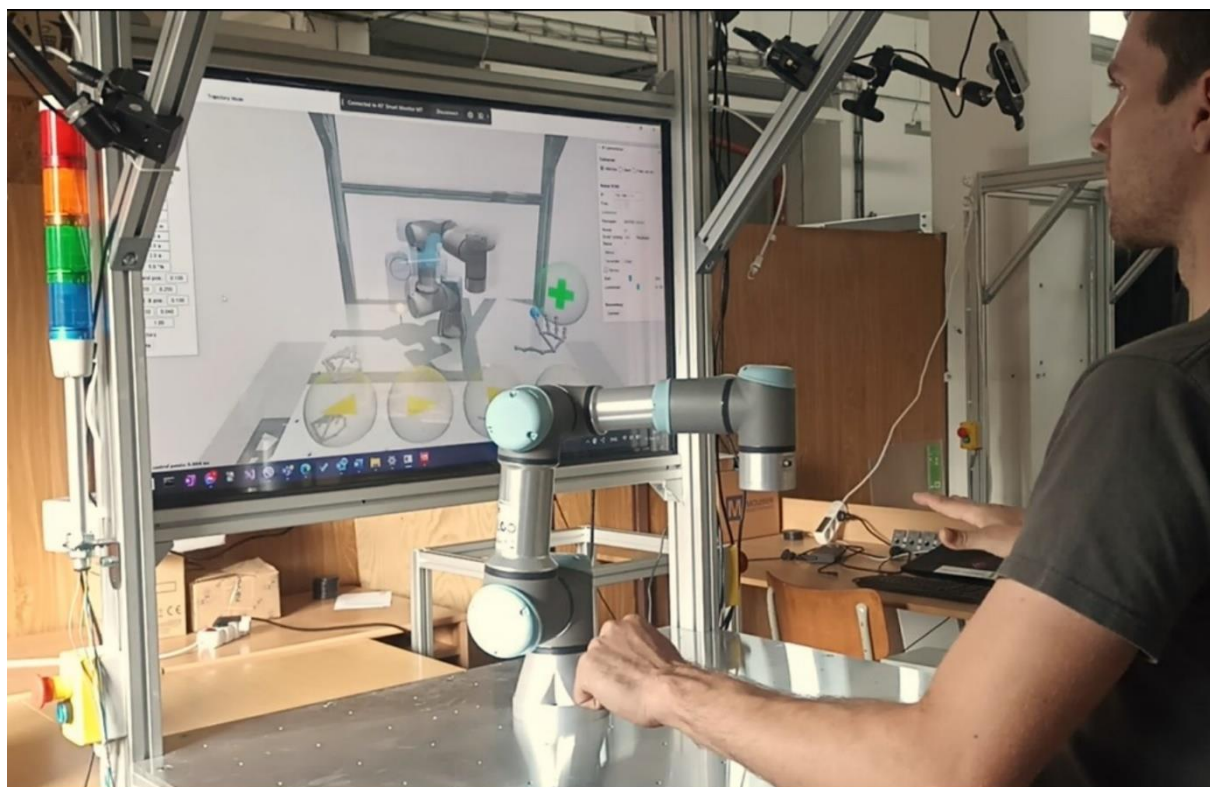
Anotace:

Předkládaná habilitační práce navazuje na předchozí výzkumné aktivity autora v oblasti bezpečnosti a obecné využitelnosti spolupracujících robotů v průmyslovém prostředí. Téma spolupráce robotu s člověkem je součástí vize Průmysl 4.0, která definuje nové trendy a inovace pro řešení aktuálních požadavků na automatizaci a robotizaci vycházející z požadavků průmyslových podniků a trhu práce.

Na základě úvodní analýzy dostupných dílčích řešení v oblasti řízení robotů a interakce byly vyvinuty nástroje rozšiřující možnosti interakce robotu s člověkem, které vycházejí z požadavků aplikační vize uvedené v úvodu práce. Tato vize je založena na přirozené interakci člověka a stroje pomocí gest. V této oblasti je klíčová robustní detekce a lokalizace rukou v obrazu kamery.

Práce shrnuje původní dosažené výsledky výzkumu a vývoje systému detekce a lokalizace rukou operátora, které byly publikovány v několika impaktovaných časopisech. Tyto publikace se zabývají generováním syntetického datasetu pro učení modelů strojového učení, jejich učení a evaluací pro vytvoření robustních segmentačních modelů. Modely jsou porovnány s aktuálním stavem techniky a evaluovány na reálných situacích, které mohou nastat v prostředí průmyslu. Porovnání ukazuje na podstatné vylepšení výsledků z pohledu robustnosti i kvality.

Pro aplikační ověření vyvinutých nástrojů a principů v oblasti intuitivní interakce, práce popisuje návrh a realizaci experimentálního pracoviště. Toto pracoviště simuluje pracovní prostředí pro spolupráci robotu s člověkem a mohou na něm být implementovány, testovány a dále vyvíjeny navrhované systémy. Vyvíjené nástroje by měly umožnit vytváření prakticky aplikovatelných a rentabilních řešení v oblasti spolupráce člověka s robotem v průmyslovém prostředí s důrazem na dodržení požadavků na bezpečnost provozu.



*Obr. 3.11: Testování systému tvorby trajektorie a ovládání pohybu robotu gesty.*



### 3.4.3 Získání titulu profesor

**Prof. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.**

Téma inaugurační přednášky: **Zvyšovanie adaptability robotických systémov**

Anotace:

Téze zhrňuje tvorivú, vedeckú a inžiniersku činnosť uchádzača. Jeho doterajšie výsledky vo výchove a vzdelávaní vysokoškolských študentov a jeho schopnosť viesť v danom oboru výskum. Schopnosť adaptovať sa na nové podmienky je dôležitá vlastnosť v dynamicky sa meniacom prostredí. Dnes viac ako v minulosti sa z dôvodov politického a ekonomického diania hovorí o nutnosti integrovania prvkov adaptability do robotických systémov s cieľom znížiť spotrebu zdrojov materiálových a tých energetických. V jednotlivých kapitolách sú uvedené prístupy ku zvyšovaniu adaptability robotických systémov. Pri manipulačných úlohách, ktoré sú najčastejšie využívané v priemyselnej robotike. Pri spolupráci človek robot, ktoré majú veľký potenciál, ktorým sa nevyužíva z dôvodu strachu a predsudkov. Pri tvorbe neštandardných robotov, ktoré sú navrhnuté presne pre definovanú úlohu – sú adaptované pre činnosť, ktorú majú vykonávať. Pri optimalizácii činnosti existujúcich robotov s cieľom zlepšiť ich parametre a optimalizácií pri návrhu kráčajúcich systémov pre zníženie ich spotreby počas pohybu. V neposlednom rade je uvedený predpokladaný rozvoji oboru. Výstupy tu uvedené boli financované z projektu Centrum výzkumu pokročilých mechatronických systémů, reg. č. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_019/0000867 a projektu Platforma pro výzkum orientovaný na Průmysl 4.0 a robotiku v ostravské aglomeraci, reg. č. CZ.02.1.01/0.0/0.0/17\_049/0008425.

## 3.5 Studentské projekty

V této kapitole je uveden popis projektů a aktivit realizovaných s významným zapojením studentů navazujícího magisterského studijního programu a doktorského studijního programu Robotika.

### 3.5.1 SGS 2023

Projekt studentské grantové soutěže „Výzkum a vývoj prostředků mobilní manipulace s využitím nástrojů digitalizace“ byl rozdělen do pěti hlavních aktivit tak, aby bylo možné zapojit do jejich řešení co největší počet studentů doktorského a navazujícího magisterského denního studia. Na řešení projektu se podíleli studenti doktorského a navazujícího studijního programu. V rámci řešeného projektu byla podpořena příprava článků v domácích i zahraničních časopisech.

#### Hlavní aktivity projektu:

- Výzkum a vývoj manipulačních prostředků aplikovatelných v mobilní manipulaci a jejich simulační modely.
- Výzkum a vývoj mobilních platforem. Testování různých principů lokomoce a tvorba jejich simulačních modelů.
- Syntéza a testování sensorických subsystémů pro aplikace v mobilní manipulaci jako jsou detekce překážek a osob v dynamickém prostředí, lokalizace systému ve vnitřním i venkovním prostředí a detekce stavových parametrů manipulátorů a podvozků.
- Metody a postupy pro sběr dat a provozních parametrů mobilních robotických systémů pro jejich využití v digitálních dvojčatech. Zpracování a využití získaných dat pro zdokonalování těchto systémů.
- Výzkum a vývoj prostředků rozhraní člověk-stroj v oblastech vzájemné interakce z pohledu usnadnění programování a ovládání robotických systémů gesty a informování operátora o případném riziku nebo limitním stavu při spolupráci.

V roce 2023 bylo obhájeno celkem 6 závěrečných prací (3 disertační a 3 diplomové) podpořených nebo souvisejících s SGS projektem:

- Ing. Jakub Mlotek, Ph.D. – Tvarově měnitelné segmenty nosných prvků robotických systémů.
- Ing. Petr Oščádal, Ph.D. – Monitorování sdíleného pracovního prostoru mezi člověkem a cobotem.
- Ing. Zdeněk Zeman, Ph.D. – Automatizovaný návrh robotických ramen.
- Ing. Jakub Častulík – Konstrukční návrh nástavby mobilní platformy pro manipulaci a přepravu euroboxů.
- Ing. Sebastian Matuš – Software pro teleoperační kontrolér.
- Ing. Pavčo – Konstrukční řešení řetězového dopravníku s možností bočního posuvu europalet.



*Obr. 3.12: Úprava manipulátoru roveru K3P4 a jeho ovládání*



*Obr. 3.13: Kreslení robotem UR3 – Realizace efektoru a SW pro zpracování fotografie a plánování pohybů robotu*

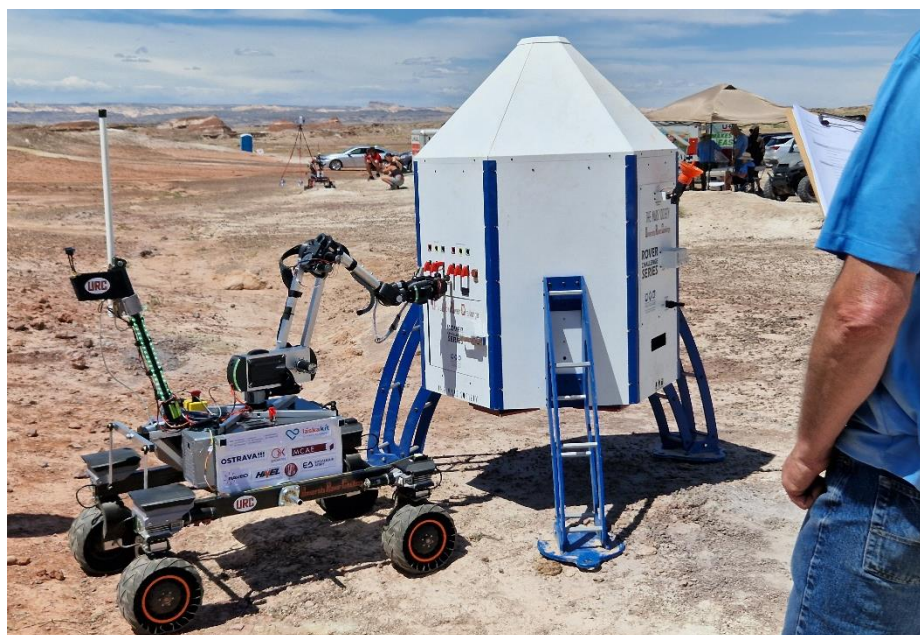
### 3.5.2 University Rover Challenge

Na přelomu května a června se náš katedrální studentský tým RoverOva účastnil velmi prestižní mezinárodní soutěže University Rover Challenge – URC. Poslední tři roky se tam snaží náš tým dostat a tento rok se nám to konečně podařilo. Dostat se tam dostanou jen ti nejlepší z nejlepších. Pro přípravu na tuto soutěž bylo třeba spousta úprav a vývoje nových modulů navržených vyloženě pro účely soutěžních misí a úkolů. Soutěže se účastnilo šest studentů z řad doktorských studijních programů a jeden supervisor. Tým získával body již před soutěží za dokumentaci a videa a potom během soutěže v čtyřech misích. Nakonec si tým vydobyl 18 místo ve světovém žebříčku z 36 kvalifikovaných týmů (130 přihlášených). Vlastní soutěž probíhala v okolí Mars Desert Research Station (Hanksville, UT 84734, Spojené státy, <https://mdrs.marssociety.org/>)

Robot K3P4 se skládá z mnoha modulů navržených v rámci bakalářských nebo diplomových prací. Skládá se z mobilního podvozku, momentálně dvou robotických ramen a několika efektorů. Pro soutěže jsou využívány speciálně vyvinuté moduly jako je laboratoř pro vyhodnocení půdních vzorků nebo kamerové moduly pro intuitivní ovládání a autonomní navigaci v terénu. Vývoj systému byl podpořen také Fakultou strojní, Excalibur Army, SGS a městem Ostrava.



