

# 2021

## Výroční zpráva Katedry robotiky



Fakulta strojní,  
Vysoká škola báňská-  
Technická univerzita Ostrava

17. 1. 2022

## Výroční zpráva za rok 2021

### 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:** Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robotiky  
ul. 17. listopadu 2172/15  
708 00 Ostrava – Poruba

**Web katedry:** <http://robot.vsb.cz>

**Sociální síť:** <https://www.facebook.com/robot.vsb.cz>  
<https://vk.com/departmentofrobotics>

# 1. OBSAH

1.	OBSAH .....	3
2.	PROFIL PRACOVIŠTĚ .....	5
3.	PERSONÁLNÍ SLOŽENÍ PRACOVIŠTĚ .....	6
3.1.	Seznam pracovníků .....	6
3.1.1.	Odborný profil profesorů, docentů a odborných asistentů .....	6
4.	PEDAGOGICKÁ ČINNOST .....	7
4.1.	Pracovištěm garantované studium .....	7
4.1.1.	Bakalářské studium .....	7
4.1.2.	Magisterské studium .....	9
4.1.3.	Doktorské studium .....	11
4.2.	Obhájené závěrečné práce .....	12
4.2.1.	Bakalářské práce .....	12
4.2.2.	Diplomové práce .....	12
4.3.	Seznam doktorandů .....	14
4.4.	Obhájené disertační práce .....	15
4.5.	Studentské projekty .....	17
4.5.1.	SGS 2021 .....	17
4.5.2.	European Rover Challenge .....	18
5.	SPOLUPRÁCE V OBLASTI PEDAGOGICKÉ .....	20
5.1.	Významná spolupráce pracoviště se subjekty v ČR .....	20
5.2.	Významná spolupráce pracoviště se zahraničními partnery .....	21
5.3.	Zahraníční pobyty pedagogů i studentů pracoviště .....	21
5.4.	Přijetí zahraničních hostů nebo studentů .....	21
6.	VĚDECKO – VÝZKUMNÁ ČINNOST .....	22
6.1.	Řešené projekty .....	22
6.2.	Hlavní směry výzkumu a vývoje na pracovišti .....	22
6.2.1.	Zvyšování spolehlivosti sběru dat 2D liniových senzorů .....	22
6.2.2.	Adaptivní robotizovaná kontrola přesnosti předmětů vyrobených 3D tiskem a navařováním .....	23
6.2.3.	Zvyšování přesnosti manipulátoru .....	24
6.2.4.	Interakce člověka s robotem založená na gestech .....	26
6.2.5.	Zlepšení vzájemné informovanosti při spolupráci člověka s robotem .....	27
6.2.6.	Výzkum metody optimalizace návrhu pružných prstů pro soft robotiku .....	29
6.2.7.	Analýza zvýšení třecí síly čelistí robotu přidáním 3D tištěných flexibilních vložek .....	30
6.2.8.	Systém automatizace návrhu průmyslových robotů a manipulátorů .....	31
6.2.9.	Syntéza kinematických struktur .....	32
6.2.10.	Řídicí systém kolaborativního robotu pro vyhýbání se překážkám .....	33
6.2.11.	Syntéza optimalizované kinematické struktury robotu .....	34
6.2.12.	Vytváření 3D skenů reálných mechanických součástí .....	35
6.2.13.	Optimalizace kinematiky manipulátoru pomocí genetického algoritmu .....	35
6.2.14.	Generování kinematiky manipulátoru použitím neuronové sítě .....	36
6.2.15.	Automatizovaná montáž trubkových objímek .....	37
6.2.16.	Nízkonákladová automatizace .....	38
6.3.	Nově podané projekty .....	40
6.4.	Nové laboratoře, laboratorní přístroje .....	40
6.4.1.	Testovací pracoviště experimentálních robotů .....	40
6.5.	Počítačové učebny, výpočetní technika .....	41
7.	SPOLUPRÁCE VE VĚDĚ A VÝZKUMU .....	42
7.1.	Spolupráce se subjekty v ČR .....	42
7.2.	Spolupráce se subjekty v zahraničí .....	42

<b>8. ODBORNÉ AKCE</b> .....	<b>43</b>
8.1. Národní konference a semináře.....	43
8.2. Mezinárodní konference a semináře .....	43
8.3. Jiné akce .....	43
8.3.1. Art & Science.....	43
8.3.2. Dny NATO.....	44
8.3.3. Mezinárodní strojírenský veletrh .....	44
<b>9. PUBLIKAČNÍ ČINNOST</b> .....	<b>45</b>
9.1. Články v zahraničních časopisech .....	45
9.2. Články v domácích časopisech .....	46

## 2. PROFIL PRACOVÍŠTĚ

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 servisní robotiky a robototechniky a aplikace robotů i 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, v rámci bakalářského studijního programu Strojírenství a následně také v navazujícím magisterském studiu ve studijním programu Strojní inženýrství na Fakultě strojní. Katedra rovněž garantuje stejnojmenný doktorský obor 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 automotive firem v regionu.

Okruhy katedrou řešených problémů robotiky lze členit na: projekční, provozní, konstrukční, zkoušení a diagnostiku, simulace, měření, řízení a sensoriku, 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 sensorické 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. V roce 2021 byla stejně jako v roce 2020 tato aktivita nepříznivě ovlivněna restrikcemi v souvislosti s covid-19.

Pracovníci katedry i studenti řeší teoretické i aplikační úlohy, odpovídající uvedenému zaměření. Výuka probíhá v **Centru 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.

## 3. PERSONÁLNÍ SLOŽENÍ PRACOVISŤĚ

### 3.1. Seznam pracovníků

(stav k 31. 12. 2021)

Vedoucí katedry:	prof. Dr. Ing. Petr Novák
Zástupce vedoucího katedry:	doc. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
Tajemník katedry:	Ing. Václav Krys, Ph.D.
Sekretářka:	Ing. Petra Pišňáčková
Profesoři:	Vladimír Mostýn, Petr Novák
Docenti:	Zdenko Bobovský, Tomáš Kot, Milan Mihola
Odborní asistenti:	Ing. Ladislav Kárník, CSc. Ing. Václav Krys, Ph.D. Ing. Aleš Vysocký, Ph.D. Ing. Stefan Grushko, Ph.D. Ing. Robert Pastor Ph.D. Ing. Jiří Suder Ph.D. Ing. Michal Vocetka
Vědecko-výzkumní pracovníci:	Ing. Ján Babjak, Ph.D. Ing. Dominik Heczko Ing. Jakub Mlotek Ing. Petr Oščádal Ing. Zdeněk Zeman Ing. Tomáš Spurný Ing. Rostislav Wierbica Ing. Jakub Krejčí Ing. Adam Boleslavský
Odborně-techničtí pracovníci:	Karel Ranocha (do 8.2021)

#### 3.1.1. Odborný profil profesorů, docentů a odborných asistentů

Beze změny – viz <https://www.fs.vsb.cz/354/cs/kontakt/>

## 4. PEDAGOGICKÁ ČINNOST

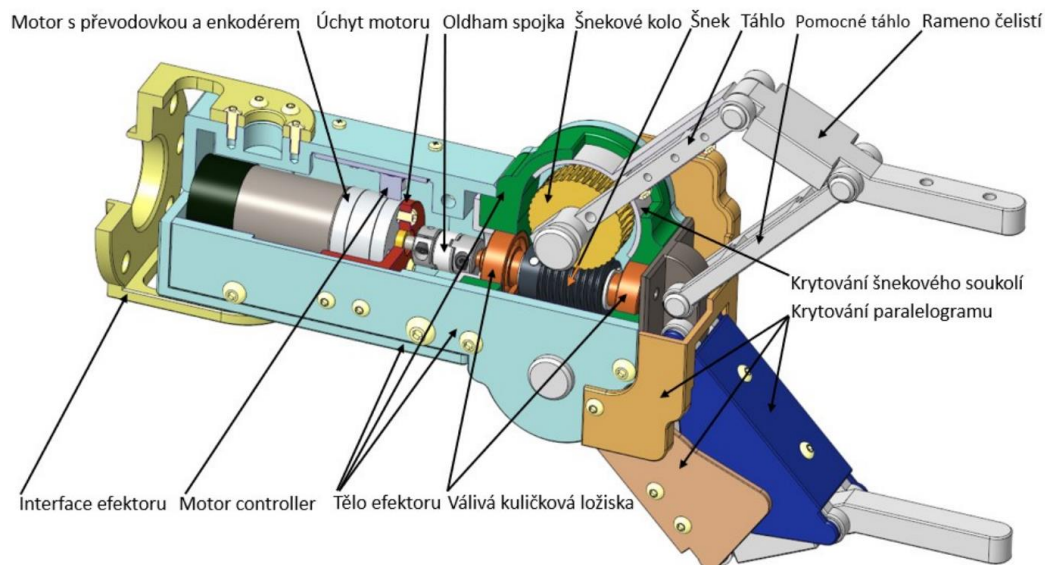
### 4.1. Pracovištěm garantované studium

#### 4.1.1. 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.



Obr. 4.1: (Bc.) Daniel Kovářik, Návrh bezpečného uchopovacího efektoru pro pracoviště se spolupracujícím robotem, bakalářská práce, vedoucí: Ing. Aleš Vysocký, Ph.D.

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.



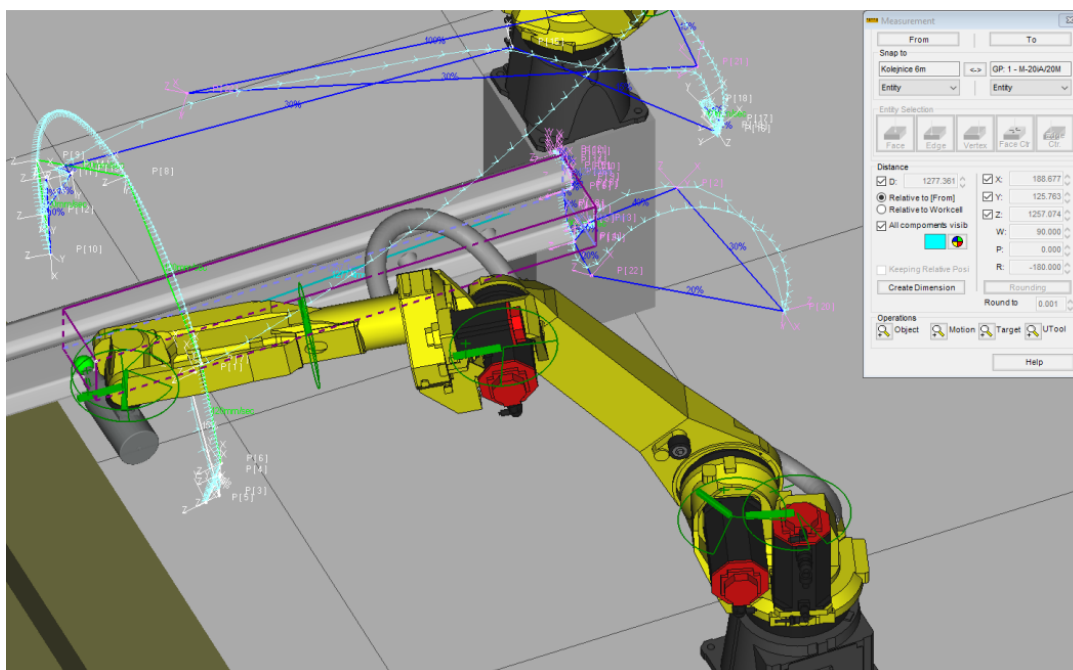
Název: **Mechatronika**

Kód studijního programu: B0714A270002

Garant SP: doc. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.

### 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.



Obr. 4.2: (Bc.) Robert Sliwka Robotické srážení hran kolejnicových profilů s využitím PLC, bakalářská práce, vedoucí: doc. Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D. – Katedra ATR

Absolventi bakalářského studijního programu Mechatronika mají znalosti potřebné pro práci se systémy s komplexní strukturou, které tvoří vzájemně propojené mechanické, elektrické a řídicí subsystémy. 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.



## 4.1.2. Magisterské studium

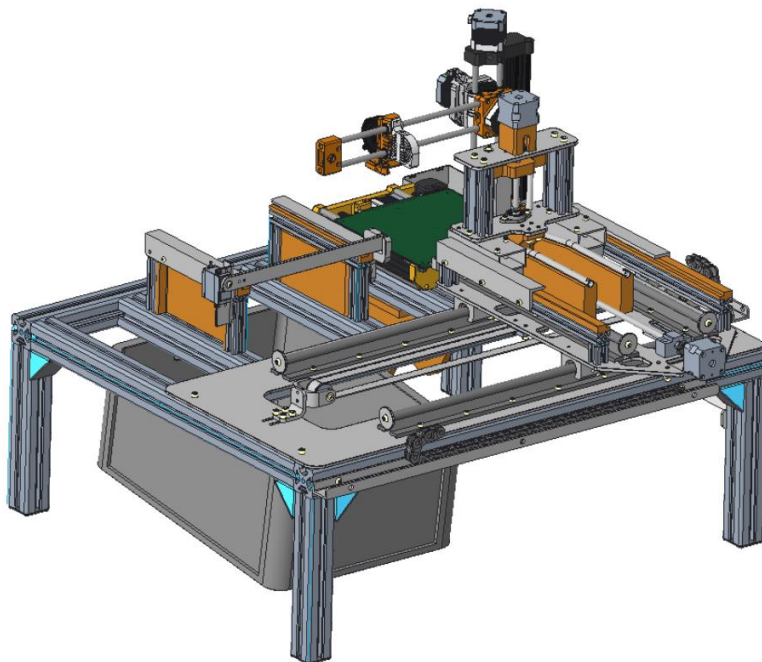
Název: **Robotika** (do š.r. 2021/2022)

Kód oboru: 2301T013-00

Garant oboru: Prof. Dr. Ing. Petr Novák

### Profil absolventa:

Navazující magisterský studijní obor „Robotika“ je zaměřen na navrhování, konstrukci a řízení průmyslových robotů a manipulátorů a jejich subsystémů. Obor je dále zaměřen na projektování robotizovaných technologických pracovišť, včetně jejich řízení, a problematiku aktuální legislativy a bezpečnostních předpisů. V souvislosti s aktuálními trendy v robotice, je výuka rovněž orientována na problematiku servisní robotiky a pro zájemce na biorobotiku. Součástí studia oboru je komplexní zvládnutí výkonných systémů počítačové podpory konstruování, jako je Creo Parametric a dalších výpočtových a simulačních systémů, vhodných pro pokročilé modelování a simulace v oblasti průmyslové i servisní robotiky. Značná pozornost je ve výuce věnována metodice tvorby technických systémů a metodice podpory inovačního procesu založené na technologii TRIZ, včetně počítačové podpory těchto činností. Obor Robotika je tedy velmi komplexní, primární strojní zaměření má velký přesah do souvisejících oblastí, jakými jsou řízení, sensorika, pohonné systémy a informatika. V závěrečné fázi studia se posluchači seznamují s nejnovějšími vývojovými trendy konceptu Průmysl 4.0, jako jsou internet věcí (IoT), rozšířená realita a digitální dvojče. Tyto nové dovednosti mohou uplatnit při vypracování diplomových prací.



*Obr. 4.3: (Ing.) Bc. Adam Stehlík, Systém automatického odebírání výtisků z 3D tiskárny, vedoucí Ing. Jiří Suder, Ph.D.*

Absolventi studijního oboru Robotika mají znalosti v oblasti konstruování průmyslových robotů a manipulátorů, projektování robotizovaných technologických pracovišť a vytváření servisních robotických systémů, včetně jejich nasazování. Znalosti z oblasti strojní jsou doplněny potřebnými znalostmi z oblasti řízení a sensoriky, softwarového inženýrství, návrhu řídicích systémů jak po stránce softwarové, tak po stránce hardwarové, dále znalostmi z oblasti elektroniky, strojového vidění a pohonů. Absolventi jsou připraveni k řešení inženýrských úloh v oblasti automatizace a

robotizace strojírenské výroby, aplikace servisních robotů ve výrobě, či službách. V oblasti projektování výrobních systémů s průmyslovými roboty mají absolventi potřebné znalosti z oblasti zabezpečení jejich provozu, údržby, spolehlivosti, bezpečnosti, seřízení a programování robotizovaných pracovišť.

Významné jsou také získané znalosti ve využívání vysoce výkonných systémů počítačové podpory pro konstruování, projektování, modelování, simulaci, programování, řízení aj., které jsou plně využitelné i mimo studovaný obor. Absolventi se uplatní jako konstruktéři, projektanti, provozní technici, specialisté pro různé oblasti aplikací výpočetní techniky – CAD, CAI, pokrývajících kromě konstrukčních činností i projekci a celou oblast technické přípravy výroby a správy životního cyklu výrobku (PLM systémy).

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

Kód studijního programu: N0719A270009 (česky), N0719A270010 (anglicky)

Garant oboru: Prof. Dr. Ing. Petr Novák

Studijní program Robotika obsahuje 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.

