

Návrh výukového pracoviště s 6osým průmyslovým robotem Stäubli TX2-60 L

Bc. Robert Paštěka

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Robert Paštěka
Osobní číslo:	A23353
Studijní program:	N0714A150006 Automatické řízení a informatika v průmyslu 4.0
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh výukového pracoviště s 6osým průmyslovým robotem Stäubli TX2-60 L
Téma práce anglicky:	Design of a training workplace with a 6-axis industrial robot Stäubli TX2-60 L

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na téma roboty a výrobní technologie.
2. Vyhledejte možná komerčně dostupná řešení a popište je.
3. Navrhněte koncept výukového pracoviště s 6osým průmyslovým robotem Stäubli TX2-60 L.
4. Vytvořte soubor úloh dle navrženého konceptu výukového pracoviště.
5. Ověřte funkčnost navrženého řešení.
6. Diskutujte získané výsledky.

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

Seznam doporučené literatury:

1. Ian GIBSON, David ROSEN a Brent STUCKER. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer, 2015. ISBN 978-1-4939-2112-6.
2. Andreas GEBHARDT a Jan-Steffen HÖTTER. *Additive Manufacturing: 3D Printing for Prototyping and Manufacturing*. Munich: Carl Hanser Verlag, 2016. ISBN 978-1-56990-582-1.
3. Jadran LENARČIČ a Manfred HUSTY. *Latest Advances in Robot Kinematics*. Dordrecht: Springer, 2012. ISBN 978-94-007-4619-0.
4. John J. CRAIG. *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. Edinburgh: Pearson Education, 2014. ISBN 978-1-292-04004-2.
5. Zdeněk KOLÍBAL a kolektiv. *ROBOTY a robotizované výrobní technologie*. VUT v Brně: Nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Aleš Mizera, Ph.D.**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce: **13. prosince 2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2025**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 13. prosince 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.
- při tvorbě této práce jsem použil nástroj generativního modelu AI ChatGPT (<https://chatgpt.com/>) za účelem jazykové korektury, stylistických úprav a revize formulací textu. Po použití tohoto nástroje jsem provedl kontrolu obsahu a přebírám za něj plnou zodpovědnost.

Ve Zlíně, dne

.....

podpis autora

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce, je vytvoření souboru úloh pro robotické výukové pracoviště. Součástí práce je porovnání komerčně dostupných řešení tohoto pracoviště. Po vybrání robotu TX2-60L od společnosti Stäubli následovalo vytvoření tří úloh zaměřených na praktické programování a ovládání robotu s cílem seznámit studenty s možnostmi a principy programování tohoto robotu. Funkčnost navrženého řešení byla ověřena vypracováním těchto úloh. Výsledky potvrzují, že navržené pracoviště splňuje cíle těchto úloh a je vhodné pro začlenění do výuky robotiky na FAI UTB.

Klíčová slova: robotika, průmyslový robot, programování, výukové pracoviště, Stäubli, TX2-60L

ABSTRACT

The purpose of the thesis is to create a set of tasks for a robotic teaching workplace. Part of the thesis is a comparison of commercially available solutions for this workplace. After the selection of the TX2-60L robot from Stäubli, the next step was to create three tasks focused on the practical programming and control of the robot in order to familiarize students with the possibilities and principles of programming this robot. The functionality of the proposed solution was verified by developing these tasks. The results confirm that the proposed workstation meets the objectives of these tasks and is suitable for incorporation into the teaching of robotics at FAI UTB.

Keywords: robotics, industrial robot, programming, educational workstation, Stäubli, TX2-60L

Rád bych poděkoval své rodině a přátelům za veškerou podporu, trpělivost a povzbuzení během celého studia. Zvláštní poděkování patří vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Alešovi Mizerovi, Ph.D., za jeho čas, cenné rady, ochotu, a především trpělivost při vedení této práce. Jeho odborné vedení a podpora mi velmi pomohly při jejím zpracování.