Obr. 3.14: Soutěžní tým RoverOva na soutěži URC 2023 v Utahu (červen 2023)



Obr. 3.15: Robot K3P4 při plnění jednoho soutěžního úkolu URC 2023 Utah (červen 2023)

### 3.5.3 European Rover Challenge

V září se katedrální studentský tým RoverOva po roční odmlce účastnil mezinárodní soutěže European Rover Challenge – ERC. V tomto ročníku bylo zapojeno do týmu velké množství nových členů týmu z řad studentů magisterských a bakalářských studijních programů. Studenti doktorských studijních programů při této soutěži zde působili už jen jako supervisoři. I přesto, že tato soutěž byla druhá v pořadí v tomto roce, bylo třeba provést úpravy robota tak, aby splňoval podmínky soutěže v Polsku. Tým získával body v čtyřech soutěžních disciplínách, a nakonec dosáhl na osmnácté místo.

Účast na této soutěži je již téměř tradiční událostí a každým rokem je větší a větší konkurence. Již nyní jsou vypsané další bakalářské a diplomové práce, které mají pro robot připravit moduly pro soutěž ERC.



Obr. 3.16: Robot K3P4 při plnění soutěžní úlohy, ERC 2023 Polsko, Kielce (září 2023)

## 3.6 Spolupráce v pedagogické oblasti

### 3.6.1 Odborné přednášky z praxe

- Linaplast – Systémová integrace robotizovaných pracovišť (10. 10. 2023).
- ABB – Úvod do průmyslové robotiky a podpora ABB (10. 10. 2023).
- ICE – Robotizovaný 3D tisk velkorozměrových betonových dílů (23. 11. 2023).

### 3.6.2 Závěrečné práce ve spolupráci s firmami

Benefity kontaktů s firmami jsou témata závěrečných prací, která řeší reálné technické úlohy. Vychází jak z kontaktů zaměstnanců katedry, tak i od studentů, kteří ve firmách mají brigády nebo stáže.

#### **Obhájené bakalářské práce:**

- Adam Říha – Koncepční návrh automatizace pracoviště pájení – ve spolupráci s Honeywell Aerospace Olomouc, s.r.o. (iniciativa studenta).

#### **Obhájené diplomové práce:**

- Čeněk Slezák – Studie proveditelnosti automatizace lepení permanentních magnetů na rotorové pakety – ve spolupráci s ESPO s.r.o. (firma kontaktovala katedru).
- Matyáš Hodura – Návrh automatizace pracoviště lepení hřídelových kroužků – ve spolupráci se Siemens, s.r.o. Elektromotory, o.z. Frenštát p. R. (iniciativa studenta).

#### **Nově vypsaná témata diplomových prací:**

- Eva Dobrovká – Studie proveditelnosti výroby nového dílu na stávající výrobní lince – ve spolupráci s REHAU Automotive, s.r.o./Linaplast, s.r.o. (iniciativa studentky).
- Jan Palovský – Robotizace utěšňování karoserie vozu – ve spolupráci s Hyundai Motor Manufacturing Czech s.r.o. (iniciativa studenta).
- Daniel Kovářík – Návrh polohovadla pro svařovací pracoviště – ve spolupráci s Valk Welding CZ, s. r. o. (iniciativa studenta).
- Eva Galová – Simulace paletizačního pracoviště – ve spolupráci s Ingeteam, a.s.

### 3.6.3 Významná spolupráce pracoviště se subjekty v ČR

#### **ABB**

Již sedmým rokem probíhají v průběhu zimního semestru týdenní odborné stáže studentů (7. ročník) v ABB, letos poprvé v nově otevřeném centru v Mošnově – celosvětové repas centrum průmyslových robotů ABB, kde provádějí kompletní rozebrání a následnou zpětnou montáž průmyslových robotů plus potřebná výstupní měření. Studenti v posledním ročníku studia mohou absolvovat test a získat oficiální ABB certifikát pro úroveň operátor, seřizovač, specialista a programátor.

#### **AV ENGINEERING a.s.**

V rámci dlouhodobé spolupráce katedry s touto společností, která je dodavatelem SW nástrojů od PTC, se podařilo zajistit prodloužit licence nástrojů ThingWorx a Vuforia pro výukové účely za výrazně sníženou cenu.

### 3.6.4 Významná spolupráce pracoviště se zahraničními partnery

#### Slovensko

- Technická univerzita v Košiciach – Katedra výrobní techniky a robotiky, Katedra priemyselnej automatizácie a mechatroniky, Katedra aplikovanej mechanik a strojného inžinierstva, Katedra technológií, materiálov a počítačovej podpory výroby, Katedra priemyselného inžinierstva a informatiky.
- Slovenská technická univerzita v Bratislave – Ústav výrobných technológií.

#### Polsko

- Silesian University of Technology, Gliwice – Institute of Fundamentals of Machinery Design.
- Military Institute of Armoured and Automotive Technology, Sulejówek.

#### Rakousko

- University Innsbruck, Unit Geometry and CAD, Innsbruck.

#### Finsko

- Department of Mechanical Engineering, Lappeenranta University of Technology.

#### Itálie

- Fondazione Istituto Italiano di Tecnologia.
- DPIA - Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura, Università degli Studi di Udine, IT.
- Italian Institut of Technology, Dynamic Legged Systems – Walking robotic systems.
- LUT University, Laboratory of Mechani Design – Flexible robotic systems.

### 3.6.5 Přijetí zahraničních hostů nebo studentů

Pracoviště	Náplň	Termín
University of Lublin	Diskuse ke spolupráci v oblasti kolaborativní robotiky.	25. 4.
Military Institute of Armoured and Automotive Technology	Diskuse ke spolupráci při vývoji lokomočních a senzorických subsystému pro roboty do nestrukturovaného prostředí.	23. 5.
University of Lublin	ERASMUS+	23. 5. – 25. 5.
Slovak University of Technology in Bratislava	Diskuse ke spolupráci v oblasti využití robotických systému pro technologické operace.	3. 10.
Slovak University of Technology in Bratislava	ERASMUS+	3. 10. – 13. 10.
University of Zielona Gora	ERASMUS+	17. 10. – 20. 10.
Lublin university	ERASMUS+	17. 10. – 20. 10.
Technical University of Košice	Vzdělávací pobyt v rámci projektu Víšegrad.	23. 10. – 26. 10.

### 3.6.6 Zahraniční pobyty pedagogů a studentů Katedry robotiky

Pracoviště nebo událost	Účastník pobytu	Náplň	Termín
New York University Abu Dhabi	Ing. Adam Boleslavský	Pasivní účast na 2023 9th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA 2023).	9. 2. – 14. 2.
Carinthia University of Applied Sciences	Ing. Adam Boleslavský	Tisk testovacích vzorků, které obsahovaly uhlíková vlákna.	18. 6. – 25. 6.
University Rover Challenge	Studenti týmu RoverOva	Účast na soutěži URC v Utahu.	26. 5. – 4. 6.
European Rover Challenge	Studenti týmu RoverOva	Účast na soutěži ERC V Kielce.	13. 9. – 17. 9.
Technická univerzita v Košicích	Ing. Petr Oščádal, Ph.D.	Týdenní pobyt v rámci projektu Višegrad.	20. 11. – 23. 11.
Technická univerzita v Košicích	prof. Ing. Zdenko Bobovský, PhD.	Spolupráce v rámci projektu Višegrad.	20. 11. – 21. 11.
Technická univerzita v Košicích	prof. Ing. Zdenko Bobovský, PhD.	Příprava mezinárodního projektu.	11. 12. – 12. 12.
University of Innsbruck, Unit of Geometry and Surveying	Ing. Tomáš Poštulka	Navázání kontaktu s univerzitním pracovištěm. Poskytnutí podkladů týkající se problematiky mechanismů s uzavřenou strukturou.	16. 10. – 23. 10.
LUT University – University in Lappeenranta (Finsko)	Ing. Rostislav Wierbica	Návštěva tamního pracoviště, konzultace disertační práce na téma kinematiky a dynamiky robotických manipulátorů.	5. 1. – 3. 2.
Frankfurt University of Applied Sciences (Německo)	Ing. Rostislav Wierbica	Účast na mezinárodním setkání doktorandů s názvem: Aplikované doktorské studium na evropských univerzitách.	13. 11. – 17. 11.
Finsko, Department of Mechanical Engineering, Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta	Ing. Jiří Suder, Ph.D.	Prezentování dosažených výsledků obou pracovišť. Hlavními body školení byly tvorba kinematických modelů manipulátorů a teorie pevnostní nelineární analýzy prutu.	25. 1. – 31. 1.
Rakousko, University of Innsbruck, Faculty of Engineering Sciences / Unit of Geometry	Ing. Jiří Suder, Ph.D.	Prezentování dosažených výsledků obou pracovišť. Hlavními body školení byly kinematika robotů s uzavřeným kinematickým řetězcem a možnost využití rekonfigurovatelných robotických ramen uzavřených mechanismů.	2. 10. – 6. 10.
Konference RAAD 2023	Ing. Michal Vocetka, Ph.D.	Aktivní účast na 32nd International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region konané ve Slovinském Bledu.	14. 6. – 16. 6.
Výrobní závod SCHUNK SE & Co. KG	Ing. Michal Vocetka, Ph.D.	Pasivní účast na konferenci Schunk Expert Days – Robotic Material Removal.	25.10. – 26. 10.

## 4 VĚDECKO-VÝZKUMNÁ ČINNOST

Aktuální vědecko-výzkumný profil a zkušenosti Katedry robotiky lze heslovitě popsat:

- Metodika a teorie koncepčního designu robotických manipulátorů s počítačovou podporou včetně topologické optimalizace.
- Návrh a optimalizací kinematických struktur robotů (průmyslových, servisních, mobilních) a jejich částí s ohledem na okolní překážky a požadovanou trajektorii.
- Systém pro rychlý výběr a optimální umístění robotu pro definovanou trajektorii, optimalizací spotřeby robotu, momentových zátěží pohonů, minimalizace doby pracovního cyklu.
- Návrh a vývoj řídicích systémů.
- Identifikace/přiřazení 3D skenu „neznámé“ součásti (i částečně poškozené) k jejímu 3D modelu v existující databázi (získání dokumentace, její výroba např. 3D tiskem).
- Eliminace vlivu teploty na drift absolutní přesnosti polohy robotu.
- Optimalizovaný návrh distribuovaného kamerového systému pro 3D snímání, předzpracování 3D dat.
- 3D on-line monitorování pracovního prostoru a jeho analýza (využití např. pro systém automatického přeplánování trajektorie robotu v dynamickém prostředí s překážkami, bez nutnosti přerušení chodu).
- Adaptivní robotizovaná měření 3D objektů.
- Optimalizace počtu a umístění senzorů s ohledem na objekt zájmu – možné následné porovnání s existujícím 3D modelem.
- Soft a bio-robotika.
- Kinematické a dynamické analýzy mechanických soustav.
- Syntéza kinematické struktury robotu, automatické navrhování 3D modelů robotických ramen podle zadaných parametrů s využitím databáze prvků.
- Výzkum bezkolizních mechanismů s uzavřeným kinematickým řetězcem.
- Asistovaná montáž s kolaborativním robotem, využití hlubokých neuronových sítí.
- Rozhraní člověk – robot (HRI) pro efektivnější spolupráci.
- Vývoj mechatronických systémů do výbušného prostředí (jiskrová bezpečnost).
- Používáme: ROS, ROS 2, C++, C#, Python, CopeliaSim, Creo, SolidWorks, ...