### **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.

### **Servisní robotika**

V rámci specializace Servisní robotika absolvent disponuje odbornými znalostmi navrhování a konstruování servisních robotů a jejich subsystémů, včetně jejich mechanické, hardwarové a softwarové části. Má znalosti o moderních materiálech a technologiích, včetně aditivních. Má znalosti o jednotlivých subsystémech, jako je řídicí, senzorický 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.

### 4.1.3. Doktorské studium

Název: **Robotika** (do š.r. 2021/2022)

Kód oboru: 2301V013

Garant oboru: prof. Dr. Ing. Vladimír Mostýn

#### **Charakteristika oboru:**

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. V oblasti tvorby a řešení inovačních zadání si absolventi osvojí základní metodické a vědecké postupy, v oblasti konstrukce získají absolventi 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 a v oblasti pohonných subsystémů jsou to znalosti nových elektrických, hydraulických a pneumatických pohonů a jejich aplikací. Cílem studia je prohloubení teoretických znalostí z magisterského studia, pochopení souvislostí a skloubení těchto znalostí k osvojení si mechatronického komplexního přístupu k vytváření robototechnických systémů jak v oblasti výrobní, tak v oblasti servisních činností.

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

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

Garant: prof. Dr. Ing. Petr Novák

#### **Odborné znalosti absolventa**

Obor je zaměřen na komplexní odborné znalosti absolventů zejména v oblasti konstrukce robotických zařízení, obor 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 dokáží 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. Dokáží srozumitelně a přesvědčivě sdělovat vlastní poznatky v oboru ostatním členům vědecké komunity na mezinárodní úrovni i široké veřejnosti.

## 4.2. Obhájené závěrečné práce

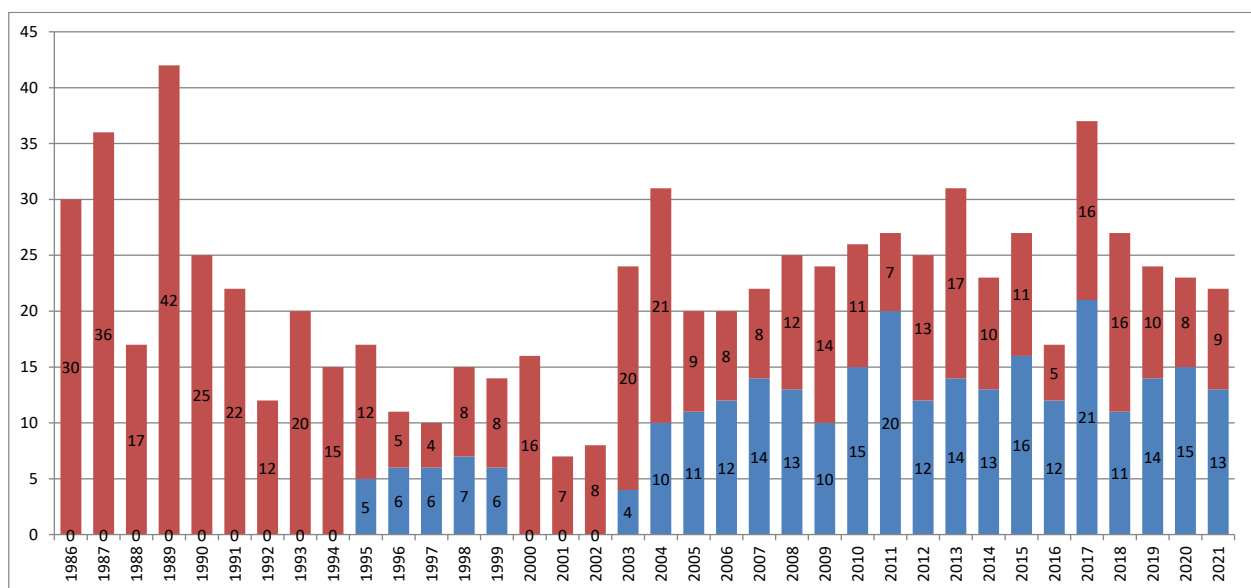
### 4.2.1. Bakalářské práce

	Student	Vedoucí	Téma
1.	Vojtěch Bartl	Ing. Zdeněk Zeman	Válečkový dopravník pro dopravu delších tyčí kruhového průřezu
2.	Jakub Častulík	Ing. Václav Kryš, Ph.D.	Současný stav servisní robotiky pro logistická centra
3.	Daniel Kovářík	Ing. Aleš Vysocký, Ph.D.	Návrh bezpečného uchopovacího efektoru pro pracoviště se spolupracujícím robotem
4.	Sebastian Matůš	doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.	Analýza současného stavu mobilních servisních robotů založených na platformě Arduino
5.	Jan Pavčo	Ing. Jakub Mlotek	Konstrukční návrh dvouosého kamerového polohovadla
6.	Ing. Kateřina Pekařová	Ing. Daniel Huczala	Využití zpracování mozkových signálů v robotice
7.	Čeněk Slezák	Ing. Jiří Suder, Ph.D.	Návrh zařízení pro laserové gravírování
8.	Jakub Stonawski	Ing. Václav Kryš, Ph.D.	Knihovna 3D modelů pneumatických komponent pro simulační modely a návrh přísavkového efektoru
9.	Pavel Škoda	Ing. Aleš Vysocký, Ph.D.	Demonstrační úloha s robotem UR3

### 4.2.2. Diplomové práce

	Student	Vedoucí	Téma
1.	Bc. Jan Bém	Ing. Aleš Vysocký, Ph.D.	Návrh podvozku roveru pro soutěž URC
2.	Bc. Adam Boleslavský	doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.	Automatizovaná rekonfigurace 3D modelu robotizovaného pracoviště
3.	Bc. Tereza Kanisová	doc. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.	Virtuální dvojče servisního robotického systému
4.	Bc. Tomasz Kowalczyk	doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.	Návrh robotizovaného pracoviště pro svařování lodních skladových kontejnerů
5.	Bc. Jakub Krejčí	Ing. Václav Kryš, Ph.D.	Demonstrační úlohy spolupráce dvou robotů IRB 1200
6.	Bc. Marek Mihálik	Ing. Michal Vocetka	Demonstrační pracoviště s robotem IRB 1660
7.	Bc. Marek Ročňák	Ing. Jiří Suder	Návrh automatického podavače filamentu
8.	Bc. Josef Rozsypal	Ing. Václav Kryš, Ph.D.	Návrh automatizovaného podávání polotovarů do pracoviště

9.	<a href="#">Bc. Tomáš Spurný</a>	Ing. Robert Pastor, Ph.D.	Ovládací a navigační subsystém mobilního robotu
10.	<a href="#">Bc. Adam Stehlík</a>	Ing. Jiří Suder	Systém automatického odebrání výtisků z 3D tiskárny
11.	<a href="#">Bc. Luboš Varecha</a>	doc. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.	Robotizovaný systém pro vykládku lodních kontejnerů
12.	<a href="#">Bc. Jan Vicherek</a>	Ing. Václav Krys, Ph.D.	Konstrukční návrhy efektorů průmyslových robotů
13.	<a href="#">Bc. Rostislav Wierbica</a>	Ing. Michal Vocetka	Návrh a realizace demonstrační úlohy obrábění robotem



Obr. 4.4: Celkový přehled počtů absolventů oborů (dříve Výrobní systémy s Průmyslovými roboty a manipulátory a nyní Robotika) Katedry robotiky – Bc. modrá, Ing. červená

### 4.3. Seznam doktorandů

	Student	Téma práce	Roč.	Forma	Školitel
1.	Ing. Stefan Grushko, Ph.D.	Plánování pohybu manipulátoru v dynamickém prostředí při využití informací z RGB-D senzoru	4. *	P	doc. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
2.	Ing. Robert Pastor, Ph.D.	Aplikování strojového učení při návrhu kinematických struktur robotů	4. *	P	prof. Dr. Ing. Petr Novák
3.	Ing. Jiří Suder, Ph.D.	Využití 3D tisku v konstrukci robotů	4. *	P	doc. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
4.	Ing. Dominik Heczko	Zvyšování přesnosti pozice a orientace objektů při jejich umístění manipulátorem	4.	P	doc. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
5.	Ing. Daniel Huczala	Syntéza kinematické struktury robotických manipulátorů	4.	P	Doc. Ing. Tomáš Kot, Ph.D.
6.	Ing. Michal Vocetka	Zvyšování přesnosti manipulátorů	4.	P	doc. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
7.	Ing. Jakub Mlotek	Tvar měnitelné nosné prvky robotických systémů	3.	P	doc. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
8.	Ing. Petr Oščádal	Optimalizace trajektorie ramene robotu v dynamicky se měnícím pracovním prostoru	3.	P	doc. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
9.	Ing. Zdeněk Zeman	Topologický design ramen robotů	3.	P	prof. Dr. Ing. Petr Novák
10.	Ing. Jan Bém	Modularita jako klíčový aspekt robotiky	1.	P	doc. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
11.	Ing. Adam Boleslavský	Automatizace procesu návrhu mechatronických zařízení	1.	P	Doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.
12.	Ing. Jakub Krejčí	Koncepce IoRT (Internet of Robotic Things) a její využití	1.	P	Doc. Ing. Marek Babiuch, Ph.D.
13.	Ing. Tien Hiep Nguyen	Optimalizace metodických postupů používaných při návrhu mechatronických zařízení	1.	P	Doc. Ing. Milan Mihola, Ph.D.
14.	Ing. Tomáš Spurný	Plánování pohybu manipulátoru v dynamicky se měnícím pracovním prostoru	1.	P	doc. Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.
15.	Ing. Rostislav Wierbica	Nalezení optimální kinematické struktury robotického manipulátoru pro danou úlohu	1.	P	Doc. Ing. Tomáš Kot, Ph.D.

\*) Úspěšně ukončené doktorské studium v roce 2021

P – prezenční forma studia



## 4.4. Obhájené disertační práce

**Ing. Robert Pastor, Ph.D.**

**Název: Aplikování strojového učení při návrhu kinematických struktur robotů**

Evoluční robotika má za cíl vytvářet roboty a jejich kontroléry metodami inspirovanými evolucí organismů v přírodě, jako jsou optimalizace genetickými algoritmy a řízení neuronovými sítěmi. Strojové učení se zabývá algoritmy a technikami pracujícími s matematickým modelem, který procesem učení schopný řešit často špatně definovatelné úlohy. Evoluční robotika zkoumá metody automatického návrhu robotů již od 80. let 20. století, avšak výzkum většinou neopustí laboratoře a v praxi se téměř nepoužívá. To může být způsobeno výpočetní složitostí používaných metod, kdy optimalizace kinematiky robotu probíhá příliš dlouho a s nejistým výsledkem pro praktické použití. V disertační práci jsou pro syntézu kinematiky robotu použity převážně úlohy, ve kterých se optimalizuje kinematika manipulátoru pro trajektorii definovanou cílovými body. Hlavní částí je metoda optimalizace manipulátoru pro danou úlohu pomocí genetického algoritmu v prostředí MATLAB. Je zde kladen důraz na správnou definici optimalizovaného vektoru neboli genotypu a na definici účelové funkce, podle které je manipulátor ověřován. Výsledky metody jsou prezentovány na několika příkladových úlohách. Dále je uveden návrh ověření výsledků na reálném modulárním manipulátoru. Následuje popis metody, která používá neuronové sítě pro rychlý návrh kinematiky robotu.

**Ing. Stefan Grushko, Ph.D.**

**Název: Plánování pohybu manipulátoru v dynamickém prostředí při využití informací z RGB-D senzoru**

Výzkum v této práci se zaměřuje na téma plánování pohybu robotu a informování člověka o pohybu robotu během spolupráce ve sdíleném pracovním prostoru. Požadavkem je nejen teoretické zkoumání možností, ale také praktická realizace experimentálního pracoviště k ověření navržených principů. Úvodní část práce analyzuje současný stav v oblasti plánování trajektorií, frameworků plánování pohybu robotů, vnímání prostředí, přístupů ke zlepšení vzájemného povědomí během spolupráce člověk-robot a implementace zařízení taktilní zpětné vazby. Hlavním přínosem výzkumu je koncept nového kolaborativního systému, který kombinuje rychlé plánování trajektorie robotu se systémem pro upozornění uživatele na tuto plánovanou trajektorii robotu a jeho současný stav. Principy systému jsou implementovány a testovány na experimentálním kolaborativním pracovišti. Systém plánování trajektorie robotu je založen na frameworku plánování pohybu optimalizovaném pro lepší výkon v sadě úkolů simulovaných ve virtuálním prostředí. Předpokládá se, že použití navrhovaného notifikačního systému během spolupráce člověka s robotem zlepší celkový výkon, povědomí o plánované trajektorii robotu a podpoří pozitivní vnímání úlohy u člověka. Za účelem testování této hypotézy je prováděna uživatelská studie a její data jsou statisticky zpracována a analyzována. Výsledky ukazují potenciál vyvinutého přístupu pro zlepšování kvality interakce při spolupráci člověk-robot. Téma práce je relevantní pro nasazení spolupracujících robotů v průmyslových úlohách a zaměřuje se na zlepšení efektivity spolupráce člověka a robotu.

**Ing. Jiří Suder, Ph.D.**

**Název: Využití 3D tisku v konstrukci robotů**

Disertační práce se zabývá využitím metody 3D tisku v konstrukci robotů, přičemž se zaměřuje na metodu Fused Filament Fabrication. Věnuje se některým vybraným tématům spojeným s návrhem a realizací materiálů, které mohou být dále použity i pro konstrukci robotů. Práce se zabývá testováním lepených spojů, vlivem žíhání tištěných vzorků na jejich výslednou pevnost a teplotní odolnost, zkouškám vodotěsnosti a tlakovým zkouškám. Testovanými materiály jsou nejčastěji PLA a relativně nové flexibilní materiály TPU. Součástí práce je také řešení základních problémů při tisku z flexibilních materiálů. Řešení spočívá v návrhu vlastního extrudéru na tiskárně vlastní konstrukce a implementaci zakoupeného speciálního extrudéru Flexion pro tisk z flexibilních materiálů na zakoupenou tiskárnu Original Prusa I3 MK3S. Práce obsahuje metodiku pro nastavení parametrů tisku k dosažení vodotěsného tištěného vzorku. Dále se práce zabývá využitím 3D tisku z pružných materiálů pro konstrukci robotů. V této části jsou uvedeny dvě aplikace. První je využití tištěných pružných vložek čelistí kolaborativního robotu ke zvýšení třecí síly čelisti. Druhou aplikací jsou tištěné adaptivní prsty založené na Fin Ray efektu pro využití v soft robotice. Součástí testování Fin Ray prstů je návrh nové a jednoduché metody pro optimalizaci těchto prstů z hlediska jejich obalení okolo vtláčovaného objektu. Také je zde uveden postup pro simulaci těchto čelistí a porovnání simulací s reálnými testy na tištěných prstech.

## 4.5. Studentské projekty

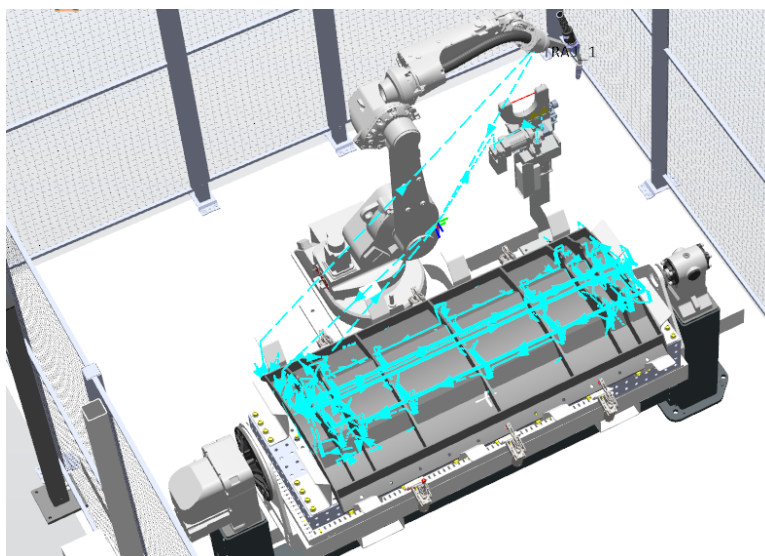
Popis projektů a aktivit realizovaných s významným zapojením studentů navazujícího magisterského studijního programu a doktorského studijního programu Robotika.

### 4.5.1. SGS 2021

Projekt studentské grantové soutěže „*Digitální dvojčata robotických systémů a procesů*“ byl rozdělen do čtyř hlavních aktivit tak, aby bylo možné zapojit do jejich řešení co největší počet studentů doktorského a navazujícího magisterského denního studia. Na řešení projektu se podílelo 24 studentů doktorského a navazujícího studijního programu. V rámci řešeného projektu byla podpořena příprava 9 článků v domácích i zahraničních žurnálech. Z toho bylo 7 publikováno v žurnálech s impakt faktorem (4x Q1 a 3x Q2). Dále byl registrován 1 FV a 1 ASW.