OBSAH

ÚVOD.....	12
I TEORETICKÁ ČÁST	13
1 ZÁKLADNÍ INFORMACE	14
1.1 ROBOTIKA	14
1.2 OBECNÁ DEFINICE ROBOTŮ	14
1.2.1 Skloňování slova robot.....	15
1.3 ZÁKONY ROBOTIKY	16
1.4 ROZDĚLENÍ ROBOTŮ DLE VYUŽITÍ	16
1.4.1 Mobilní roboty	16
1.4.2 Průmyslové roboty	17
1.5 PRŮMYSLOVÉ TECHNOLOGIE V KONTEXTU PRŮMYSLU 4.0.....	17
1.5.1 Automatizace.....	17
1.5.2 Internet věcí (IoT) a chytré továrny	18
1.5.3 Digitální dvojčata ve výrobních procesech	18
1.5.4 Aditivní výroba	18
1.5.5 Průmyslové informační systémy (MES, SCADA, ERP)	18
2 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY	20
2.1 HISTORIE PRŮMYSLU A JEHO VÝVOJ	20
2.1.1 Předindustriální období – do 18. století	20
2.1.2 Průmyslová revoluce – 18. – 19. století	20
2.1.3 Druhá průmyslová revoluce – konec 19. – začátek 20. století.....	21
2.1.4 Třetí průmyslová revoluce – 20. století – současnost	21
2.1.5 Průmysl 4.0	22
2.2 HISTORIE A VÝVOJ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	22
2.3 DEFINICE A ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	23
2.3.1 Definice	23
2.3.2 Charakteristika průmyslových robotů	24
2.3.3 Vlastnosti průmyslových robotů	24
2.4 POHYBOVÉ PRVKY PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	25
2.4.1 Kinematická dvojice.....	25
2.4.2 Rozdělení podle typu struktury	26
2.5 KLASIFIKACE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	28
2.5.1 Klasifikace podle generace	28
2.5.2 Klasifikace podle kinematiky (SCARA, Delta, šestiosé atd.).....	29
2.5.3 Klasifikace podle počtu stupňů volnosti	31
2.5.4 Podle způsobů řízení	32
2.5.5 Podle způsobu interakce s člověkem.....	32
3 VÝROBNÍ TECHNOLOGIE A JEJICH ROBOTIZACE	33

3.1	PŘEHLED HLAVNÍCH VÝROBNÍCH TECHNOLOGIÍ	33
3.1.1	Obrábění (třískové a netřískové obrábění)	33
3.1.2	Tváření (lisování, tažení, kování, válcování)	33
3.1.3	Svařování.....	34
3.1.4	Povrchové úpravy	34
3.1.5	Licí technologie	34
3.1.6	Plastové technologie.....	34
3.1.7	3D tisk a aditivní výroba	35
3.2	ROBOTIZACE VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ	35
3.2.1	Složení RTP a výrobních systémů.....	36
3.2.2	RTP a manipulace s materiálem	39
3.2.3	Periferní zařízení RTP	40
3.3	NÁVRHY RTP PRO RŮZNÉ TECHNOLOGIE	41
3.3.1	RTP pro obrábění	41
3.3.2	RTP pro tváření	42
3.3.3	RTP pro svařování.....	43
3.3.4	RTP pro montáž.....	44
3.3.5	RTP pro paletizaci	45
II	PRAKTICKÁ ČÁST	46
4	KOMERČNĚ DOSTUPNÁ ŘEŠENÍ	47
4.1	STÄUBLI TX2-60 L.....	47
4.1.1	Technické parametry a konstrukce.....	47
4.1.2	Možnosti a aplikace v průmyslu.....	48
4.1.3	Programování a řízení robotu	49
4.2	KR AGILUS KR 6 R900-2	50
4.2.1	Technické parametry a konstrukce.....	50
4.2.2	Možnosti a aplikace v průmyslu.....	51
4.3	ABB – IRB 1600-6/1.2	52
4.3.1	Technické parametry a konstrukce.....	52
4.3.2	Možnosti a aplikace v průmyslu.....	53
4.4	POROVNÁNÍ.....	54
5	KONCEPT VÝUKOVÉHO PRACOVÍŠTĚ – STÄUBLI TX2-60 L	55
5.1	POPIS PRACOVÍŠTĚ.....	55
5.2	ODKLÁDACÍ STŮL	56
5.3	DOPRAVNÍKOVÉ PÁSY	58
5.3.1	Dopravníkový pás A.....	58
5.3.2	Dopravníkový pás B	59
5.4	ODKLÁDACÍ SKŘÍŇ S KAMEROVÝM SYSTÉMEM.....	60
5.5	NÁSTROJ.....	61
6	STÄUBLI ROBOTICS SUITE.....	62