## 4.1 Řešené projekty

Název a označení projektu	Poskytovatel grantu	Řešeno od	Délka řešení (roky)	Odpovědný řešitel na pracovišti	Lidské zdroje	Finanční objem (mil. Kč)
SP2023/060 – Výzkum a vývoj prostředků mobilní manipulace s využitím nástrojů digitalizace	MŠMT	2023	1	Ing. Václav Krys, Ph.D.	4 zam., 20 stud.	1,38
Transformace formy a obsahu vysokoškolského vzdělávání na VŠB-TUO – NPO_VŠB-TUO_MSMT-16605/2022_A4	MŠMT	2022	2	Ing. Václav Krys, Ph.D.	1,1 FTE	0,99
NCK MESTEC2 TN02000010/09: Vývoj technologií a zařízení pro aditivní výrobu DVC2: Adaptivní 3D tisk soustav robotizovaným systémem	TAČR	2023	3	prof. Dr. Ing. Petr Novák	2,1 FTE	6
Úsporné technologie a materiály pro udržitelný rozvoj, TN02000010/013 DVC: Generátor – „Slicer“ objemových prvků pro tisk s hlavou s nastavitelným průměrem trysky	TAČR	2023	3	prof. Dr. Ing. Petr Novák	1,2 FTE	0,5
MATUR – Materiály a technologie pro udržitelný rozvoj CZ.02.01.01/00/22_008/0004631	OP-JAK MŠMT, EU	2023	5	prof. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.	3,6 FTE	20 (464)
Refresh - Research Excellence For REgion Sustainability and High-tech Industries, CZ.10.03.01/00/22_003/0000048 Industry 4.0 & Automotive Lab, Robotické a mechatronické systémy	SFŽP, EU	2023	4	prof. Dr. Ing. Petr Novák	6,5 FTE	35
Rozvoj infrastrukturního zázemí doktorských studijních programů, CZ.02.01.01/00/22_012/0008111	OP-JAK MŠMT, EU	2023	2	VŠB-TU Ostrava (prof. P. Novák)	-	36
Transformace formy a obsahu vysokoškolského vzdělávání na VŠB-TUO, reg. č. NPO_VŠB-TUO_MSMT 16605/2022_A2	MŠMT	2023	1,3	prof. Dr. Ing. Petr Novák, doc. Ing. Aleš Vysocký, Ph.D.	0,7 FTE	0,6

## 4.2 Hlavní směry výzkumu a vývoje na pracovišti

Následující podkapitoly prezentují některá vědecko-výzkumná témata, která byla pracovníky a doktorandy Katedry robotiky řešena zejména v rámci výše uvedených projektů a byla již v daném roce publikována. Všechna uvedená témata byla podpořena řešenými projekty:

- Výzkum a vývoj prostředků mobilní manipulace s využitím nástrojů digitalizace SP2023/060, SGS, MŠMT,
- Národní centra kompetence MESTEC2 TN02000010, TAČR,
- MATUR – Materiály a technologie pro udržitelný rozvoj, CZ.02.01.01/00/22\_008/0004631, OP-JAK, MŠMT,
- Refresh – Research Excellence For REgion Sustainability and High-tech Industries, CZ.10.03.01/00/22\_003/0000048.

## 4.2.1 Návrh subsystému pro predikci pohybu člověka v pracovním prostoru robotu

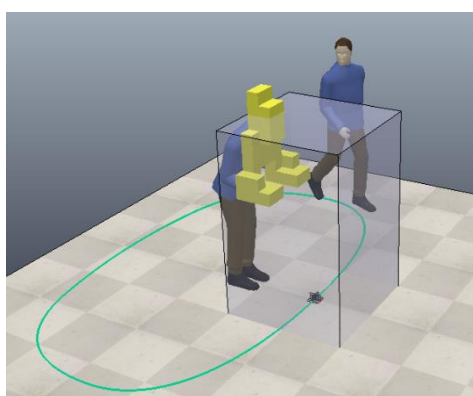
Výzkum se zabývá predikcí pohybů člověka v pracovním prostoru robotu. V případě, kdy se dokáže předpovídat pohyb pracovníka v pracovním prostoru robota, je možné upravit trajektorii robota tak, aby nedošlo ke střetu robota s člověkem a zároveň aby robot dosáhl svého cíle v co nejkratším čase. Dosažením cíle v co nejkratším možném čase za splnění podmínky, že se robot nestřetne s člověkem, můžeme vylepšit výrobní takt pracoviště. Aby bylo možno predikovat pohyb pracovníka, je potřeba detekovat samotného pracovníka v pracovním prostoru robota. Pro detekci pracovníka je využito klasifikace a snímání prostoru hloubkovými kamerami. Určení doby pracovního taktu pracovníka pak spočívá ve sběru dat o obsazenosti pracovního prostoru člověkem v čase a analýzou těchto dat pro nalezení periody pracovního cyklu pracovníka. Dobré určení času pracovního cyklu pracovníka je prvním krokem na cestě k predikci člověka.

Byla vytvořena simulační scéna se dvěma pracovníky, kteří narušují pracovní prostor (reprezentovaný průhledným kvádrem). Při narušení prostoru člověkem dojde k detekci části těla v daném místě pracovního prostoru a jeho vyobrazení ve voxelové mapě jakožto žlutý voxel (Obr. 4.1a).

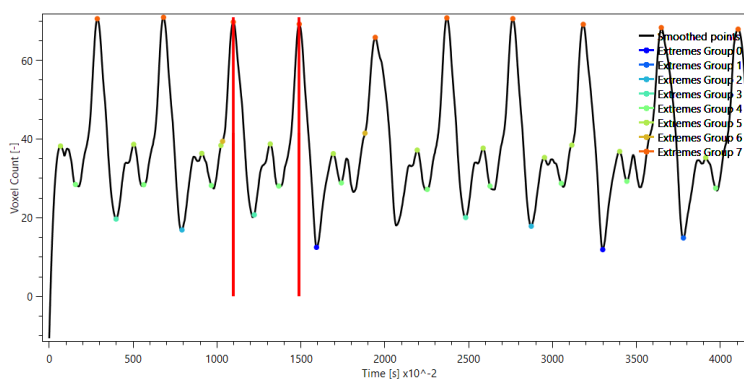
Následně byla vytvořena aplikace pro nalezení tzv. „hlavní periody“ taktu pracovníka při vykonávání jeho práce. Vytvořená aplikace je schopna na základě vstupních dat o počtu obsazených voxelů pracovníka v pracovním prostoru nalézt dobu pracovního taktu pracovníka.

Aplikace nejprve data převede z disktrétních hodnot na spojité, pomocí Savitzky-Golayova filtru, čímž dojde k vyhlazení dat do křivky. Následně je provedeno nalezení lokálních extrémů a jejich rozdělení do skupin podle hodnoty extrému. V každé skupině, ve které se nachází přibližně stejné extrémy, je mezi všemi vypočtena perioda. Poté se všechny periody vůči sobě porovnají a vybere se ta s nejčastějším výskytem v nejméně skupinách. Tato perioda je považována za periodu taktu pracovníka. Jakmile známe pracovní periodu pracovníka, ze skupin vybereme tu, která má největší zastoupení této periody a v ní časový úsek prvního výskytu. Takto jsme dospěli k nalezení taktu pracovníka.

Na takto nasbíraných datech by pak za pomoci analýzy cyklu pracovníka bylo možné sledovat vývoj chování pracovníka během jeho pracovního cyklu a následně predikovat jeho chování. Dále je potřeba otestovat správnost nalezení periody na reálných datech. Jakmile se prokáže dostatečná přesnost určení hledané periody, může se přistoupit k nalezení a označení momentu začátku a konce pracovního cyklu pracovníka, díky kterému je možno pomocí významnosti pracovního prostoru robota v daný moment určit obsazenost pracovního prostoru v čase a tím i predikovat pozici člověka vzhledem k hodnotám z minula.



(a)



(b)

Obr. 4.1: (a) simulace detekce narušení pracovního prostoru pracovníkem; (b) graf počtu obsazených voxelů v čase s detekovanou hlavní periodou (červeně zaznačeno)

## 4.2.2 Uzavřené kinematické řetězce v robotice

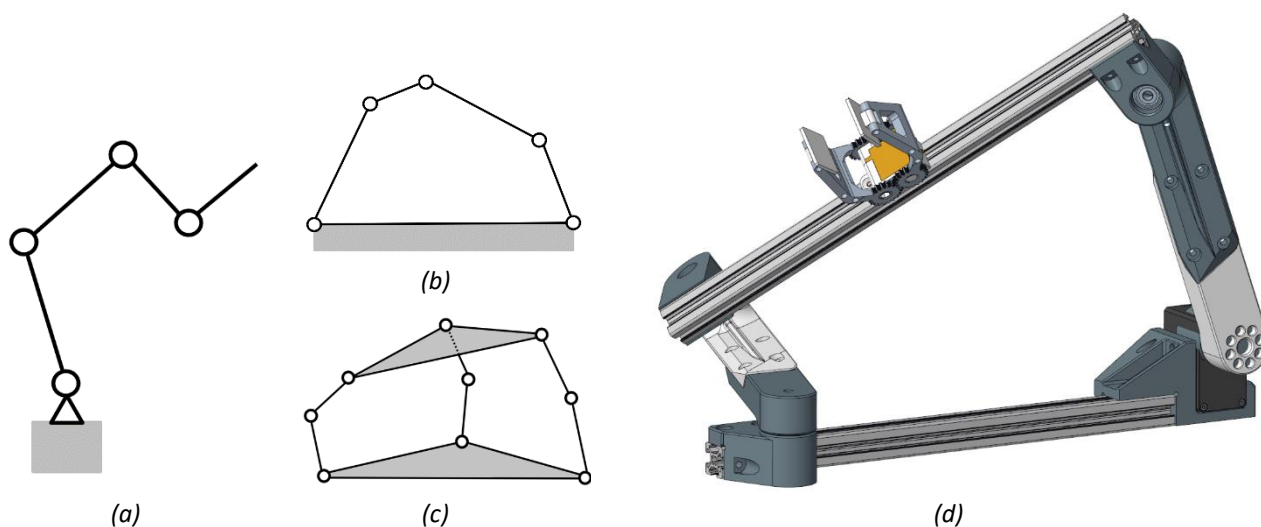
V rámci výzkumu se zkoumá možné využití mechanismů s uzavřenou strukturou v oblasti průmyslové robotiky. Cílem je prověřit teoretické snížení spotřeby energie během provozu a dosažení nižší energetické bilance robotizovaného procesu. Další výhodou jsou nižší pořizovací náklady, protože mechanismy mají nižší počet aktivně poháněných os než standardní průmysloví roboti. Použití uzavřených mechanismů také teoreticky umožňuje dosažení vyšší rychlosti manipulace, což přispívá k zvýšení efektivity procesu.

Mechanismy s uzavřenou strukturou mají svá omezení a nelze je aplikovat na všechny procesy, ale lze je teoreticky využít v oblastech, která jsou pro robotizaci velice jednoduchá (robotizace procesu by byla zbytečně finančně náročná) a současně značně složitá pro použití jednoúčelového systému.

Obecné kinematické řetězce sestávají z jednotlivých členů a vazeb (kinematických dvojic) a podle způsobu připojení členů k rámu, mohou být otevřené anebo uzavřené (Obr. 4.2). Mechanismy s uzavřenou kinematickou strukturou lze dále dělit na jednosmyčkové a více smyčkové řetězce (Obr. 4.2 b, c). Výzkum se věnuje výhradně jednosmyčkovým mechanismům s uzavřenou kinematickou strukturou.

Byl vytvořen simulační model (Obr. 4.2 d) obecného mechanismu s uzavřenou strukturou s 1 DoF a 4 rameny („Bennettův mechanismus“) pro ověření základních vlastností mechanismu. Mechanismus bude v blízké době vyroben a následně na něm započnou testovací práce. Měření bude zkoumat vlivu přesnosti výroby obecného uzavřeného mechanismu na momentovém zatížení poháněné osy, deformaci mechanismu od objektu manipulace a energetickou bilanci.

Současně se pracuje na aplikaci pro výpočet rozměrů obecného mechanismu s uzavřenou strukturou s 1 DoF a 4 rameny. Jako vstupní parametry jsou zadávány body v prostoru včetně orientace a výstupem budou Denavit–Hartenbergovy parametry.