Hlavní aktivity projektu:

- Simulační modely robotizovaných pracovišť a jejich subsystémů
- Simulační modely mobilních robotů a jejich subsystémů
- Aplikace internetu věcí u robotických systémů
- Návrhy, realizace a testování pružných materiálů a jejich aplikace v robotice

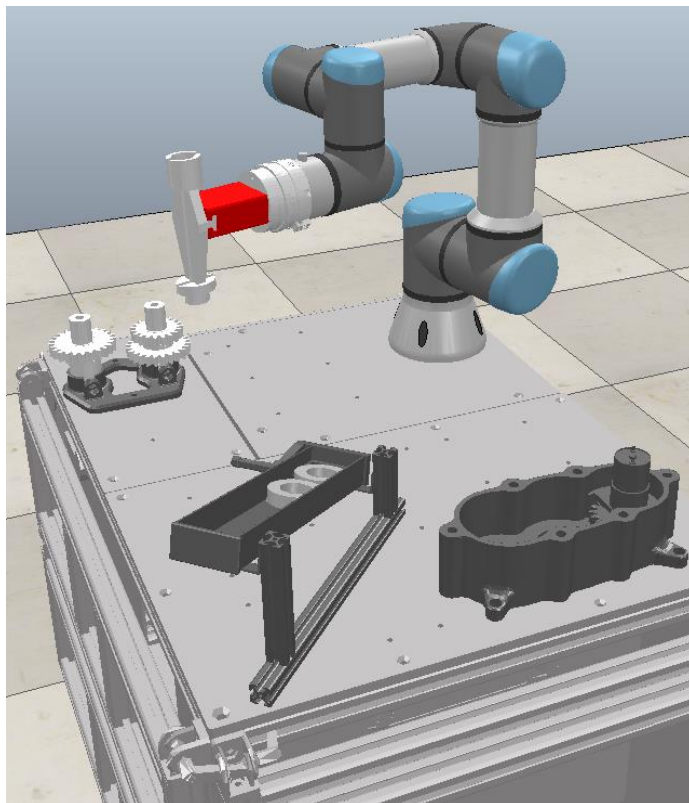


*Obr. 4.5: Náhled vytvořeného simulačního modelu svařovacího pracoviště s IRB 1660 s vyznačenou trajektorií koncového bodu robotu*

V roce 2021 bylo obhájeno celkem 9 závěrečných prací (3 disertační a 6 diplomových) podpořených, nebo souvisejících s SGS projektem:

- 1) Ing. Stefan Grushko, Ph.D. – Motion planning for manipulator in dynamic environment using RGB-D sensor
- 2) Ing. Robert Pastor, Ph.D. – Aplikování strojového učení při návrhu kinematických struktur robotů
- 3) Ing. Jiří Suder, Ph.D. – Využití 3D tisku v konstrukci robotů

- 4) Ing. Tereza Kanisová – Virtuální dvojče servisního robotického systému
- 5) Ing. Jakub Krejčí – Demonstrační úlohy spolupráce dvou robotů IRB 1200
- 6) Ing. Marek Mihálik – Demonstrační pracoviště s robotem IRB 1660
- 7) Ing. Tomáš Spurný – Ovládací a navigační subsystém mobilního robotu
- 8) Ing. Luboš Varecha – Robotizovaný systém pro vykládku lodních kontejnerů
- 9) Ing. Rostislav Wierbica – Návrh a realizace demonstrační úlohy obrábění robotem



*Obr. 4.6: Náhled simulačního modelu pracoviště s kolaborativním robotem UR3 v SW systému CoppeliaSim*

#### 4.5.2. European Rover Challenge

V září se náš katedrální studentský tým RoverOva (<http://rover.vsb.cz/>) znovu účastnil mezinárodní soutěže European Rover Challenge. Pro tento ročník vyžadoval náš soutěžní robot řadu úprav, na kterých studenti pracovali během letních měsíců. Soutěže se v Polsku účastnilo šest členů týmu z řad studentů magisterských a doktorských studijních programů. Tým získával body v pěti soutěžních disciplínách a nakonec dosáhl na šesté místo z 20 kvalifikovaných týmů (50 přihlášených týmů).

Soutěžní robot K3P4 je vybaven čtyřkolovým podvozkem s nezávislým otáčením všech kol, manipulátorem s pěti stupni volnosti s efektořem pro ovládání průmyslového panelu, manipulačním modulem pro zakládání a sběr měřicích schránek s kamerovými moduly pro intuitivní ovládání a autonomní navigaci v terénu. V návaznosti na práci na soutěžním roveru vznikly v tomto roce dvě diplomové práce.





*Obr. 4.7: Soutěžní studentský tým na soutěži ERC 2021 v Polsku*



*Obr. 4.8: Soutěžní mobilní robot K3P4 během jízdy na ERC 2021 v Polsku*

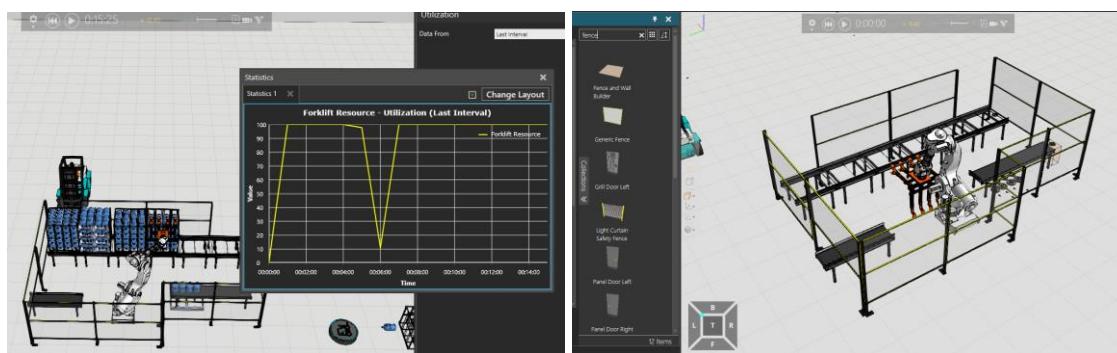


## 5. SPOLUPRÁCE V OBLASTI PEDAGOGICKÉ

### 5.1. Významná spolupráce pracoviště se subjekty v ČR

V rámci řešení projektů DMS – Platforma pro výzkum orientovaný na Průmysl 4.0 a robotiku v ostravské aglomeraci navázána/prohloubena spolupráce s:

- HELLA Autotechnik Nova, s.r.o.,
- Brose CZ a dalšími firmami zejména z oblasti automotive,
- VOP s.p.,
- Moravskoslezský automobilový klastr,
- Brano,
- Varroc,
- Vitesco Technologies (Continental),
- ABB – již 6 rokem probíhají v průběhu zimního semestru týdenní odborné stáže studentů (5.ročník) v ABB Hrabové – celosvětové repas centrum průmyslových robotů ABB, kde provádějí kompletní „rozborku- zborku“ průmyslových robotů plus potřebná výstupní měření. Studenti absolvují test a získají certifikát.
- SoliCAD s.r.o. - Na základě vyhodnocení výstupů a přípravy implementace SW **Visual Components** do výuky bylo společností SoliCAD s.r.o. zajištěno použití tohoto simulačního systému pro výukové účely. SW bude využíván ve výuce projektování robotizovaných pracovišť pro koncepční návrhy pracovišť a ověřování sekvencí na nich prováděných operací.



Obr. 5.1: Simulační modely robotizovaného pracoviště v SW Visual Components

- 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 po dobu 3 let. Toto nám umožňuje dále získávat zkušenosti a vytvářet případové studie využití IoT v oblasti robotických systémů. Jsou připravovány data a modely pro využití rozšířené a virtuální reality v oblastech průmyslové a servisní robotiky.



## 5.2. Významná spolupráce pracoviště se zahraničními partnery

- TU Košice – Katedra mechatroniky, Katedra výrobní techniky a robotiky, Katedra aplikované mechaniky a strojněho inženýrstva. (VaV),
- SUT Gliwice Department of Fundamentals of Machinery Design. (mezinárodní projekt, stáže),
- STU MFT Trnava,
- University of Innsbruck. (VaV, stáže)

## 5.3. Zahraniční pobyty pedagogů i studentů pracoviště

Z důvodu restrikcí Covid-19 se musela řada naplánovaných akcí zrušit, případně odložit. Uskutečnily se následující pobyty:

- Ing. Daniel Huczala – University of Innsbruck, Unit of Geometry and Surveying, květen a červen 2021, financováno programem Aktion skrze rakouskou agenturu OeAD
- Ing. Daniel Huczala – University of Innsbruck, Unit of Geometry and Surveying, listopad a prosinec 2021, financováno z Centrum výzkumu pokročilých mechatronických systémů.

## 5.4. Přijetí zahraničních hostů nebo studentů

Z důvodů restrikcí v souvislosti s Covid-19 nebylo realizováno.

## 6. VĚDECKO – VÝZKUMNÁ ČINNOST

### 6.1. Řešené projekty

Název projektu (číslo, označení)	Poskytovatel grantu	Rok zahájení řešení	Délka řešení (roky)	Odpovědný řešitel/řešitel na pracovišti	Počet pracovníků	Finanční objem (Kč)
Centrum výzkumu pokročilých mechatronických systémů. Research Centre of Advanced Mechatronic Systems <i>Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání, Výzva č. 02_16_019 pro Excelentní výzkum v prioritní ose 1 OP</i>	MŠMT	10/2017	5	VP2 prof. Dr. Ing. Vladimír Mostýn	8	<b>64 M z 240 M</b>
DMS – Platforma pro výzkum orientovaný na Průmysl 4.0 a robotiku v ostravské aglomeraci (FEI, FS, FMMI)	MŠMT	2018	5	VP2 prof. Dr. Ing. Petr Novák	11	<b>16 M z 80 M</b>
SP2021/47 – Digitální dvojčata robotických systémů a procesů	MŠMT	2021	1	Ing. Václav Krys, Ph.D.	5 zam., 24 stud.	0,84 M
Národní centrum kompetence - Mechatroniky a chytrých technologií pro strojírenství (NCK MESTEC)	TAČR	2021	1,3	Dílčí cíl 3.7 prof. Dr. Ing. Petr Novák	12 (5)	<b>3,7 M z 10,7 M</b>
Robot pro účast na soutěžích	MŠMT	2019	2	Ing. Robert Pastor, Ph.D.	4 zam., 8 stud.	<b>90 k</b>
Nízkonákladová automatizace	MŠMT	2021	2	Prof. Dr. Ing. Vladimír Mostýn	4	<b>2,5 M</b>

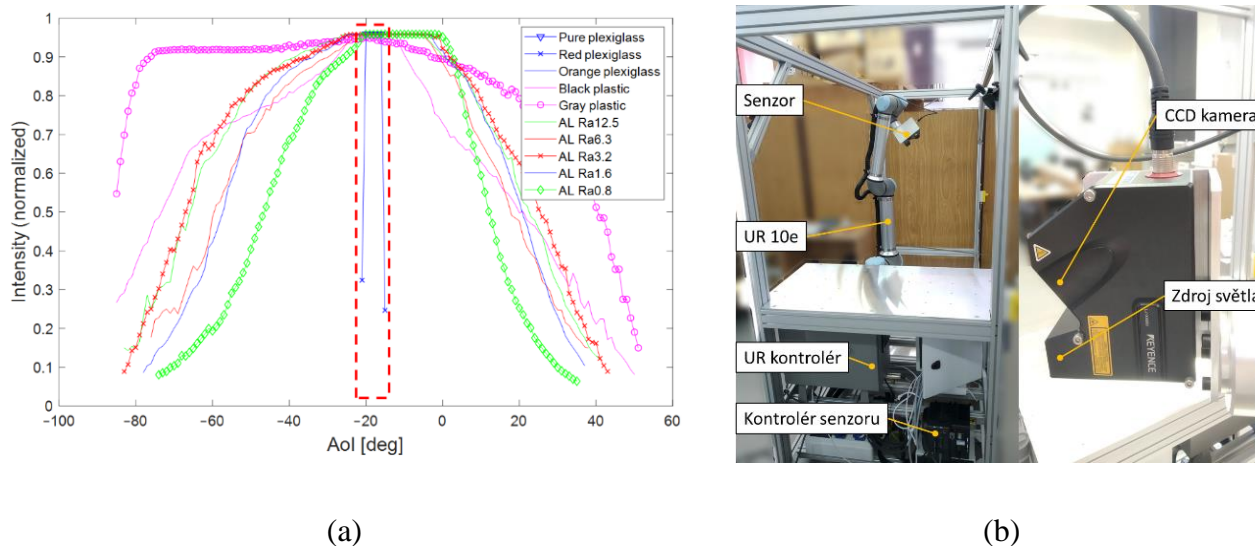
### 6.2. Hlavní směry výzkumu a vývoje na pracovišti

Následující kapitoly prezentují část vědecko-výzkumných témat, která byla pracovníky a doktorandy Katedry robotiky řešena zejména v rámci výše uvedených projektů a byla již publikována.

#### 6.2.1. Zvyšování spolehlivosti sběru dat 2D liniových senzorů

V průmyslu jsou 2D laserové, liniové, triangulační senzory (dále jen LLT senzor) často používané pro měření a kontrolu funkčních ploch vyráběných dílů. 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. Proto jsme v této části výzkumu zkoumali vliv úhlu dopadu laserového paprsku na intenzitě odraženého paprsku laseru. Pro triangulační laserové

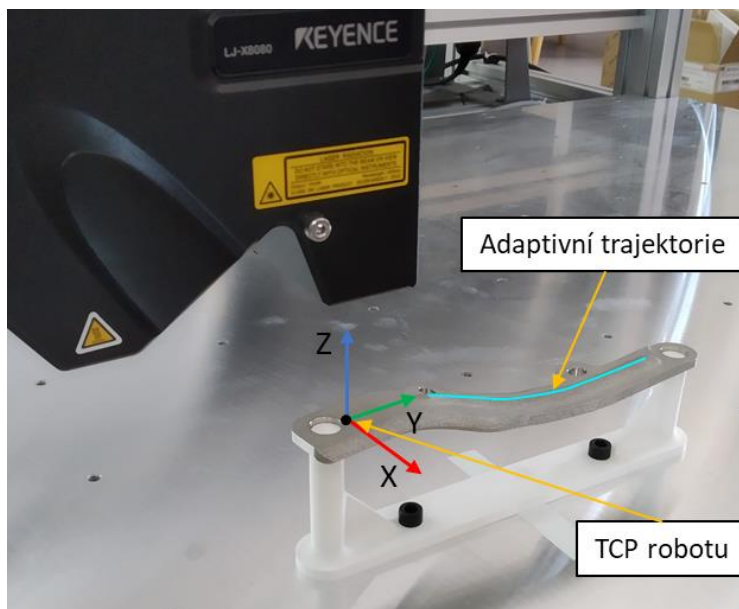
senzory je důležité, aby se alespoň část světla odrazila z povrchu do přijímače (CCD čipu) senzoru. Problematické je zejména skenování lesklých, velice hladkých a průhledných ploch, kde se paprsek může odrazit od povrchu mimo CCD čip senzoru a sensor nedetekuje laserovou linii. Proto byly změřeny charakteristiky úhlu dopadu laserového paprsku na intenzitě odraženého paprsku laseru pro materiály běžně používané v automobilovém průmyslu. Tyto charakteristiky, které je možné vidět na obrázku níže (a) a byly změřeny na experimentálním pracovišti s robotem UR10e (Obrázek níže, (b)). Naměřené závislosti pomáhají při umístění senzorů vůči skenované součásti pro zvýšení spolehlivosti sběru dat. Podrobně je výzkum popsán v článku HECZKO, Dominik, Petr OŠČÁDAL, Tomáš KOT, Daniel HUCZALA, Ján SEMJON a Zdenko BOBOVSKÝ. Increasing the Reliability of Data Collection of Laser Line Triangulation Sensor by Proper Placement of the Sensor. *Sensors*. 2021, **21**(8). ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s21082890.



Obr. 6.1: (a) naměřené charakteristiky úhlu dopadu laserového paprsku na intenzitě odraženého paprsku laseru; (b) pro různé materiály pracoviště pro měření charakteristik

## 6.2.2. Adaptivní robotizovaná kontrola přesnosti předmětů vyrobených 3D tiskem a navařováním

Kontrola přesnosti předmětů vyrobených 3D tiskem a navařováním se provádí pomocí laserového, liniového, triangulačního senzoru LJ-X8080 (dále jen LLT senzor) s řídicí jednotkou LJ-X8000. Řídicí jednotka LLT senzoru disponuje integrovaným softwarem pro měření základních parametrů ve 2D profilu, jako jsou souřadnice nejvyššího bodu, úhel vybrané roviny k referenční části, rádius vybraného uzlu a další. Předměty vyrobeny 3D tiskem jsou tvarově složité, proto byl vytvořen algoritmus pro sledování a následné měření vybraného tvarově složitého prvku na součásti. Na obrázku níže je znázorněn průběh měření. Nejprve se senzor polohuje pouze v ose Y. Jakmile bude TCP robotu v zájmové oblasti, algoritmus začne hledat polohu měřeného prvku. TCP robotu (totožný se souřadným systémem senzoru) bude kopírovat „adaptivní trajektorii“ – na obrázku níže značeno azurovou linií.