6.1	SRS PROSTŘEDÍ.....	62
6.2	TEACH PENDANT SP2	64
6.3	VAL3.....	69
7	SOUBOR ÚLOH	76
7.1	ÚLOHA 1 – KALIBRACE ROBOTU A PROSTŘEDÍ	76
7.1.1	Cíl úlohy.....	76
7.1.2	Zadání.....	76
7.1.3	Doporučený postup	76
7.1.4	Vypracování	77
7.2	ÚLOHA 2 – PICK AND PLACE.....	88
7.2.1	Cíl úlohy.....	88
7.2.2	Zadání.....	88
7.2.3	Doporučený postup	88
7.2.4	Vypracování	89
7.3	ÚLOHA 3 – TRÍDĚNÍ VÁLEČKŮ DLE BARVY	96
7.3.1	Cíl úlohy.....	96
7.3.2	Zadání.....	96
7.3.3	Doporučený postup	96
7.3.4	Vypracování	97
8	DISKUSE VÝSLEDKŮ	105
8.1	OVĚŘENÍ SPLNITELNOSTI ÚLOH	105
8.2	MOŽNOSTI ROZŠÍŘENÍ PRACOVISTĚ	106
8.3	ZHODNOCENÍ FUNKČNOSTI PRACOVISTĚ	106
	ZÁVĚR	107
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	109
	SEZNAM OBRÁZKŮ	112
	SEZNAM TABULEK.....	115
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	116
	SEZNAM PŘÍLOH.....	117
	PŘÍLOHA P I: PROTOKOL – ÚLOHA 1.....	118
	PŘÍLOHA P II: PROTOKOL – ÚLOHA 2	120
	PŘÍLOHA P III: PROTOKOL – ÚLOHA 3.....	122

ÚVOD

Automatizace a robotizace patří mezi klíčové prvky moderního průmyslu, přičemž poptávka po odbornících schopných efektivně pracovat s průmyslovými roboty neustále roste. Z tohoto důvodu je důležité věnovat pozornost kvalitní přípravě studentů technických oborů, kteří se v rámci studia často setkávají především s teoretickými poznatky. Výukové pracoviště představují důležitý nástroj, jenž umožňuje propojit teoretické znalosti s praktickými dovednostmi, zejména pokud jsou vybavena roboty běžně používanými v průmyslové praxi.

Tato diplomová práce se zaměřuje na návrh výukového pracoviště využívajícího 6osý průmyslový robot Stäubli TX2-60L. Cílem práce je vytvořit koncept vhodný pro výukové účely v oblasti průmyslové robotiky, přičemž důraz je kladen na dostupnost, funkčnost a praktickou využitelnost navrženého řešení.

V teoretické části práce je provedena literární rešerše zaměřená na oblast průmyslových robotů a souvisejících výrobních technologií. Rešerše zahrnuje stručný přehled vývoje průmyslu, historii průmyslové robotiky, klasifikaci robotů a přehled jejich praktického uplatnění v současné výrobní praxi.