Obr. 4.2: (a) otevřený řetězec; (b) uzavřený řetězec s jedinou smyčkou; (c) uzavřený řetězec s více smyčkami; (d) obecný mechanismus s uzavřenou strukturou s 1 DoF a 4 rameny

### 4.2.3 Výzkum konstrukčních prvků robotického ramene s řízeně měnitelným tvarem

Myšlenka výzkumu konstrukčních prvků robotického ramene s řízeně měnitelným tvarem je návrh vybraného prvku robotického ramene, konkrétněji článku robotu. Tato nosná část je většinou u servisních robotů tvořena dutým profilem. Myšlenkou je navrhnout měnitelný robotický článek. Díky těmto měnitelným článkům se robot na danou operaci dokáže přestavět tak, aby splnil zadání co nejefektivněji a s nižším počtem kloubů. Dalším stupněm by mohla být energetická efektivita a promítnutá do návrhu tvaru robotu. Je třeba aby měnitelný článek držel svůj tvar a byl tuhý během pracovního nasazení. Při vykonávání práce by článek neměl být měnitelný, ale tuhý pro to, aby byla dodržena přesnost pohybů robota. Při změně pracovního cyklu však by měl mít robot možnost se díky těmto článkům přestavět do vhodnějšího tvaru.

Na základě předchozí rešerše je tedy uvažováno s pozdějším využitím u robotů s nestandardně tvarovanými články. Předchozí výzkumy se zajímaly o tyto roboty, ne však o možnost dát těmto robotům možnost rekonfigurace. Když už byly výzkumy, že se tyto roboty přestavět daly, tak nikdy tento proces nebyl automatizován.

Dosud byly zhotoveny testovací prvky, které je třeba testovat v dynamickém prostředí, aby se dalo určit, zda bude článek dostatečně tuhý pro provoz robotu. Jeden z testovacích vzorků, jehož změna tvaru je založená na tepelné změně, je zobrazen níže na obrázku (a). Využívat tepelnou změnu materiálu pro ohyb je jeden ze směrů, jak dosáhnout ohybu a následně požadované tuhosti. Tento směr navazuje na předchozí pokusy kolegů. Není to však jediná možnost, jak tvarových změn dosáhnout.

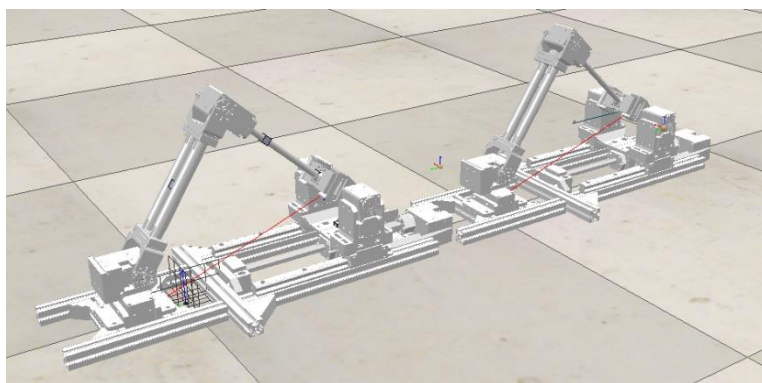
V plánu dále je testovat, zda principy tvarových změn článků proběhly očekávaně a s jakou přesností. Přesnost a opakovatelnost jsou jedny z měřených parametrů, které budou sledovány cyklickém dynamickém prostředí.

Většina momentálních testovacích prvků vznikla za pomoci 3D tisku. Do budoucna se uvažuje pokračovat tímto směrem. Může se však ukázat, že jiné metody výroby budou mít mnohem lepší výsledky.

Na druhém obrázku vedle (b) je zobrazen vyvinutý mechanismus určený pro ohyb testovaných článků. Momentálně na něm probíhaly testovací práce z pohledu metodiky ohybu. Je totiž důležité při tomto uvažovat i o samotném chování struktury průřezu navrhovaného testovacího prvku. V další práci zde budou vkládány prvky určené pro změnu za pomoci zahřívání.



(a)



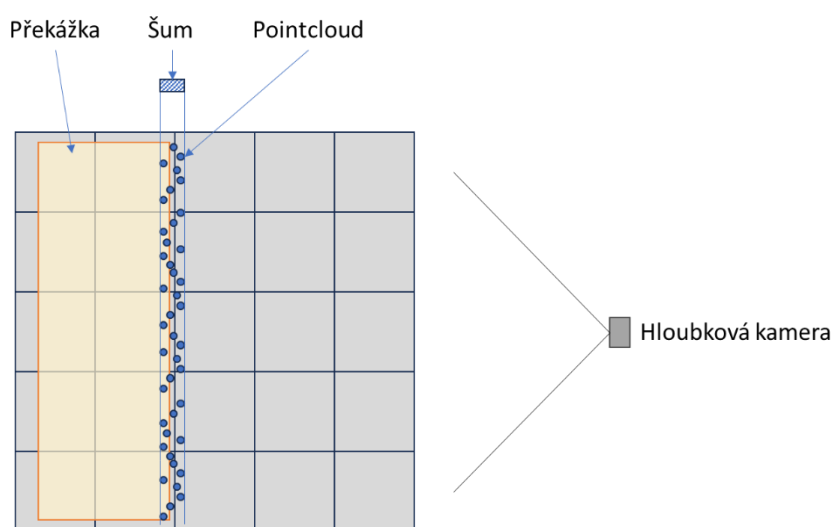
(b)

Obr. 4.3: (a) testovací vzorek vzniklý za pomoci 3D tisku; (b) simulace mechanismu v prostředí CoppeliaSim

## 4.2.4 Chytrá voxelizace mračna bodů do pevného gridu

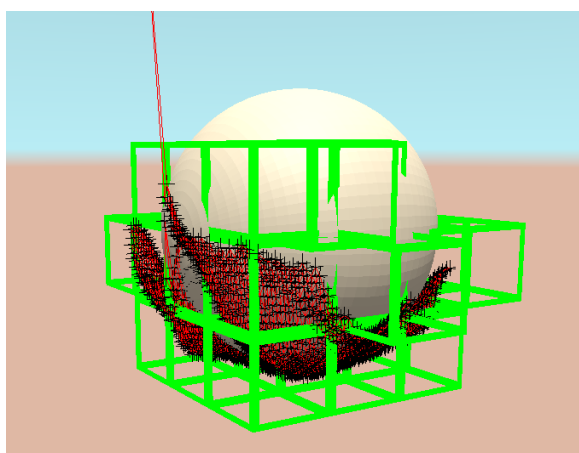
Populárním zdrojem informací pro monitoring sdíleného pracovního prostoru robotu a člověka jsou mračna bodů poskytovaná laserovými skenery a hloubkovými kamerami. Surová mračna bodů (pointcloud) ze sensorů představují neupravený soubor dat získaný v reálném čase. Hlavní výhodou surových dat je jejich schopnost zachycovat přesný tvar a detaily snímaných objektů. Práce se surovými daty však může být v mnoha ohledech nevyhovující, zejména z důvodu velkého objemu dat, která mohou být náročná na správu paměti při zpracování. Vzhledem k těmto problémům se přistupuje k strukturovaným způsobům ukládání dat, které mohou pomoci k eliminaci těchto problémů. V oblasti monitoringu pracovního prostoru robotu se hojně využívá voxelová reprezentace bodů.

Při voxelizaci pointcloudu do pevného gridu může docházet vlivem šumu mračna bodů k nesprávnému obsazení voxelu body pointcloudu. Tento jev (viz Obr. 4.4) je nejvíce patrný, pokud se hrana snímaného objektu nachází v blízkosti rozhraní dvou voxelů.



Obr. 4.4: Zašumělá hloubková data na povrchu snímaného objektu

Zaměřili jsme se na výzkum voxelizačních metod, které mají za cíl eliminovat tento jev. Jelikož je testování voxelizačních metod na reálném hardwaru zdoluhavý proces, rozhodli jsme se vytvořit simulační aplikaci (viz Obr. 4.5 a), která nám umožňuje simulovat snímání různých objektů hloubkovou kamerou. V simulacích se nám povedlo navrhnout několik vhodných metod, které jsou dále podrobovány testům na měřicím standu (viz Obr. 4.5 b) s reálným hardwarem.



(a)



(b)

Obr. 4.5: a) simulační aplikace, b) stand pro testování voxelizačních algoritmů

## 4.2.5 Energetická optimalizace pracovišť s průmyslovými roboty

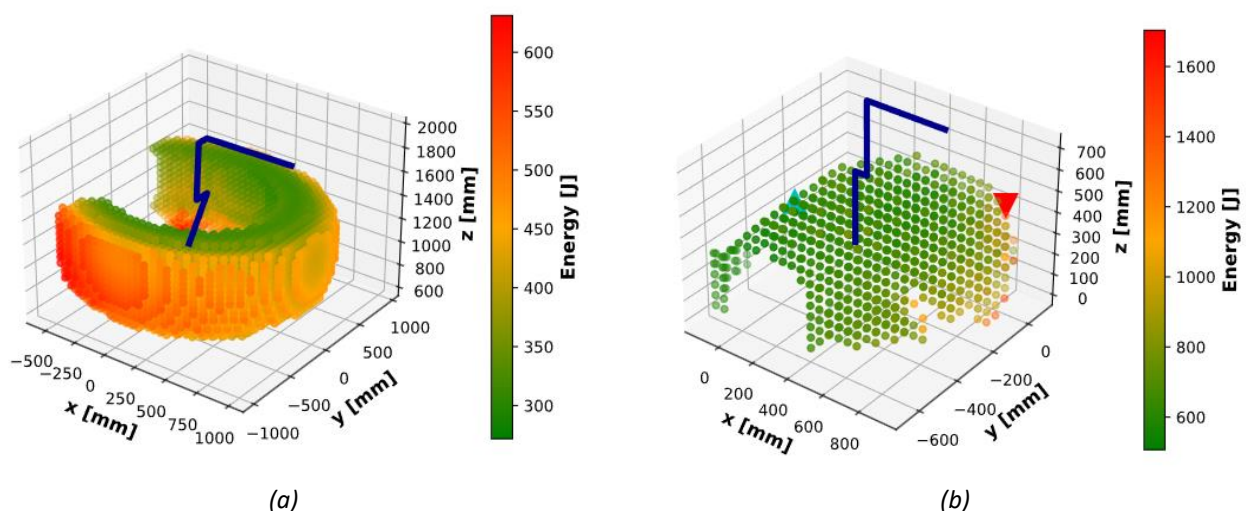
Motivací pro energetickou optimalizaci robotizovaných pracovišť je především snížení ekonomické zátěže těchto pracovišť, úspora peněz v průmyslu a snížení uhlíkové stopy výroby, což je součástí průmyslové revoluce 5.0.

V tomto výzkumu se počítá s určitými vstupy – těmito jsou zadané robotické pracoviště, daná trajektorie a daný robot. Cílem tohoto výzkumu není najít optimální trajektorii, ale najít optimální umístění trajektorie vzhledem k robotu v pracovním prostoru robotu a také najít optimální konfiguraci robotu pro danou trajektorii. Hledání polohy trajektorie v prostoru se provádí za účelem porovnání spotřeby energie na různých místech v pracovním prostoru robotu. Při navrhování pracovního prostoru se může stát, že robot bude umístěn v poloze, která je energeticky nevýhodná, zatímco může existovat poloha, ve které robot provede stejný úkol s menší spotřebou energie. V rámci optimalizačního procesu se tedy prohledává celý pracovní prostor robotu, ve kterém lze úlohu provést. Poté se všechny nalezené platné pozice porovnají z hlediska spotřeby energie robotu.

Pro vyhodnocení výsledků byly provedeny dvě případové studie se dvěma různými trajektoriemi a dvěma různými roboty. Jako první případová studie je zvolena úloha, která by mohla simulovat robotické odjehlování. Jako robot je použit ABB IRB1600-10/1.2 s uvažováním koncového efektoru o hmotnosti 2,8 kg. Rychlost koncového bodu robotu je 100 mm/s a délka jednoho cyklu je 12,05 s. Simulační model je vytvořen v programu RobotStudio. V experimentu se uvažuje pořád se stejnou kruhovou trajektorií. Jako druhá případová studie je zvolena úloha, která by mohla simulovat robotickou aplikaci těsnicí hmoty. Jako robot je použit ABB IRB 140-6/0.81 s uvažováním koncového efektoru o hmotnosti 1 kg. Rychlost koncového bodu robotu je 100 mm/s a délka jednoho cyklu je 18 s. V experimentu se uvažuje s různě tvarovanou rovinnou trajektorií.