Obr. 6.2: Měření parametrů objektu adaptivním měřením

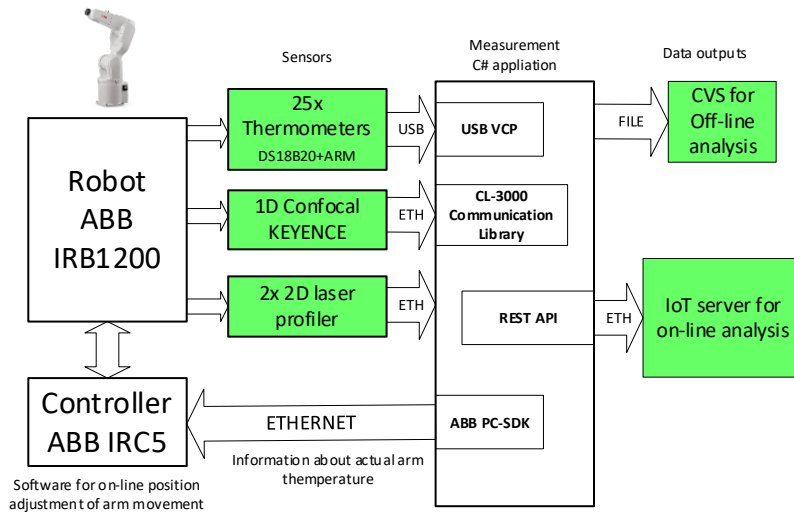
### 6.2.3. Zvyšování přesnosti manipulátoru

V návaznosti na předchozí výzkum, který je shrnut v publikaci *Influence of the Approach Direction on the 2 Repeatability of an Industrial Robot* (<https://doi.org/10.3390/app10238714>) byl zkoumán vliv teploty struktury průmyslového robotu na opakovatelnou přesnost, který je obecně znám pod pojmem drift. Díky dříve stanoveným teplotním charakteristikám bylo možné na dvojici robotů ABB IRB 1200, které jsou osazeny okruhy teplotních čidel, provést měření driftu a teploty zároveň. Na základě této informace pak byla sestavena sada kompenzačních rovnic, které určí hodnotu driftu v osách X, Y a Z při konkrétní teplotě jednotlivých částí průmyslového robotu. Při podrobné znalosti vlivu driftu na strukturu lze tento vliv značně snížit.

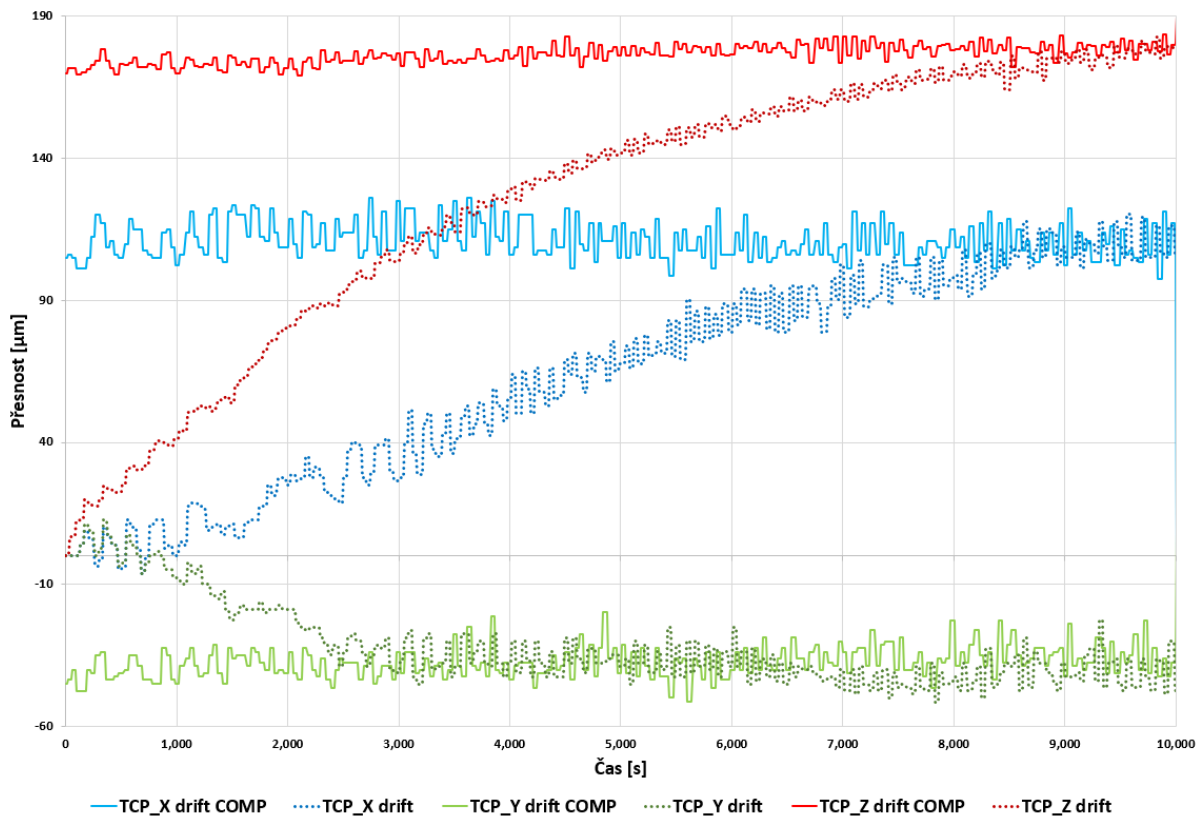


Obr. 6.3: Měřicí hnízdo. Robot s definovanou zátěží v podobě měřicí krychle se přibližuje ke konfokálnímu senzoru, který měří vzdálenost osy Z TCP. TCP X a Y jsou měřeny dvojicí liniových scannerů nad měřicí krychlí

K měření byl využit konfokální sensor Keyence CL3000 a dvojice liniových scannerů téhož výrobce řady LJ-X8080. Pomocí těchto snímačů lze měřit přesnost v pěti osách, měření však ukázala že chyby v natočení jsou natolik malé, že je lze zanedbat a výzkum se tedy zabýval pouze posunem v osách x,y a z.



Obr. 6.4: Blokové schéma měřicí sestavy s robotem



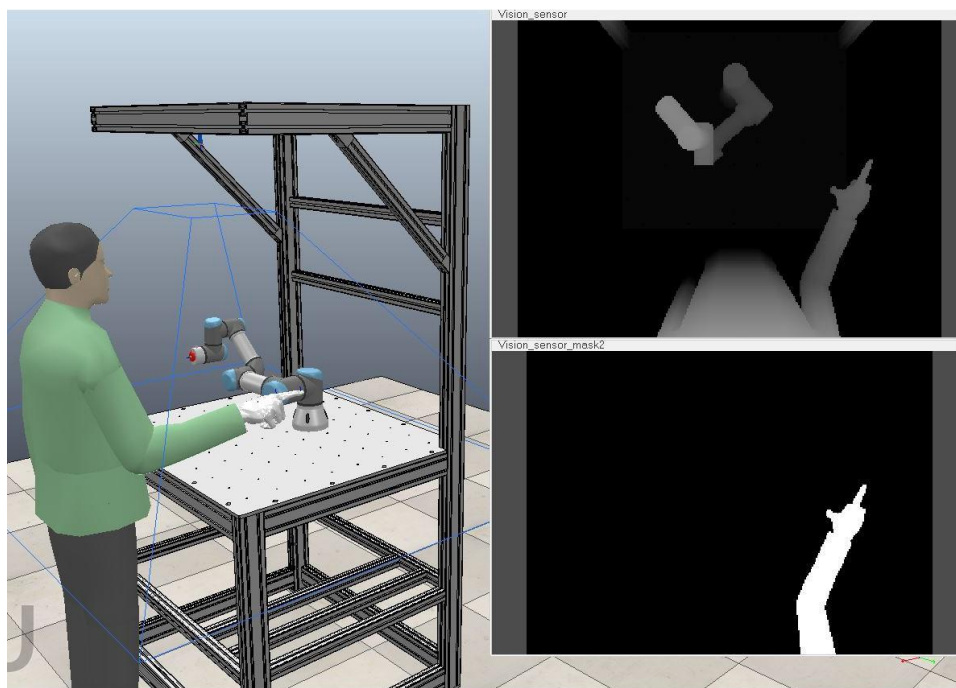
Obr. 6.5: Porovnání opakovatelnosti 3DOF. Modré tečky—TCP X nekompenzováno, modrá čára-TCP X kompenzováno, zelené tečky - TCP Y nekompenzováno, zelená čára - TCP Y kompenzováno, červené tečky - TCP Z nekompenzováno, červená čára - TCP Z kompenzováno

Při prováděném testování bylo dosaženo snížení tohoto vlivu až o 90 %. Postup a dosažené výsledky podrobně popisuje článek *Influence of Drift on Robot Repeatability and Its Compensation* (<https://doi.org/10.3390/app112210813>). Tato nová metodika bude dále rozvíjena a ověřována na jiných typech robotů.



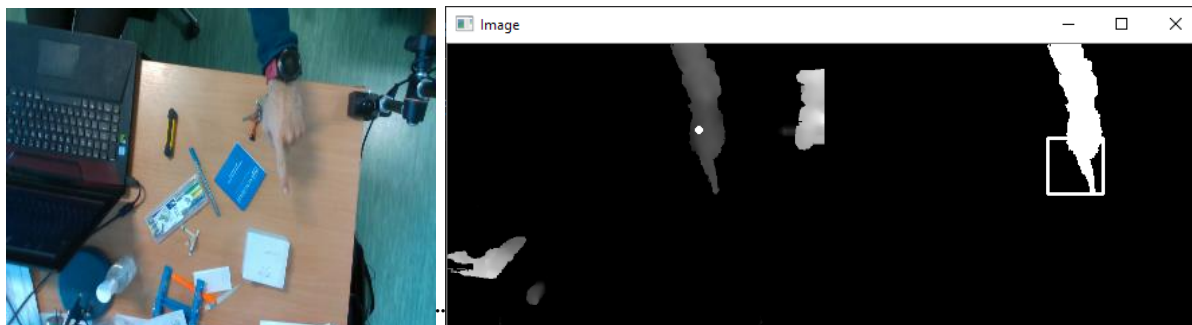
## 6.2.4. Interakce člověka s robotem založená na gestech

V tomto projektu jsme se zaměřili na intuitivní metody interakce člověk-stroj pro bezpečnou a efektivní spolupráci s roboty, konkrétně na navádění robotů pomocí gest. Prototyp systému byl testován na montážním pracovišti s kolaborativním robotem. V našem výzkumu jsme použili vlastní navrženou a natrénovanou neuronovou síť pro segmentaci obrazu a sledování ruky. Tato síť byla natrénována na syntetické sadě dat vygenerované ve virtuálním simulačním prostředí a poté použita na reálném pracovišti.



Obr. 6.6: Generování datové sady ve virtuálním simulačním modelu pracoviště

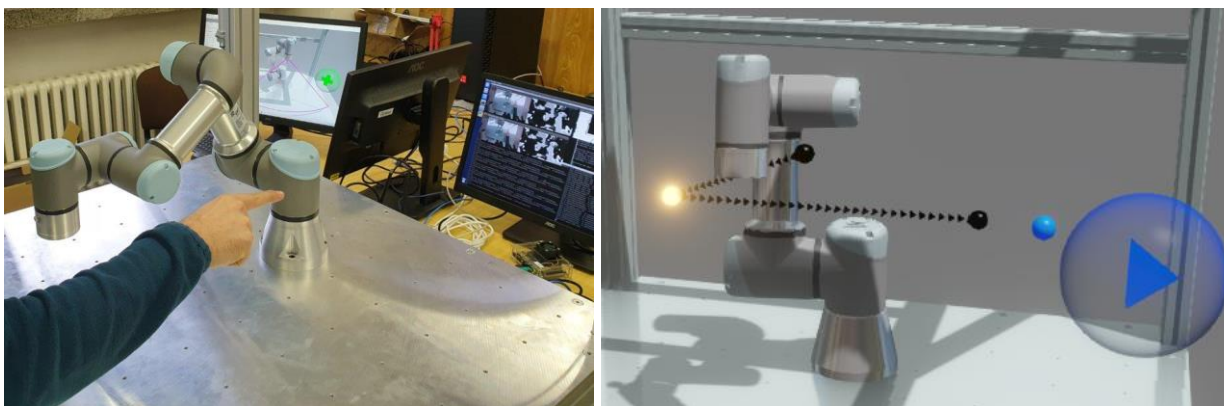
Syntetická datová sada byla dodatečně rozšířena o šum specifický pro kameru a náhodné objekty na pozadí, jejichž úkolem je přiblížit generované obrazy těm skutečným. Vzhledem k tomu, že při trénování neuronové sítě je největší prioritou rozsáhlý a různorodý soubor dat, vygenerovaná syntetická data proces výrazně zjednodušila a umožnila v krátké době připravit plně anotovaný soubor dat obsahující více než 200 tisíc snímků. Výsledná natrénovaná neuronová síť je schopna úspěšně sledovat lidskou ruku pomocí dat ze skutečné kamery, přestože na takových datech nebyla nikdy trénována. V současné době pracujeme na zlepšení stability segmentace obrazu a rozpoznávání gest ruky.



Obr. 6.7: Segmentace obrazu a sledování ruky pomocí vlastního systému založeného na neuronové síti: (vlevo) scéna s rukou; (vpravo) vstup a odpovídající výstup neuronové sítě pro segmentaci obrazu



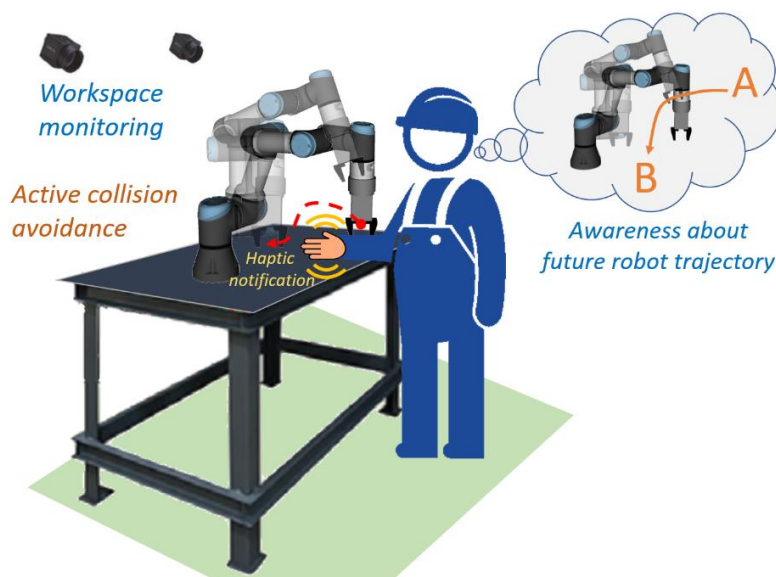
Pro navádění robotu pomocí gest jsme navrhli testovací aplikaci, která využívá sledování ruky a rozpoznávání gest ruky na bázi převzaté neuronové sítě. Distribuovaný systém využívá více uzlů k efektivnímu zpracování dat z více RGB-D kamer, které zajišťují úplné pokrytí pracovního prostoru a umožňují spolehlivě lokalizovat ruce operátora v daném prostředí. Vyvinutý systém umožňuje definovat dráhu robotu obsahující libovolný počet bodů cesty a řídit pohyb robotu po definované dráze pouze pomocí gest rukou (bez nutnosti interakce se vstupními zařízeními).



Obr. 6.8: Vedení robotu pomocí gest: (vlevo) pracoviště robotu s kamerami; (vpravo) uživatelem definovaná trajektorie vytvořená pomocí gest rukou v pracovním prostoru robotu a nasnímaná 3D kamerovým systémem

### 6.2.5. Zlepšení vzájemné informovanosti při spolupráci člověka s robotem

Při spolupráci robotu s člověkem (Human-Robot Collaboration, HRC) je komunikace základním aspektem pro dosažení dobré efektivity a ergonomie při provádění úkolů. Existuje mnoho výzkumů souvisejících s tím, jak umožnit robotickému systému pochopit a předvídat lidské chování, což robotu umožňuje přizpůsobit svůj pohyb tak, aby se vyhnul kolizi s člověkem. Za předpokladu, že výrobní úkol má vysokou míru variability, může být obtížné předvídat pohyby robotu, což u uživatele může vést k pocitu nejistoty, když robot mění svou trajektorii a přibližuje se, protože uživatel nemá informace o plánovaném pohybu robotu. Navíc bez informací o pohybu robotu operátor nemůže efektivně plánovat vlastní činnost, aniž by nutil robot neustále přeplánovat jeho pohyb. Pro řešení tohoto problému jsme navrhli nový přístup ke sdělování záměrů robotu uživateli.