Praktická část práce se věnuje analýze komerčně dostupných výukových pracovišť, na jejímž základě je navržen konkrétní koncept výukového pracoviště s robotem Stäubli TX2-60L. Součástí návrhu je sada tří výukových úloh, jejichž cílem je umožnit studentům osvojit si základní principy programování a ovládání robotu. Úlohy jsou koncipovány tak, aby na sebe logicky navazovaly a postupně zvyšovaly svou náročnost. Funkčnost navrženého řešení je ověřena implementací a testována z hlediska využitelnosti při výuce na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

V závěrečné části práce jsou diskutovány dosažené výsledky, ověřena splnitelnost navržených úloh a zhodnocena funkčnost výukového pracoviště z hlediska jeho využitelnosti ve výuce průmyslové robotiky.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

Tato kapitola je zaměřená na vysvětlení základních pojmů jako je robotika, internet věcí, digitální dvojče a průmyslové informační systémy. Dále pak na obecnou definici robotů, manipulátorů a nejzákladnější rozdělení robotů.

1.1 Robotika

Obor robotika vznikl spojením elektroniky, mechaniky a programování. Zabývá se konstrukcí a vývojem do určité míry inteligentních strojů, nazývaných roboti. Hlavním cílem při vývoji těchto strojů je zefektivnění či zcela nahrazení lidské činnosti. Roboti jsou využíváni k nahrazení člověka při opakujících se činnostech. Roboti dokážou danou činnost provádět s daleko větší přesností a rychlostí. Dále je můžeme využít při činnostech v nebezpečných prostředích, kde by hrozilo ohrožení života. Robotiku dělíme na mobilní robotiku a průmyslovou robotiku. [1][2][3]

1.2 Obecná definice robotů

Robot je stroj, který je navržen k vykonávání specifického úkolu. Je schopen plnit tento úkol autonomně a do určité míry při tom reagovat na své okolí. Rovněž je schopen komunikovat se zadavatelem. Robot své okolí vnímá pomocí senzorů (kamery, ultrazvukové snímače vzdálenosti atd.). [4]

Pojem „robot“ pochází z českého jazyka ze slova „robota“, které se používá jako označení pro nucenou práci. Toto slovo bylo poprvé použito Karlem Čapkem v divadelní hře R.U.R. [1]

1.2.1 Skloňování slova robot

Slovo robot má dvě varianty:

1. stroj podobný člověku – mužský životný rod (viz tabulka 1)
2. stroj nepodobající se člověku – mužský neživotný rod (viz tabulka 1)

Tabulka 1 Skloňování slova robot [5][6]

Robot – stroj podobný člověku mužský životný rod			Robot – stroj nepodobající se člověku mužský neživotný rod	
Jednotné číslo		Množné číslo	Jednotné číslo	Množné číslo
1. pád	robot	roboti	robot	roboty, roboti
2. pád	robota	robotů	robotu, robota	robotů
3. pád	robotu, robotovi	robotům	robotu, robotovi	robotům
4. pád	robota	roboty	robot, robota	roboty
5. pád	robote	roboti	robote	roboty, roboti
6. pád	robotu, robotovi	robotech	robotu, robotovi	robotech
7. pád	robotem	roboty	robotem	roboty

Technici, konstruktéři, odborníci a znalci problematiky necht' zůstanou zásadně u jednoznačného a dle tabulky přípustného skloňování neživotního substantiva „robot“ a podle klasického vzoru „hrad“, a to jak v singuláru, tak v plurálu. Tím se odliší od laiků v tomto oboru. [7]

1.3 Zákony robotiky

Sci-fi spisovatel Isaac Asimov poprvé představil „Tři zákony robotů“, které se od té doby staly základními principy pro roboty v literatuře, filmu i výzkumu robotiky. Tyto zákony stanovují:

1. *Robot nesmí ublížit člověku, nebo skrze nečinnost způsobit, že by bylo člověku ublíženo.*
2. *Robot musí poslouchat rozkazy lidí, pokud tyto rozkazy nejsou v rozporu s prvním zákonem.*
3. *Robot musí chránit svou existenci, pokud tím není narušen první nebo druhý zákon.*

Tyto pravidla se využívají především v popkultuře. V současné době ještě není inteligence robotů natolik vyvinuta, aby bylo potřeba aplikovat tyto zákony. Avšak vzhledem k technologickému pokroku a vývoji umělé inteligence v posledních letech je potřeba brát tyto pravidla v potaz a nezanedbávat otázku etiky při vývoji robotů. [8]

1.4 Rozdělení robotů dle využití

Níže je základní rozdělení robotů dle využití a základní informace k tomuto rozdělení.