Výsledky z první případové studie ukazují, že vliv polohy trajektorie a použité konfigurace robotu je značný. V tomto případě byly použity 3 možné konfigurace robotu, které umožňují vykonat danou úlohu. Energeticky nejméně náročné místo má spotřebu 218 J, naopak nejvíce náročné má spotřebu 631 J. Což je rozdíl 65,5 %. Výsledky druhé případové studie s robotem ABB IRB 140 potvrzují výsledky předchozí studie – i zde je patrný vliv polohy trajektorie a použité konfigurace robotu na spotřebu energie. V tomto případě byly použity 4 možné konfigurace robotu. Energeticky nejméně náročné místo má spotřebu 481 J, naopak nejvíce náročné má spotřebu 1703 J, což je rozdíl 71,8 %.

Ukázky energetických map obou případových studií jsou zobrazeny na obrázku níže.



Obr. 4.6: Zobrazení vybraných energetických map; (a) robot ABB IRB 1600; (b) robot ABB IRB 140

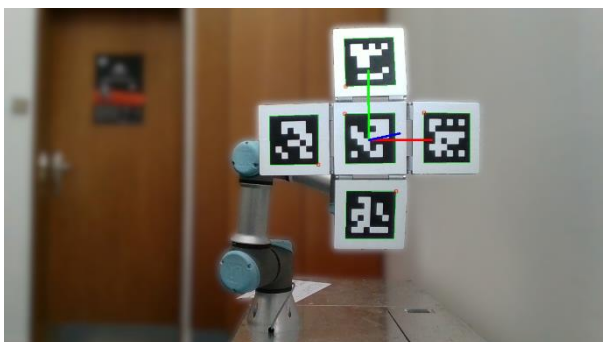
## 4.2.6 Kalibrace multikamerového systému

Výzkum se zabývá zvýšením přesnosti kalibrace multikamerového systému v pracovním prostoru robota s cílem přesněji určit pozici jednotlivých kamer vůči sobě a zpřesnit tak jejich polohu vzhledem k pracovnímu prostoru robota. Ke kalibraci je používán 3D gridboard s ArUco značkami, které jsou vůči sobě pootočený. Každá ArUco značka na kalibračním vzoru slouží jako samostatný referenční bod. Transformace mezi těmito body je známá. Zpřesnění kalibrace jednotlivých kamer povede k větší přesnosti určení prostorových vztahů mezi pracovním prostorem robota a objekty které budou kamerovým systémem detekovány.

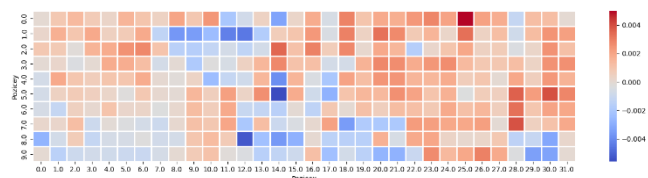
Byl navržen experiment, který má za cíl zjistit, jaké je vhodné nastavení jednotlivých úhlů gridboardu pro zpřesnění detekce jeho celkové pozice. V rámci experimentu byl umístěn 3D gridboard s ArUco značkami na robota UR3. Pro získání dat o prostorovém uspořádání gridboardu byl robotický systém umístěn do zorného pole kamery, které bylo systematicky rozděleno do mřížky. Pro každou pozici gridboardu v této mřížce byl vytvořen snímek kamerou. Takto byly vytvořeny datasey snímků gridboardu v celém zorném poli kamery s různým úhlem nastavením gridboardu.

Pro zpracování rozsáhlého datasetu byl vyvinut software, který prochází jednotlivé snímky datasetu a provádí jejich analýzu. V průběhu analýzy jsou z obrazu extrahovány jednotlivé ArUco značky gridboardu a vypočtena jejich pozice a orientace vzhledem ke kameře. Tyto pozice jsou následně transformovány do středového bodu gridboardu a tím určena jeho výsledná pozice. Tento software společně s vytvořenými datasety lze v budoucnu také využít ke zpřesnění kalibračních matic jednotlivých používaných kamer na pracovišti a tím ještě zvýšit výslednou přesnost systému.

Na pracovištích jsou většinou používány hloubkové kamery, které kromě RGB obrazu snímají také jeho hloubku. Proto je vhodné uvažovat i o využití samotných hloubkových dat z jednotlivých kamer a pomocí metod slučování mračen bodů přispět k zvýšení přesnosti určení jednotlivých pozic kamer v pracovním prostoru.



(a)



(b)

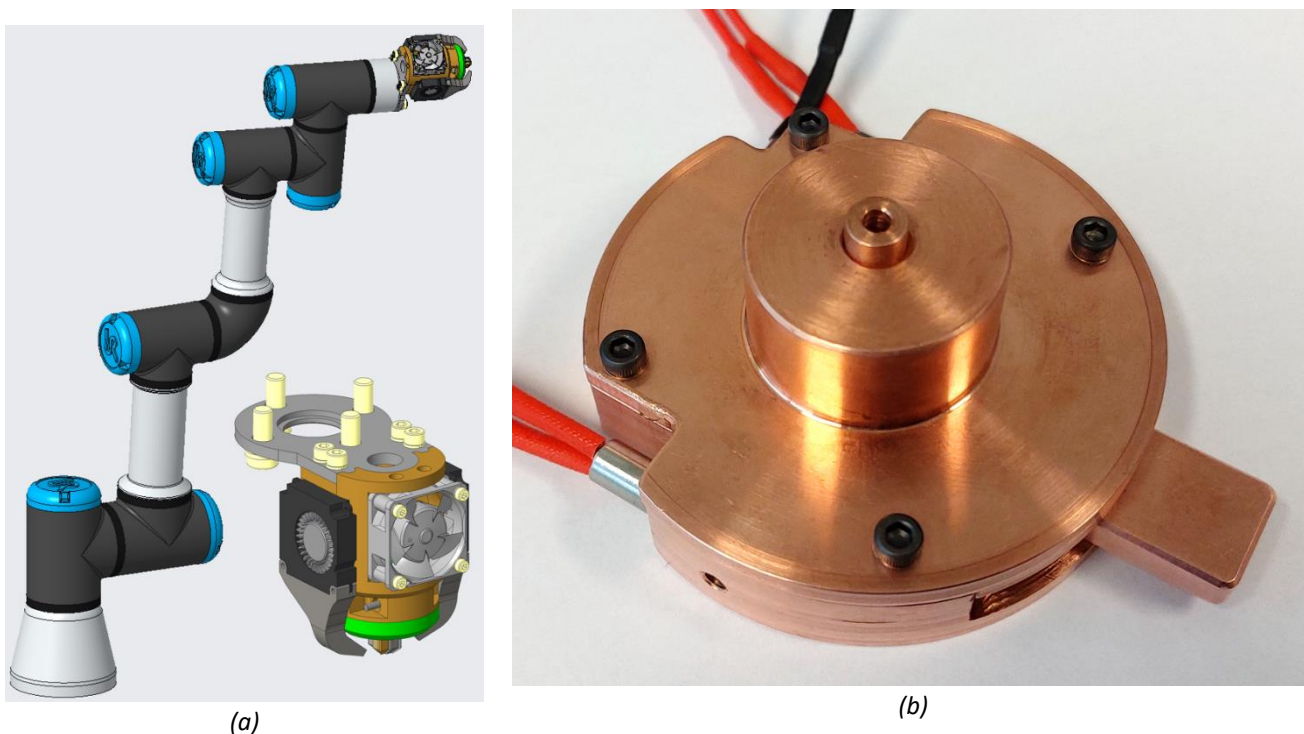
Obr. 4.7: (a) gridboard na robota UR3, na obrázku vyznačen střed gridboardu ; (b) graf rozdílu detekované orientace gridboardu od skutečné hodnoty v jednotlivých bodech mřížky zorného pole kamery (rozdíly jsou uváděny v radiánech)

## 4.2.7 Návrh extruderu s tryskou s měnitelným průřezem pro 3D tisk plastů

Výzkum se zabývá návrhem extruderu s možností plynulé změny průměru trysky v průběhu 3D tisku z materiálů na bázi plastů. Princip změny průměru trysky je založen na čelistovém mechanismu, kdy tvar průřezu výstupního vlákna je n-úhelník, jehož počet stran se odvíjí od počtu čelistí mechanismu trysky (v současnosti jsou řešeny šesti a osmi čelistové mechanismy). Materiál ve formě vlákna o průměru 2,85 mm je do extruderu dodáván za pomoci externího podavače. Vlastní konstrukce extruderu je přizpůsobena k montáži na kolaborativní robot UR3.

Řídicí elektronika je založena za kombinaci jedno deskového počítače Raspberry Pi 4 model B a základní desky BIGTREETECH SKR Pico V1.0, umožňující pokročilejší možnosti řízení a testování za pomoci softwarové nástavby Klipper.

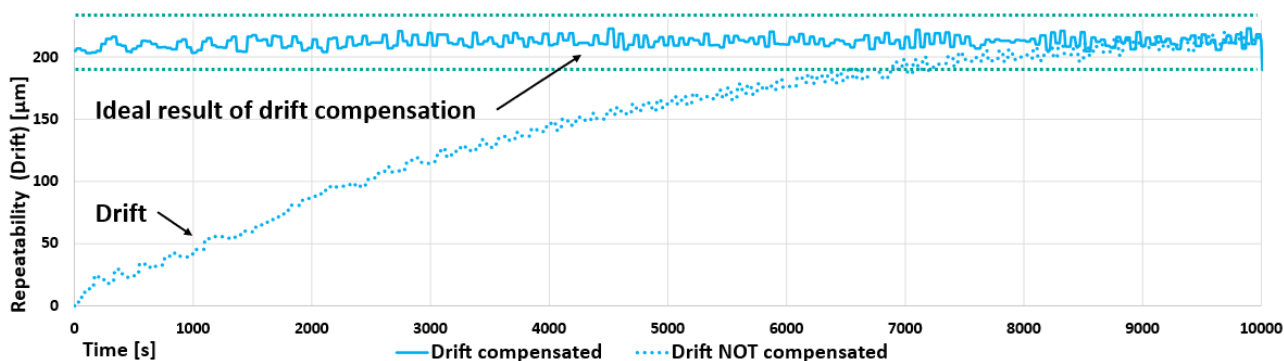
Vlastní testování probíhá na konstrukčně zjednodušené variantě čelistového mechanismu, disponující dvojicí topných tělísek, termistoru a ručního ovládání mechanismu rozevírání čelistí.



Obr. 4.8: (a) konstrukční návrh extruderu s tryskou s měnitelným průřezem v kombinaci s kolaborativním robotem UR3, (b) konstrukce testovací varianty trysky doplněná o topná tělíska a termistor

#### 4.2.8 Kompenzace driftu průmyslového robotu

Touto problematikou se katedra zabývá již delší dobu, v roce 2023 byly výsledky dalších testů a měření publikovány na konferenci RAAD 2023 ve Slovinském Bledu. V závěru tohoto roku začaly přípravy pro rozšíření již ověřené metodiky z konkrétních pozic na předem definovanou trajektorii. Od tohoto rozšíření si slibujeme zvýšení přesnosti při 3D tisku robotem, kterým se katedra robotiky rovněž zabývá.



Obr. 4.9: Rozdíl v opakovatelnosti bez a s aktivní kompenzací driftu (robot UR10e)

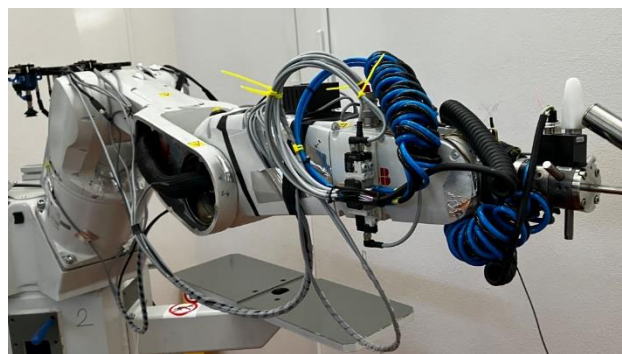
V rámci přípravy pro další vývojové práce byl testovací robot ABB IRB1200 5/09 s optionem Absolute Accuracy osazen systémem pro automatickou výměnu nástrojů Schunk SWS005 a novou kabeláží pro měření teploty robotu v reálném čase. Rovněž proběhla ukázka špičkové metrologické aparatury v konkrétních podmínkách



centra robotiky. Tuto na katedře realizovala společnost MCAE Systems a předveden byl DIC systém GOM Aramis.