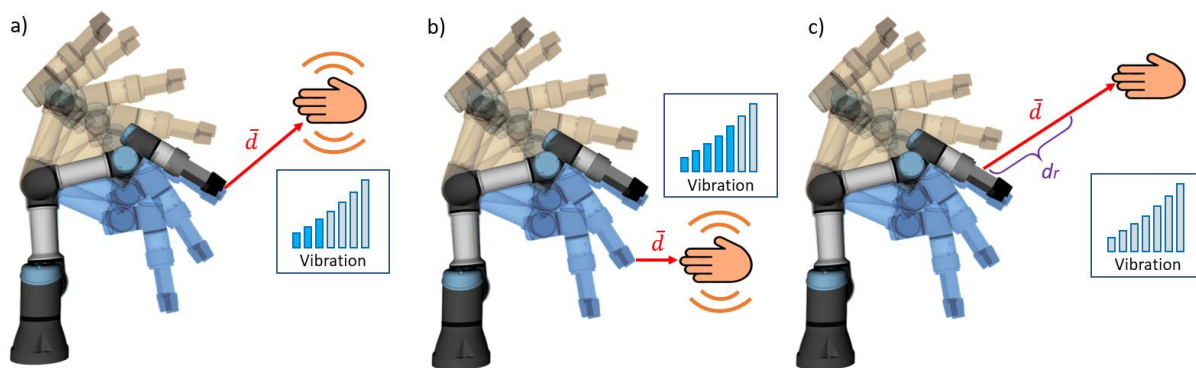
Obr. 6.9: Koncept zdokonalené HRC kombinuje principy aktivního předcházení kolizím se zlepšeným povědomím uživatele, které je poskytované nositelnými zařízeními haptické zpětné vazby

Zlepšení spolupráce je prezentováno prostřednictvím zařízení haptické zpětné vazby, jejichž úkolem je informovat pracovníka o aktuálně plánované trajektorii robotu a změnách jeho stavu. Operátor je vybaven zařízením haptické zpětné vazby připevněným k rukavicím nasazeným na ruku.



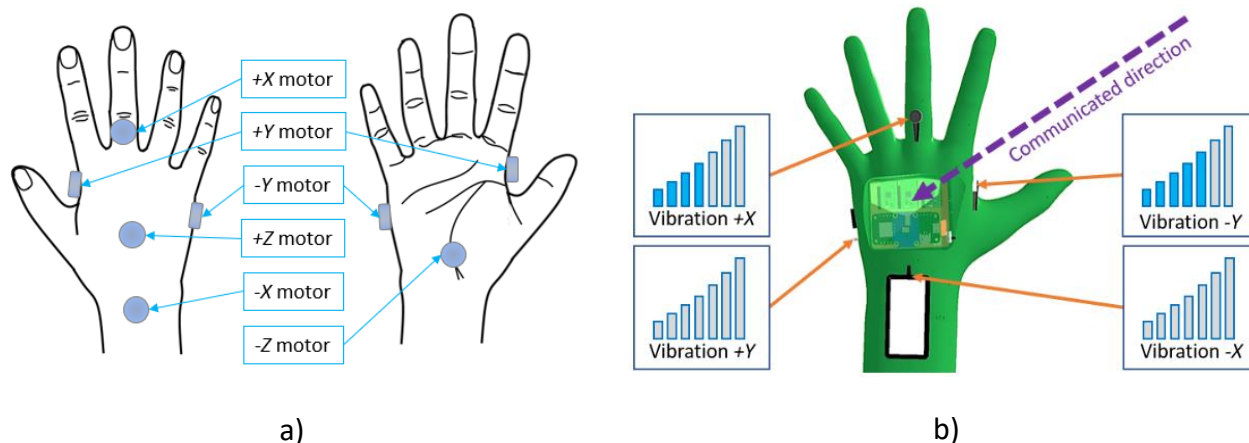
Obr. 6.10: Prototyp oznamovacích zařízení. Každá rukavice je vybavena šesti vibračními motory, které poskytují haptickou zpětnou vazbu

Tato oznamovací zařízení poskytují uživateli vibrační upozornění o blízkosti k aktuálně plánované trajektorie robotu. Čím více se ruka pracovníka blíží k budoucímu úseku trajektorie, tím silnější vibrace zařízení poskytuje. Pokud uživatel navzdory varování přeruší aktuálně plánovanou trajektorii, robot se pokusí najít novou proveditelnou cestu k cílové pozici a pokračovat ve své činnosti. Pokaždé, když je v důsledku změny prostředí naplánována nová trajektorie, obě oznamovací zařízení použijí silnou vibrační notifikaci, aby upozornila pracovníka a dala mu najevo, že robot zjistil změnu prostředí a znovu naplánoval svůj pohyb. Pokud nebyla nalezena žádná proveditelná cesta k cíli, obě oznamovací zařízení poskytují jiný typ silné vibrační notifikace, které trvá, dokud robot není schopen pokračovat ve své činnosti.



Obr. 6.11: Znárodnění principu oznámení o vzdálenosti k trajektorii: (a-b) intenzita vibrací je úměrná vzdálenosti od těla robotu v každém časovém kroku budoucí trajektorie; (c) upozornění o vzdálenosti není aktivní, pokud je ruka uživatele v bezpečné vzdálenosti

Vyvinutý systém jsme dále vylepšili zavedením haptických notifikací závislých na relativní orientaci ruky vůči robotu, která poskytuje uživateli intuitivnější informace o aktuálně plánované trajektorii robotu vzhledem k jeho prostorové konfiguraci.

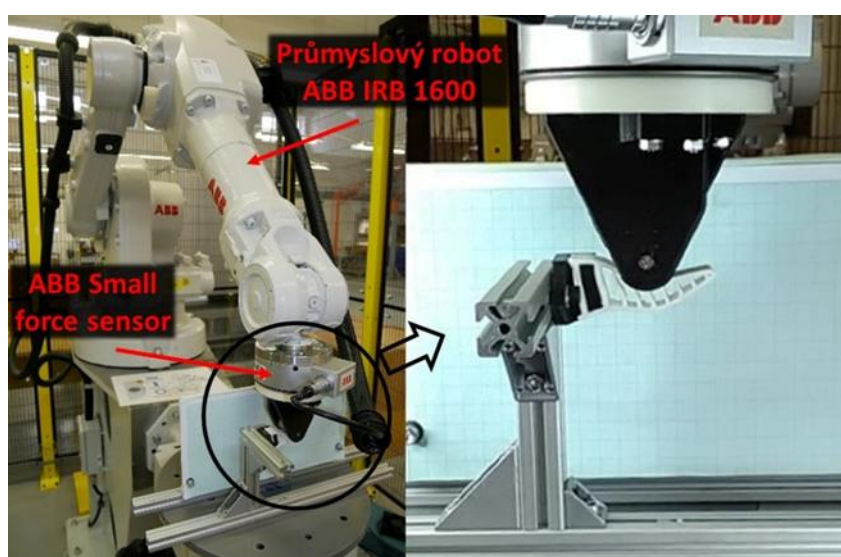


Obr. 6.12: Umístění vibračních motorů kolem ruky: (a) funkce jednotlivých motorů (kladný a záporný směr os X, Y, Z); (b) prostorové uspořádání motorů může prezentovat libovolný směr notifikace prostřednictvím rozdílu v aktivaci jednotlivých motorů

Za účelem ověření účinnosti vyvinutého rozhraní člověk-stroj v podmínkách sdíleného pracovního prostoru byla navržena a provedena uživatelská studie se 17 účastníky, jejímž cílem bylo přesně rozpoznat cílovou polohu robotu během jeho pohybu. Statisticky významné výsledky experimentu ukázaly, že všichni účastníci dokázali zlepšit čas dokončení úkolu o více než 45 % a obecně byli spokojenější při dokončení úkolu s notifikačními zařízeními. Systém také může zkrátit dobu potřebnou k tomu, aby si nekvalifikovaní operátoři zvykli na výrobní proces a pohyb robotu v blízkém okolí.

### 6.2.6. Výzkum metody optimalizace návrhu pružných prstů pro soft robotiku

Hlavním cílem tohoto výzkumu bylo stanovení nové metody pro optimalizaci prstů založených na Fin Ray efektu. Byla představená nová a jednoduchá metoda, jak matematicky vyhodnotit ovinutí prstu kolem objektu, u níž byly zjišťovány hodnoty dvou bodů po zatížení, a to v místě maximálního prodloužení a na špičce prstu. Pomocí těchto dvou hodnot byl spočten navržený koeficient průhybu, který slouží ke vzájemnému porovnání navržených struktur Fin Ray prstů.

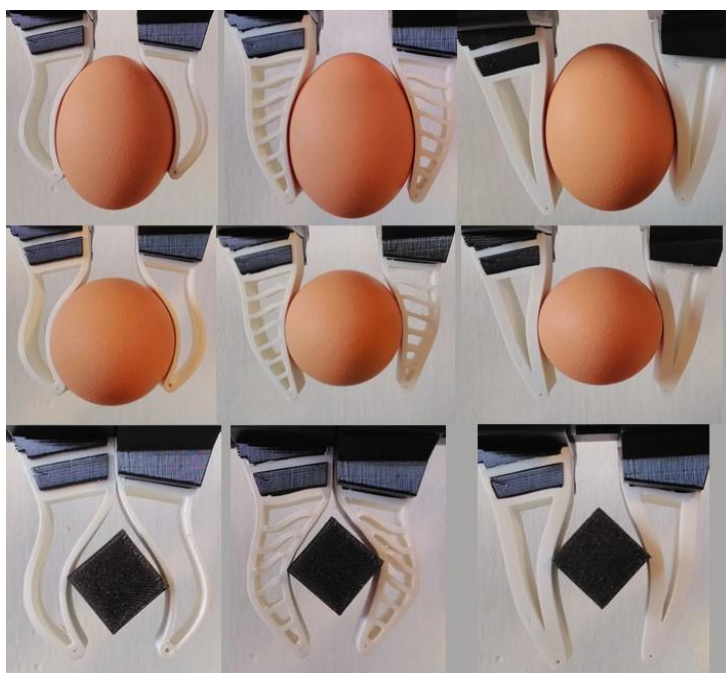


Obr. 6.13: Testovací zařízení. Nalevo: celé zařízení, napravo: detail při zatížení



Celkem bylo navrženo 46 různých variant čelistí ke vzájemnému porovnání podle koeficientu průhybu zjištěného ze simulací. Prsty byly navrženy z materiálu TPU 30D. Vybrané prsty byly následně tištěny a testovány na reálném zařízení pro porovnání s výsledky se simulací. Během reálného testování byla také měřena cyklická hystereze tištěných prstů, která se projevovala jednak rozdílným průběhem síly na deformaci při vtlačování objektu do prstu a při jeho výsuvu a zároveň celkovým posuvem tohoto průběhu podle počtu zatěžovaných cyklů.

Vnitřní struktury prstů, které byly na základě použité metodiky vyhodnoceny jako nejvhodnější z hlediska jejich obalení okolo uchopovaného objektu byly testovány na manipulaci s rozličnými předměty, jak je znázorněno na následujícím obrázku.



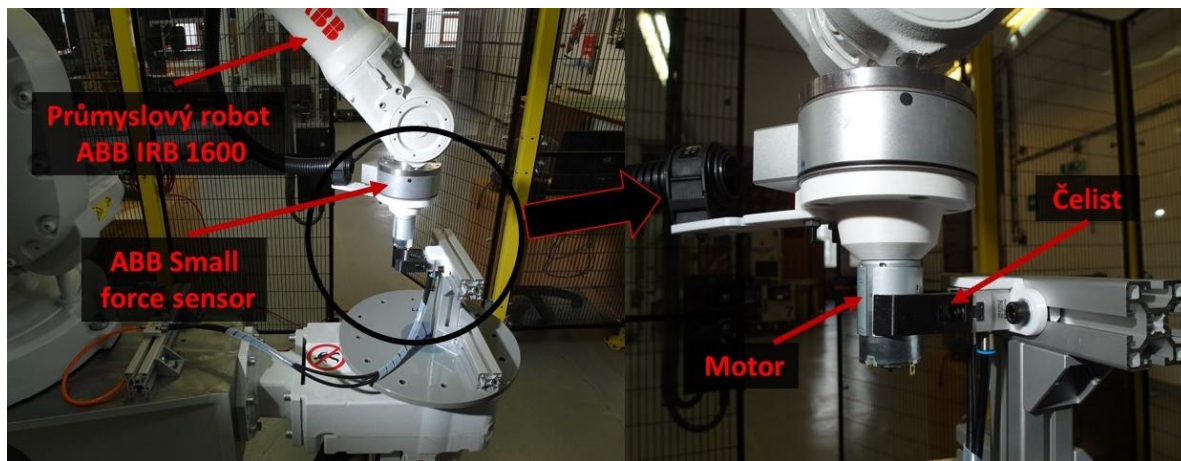
Obr. 6.14: Demonstrace úchopu různorodých objektů vybranými strukturami

Výsledky této práce ukazují nejvhodnější strukturu testovaných prstů z hlediska obtočení prstu kolem předmětu. Výsledky mohou pomoci konstruktérům použít novou optimalizační metodu k porovnání jejich navržených variant prstů.

Podrobně je výzkum popsán v článku SUDER, Jiří, Zdenko BOBOVSKÝ, Jakub MLOTEK, Michal VOCETKA, Petr OŠČÁDAL a Zdeněk ZEMAN. Structural Optimization Method of a FinRay Finger for the Best Wrapping of Object. 11. Applied Sciences, 2021. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app11093858

### 6.2.7. Analýza zvýšení třecí síly čelistí robotu přidáním 3D tištěných flexibilních vložek

Výzkum se týká analýzy zvýšení třecí síly čelistí robotu přidáním 3D tištěných flexibilních vložek. Práce popisuje technický problém z praxe, kdy manipulovaný předmět z ocelového materiálu v průběhu pracovního cyklu proklouzl v tištěných PLA čelistech robotu. Testují se dva tvary povrchu tištěných vložek vyrobených a dva typy flexibilních materiálů TPU 30D a TPE 88. Nárůst třecí síly je měřen na měřicím zařízení s průmyslovým robotem a snímačem měření síly. Nejvhodnější typ tištěných vložek a materiálu je následně testován na kolaborativním robotu v jeho požadovaném pracovním cyklu.



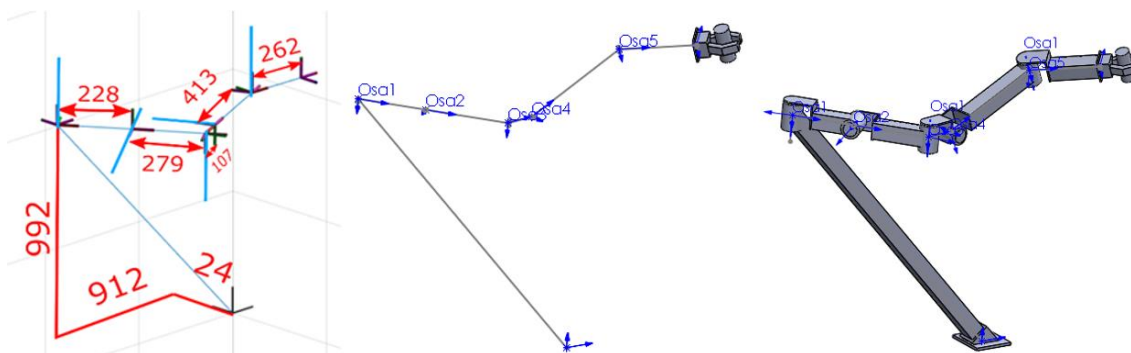
Obr. 6.15: Testovací zařízení. Nalevo: celé zařízení, napravo: detailní pohled při vytahování

Výsledky této práce mají pomoci konstruktérům jako zdroj informací nebo inspirace při navrhování podobných aplikací.

Podrobně je výzkum popsán v článku Suder, Jiří, Tomáš Kot, Alan Panec And Michal Vocetka. Analysis of Increasing the Friction Force of the Robot Jaws by Adding 3d Printed Flexible Inserts. MM Science Journal. 2021, 2021(6), 5322-5326. ISSN 18031269. Dostupné z: doi:10.17973/MMSJ.2021\_12\_2021127.