1.4.1 Mobilní roboty

Mobilní roboty nacházejí uplatnění ve všech typech prostředí naší planety i mimo ni. Používají se v domácnostech, například jako robotické vysavače, při doručování zásilek, při mapování terénu v zemědělství nebo při průzkumu vesmíru, například jako vesmírné sondy. [1]



Obrázek 1: Planetární sonda Opportunity od společnosti NASA [9]

Tabulka 2 – Rozdělení mobilních robotů [1]

Rozdělení podle	Kategorie	Popis
Schopnost autonomie	Autonomní	Schopni pohybu bez zásahu člověka na základě dat ze senzorů.
	Dálkově ovládané	Řízeny člověkem pomocí dálkového ovladače nebo jiné zařízení.
Využití	Manipulační/dopravní	Slouží k přepravě objektů, např. ve skladech.
	Záchranářské	Využívány k záchraně osob v nebezpečném prostředí.
	Vojenské	Armádní roboty pro různé operace.
	Průzkumné	Sbírají data z prostředí, např. pro mapování nebo inspekci.
Prostředí	Vodní	Roboty operující ve vodním prostředí
	Suchozemští	Pohybují se po souši. Dále se dělí dle typu podvozku.
	létající	Typicky drony operující ve vzduchu
	Vesmírní	Přizpůsobení pro pohyb při nízké nebo vysoké gravitaci.

1.4.2 Průmyslové roboty

Pod pojmem průmyslový robot si můžeme představit jakékoliv roboty, které vykonávají činnost v továrně. Podrobnější popis průmyslových robotů je v dalších částech této práce.

1.5 Průmyslové technologie v kontextu průmyslu 4.0

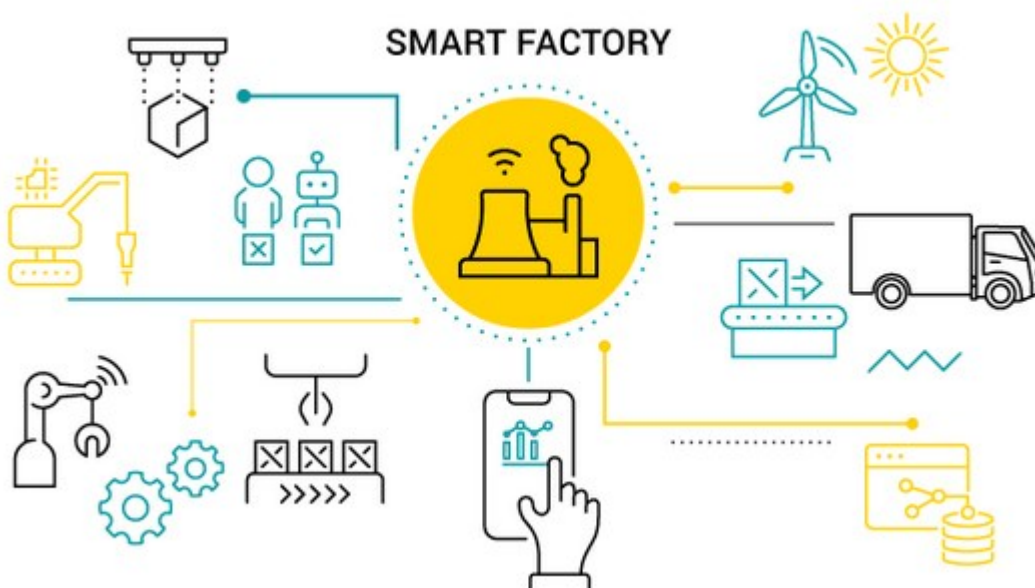
Průmysl 4.0 je čtvrtou průmyslovou revolucí. Využívá pokročilé technologie výroby, automatizaci a propojuje fyzický a digitální svět.