(a)



(b)

Obr. 4.10: (a) měření přesnosti systémem GOM Aramis, (b) celková revitalizace aparatury pro snímání teploty, rozšíření ABB IRB1200 5/09 o systém pro automatickou výměnu nástrojů.

#### 4.2.9 Optimalizace doby trvání designových studií typových dílů využitím strojového učení

V rámci výzkumu v oblasti automatizace návrhu robotických ramen bylo k optimalizaci doby trvání návrhu uvažováno s využitím metod strojového učení. Učiněno tak bylo na základě výsledků z experimentálních návrhů robotických ramen, u kterých se ukázalo že konstrukční návrh jednotlivých prvků ramen skrze designové studie zabírá z daleka nejvíce z celkového času návrhu robotického ramene.

Optimalizace doby trvání designových studií bylo dosaženo pomocí sběru údajů o vstupních zatíženích a výsledných vytipovaných rozměrech dílů při každém návrhu typových prvků, ze kterých je rameno postaveno. Na základě těchto dat pak využitím vhodných metod strojového učení byly vytvořeny predikční modely, které jsou v rámci návrhu schopny optimalizovat rozměry prvků mnohem rychleji, než je tomu u designových studií. Bavíme-li se však o predikčních modelech, každý model má určitou chybovost. Je tedy třeba zmínit, že se jedná o metodu, kdy se zvyšuje rychlost návrhu na úkor jeho přesnosti.

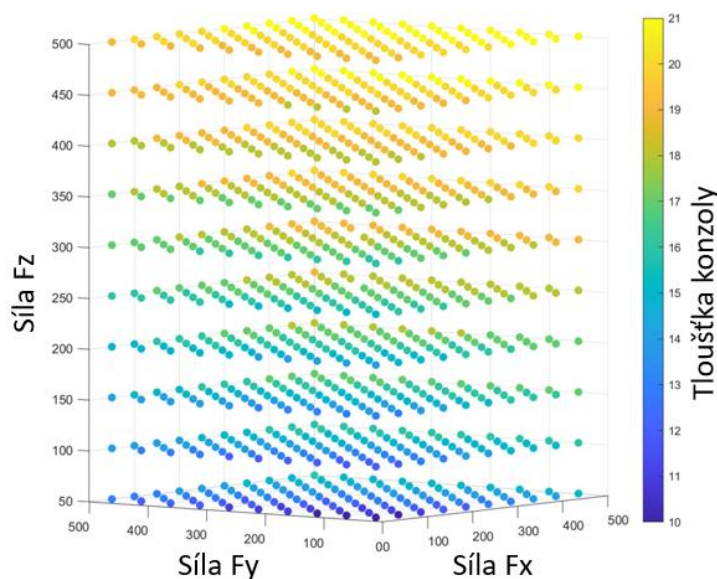
V rámci designových studií konzolových a přírubových prvků robotických ramen je většina jejich rozměrů definována přípojovacími rozměry pohonných jednotek a dalších navazujících prvků jako jsou například normalizované průřezy ramen. V rámci optimalizace těchto prvků jsou tedy upravovány pouze jejich tloušťky a délky. Máme-li tedy v databázi například 10 různých velikostí pohonných jednotek, máme i 10 daných velikostí konzolových dílů. Takto pro každou velikost byl pak skrze designové studie vytvořen dataset zatížení a k němu odpovídajících výsledných rozměrů, kde byl jako vstup zatížení na konzole a výstup optimalizovaná tloušťka pro zadanou podmínku deformace. Na takto připraveném datasetu byl pomocí strojového učení naučen predikční model. V tabulce níže lze vidět porovnání výsledků z naučeného modelu a výsledků z pevnostních studií.

Volba vhodné tloušťky konzoly trvá pomocí predikce modelem jen několik desetin sekundy. Volba vhodné tloušťky konzoly za pomoci designové studie trvá dle počtu zkontrolovaných hodnot tlouštěk, pro které byla v rámci studie provedena pevnostní analýza od 30 sekund (pokud deformační podmínce vyhovuje hned první hodnota) do 15 minut v případě že zkoumáme 30 různých hodnot tlouštěk. Využitím těchto predikčních modelů lze tedy při návrhu ušetřit značné množství času.

Naučené predikční modely jsou v rámci výzkumu automatizovaného návrhu ramen využity ke zvýšení přesnosti návrhu designovými studiemi při zachování jejich doby trvání. Predikovaná hodnota tloušťky představuje odhad, který se pak v rámci designové studie pouze zpřesňuje.

Tab. 4.1: Porovnání výsledků predikce a designových studií

Materiál	Síla $F_x$	Síla $F_y$	Síla $F_z$	Tloušťka $t$ Studie	Deformace Studie	Tloušťka $t$ Predikce	Deformace Predikce
Hliník	55 N	38 N	69 N	15,0 mm	0,047 mm	15,9 mm	0,046 mm
	120 N	135 N	40 N	16,0 mm	0,041 mm	15,0 mm	0,046 mm
	200 N	45 N	158 N	21,0 mm	0,048 mm	23,9 mm	0,046 mm
Ocel	55 N	120 N	85 N	11,0 mm	0,047 mm	11,3 mm	0,044 mm
	154 N	250 N	235 N	16,0 mm	0,044 mm	15,7 mm	0,047 mm
	358 N	250 N	154 N	16,0 mm	0,044 mm	16,1 mm	0,044 mm



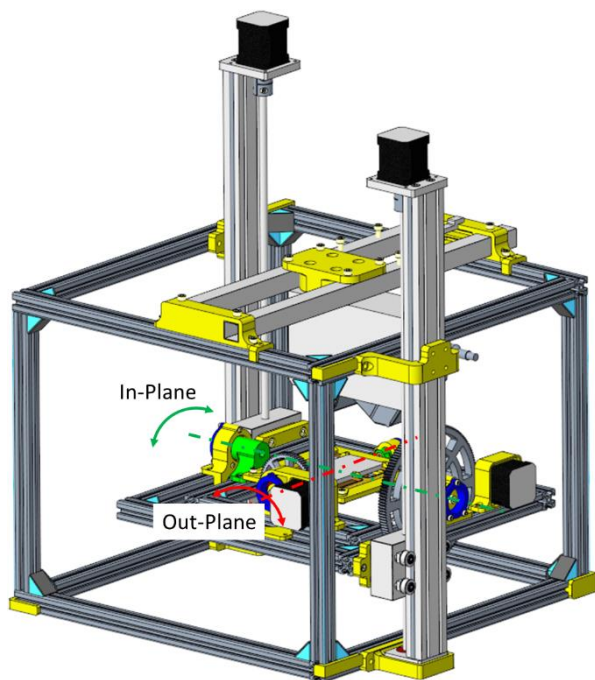
Obr. 4.11: Grafické znázornění modelu pro predikci tloušťky konzoly, materiál Ocel

#### 4.2.10 Rozšíření simulačního modelu laserového senzoru

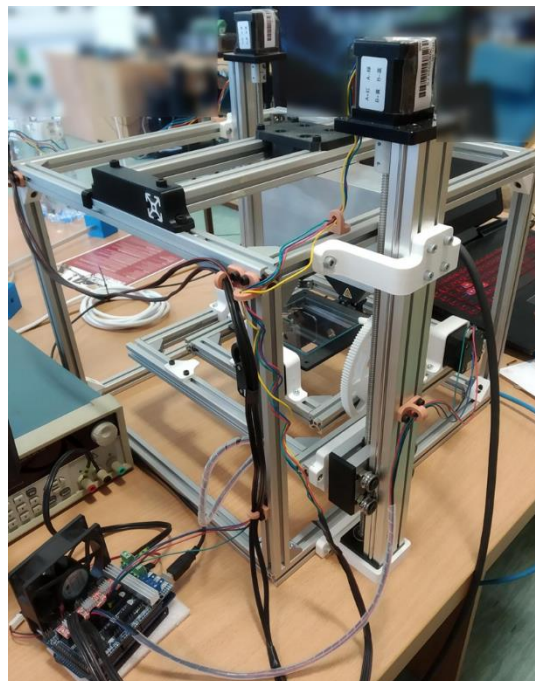
V průmyslu jsou 2D laserové, liniové, triangulační senzory (dále jen LLT) často používané pro měření a kontrolu funkčních ploch vyráběných dílů nebo pro sběr mračen bodů pro další zpracování. LLT senzory jsou vysoce přesné a velice rychlé, mohou měřit několik tisíc bodů v rámci milisekund. Avšak tyto senzory jsou náchylné na geometrii a optické vlastnosti skenovaných povrchů. Pro LLT senzory je důležité, aby se alespoň část světla odrazila z povrchu do přijímače senzoru. Problematické je zejména skenování lesklých, velice hladkých a průhledných ploch, kde se paprsek může odrazit od povrchu mimo senzor a laserová linie se nedetekuje.

V minulém výzkumu jsme zkoumali vliv úhlu dopadu laserového paprsku na intenzitě odraženého paprsku laseru pro různé materiály. Naměřené závislosti pomáhají při umístění senzorů vůči skenované součásti pro zvýšení spolehlivosti sběru dat.

V této části výzkumu jsme rozšířili stávající sběr dat o in-plane úhly (předtím pouze out-plane úhly), jak je znázorněno na Obr. 4.12a. Pro sběr dat slouží polohovadlo (viz Obr. 4.12 b), do kterého se vloží vzorek a postupným otáčením jednotlivých os se změní charakteristika pro daný materiál v jednotlivých polohách. Pro sběr dat slouží vlastní software. Osy jsou poháněny pomocí krokových motorů a kontrola polohy jednotlivých os se provádí pomocí dvou LLT senzorů, které umožňují měřit úhel dané roviny.



(a)

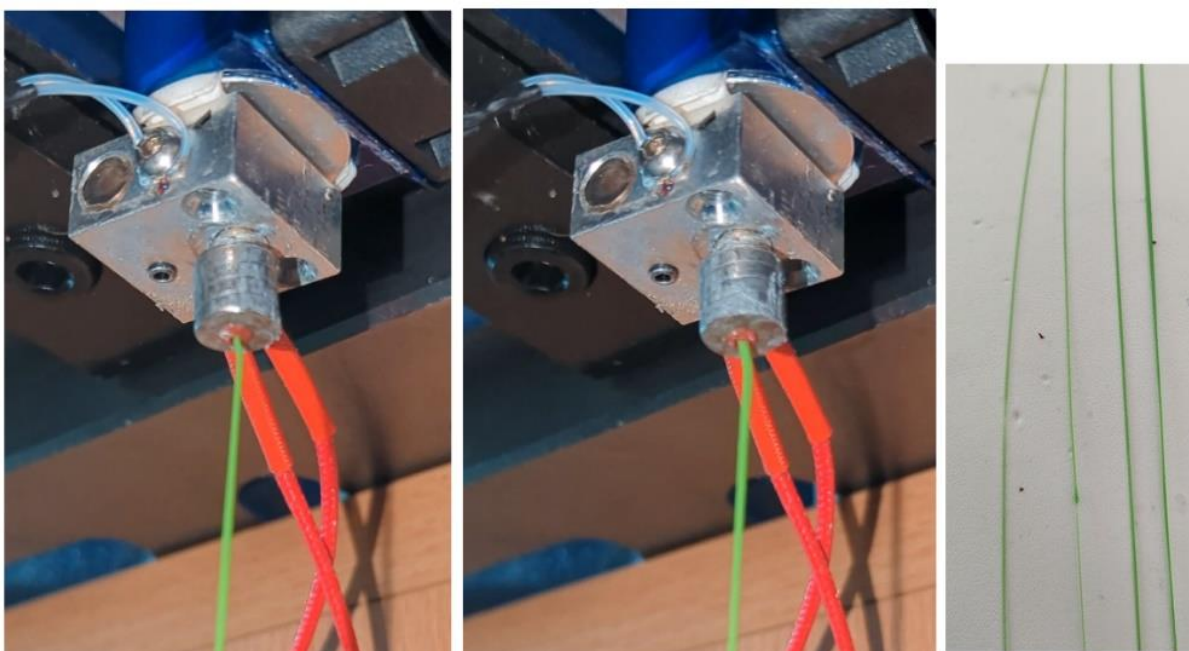


(b)

Obr. 4.12: (a) CAD model polohovadla; (b) experimentální pracoviště pro sběr dat.