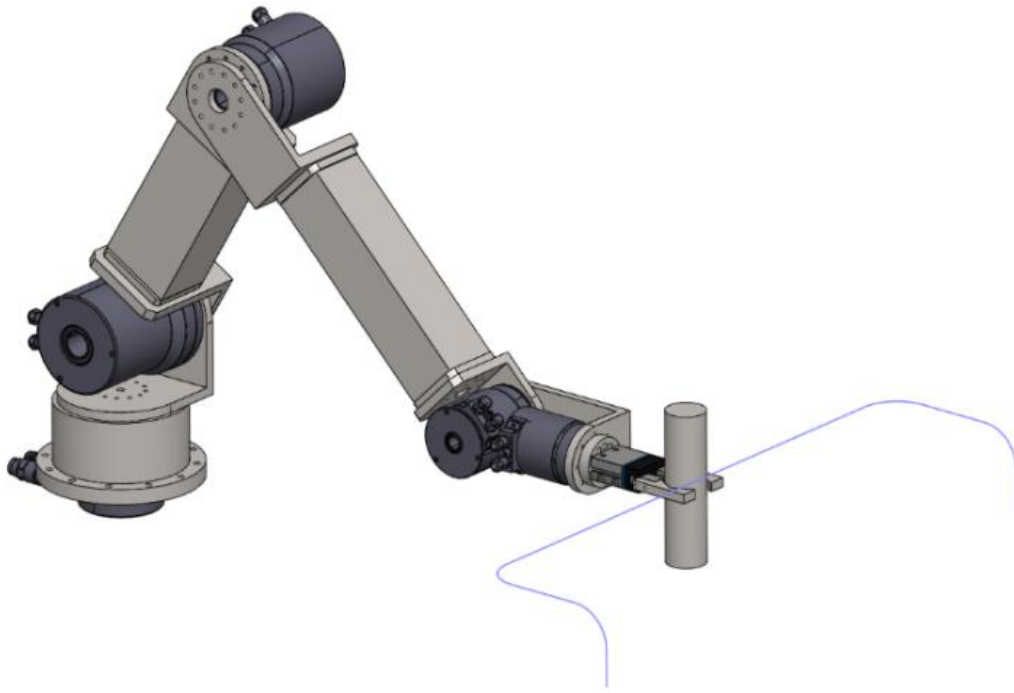
### 6.2.8. Systém automatizace návrhu průmyslových robotů a manipulátorů

V rámci výzkumu pokročilých mechatronických systémů byl dále rozvíjen systém pro automatizaci návrhu průmyslových robotů a manipulátorů. Na základě navržené kinematické struktury za pomoci např. genetických algoritmů jsou postupně navrhovány jednotlivé části robotického ramena, počínaje koncovým efektem a konče základnou. Za pomoci iteračních procesů dochází k rozměrovým optimalizacím konstrukčních částí, za účelem dosažení požadovaných parametrů těchto prvků, při současně minimalizaci jejich hmotnosti. V rámci návrhu dochází ke kinematickým, dynamickým a pevnostním analýzám. Také jsou vyhledávány a řešeny případné kolize nejen v rámci navrhovaného zařízení, ale v rámci celého navrhovaného robotizovaného pracoviště. Výsledkem návrhu je robotické rameno, optimalizované pro danou aplikaci.



Obr.6.16: Fáze postupu návrhu robotického ramena, od kinematické struktury, přes skeleton, k 3D modelu

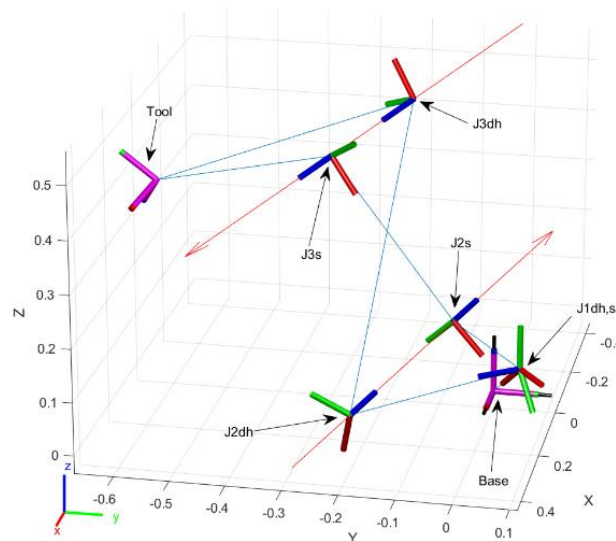
Při návrhu jsou využívány vlastní softwarové nástroje (např. DrivePicker nebo RobotArmDesign) v kombinaci s CAD systémem SolidWorks, jenž umožňuje automatizaci tvorby 3D modelů a potřebných analýz za pomoci rozhraní pro programování aplikací (API). Díky tomu je možné dosáhnout nejen podstatného zkrácení doby návrhu průmyslových robotů a manipulátorů, ale také získat celkově lepších konstrukčních výsledků.



Obr. 6.17: 3D model automaticky navrženého robotického ramena, zohledňujícího zadanou trajektorii

### 6.2.9. Syntéza kinematických struktur

Tento výzkum je zaměřen na hledání kinematické struktury (tj. rozmístění os motorů) sériového manipulátoru, která je schopna vykonat požadovanou úlohu či trajektorii. Výhody takového manipulátoru vytvořeného „na míru“ jsou snížení energetické náročnosti, minimalizace počtu os a tedy ceny, případně vyhnutí se kolizím v hustě zastavěném prostoru, kde by dnes běžné univerzální manipulátory ani nemohly být nasazeny.



Obr. 6.18: Vizualizace jednoho robotu pomocí dvou různých zápisů kinematické struktury – DH parametry a Screw vektory



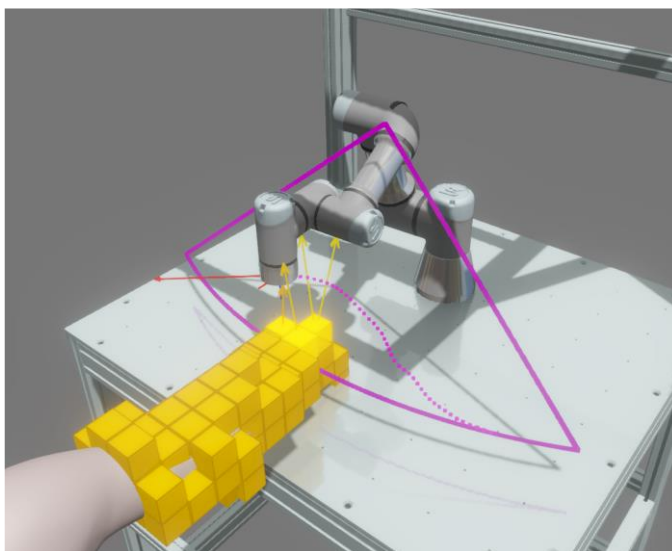
Jedná se o komplexní problém, kde hrají roli faktory nejen na první pohled jasné, tj. zadaná trajektorie a kolizní prostředí, ale i samotný matematický popis manipulátoru. Na obrázku níže je možné spatřit rozmístění souřadných systémů (os motorů) jednoho a téhož manipulátoru, jednou pomocí Denavit-Hartenbergových a parametrů a podruhé pomocí tzv. Screw vektorů. Obě reprezentace mají shodné osy otáčení jednotlivých kloubů, tedy identickou kinematickou strukturu – představují jeden a tentýž robot. Jejich matematické vyjádření je však velmi rozdílné.

Jedním ze směrů našeho výzkumu je určit, který matematický popis (včetně dalších než pouze těch dvou zmíněných na obrázku) manipulátoru je při aplikaci daných numerických metod pro syntézu kinematických struktur nejvýhodnější. Důležitým poznatkem je, že pomocí analytické geometrie a souvisejících algoritmů, které jsme buď aplikovali či plně vyvinuli, je možné mezi různými matematickými reprezentacemi kdykoli „přepínat“, tedy i po procesu syntézy. Vliv na následné výpočty týkající se dynamiky a řízení manipulátorů tak volba reprezentace nemá žádný.

### 6.2.10. Řídicí systém kolaborativního robotu pro vyhýbání se překážkám

Ačkoliv kolaborativní roboty jsou určeny pro přímou spolupráci s člověkem na pracovišti a tudíž mu při případné kolizi nezpůsobí zranění, představuje každá kolize kolaborativního robotu s lidskou obsluhou zdržení výrobního cyklu, neboť robot je po kolizi v režimu nouzového vypnutí. Pro případy, kdy pracovník přímo sdílí pracovní prostor s robotem a často umísťuje své ruce do dráhy robotu, je proto výhodnější, když řídicí systém robotu dokáže přítomnost dynamických překážek detekovat a uzpůsobit svou dráhu. Na katedře probíhá v této oblasti návrh komplexního systému zahrnujícího jak sensorovou část (zjištění přítomnosti dynamické překážky), tak řídicí systém robotu reagující na překážky v reálném čase.

Jeden z navržených a implementovaných algoritmů vyhýbání překážkám je vhodný pro pohyb robotu po definované libovolně složité trajektorii (křivce, viz fialová čára na obrázku) a je založený na principu pružin (potenciálové pole). Reprezentace dynamické překážky (např. ruky) je ze sensorického systému poskytnuta v podobě seznamu voxelů. Algoritmus v reálném čase generuje odpuzující pružiny mezi voxely a povrchem 3D modelu robotu (viz žluté šipky na obrázku). Koncový bod robotu je zároveň pomocí další pružiny přitahován k bodu vyjadřujícímu aktuální ideální polohu na trajektorii. Výpočtem rovnováhy pomyslných sil generovaných všemi pružinami je zajištěn pohyb robotu po náhradní dynamicky se měnící trajektorii (viz tečkovaná fialová čára).



Obr. 6.19: Vizualizace algoritmu pro vyhýbání se překážkám pomocí pružin

Pro případy, kdy se robot pohybuje z jednoho pracovního bodu do jiného a trajektorie pohybu není pevně daná (operace pick&place), byl navržen algoritmus jiný, využívající pomyslnou simulovanou gumu nataženou vždy mezi aktuální dvojicí klíčových bodů trajektorie. Případné voxely vyjadřující dynamickou překážku působí silami na tuto gumu, čímž ji vychylují pryč od překážky. Díky snaze gumy vytvořit co nejkratší křivku je vždy zajištěna hladká a plynulá spojnice klíčových bodů.

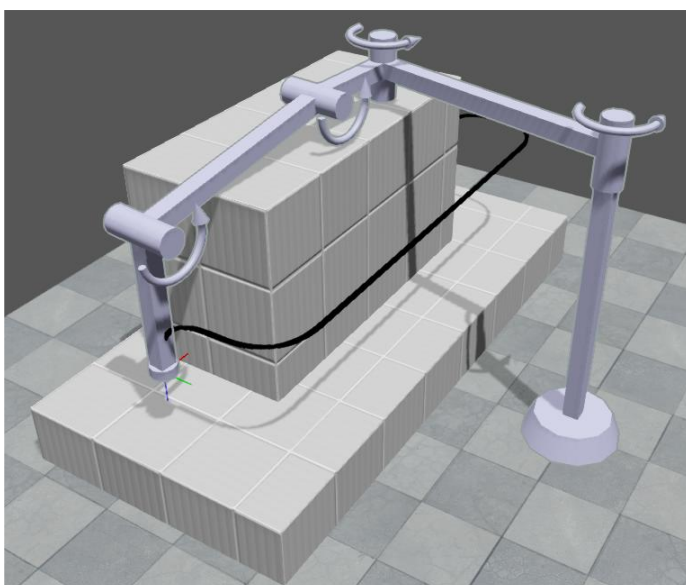


*Obr. 6.20: Praktické testování algoritmu vyhýbání se překážkám pomocí pomyslné gumy, v popředí skutečné pracoviště s překážkou (krabice), v pozadí řídicí systém s 3D real-time vizualizací*

### 6.2.11. Syntéza optimalizované kinematické struktury robotu

Syntéza kinematické struktury robotu na míru pro danou úlohu je jedním z témat řešených na Katedře robotiky dlouhodobě. Jeden z navržených algoritmů využívá optimalizační algoritmus PSO (Particle Swarm Optimization) pro hledání optimální kombinace všech Denavit-Hartenbergových parametrů popisujících kinematickou strukturu robotu, čímž je možno získat zcela netypickou strukturu, která však může mít lepší parametry oproti klasické struktuře komerčně dostupných manipulačních ramen. Optimalizačním kritériem může být například minimalizace celkové délky článků, minimalizace rychlostí kloubů v průběhu celé trajektorie, minimalizace zjednodušeně počítaných silových účinků, atd.

Pro ještě větší variabilitu navržených řešení, zejména ve stísněném pracovním prostoru, je možno nahradit dvě hlavní ramena robotu křivkou několika různých typů a složitosti zakřivení. Optimalizační algoritmus pak kromě Denavit-Hartenbergových parametrů mění i příslušné hodnoty řídicí tvar křivek.



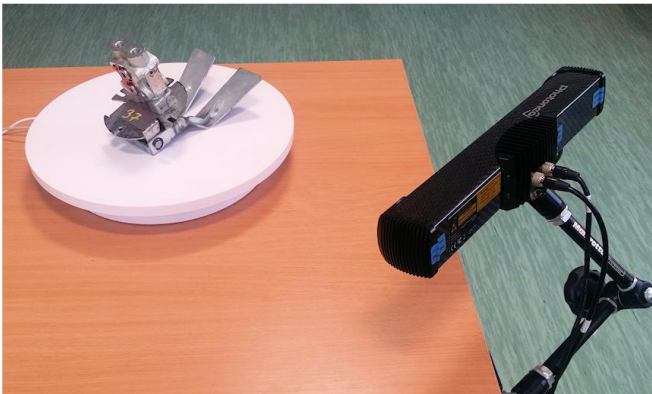
*Obr. 6.21: Příklad navržené obecné optimální kinematické struktury s rovnými rameny*



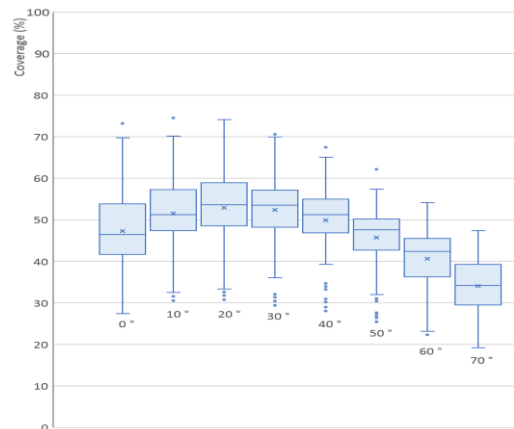
*Obr. 6.22: Příklad navržené obecné optimální kinematické struktury se zakřivenými rameny*

## 6.2.12. Vytváření 3D skenů reálných mechanických součástek

V rámci výzkumu věnujícímu se automatickému rozpoznávání mechanických součástek na základě 3D skenu byl mimo jiné navržen algoritmus pro návrh optimálního rozmístění skenerů kolem rotačního skenovacího stolu. Cílem je maximalizace pokrytí povrchu libovolné součástky (ze statistického hlediska) s použitím co nejmenšího počtu kroků rotačního stolu a co nejmenšího počtu použitých skenerů (maximálně dva). Algoritmus využívá princip simulovaného skenování velkého množství 3D modelů mechanických součástek různých tvarů a velikostí. Výstupem jsou doporučené hodnoty úhlů skenerů od vodorovné roviny a počet kroků rotace.



Obr. 6.23: Skenovací rotační stůl s jedním skenerem Photoneo umístěným ve zvoleném úhlu

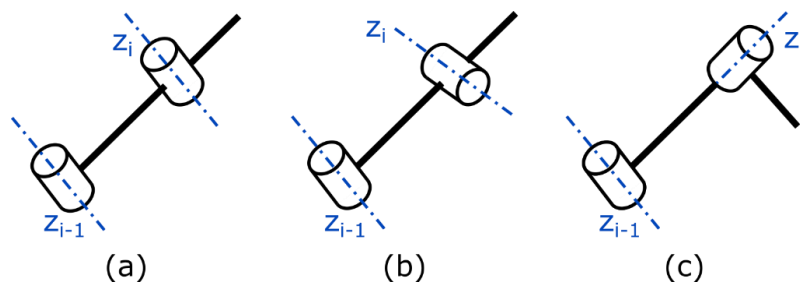


Obr. 6.24: Graf vyjadřující statistickou distribuci hodnot pokrytí povrchu skenovaného objektu s využitím jednoho skeneru v závislosti na úhlu skeneru

## 6.2.13. Optimalizace kinematiky manipulátoru pomocí genetického algoritmu

Tato metoda slouží k nalezení vhodné kinematické struktury manipulátoru a umístění základny manipulátoru pro definovanou úlohu. Celá metoda je implementována v prostředí Matlab a využívá Robotics System Toolbox a Global Optimization Toolbox.

Úloha pro manipulátor je v této metodě určena trajektorií a pracovním prostorem. Trajektorie je definována jako soubor cílových bodů (6DOF pozice + orientace). Pracovní prostor je definován jako soubor kolizních objemů a objem, ve kterém se může nacházet základna robotu. Manipulátory jsou během optimalizace skládány z kloubů a článků. Klouby existují v několika variantách, lišících se ve vzájemné transformaci souřadnic. Na obrázku níže jsou zobrazeny tři varianty transformace mezi klouby. Články umístěné mezi klouby během optimalizace mění svou délku.