1.5.1 Automatizace

Automatizace zahrnuje pokročilé řídicí technologie například PLC a SCADA systémy, které umožňují decentralizované řízení výroby a integraci různých výrobních prvků výrobních linek do jednoho funkčního celku. Přináší zlepšení flexibilitu a adaptivitu výrobních procesů. [10]

1.5.2 Internet věcí (IoT) a chytré továrny

Průmyslový internet věcí (IoT) umožňuje propojení strojů, zařízení a senzorů v rámci výrobního podniku i napříč dodavatelskými řetězci. Systémy sběru dat v reálném čase poskytují informace využitelné pro prediktivní údržbu, řízení kvality či optimalizaci výrobních toků. [11]



Obrázek 2: Chytrá továrna [12]

1.5.3 Digitální dvojčata ve výrobních procesech

Digitální dvojče představuje virtuální model reálného zařízení, procesu či celého výrobního systému. Umožňuje simulaci, testování a optimalizaci výrobních operací bez zásahu do skutečného provozu. Tím se zvyšuje efektivita plánování a snižují náklady na fyzické prototypování. [13]

1.5.4 Aditivní výroba

Dalším důležitým prvkem je aditivní výroba (např. 3D tisk), která umožňuje rychlou výrobu prototypů i koncových dílů s vysokou mírou přizpůsobení. Tato technologie přispívá ke zkrácení doby vývoje a vyšší výrobní flexibilitě. [14]

1.5.5 Průmyslové informační systémy (MES, SCADA, ERP)

Průmyslové informační systémy hrají v rámci Průmyslu 4.0 klíčovou roli, protože umožňují propojení výrobních procesů s podnikovým řízením a analytikou.

Systémy MES (Manufacturing Execution Systems) slouží k řízení a monitorování výrobních operací na dílenské úrovni, přičemž zajišťují tok informací mezi výrobními zařízeními a nadřazenými systémy. [15]

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) umožňuje sběr a vizualizaci dat v reálném čase, a je často využíván pro řízení technologických procesů. [16]

ERP systémy (Enterprise Resource Planning) zajišťují plánování a řízení podnikových zdrojů napříč různými odděleními – od nákupu a logistiky až po výrobu a finance. Integrace těchto systémů je zásadní pro dosažení transparentnosti, efektivity a flexibility výrobních a obchodních procesů v digitálním podniku. [17]

2 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY

V této kapitole je popsána historie průmyslu a průmyslových robotů včetně definice průmyslových robotů a jejich rozdělení.

2.1 Historie průmyslu a jeho vývoj

Historii průmyslu můžeme rozdělit na několik zásadních období, které ovlivnily nejen jeho podobu ale i ekonomiku, společnost a životní styl lidí.

2.1.1 Předindustriální období – do 18. století

V období před průmyslovou revolucí byla výroba založena převážně na ruční práci a jednoduchých mechanických nástrojích. Mezi charakteristické znaky tohoto období patří:

- řemeslná výroba – zboží vyráběno v malých dílnách, za hlavního organizátora výroby považujeme cechy
- domácí manufaktury – výroba v domácnostech, ruční práce tzn. jednoduché výrobky
- dominance zemědělství – většina populace se živila zemědělstvím [18]

2.1.2 Průmyslová revoluce – 18. – 19. století

V tomto období nastala zásadní změna v technologii, organizaci práce a hospodářském vývoji. Hlavními znaky tohoto období jsou:

- mechanizace výroby – vynález parního stroje (James Watt, 1769), to umožnilo rychlejší a efektivnější výrobu
- rozvoj textilního průmyslu – mechanický tkalcovský stav a spřádací stroje umožnily výrazně větší produkci textilu
- těžký průmysl – rozšíření výroby oceli (Bessemerův proces, 1856) a těžby uhlí
- doprava – vývoj železnic a parníků usnadnil přepravu zboží a lidí
- urbanizace – stěhování obyvatel z venkova do měst, díky vzniku nových pracovních míst v továrnách [18]