#### 4.2.11 Tisková hlava s nastavitelným průměrem trysky

Za období leden až červen 2023 byly provedeny rešerše principů existujících technických řešení tiskových hlav s měnitelným průměrem trysky, včetně případných patentových ochran. Za toto období byly navrženy tři koncepty změny průměru trysky a u každé bylo navrženo několik variant. Z důvodu ochrany není možné blíže specifikovat způsob funkce trysky. Jednotlivé varianty se následně převedly do prototypových verzí na ověření funkce principu změny průměru výstupního filamentu. Na testovacím standu proběhly první zkoušky změn průměru filamentu, jak je znázorněno na následujícím obrázku.



Obr. 4.13: Ukázka testování trysky s měnitelným průměrem. Vlevo stand při průtoku s nastaveným malým výstupním otvorem, uprostřed stand při průtoku s nastaveným velkým výstupním otvorem, napravo výsledná vytištěná vlákna s rozdílnou tloušťkou

Praktickým testováním na standu se v současné době měří důležité parametry pro detailní návrh tiskové hlavy (je potřebná teplota trysky, minimální a maximální získaný průměr výstupního vlákna, atd).

V následujících měsících se budou získaná data vyhodnocovat a bude proveden návrh vhodného tvaru trysky na základě simulačních modelů. Na těchto základech bude upraven předchozí konstrukční návrh extrudéru, který se bude vyrábět a následně testovat.

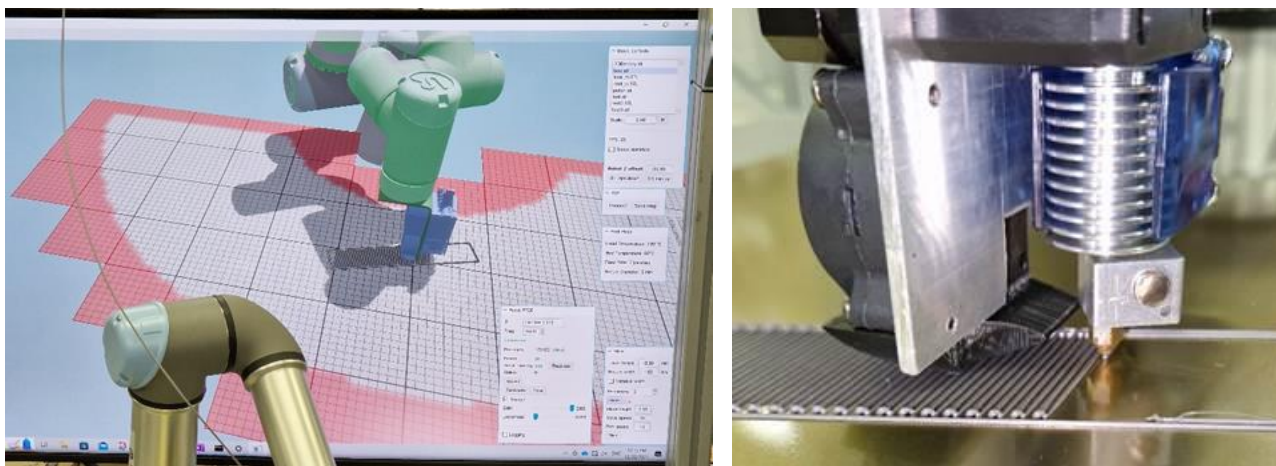
Pro testování SW a principu tisku robotem byl zakoupen a pak následně konstrukčně upraven extrudér pro připojení na robot UR3e. Také byla pořízena a konstrukčně upravena tisková podložka.

#### 4.2.12 Využití kolaborativního robotu pro aditivní výrobu součástí

V rámci řešeného projektu je na katedře vyvíjena tryska pro aditivní tisk s proměnlivým průměrem kladeného vlákna a k ní i vlastní software umožňující využití výhod této trysky při tisku pomocí kolaborativního robotu.

Hlavní částí tohoto software je vlastní tzv. slicer, tedy systém generující všechny dráhy pohybu trysky nezbytné pro správné vytištění požadovaného 3D modelu. Vstupem je model součástí ve formátu STL, který je v software nařezán na jednotlivé vrstvy tisku. V každé vrstvě jsou následně vytvořeny obrysové křivky (perimetry) vytvářející požadovaný hladký tvar povrchu výsledného výrobku a výplňové vzory zajišťující soudržnost tělesa a pevnostní parametry při úspoře tiskového materiálu. Inovací našeho řešení oproti existujícím komerčním i volně dostupným slicerům je především využití možnosti průběžné a plynulé změny průměru kladeného vlákna, čímž by se mohl proces tisku optimalizovat zvýšením rychlosti při zachování požadovaných detailů povrchu nebo zlepšením pevnostních charakteristik výrobku.

Součástí software je i kontrolér, který umožní provádět 3D tisk pomocí kolaborativního robotu s šesti stupni volnosti namísto klasické 3D tiskárny se třemi stupni volnosti. Tím se umožní nejen tisk mnohem větších objektů (při využití vhodného robotu), ale do budoucna i provádění složitějších tiskových ploch než běžných vodorovných vrstev. V současné době používáme robot UR3, stejný software půjde využít i pro větší roboty UR5 a UR10. Komunikace s robotem během tisku probíhá frekvencí 250 zpráv za sekundu a je tak dosaženo vysoké přesnosti pohybů.



Obr. 4.14: Demonstrace 3D tisku pomocí robotu; vlevo – vizualizace robotu v tiskovém SW během řízení reálného robotu; vpravo – testování prototypu tiskové hlavy

## 4.3 Nově podané projekty

Název a označení projektu	Poskytovatel grantu	Začátek	Délka řešení (roky)	Odpovědný řešitel na pracovišti	Stav	Fin. objem
SP2024/082 - Výzkum a vývoj prostředků percepce robotických systémů	MŠMT	2024	1	Ing. Václav Kryš, Ph.D.	Probíhá řízení	1,38 mil. Kč
OP TAK Aplikace – Platforma pro řízení autonomních robotů v logistických aplikacích s využitím AI a sítě 5G	MPO	2024	3	Kvados, a.s.	Projekt zamítnut	30,5 mil. Kč
TWIN4ROBOT HORIZON-WIDERA-2023-ACCESS-02-01 Proposal number: SEP-210975996	EU Horizon	2024	3	Prof. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.	Probíhá řízení	0,6 (z 1,5) mil. €

V přípravě jsou další tři projektové přihlášky.

## 4.4 Nové laboratoře, laboratorní přístroje

Na webových stránkách Fakulty strojní jsou k dispozici panoramatické fotografie vybraných laboratoří a pracovišť. Je zde k nahlédnutí i naše Centrum robotiky, viz:

<https://www.fs.vsb.cz/cs/katedry-a-pracoviste/laboratore/>

V prosinci roku 2023 byla zahájena rekonstrukce 1. patra budovy Staré menzy v prostoru kolejí, která rozšíří prostory stávajícího Centra robotiky našeho pracoviště. Rekonstrukce je financována z projektu Infrastrukturní podpora doktorských studijních programů VŠB-TUO, reg. č. CZ.02.01.01/00/22\_012/0008111 (výzva OP Jan Amos Komenský, Rozvoj infrastrukturního zázemí doktorských studijních programů), OP-JAK MŠMT, EU a měla by být dokončena ve druhém čtvrtletí roku 2024.

V rámci rekonstrukce budou vybudovány učebny – včetně zázemí pro tuzemské a zahraniční doktorandy:

### Učebna kolaborativní robotiky

- Způsoby a metody detekce a lokalizace obsluhy v rámci pracoviště.
- Metody vizuální a haptické zpětné vazby o stavu pracoviště operátorovi.
- Metody a navrhování účinných bezpečnostních opatření a jejich testování a kontrola.
- Metodika pro kontrolu plnění bezpečnostních limitů dle norem/technických specifikací.

### Učebna servisní robotiky

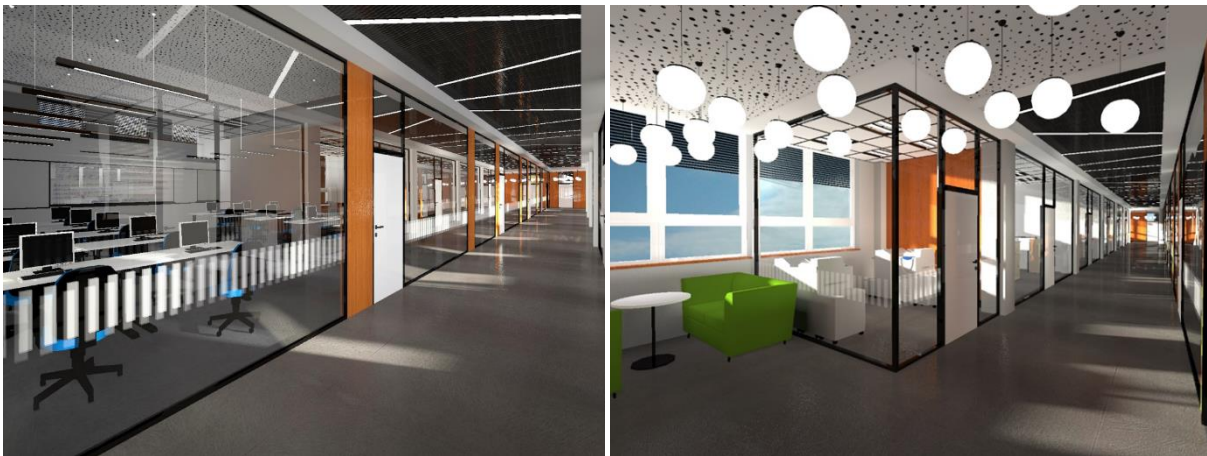
- Rozpoznávání objektů a on-line korekce trajektorie robotu.
- Detekce a korekce chybné orientace objektu manipulace.
- Manipulace pomocí 3D vidění.
- Adaptivní robotizované měření 3D dílů a součástí (výrobků).
- Optimalizace strategie měřicí trajektorie a měřicího pracoviště.
- Vyhledávací algoritmy mračen bodů, vývoj metrik, paralelizace vyhledávání v rozsáhlých databázích.
- Antikolizní systémy robotů založené na on-line úpravě trajektorie.

## Učebna robotických a mechatronických systémů v konceptu I4.0

- Robotizace v malých a středních podnicích, které nemají podporu velkých systémových integrátorů.
- Návrh optimální konfigurace robotizovaného pracoviště dle zadaných kritérií s využitím strojového učení.
- Nekonenční kinematické struktury manipulátorů a jejich optimalizace.
- Monitorování, vyhodnocování a optimalizace vybraných parametrů robotizovaného pracoviště.
- Zvyšování přesnosti manipulátorů.

## Učebna projektování a simulací robotických systémů

- Digitální dvojče, cloudové služby, HW a SW prostředky.
- Sensorické subsystémy.
- Strojové vidění, hybridní systémy.
- Využití virtuální a rozšířené reality.



Obr. 4.15. Vizualizace Centra robotiky po rekonstrukci

## 4.5 Počítačové učebny, výpočetní technika

V Centru robotiky – počítačová učebna s 20 PC pro výuku CAD systémů přesunuta do bývalé přednáškové místnosti. Přednášky probíhají v nově získané místnosti v prostorách Staré menzy KaMT27 (bývalá sborovna KTVS). Došlo tak k uvolnění plochy laboratoře, kde mohou probíhat výzkumné aktivity bez vyrušování probíhající výuky.

Další dvě počítačové učebny s cca 10 + 9 osobními počítači jsou na učebnách D122 a D123.