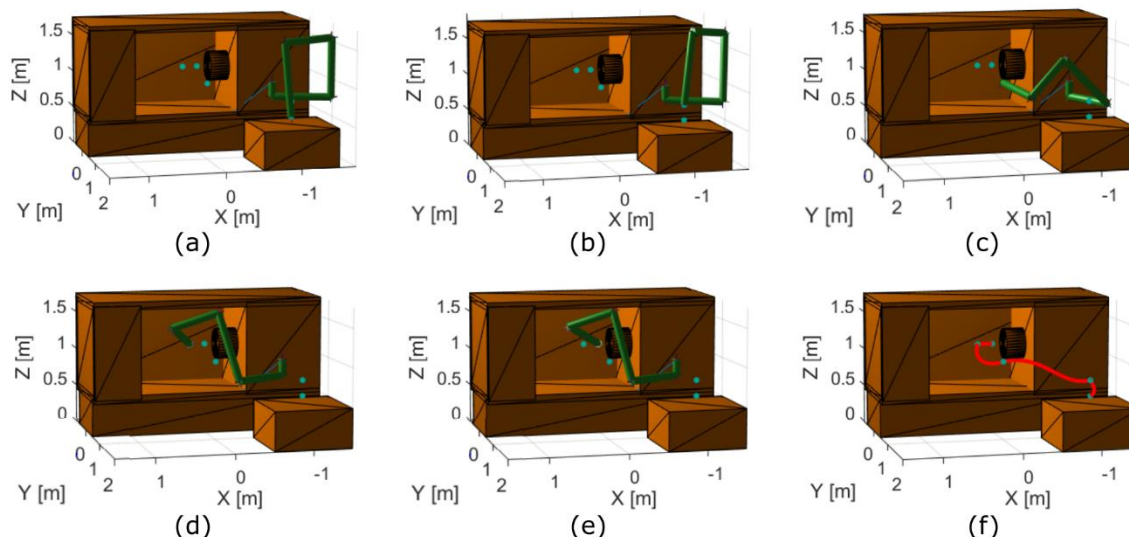
Obr. 6.25: Případy natočení osy kloubu: a)  $\alpha = 0$ , b)  $\alpha = 1$ , c)  $\alpha = 2$

Manipulátory jsou v genetickém algoritmu definovány jako vektor, který začíná třemi hodnotami, které popisují pozici základny manipulátoru, dále vektor obsahuje dvojice hodnot popisující

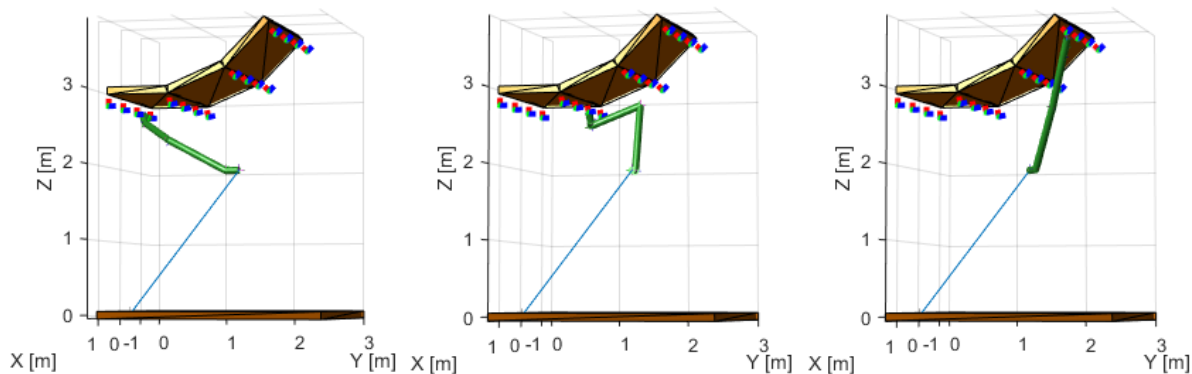


manipulátor [typ kloubu, délka článku]. Délka optimalizovaného vektoru tedy odpovídá počtu kloubů v manipulátoru \* 2 + 3. Genetický algoritmus tyto vektory (manipulátory) během optimalizace upravuje a ověřuje pomocí účelové funkce. Bylo definováno několik účelových funkcí, minimalizace délky manipulátoru, minimalizace kroutících momentů při pohybu, udržování předepsané vzdálenosti od překážek a cena modulů. K evaluaci během optimalizace je možnost použít tyto účelové funkce nebo jejich kombinace.

Tato metoda byla ověřena na několika ukázkových úlohách v simulaci. Na obrázcích níže jsou ukázány manipulátory s optimalizovanou kinematikou.



Obr. 6.26: Výsledek optimalizace v úloze: Obsluha soustruhu. a) bod 1, b) bod 2, c) bod 3, d) bod 4, e) bod 5, f) trajektorie efektoru

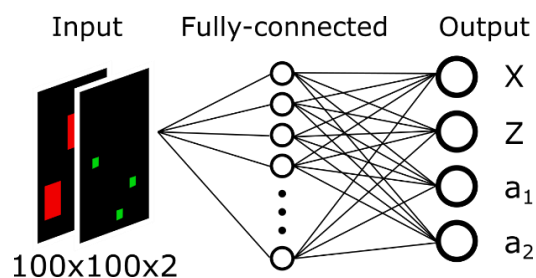


Obr. 6.27: Výsledek optimalizace v úloze: Obsluha soustruhu. a) bod 1, b) bod 2, c) bod 3, d) bod 4, e) bod 5, f) trajektorie efektoru

## 6.2.14. Generování kinematiky manipulátoru použitím neuronové sítě

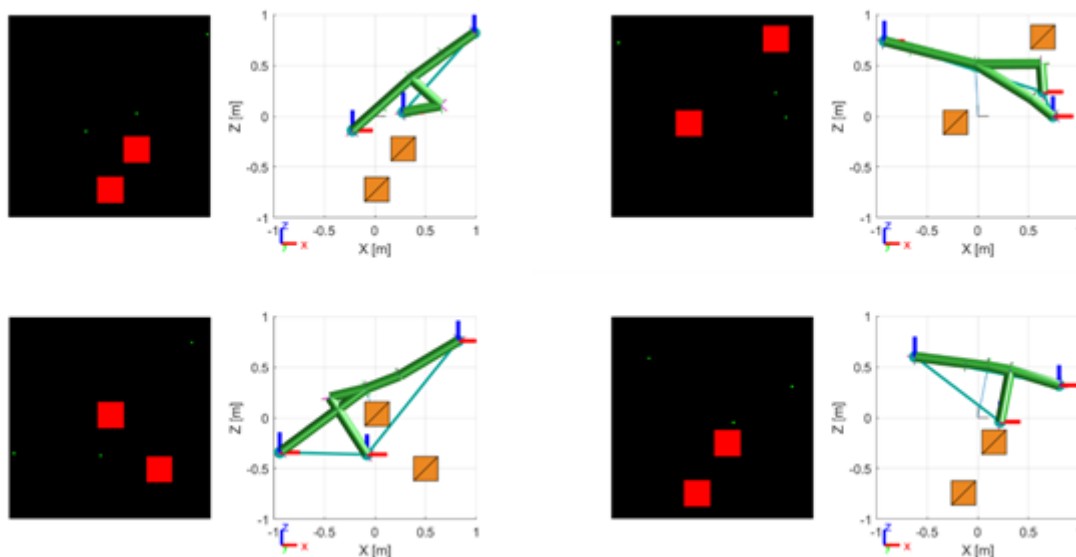
Alternativou k automatickému generování kinematiky manipulátorů pomocí optimalizačních algoritmů je použití neuronové sítě. Metoda je postavena na jednoduchém end-to-end principu, poskytnout definici úlohy pro manipulátor na vstupní vrstvě neuronové sítě a z výstupní vrstvy přečíst definici manipulátoru. Nicméně, vytvoření datasetu pro učení této neuronové sítě je složitá úloha. Zároveň je nejasné, jakým způsobem zakódovat definici úlohy pro manipulátor tak aby byla ve vhodném podobě pro vstupní data neuronové sítě nebo jakou architekturu neuronové sítě zvolit.

Tato metoda byla testována na zjednodušené manipulační úloze ve 2D. V náhodně vygenerovaných úlohách proběhla optimalizace kinematiky manipulátorů. Výsledkem byl dataset 5000 manipulačních úloh a k nim přiřazených optimalizovaných manipulátorů. Tento dataset sloužil pro naučení neuronové sítě. Vstupní data byla definována jako mřížka o velikosti 100x100, kde jsou označeny cílové body trajektorie a překážky. Výstupní data definují pozici manipulátoru v osách X a Y a délky jednotlivých článků manipulátoru. Zvolená neuronová síť používá plně propojené vrstvy, viz obrázky níže.



Obr. 6.28: Schématický diagram použité neuronové sítě

Následující obrázek zobrazuje testovací 2D pracovní prostředí a manipulátory vygenerované pomocí neuronové sítě.

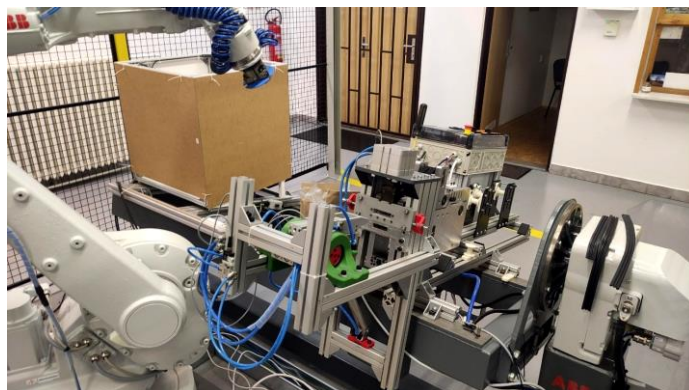
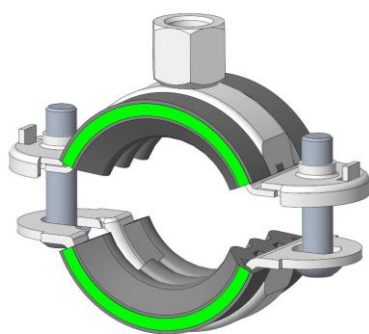


Obr. 6.29: Nově vygenerované úlohy a k nim vygenerované manipulátory pomocí NN

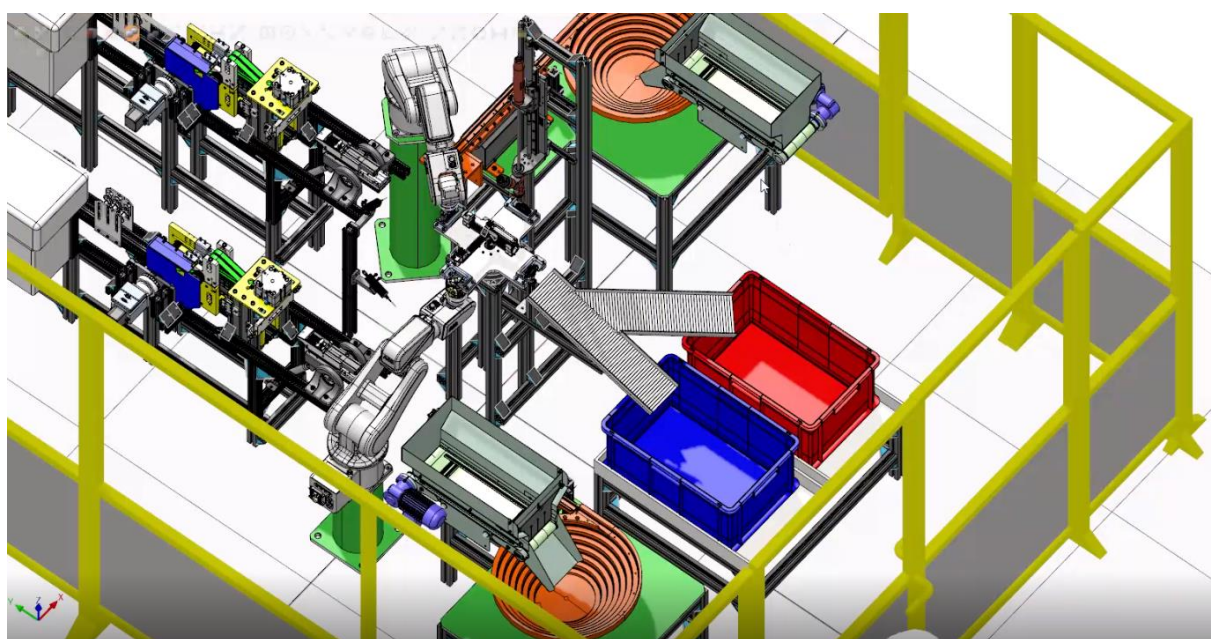
### 6.2.15. Automatizovaná montáž trubkových objímek

Ve spolupráci s FEI (příjemce) bylo pokračováno v řešení projektu „Výzkum možností robotizace technologie kompletace kovových výrobků s pryží“ - TAČR EPSILON TH04010428 aplikovaný výzkum systému, kterým by bylo možné plně automatizovat montáž trubkových objímek. Zadavatelem projektu je společnost Optimont 2000 s.r.o. Projekt byl ukončen k 31. 12. 2021.

Výstupem projektu je prototyp podavače pryžového profilu, který je schopen posouvat, dělit a připravit pryžový profil k jeho automatickému nanesení na výlisek dílu objímky. Na základě uživatelských zkušeností z testování prototypu podavače byl navržen a simulován koncept montážního robotizovaného pracoviště montáže objímek. Simulace pracovního cyklu pracoviště byla vytvořena v SW nástroji RobotStudio. Dosažený takt pracoviště je 15 s na zkompletovanou objímku.



*Obr. 6.30: 3D model objímky a fotografie testovacího pracoviště prototypu podavače*



*Obr. 6.31: 3D model objímky a fotografie testovacího pracoviště prototypu podavače*

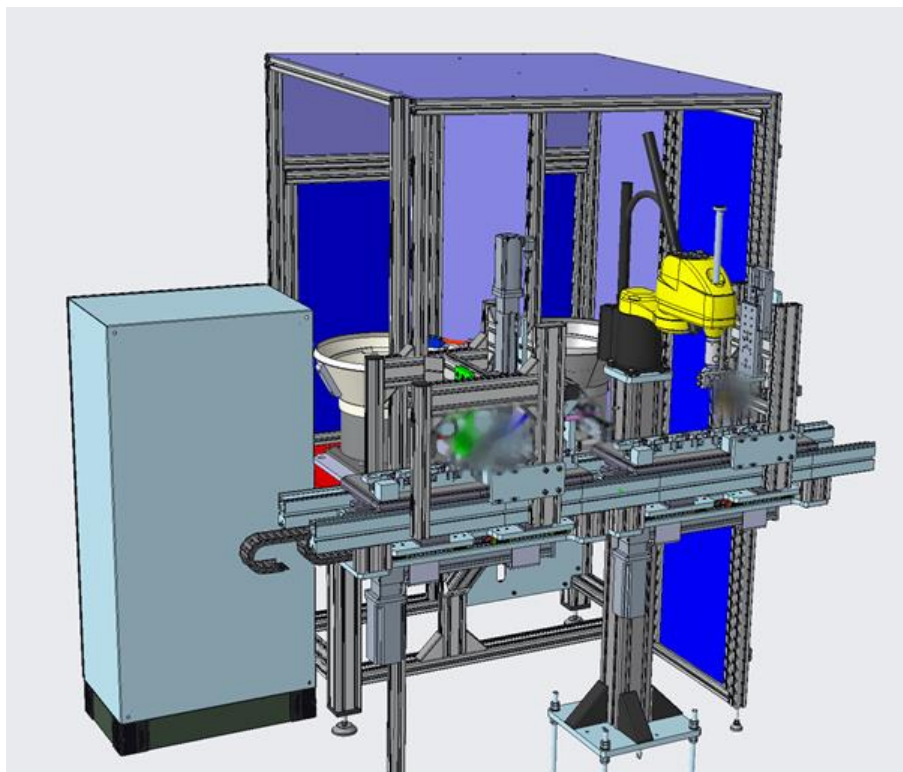
### 6.2.16. Nízkonákladová automatizace

V rámci projektu Nízkonákladová automatizace pro Moravskoslezský automobilový klastr jsou postupně řešena pracoviště jako zjednodušené technicko-ekonomické studie, které mají za úkol specifikovat možnosti řešení automatizace a robotizace vybraných výrobních uzlů s ohledem na koncept Průmysl 4.0 a jejich ekonomickou návratnost pro členy automobilového klastru. Jedná se o zadání pro integrátorskou firmu IFTSolutions, kde je řešena robotizace pracoviště pro navlékání gumových kroužků na ultrazvukové senzory a jedná se o dodávku pro firmu Valeo.

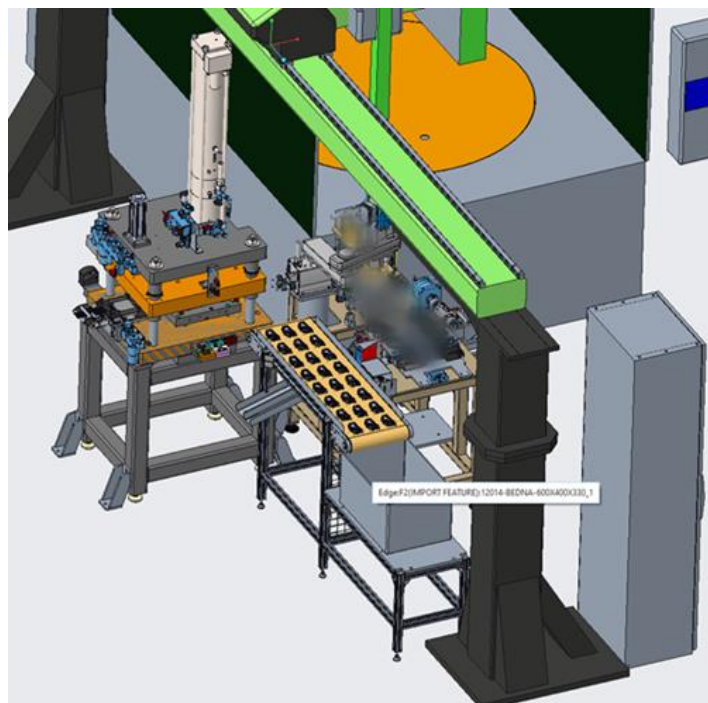
Druhé zadání je pracoviště pro firmu KSR (výroba pedálů, plechových výlisků apod.). Jedná se o pracoviště výroby konektorů, kdy stávající scara robot zakládá kontakty do formy, kontakty se obstríknu v lisu plastem a po kontrole je stejný robot přísavkou vkládá na dopravník. Na výstupu je operátorka, která skládá konektory do přepravky KLT a prokládá to papírovými proklady. Úkolem studie je nahradit operátorku vhodným robotem a dopravník nahradit zařízením pro automatickou výměnu KLT se zásobou na 3 KLT. Původní robot zůstává, nový robot bude odebírat



konektory ze 4 pevných pozic v zařízení, skládat je po jednom do bedny a po zaplnění vrstvy odebere ze zásobníku proklad a položí jej na vrstvu a pokračuje dále až do zaplnění přepravky.



*Obr. 6.32: Projekt RTP pro navlékání kroužků na senzory (IFTSolutions)*



*Obr. 6.33: Původní výrobní uzel v KSR*

### 6.3. Nově podané projekty

Název projektu (číslo, označení)	Poskytovatel grantu	Rok zahájení řešení	Délka řešení (roky)	Odpovědný řešitel	Stav návrhu (přijetí)	Fin. objem (Kč)
SP2022/67 - Využití digitalizace robotických systémů při jejich návrhu	MŠMT	2022	1	Ing. Václav Kryš, Ph.D.	probíhá řízení	840 k
RoMoLab – Robotic Mobile Laboratory for Genetic Tests, especially in the direction of SARS-CoV-2 HORIZON-CL3-2021-DRS-01-05 Proposal number: SEP-210797428	EU Horizon	2022	3	prof. Dr. Ing. Petr Novák	probíhá řízení	0,4 M (z 4M) Euro

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

#### 6.4.1. Testovací pracoviště experimentálních robotů

Pracoviště bylo pořízeno pro potřeby řešení výzkumného projektu. Bude se používat pro funkční testování prototypů manipulátorů robotů navržených vytvořenými návrhovými algoritmy. Hlavními komponentami pracoviště jsou 2 rozvodné skříně pro měniče pohonných jednotek navrhovaných experimentálních robotů. Veřejnou zakázkou vybraným dodavatelem pracoviště byla firma ELVAC, a.s.



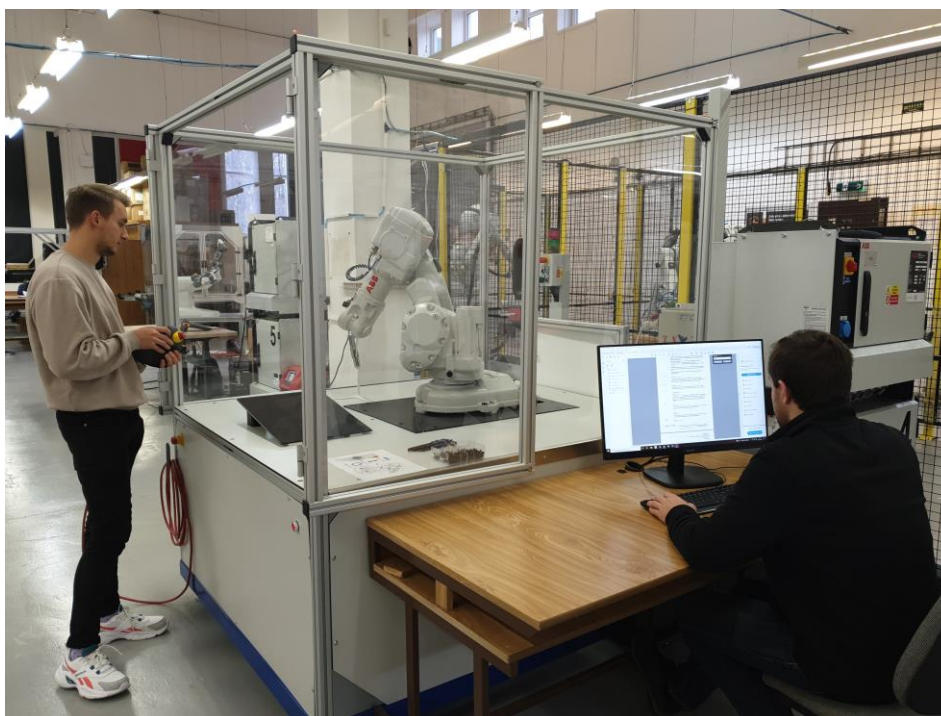
Obr. 6.34: Fotografie vytvořeného testovacího pracoviště experimentálních robotů



## 6.5. Počítačové učebny, výpočetní technika

V Centru robotiky – „Stará menza“ 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 PC na učebnách D122 a D123.



*Obr. 6.35: Studenti při výuce programování kolaborativních a průmyslových robotů*

## 7. SPOLUPRÁCE VE VĚDĚ A VÝZKUMU

### 7.1. Spolupráce se subjekty v ČR

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

- ČVUT, CIIRC – Český ústav informatiky robotiky a kybernetiky, Ing. Libor
- 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,
- a další...
- Dále katedra spolupracuje s řadou výrobních podniků, které mají v náplni také výzkum.

### 7.2. Spolupráce se subjekty v zahraničí

- Silesian University of Technology Gliwice, Institute of Fundamentals of Machinery Design – Robotika, Mechatronika
- IT University of Copenhagen, Robotics, Evolution, and Art Lab, Dánsko – Robotika
- Joanneum research – robotics, Klagefurt, Rakousko – Nestandardní manipulátory
- Universitat Innsbruck, Joanneum research – Robotics – Kinematika manipulátorů
- TU v Košiciach – Robotika, Mechatronika, Optimalizační metody
- STU Bratislava MTF – Ústav výrobných technologií – Robotika

## 8. ODBORNÉ AKCE

### 8.1. Národní konference a semináře

Z důvodu omezení v souvislosti s Covid-19 nerealizováno.

### 8.2. Mezinárodní konference a semináře

Z důvodu omezení v souvislosti s Covid-19 nerealizováno.

### 8.3. Jiné akce

#### 8.3.1. Art & Science

Během tohoto festivalu 2.9.2021 byly v areálu univerzity prezentovány jednotlivé obory na VŠB-TUO. U našeho stánku se mohli návštěvníci festivalu seznámit s mobilními roboty a roboty spolupracující s člověkem.



*Obr. 8.1: Představení oboru robotika na festivalu Art & Science*



### 8.3.2. Dny NATO

Náš soutěžní mobilní robot K3P4 byl k vidění na Dnech NATO 18.9. – 19.9.2021 na Mošnovském letišti jako součást expozice Fakulty strojní.

### 8.3.3. Mezinárodní strojírenský veletrh

MSV proběhl na Brněnském výstavišti v týdnu 8.11. – 12.11. Naše katedra zde v rámci expozice Fakulty strojní VŠB-TUO prezentovala soutěžní mobilní robot K3P4, požárnícký monitorovací systém Safety Ambient Monitor („SAM“) a čtyřnohý mobilní robot.



Obr. 8.2: Prezentované systémy Katedry robotiky na MSV Brno 2021

## 9. PUBLIKAČNÍ ČINNOST

### 9.1. Články v zahraničních časopisech

Virgala, I., Kelemen, M., Prada, E., Sukop, M., Kot, T., Bobovský, Z., Varga, M., Ferenčík, P. [A Snake Robot for Locomotion in a Pipe Using Trapezium-like Travelling Wave](#). *Mechanism and Machine Theory*. 2021, Volume 158, April 2021, Article number 104221. [Scopus](#), [WoS](#), [Impact factor 3.312](#), pořadí 30/130 (Q1)

Grushko, S., Vysocký, A., Oščádal, P., Vocetka, M., Novák, P., Bobovský, Z. [Improved Mutual Understanding for Human-Robot Collaboration: Combining Human-Aware Motion Planning with Haptic Feedback Devices for Communicating Planned Trajectory](#). *Sensors*. 2021, vol. 21, issue 11, 3673. [Scopus](#), [WoS](#), [Impact factor 3.275](#), pořadí 15/64 (Q1)

Heczko, D., Oščádal, P., Kot, T., Huczala, D., Semjon, J., Bobovský, Z. [Increasing the Reliability of Data Collection of Laser Line Triangulation Sensor by Proper Placement of the Sensor](#). *Sensors*. 2021. 21(8), 2890. [Scopus](#), [WoS](#), [Impact factor 3.275](#), pořadí 15/64 (Q1)

Grushko, S., Vysocký, A., Heczko, D., Bobovský, Z. [Intuitive Spatial Tactile Feedback for Better Awareness about Robot Trajectory during Human-Robot Collaboration](#). *Sensors*. 2021, 21(17), 5748. [Scopus](#), [WoS](#), [Impact factor 3.567](#), pořadí 14/64 (Q1)

Kot, T., Bobovský, Z., Heczko, D., Vysocký, A., Virgala, I., Prada, E. [Using Virtual Scanning to Find Optimal Configuration of a 3D Scanner Turntable for Scanning of Mechanical Parts](#). *Sensors*. 2021, 21(16), 5343. [Scopus](#), [WoS](#), [Impact factor 3.576](#), pořadí 14/64 (Q1)

Sinčák, P., Virgala, I., Kelemen, M., Prada, E., Bobovský, Z., Kot, T. [Chimney sweeping robot based on a pneumatic actuator](#). *Applied sciences*. 2021, 11(11), 4872. [Scopus](#), [WoS](#), [Impact factor 2.474](#), pořadí 32/91 (Q2)

Kot, T., Bobovský, Z., Brandstötter, M., Krys, V., Virgala, I., Novák, P. [Finding Optimal Manipulator Arm Shapes to Avoid Collisions in a Static Environment](#). *Applied sciences*. 2021, 11(1), 64. [Scopus](#), [WoS](#), [Impact factor 2.474](#), pořadí 32/91 (Q2)

Pastor, R., Bobovský, Z., Huczala, D., Grushko, S. [Genetic Optimization of a Manipulator: Comparison between Straight, Rounded, and Curved Mechanism Links](#). *Applied sciences*. 2021. 11(6), 2471. [Scopus](#), [WoS](#), [Impact factor 2.474](#), pořadí 32/91 (Q2)

Huczala, D., Kot, T., Pfüner, M., Heczko, D., Oščádal, P., Mostýn, V. [Initial Estimation of Kinematic Structure of a Robotic Manipulator as an Input for Its Synthesis](#). *Applied sciences*. 2021. 11(8), 3548. [Scopus](#), [WoS](#), [Impact factor 2.474](#), pořadí 32/91 (Q2)

Ondočko, Š., Svetlík, J., Šašala, M., Bobovský, Z., Stejskal, T., Dobránský, J., Demeč, P., Hrivniak, L. [Inverse Kinematics Data Adaptation to Non-Standard Modular Robotic Arm Consisting of Unique Rotational Modules](#). *Applied sciences*. 2021. 11(3), 1203. [Scopus](#), [WoS](#), [Impact factor 2.474](#), pořadí 32/91 (Q2)

Straková, E., Lukáš, D., Bobovský, Z., Kot, T., Mihola, M., Novák, P. [Matching Point Clouds with STL Models by Using the Principle Component Analysis and a Decomposition into Geometric Primitives](#). *Applied sciences*. 2021. 11(5), 2268. [Scopus](#), [WoS](#), [Impact factor 2.474](#), pořadí 32/91 (Q2)

Kot, T., Bobovský, Z., Vysocký, A., Krys, V., Šafařík, J., Ružarovský, R. [Method for Robot Manipulator Joint Wear Reduction by Finding the Optimal Robot Placement in a Robotic Cell](#). *Applied sciences*. 2021, 11(12), 5398. [Scopus](#), [WoS](#), Impact factor 2.747, pořadí 32/91 (Q2)

Rojíček, J., Paška, Z., Fusek, M., Bobovský, Z., Sapietová, A., Mostýn, V., Ličová, D. [Optimization of a Truss Structure Used to Design of the Manipulator Arm from a Set of Components](#). *Applied sciences*. 2021, vol. 11, issue 21. e-ISSN 2076-6341. [Scopus](#), [WoS](#), Impact factor 2.747, pořadí 32/91 (Q2)

Huňady, R., Lengvarský, P., Pavelka, P., Kařavský, A., Mlotek, J. [Stiffness Estimation and Equivalence of Boundary Conditions in FEM Models](#). *Applied sciences*. 2021. 11(4), 1482. [Scopus](#), [WoS](#), Impact factor 2.474, pořadí 32/91 (Q2)

Suder, J., Bobovský, Z., Mlotek, J., Vocetka, M., Oščádal, P., Zeman, Z. [Structural Optimization Method of a FinRay Finger for the Best Wrapping of Object](#). *Applied sciences*. 2021. 11(9), 3858. [Scopus](#), [WoS](#), Impact factor 2.474, pořadí 32/91 (Q2)

Vocetka, M., Bobovský, Z., Babjak, J., Suder, J., Grushko, S., Mlotek, J., Krys, V., Hagara, M. [The influence of the Drift on the Robot Repeatability and its Compensation](#). *Applied sciences*. 2021. [Scopus](#), [WoS](#), Impact factor 2.747, pořadí 32/91 (Q2)

## 9.2. Články v domácích časopisech

Suder, J., Kot, T., Panec, A., Vocetka, M. [Analysis of Increasing the Friction Force of the Robot Jaws by Adding 3D Printed Flexible Inserts](#). *MM Science Journal*. 2021, issue December, pp. 5322-5326. ISSN 1803-3126. [WoS](#)

Mihola, M., Zeman, Z., Fojtík, D. [Automation of the Design of the Cross-Section of the Manipulator Arms Profile](#). *MM Science Journal*. 2021, issue October, pp. 4863-4871. ISSN 1803-3126. [Scopus](#), [WoS](#)

Zeman, Z., Mihola, M., Suder, J. [Design of Algorithms for Automatic Selection of Drive Units for Mechatronic Devices](#). *MM Science Journal*. 2021, issue June, pp. 4362-4370. ISSN 1803-3126. [Scopus](#), [WoS](#)

Suder, J., Bobovský, Z., Mlotek, J., Vocetka, M., Zeman, Z., Šafař, M. [Experimental Analysis of Temperature Resistance of 3D Printed PLA Components](#). *MM Science Journal*. 2021, issue March, pp. 4322-4327. ISSN 1803-3126. [Scopus](#), [WoS](#)

Grushko, S., Vysocký, A., Suder, J., Glogar, L., Bobovský, Z. [Improving Human Awareness During Collaboration With Robot: Review](#). *MM Science Journal*. 2021, issue December, pp. 5475-5480. ISSN 1803-3126.

Paška, Z., Rojíček, J., Fojtík, F., Krys, V., Fusek, M., Ličková, D. [Load Capacity of Helicoil Inserts in ABS-M30 Material Used for Additive Manufacturing](#). *MM Science Journal*. 2021, issue December, pp. 5414-5420. ISSN 1803-3126. [WoS](#)

Pastor, R., Bobovský, Z., Oščádal, P., Měsíček, J., Pagáč, M., Prada, E., Miková, L., Babjak, J. [Optimizing a Quadruped Robot: A Comparison of Two Methods](#). *MM Science Journal*. 2021, vol. 2021, issue June, pp. 4348-4355. ISSN 1803-3126. [Scopus](#), [WoS](#)

Mihola, M., Zeman, Z., Fojtík, D. [Research and Development of a Knowledge-Based Design System for Designing Selected Elements of Mechatronic Devices](#). *MM Science Journal*. 2021, issue December, pp. 5381-5390. ISSN 1803-3126. [WoS](#)

**Aktuální přehled publikační činnosti a dalších výstupů Katedry robotiky je uveden na:**

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

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