Obr. 4.16: Centrum robotiky – pracoviště s kolaborativními a průmyslovými roboty

## 5 SPOLUPRÁCE VE VĚDĚ A VÝZKUMU

### 5.1 Spolupráce se subjekty v ČR

V rámci výzkumu a vývoje v oblasti průmyslové, kolaborativní a servisní robotiky Katedra robotiky spolupracuje s předními pracovišti robotického výzkumu v ČR:

- ČVUT, CIIRC – Český ústav informatiky robotiky a kybernetiky
- VUT v Brně, Středoevropský technologický institut – CEITEC,
- Univerzita obrany Brno, Katedra vojenské robotiky,
- Moravskoslezský automobilový klastr,
- Vojenský opravárenský podnik Nový Jičín,
- C-modul, s.r.o.,
- Vitesco Technologies (Continental),
- Brose,
- Hella,
- Brano,
- Varroc,
- Moravský výzkum,
- Elvac,
- ABB,
- IFTSolutions,
- Excalibur Army (spadající pod Czechoslovak Group - CSG)

Dále katedra spolupracuje s řadou výrobních podniků, které mají v náplni také výzkum.

### 5.2 Spolupráce se subjekty v zahraničí

#### Slovensko

- Technická univerzita v Košiciach – Katedra výrobní techniky a robotiky, Katedra průmyslové automatizace a mechatroniky, Katedra aplikované mechaniky a strojnictví, Katedra technologií, materiálů a počítačové podpory výroby, Katedra průmyslního inženýrství a informatiky.
- STU Bratislava MTF – Ústav výrobních technologií, Ústav výrobních systémů, environmentální technologie a managementu kvality – Robotika.

#### Polsko

- Silesian University of Technology, Gliwice – Institute of Fundamentals of Machinery Design.

#### Rakousko

- Joanneum research – Institute for Robotics and Mechatronics, Klagenfurt am Wörthersee.
- University Innsbruck, Unit Geometry and CAD, Innsbruck.

- Carinthia University of Applied Sciences, Admire Research Centre, Villach, Rakousko – Aditivní technologie s robotickými systémy.

### **Dánsko**

- IT University of Copenhagen, Robotics, Evolution, and Art Lab.

### **Finsko**

- Department of Mechanical Engineering na Lappeenranta University of Technology.

### **Itálie**

- Fondazione Istituto Italiano di Tecnologia.
- DPIA - Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura, Università degli Studi di Udine, IT.
- Italian Institut of Technology, Dynamic Legged Systems – Kráčejší robotické systémy.
- LUT University, Laboratory of Mechani Design – Flexibilni robotické systémy.



## 6 ODBORNÉ AKCE

### 6.1 Národní konference a semináře

- Roboty 2023.
- PRINCIPIA CYBERNETICA – Setkání kateder automatizace a kybernetiky.
- Stretnutie katedier a ústavov výrobnjej techniky a robotiky.
- SKAKUI - Stretnutie katedier automatizácie, kybernetiky, umelej inteligencie a informatiky.
- SUPro 2023 - představení novinek a trendů v oblasti softwaru PTC, digitalizace výrobních procesů a podpoře rozšířené reality.

Viz také kapitola 3.6.4.

### 6.2 Mezinárodní konference a semináře

- ERF 2023 (European Robotics Forum): 16. 3. – 16. 3. 2023, Odense.
- PAIR23 (Planning in Artificial Intelligence and Robotics): 8. 12. 2023, VŠB-TUO – mezinárodní konference zaměřená na umělou inteligenci a robotiku (hlavní organizátor ČVUT, naše pracoviště spoluorganizátor).
- RAAD 2023 (32nd International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region): 16. 6. – 16. 6. 2023, Bled.

### 6.3 Jiné akce

#### 6.3.1 Exkurze na Centru robotiky a prezentace VaV výstupů katedry firmám

- Linaplast, s.r.o. – systémová integrace (nabídka stáží pro studenty a pracovních pozic pro absolventy).
- ICE Industrial Services a.s. – systémová integrace (nabídka stáží pro studenty a pracovních pozic pro absolventy).
- LOGICON Partner, s.r.o. – poradenská firma v oblasti automatizace logistiky (simulace logistických procesů ve Visual Components).
- ELCOM, a.s. – systémová integrace testovacích zařízení
- ABB CZ s.r.o. (představení VaV výstupů katedry, spolupráce v oblasti pedagogické a výzkumné, VaV stáže).

#### 6.3.2 Exkurze na Centru robotiky pro SŠ a ZŠ

- Gymnázium z Frenštátu pod Radhoštěm (18. 4. 2023).
- MG Vsetín (28. 6. 2023).
- Gymnázium O. Havlové (30. 11. 2023).
- Kroužek robotiky a rodičů (31. 1. 2023).

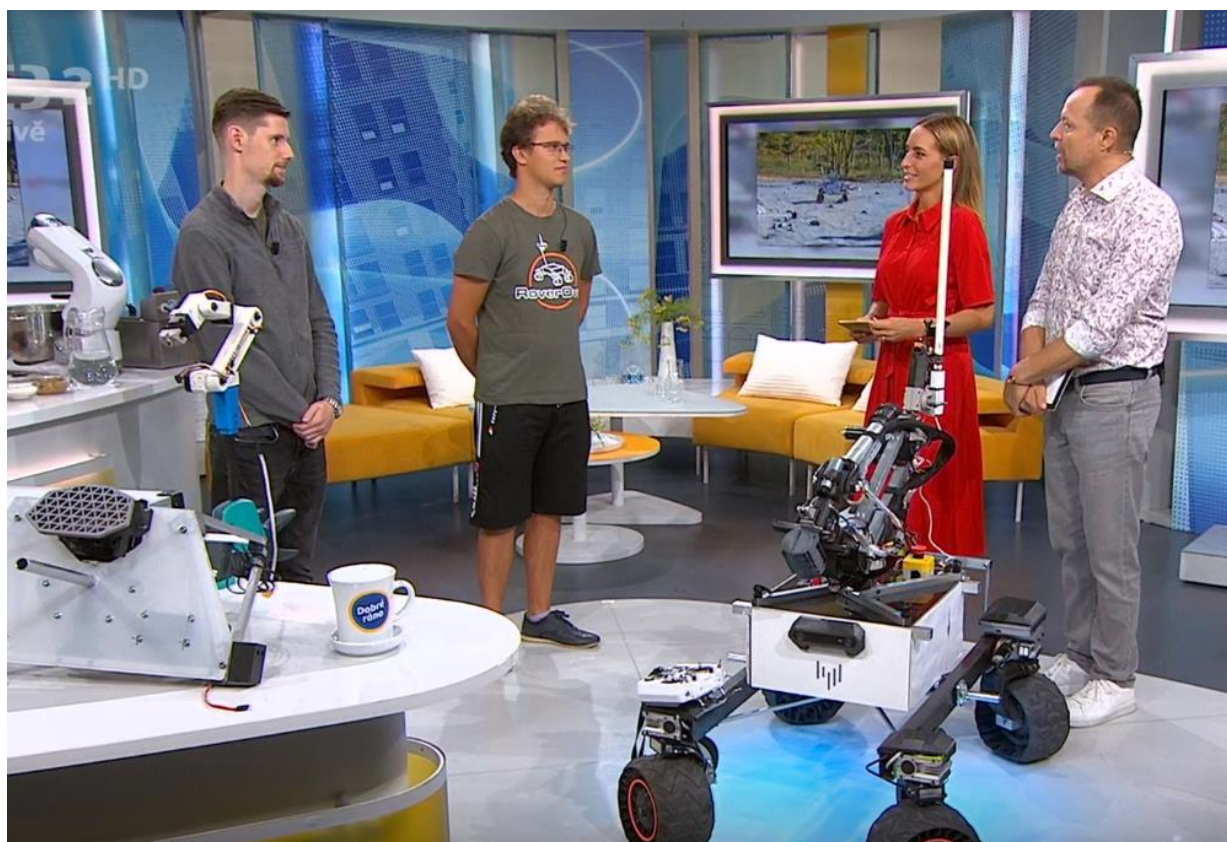


Obr. 6.1 Exkurze kroužku robotiky v laboratořích Centra robotiky

## 6.4 Jiné akce

### 6.4.1 Dobré ráno na České televizi

Dne 3. srpna jsme prezentovali soutěžní robot K3P4 na České televizi v rámci programu Dobré ráno. V rozhovoru jsme popisovali zmíněný mobilní robot, soutěže, kterých se účastnil v minulosti, a čerstvé vzpomínky z letošní soutěže v Utahu ve Spojených státech – URC2023. Dále jsme popisovali, jaké možnosti pro studenty nabízíme, například v projektu SGS – studentské grantové soutěže.



Obr. 6.2: Prezentace robotu K3P4 a Katedry robotiky v programu Dobré ráno – 3.8.2023

Další akce jsou popsány na Facebooku Katedry robotiky: <https://www.facebook.com/robot.vsb.cz>

## 7 PUBLIKAČNÍ ČINNOST

### 7.1 Články v zahraničních časopisech

HAGARA, Martin, HUŇADY, Róbert, LENGVARSKÝ, Pavol, VOCETKA, Michal a PALIČKA, Peter. [The Calibration Process and Setting of Image Brightness to Achieve Optimum Strain Measurement Accuracy Using Stereo-Camera Digital Image Correlation](#). *Applied Sciences*. 2023, vol. 13, issue 17. e-ISSN 2076-6341. Scopus, WoS, Q3

VARGA, Martin, VIRGALA, Ivan, KELEMEN, Michal, MIKOVÁ, Ľubica, BOBOVSKÝ, Zdenko, SINCAK, Peter Jan a MERVA, Tomáš. [Pneumatic Bellows Actuated Parallel Platform Control with Adjustable Stiffness Using a Hybrid Feed-Forward and Variable Gain Integral Controller](#). *Applied Sciences*. 2023, 13(24), 13261. Q3

SUDER, Jiří, MLOTEK, Jakub, PANEC, Alan and FOJTÍK, František. [Design of Printing Parameter Settings Methodology for FFF Printing of Waterproof Samples from a Flexible Material](#). *Acta Mechanica Slovaca*. 2023. 27(1). pp. 58-64.

LUKÁŠ, Dalibor and KOT, Tomáš. [Hierarchical Real-Time Optimal Planning of Collision-Free Trajectories of Collaborative Robots](#). *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2023, 107, article n. 57. Scopus, WoS, Q3

VYSOCKÝ, Aleš, POŠTULKA, Tomáš, CHLEBEK, Jakub, KOT, Tomáš, MASLOWSKI, Jan and GRUSHKO, Stefan. [Hand Gesture Interface for Robot Path Definition in Collaborative Applications: Implementation and Comparative Study](#). *Sensors*. 2023, 23(9), 4219. Scopus, WoS, Q2

KREJČÍ, Jakub, BABIUCH, Marek, BABJAK, Ján, SUDER, Jiří and WIERBICA, Rostislav. [Implementation of an Embedded System into the Internet of Robotic Things](#). *Micromachines*. 2023. 14(1), 113. Scopus, WoS, Q2

OŠČÁDAL, Petr, KOT, Tomáš, SPURNÝ, Tomáš, SUDER, Jiří, VOCETKA, Michal, DOBEŠ, Libor and BOBOVSKÝ, Zdenko. [Camera Arrangement Optimization for Workspace Monitoring in Human–Robot Collaboration](#). *Sensors*. 2023. 23(1), 295. Scopus, WoS, Q2

### 7.2 Příspěvky na mezinárodních konferencích

VOCETKA, Michal, HECZKO, Dominik, BABJAK, Ján, BOBOVSKÝ, Zdenko, KRYS, Václav, RUŽAROVSKÝ, Roman a BOČÁK, Robert. [UR10e Robot Drift Compensation for Precision Measurement Applications](#). In *Mechanisms and Machine Science*. 2023. 32nd International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, RAAD 2023. pp. 281-288. ISBN 9783031326059. ISSN 2211-1098. Scopus

MLOTEK, Jakub, SUDER, Jiří, VOCETKA, Michal, BOBOVSKÝ, Zdenko and KRYS, Václav. [The Effect of Deformation on Robot Shape-Changing Link](#). In *Advances in Service and Industrial Robotics. RAAD 2023. Mechanisms and Machine Science*. vol 135. Cham : Springer, 2023. ISBN 978-3-031-32605-9. Scopus

Pravidelně aktualizovaný přehled publikační činnosti a dalších výstupů Katedry robotiky je uveden na:

<http://robot2.vsb.cz/publikace/>

<http://robot2.vsb.cz/publications/>