Vliv na automatizaci:

- snížení závislosti na ruční práci díky zavedení strojů
- přesunutí výroby z malých dílen do továren

- zvýšení efektivity a rychlosti výroby [18]

2.1.3 Druhá průmyslová revoluce – konec 19. – začátek 20. století

V tomto období došlo k masové výrobě díky novým technologiím. Charakteristické znaky jsou:

- elektřina – nahrazením parního pohonu došlo k zefektivnění výroby
- automobilový průmysl – zavedení pásové výroby (Henry Ford, 1913) umožnilo sériovou výrobu
- chemický průmysl – došlo k rozvoji farmaceutického, gumárenského a petrochemického průmyslu
- telekomunikace – vznik telefonu (Alexander Graham Bell, 1876) a rozvoj telegrafie [18]

Vliv na automatizaci:

- dělníci vykonávali specifické činnosti a hlavní část výroby zajišťovaly stroje
- minimalizace lidské práce na repetitivních činnostech
- základy moderní robotiky [18]

2.1.4 Třetí průmyslová revoluce – 20. století – současnost

V tomto období dochází k digitalizaci a automatizaci výroby. Hlavní znaky tohoto období:

- počítače a elektronika – díky vzniku tranzistorů (1947) a mikroprocesorů (1971) došlo k masivnímu rozšíření výpočetní techniky
- automatizace a robotizace – zavádění průmyslových robotů do výroby od 60. let 20. století
- globalizace výroby – přesun výroby do rozvojových zemí kvůli levnější pracovní síle [19]

Vliv na automatizaci:

- vznik automatizovaných továren s minimální lidskou interakcí
- snížení nákladů a zvýšení bezpečnosti práce
- flexibilnější výroba vlivem programování [19]

2.1.5 Průmysl 4.0

Současný vývoj směřuje k plné digitalizaci a propojení všech výrobních procesů. Mezi hlavní znaky průmyslu 4.0 patří:

- internet věcí (IoT) – chytré továrny, stroje komunikující mezi sebou a optimalizace výroby
- umělá inteligence – analýza dat a prediktivní údržba výrobních strojů
- 3D tisk – možnost levnější výroby specifických dílů na míru bez potřeby velkosériové výroby
- udržitelnost – ekologičtější výroba, snižování uhlíkové stopy [20]

Vlivy na automatizaci:

- plně autonomní výrobní systémy schopné samostatného rozhodování
- snížení výrobních nákladů a zvýšení efektivity díky real-time optimalizaci
- výroba na míru [20]

2.2 Historie a vývoj průmyslových robotů

První návrhy automatizovaných zařízení se datují až do starověku. Moderní historie průmyslových robotů začíná v 50. letech 20. století. První průmyslový robot byl spuštěn v továrně General Motors v roce 1954. Jednalo se o robot s názvem Unimate od společnosti Unimation a jeho využití spočívalo v manipulaci s horkými kovovými díly. [21]

K prvnímu výraznému pokroku v oblasti průmyslových robotů došlo v 70. letech. Společnost ASEA (dnes součást ABB) představila robot IRB 6. Jednalo se o prvního plně elektricky poháněný robot s mikroprocesorovým řízením. Dále v tomto období uvedla společnost KUKA na trh robot FAMULUS, první průmyslový robot s šestiosou elektromechanickou konstrukcí. [22][23]



Obrázek 3: Robot FAMULUS společnosti KUKA [24]

Od 80. let se průmyslové roboty stávají nedílnou součástí výrobních procesů v mnoha odvětvích. S pokrokem v oblastech senzorů, strojového vidění a umělé inteligence se roboty stávají stále schopnějšími vykonávat složitější úkoly. Aktuální vývoj směřuje k začlenění robotů do průmyslu 4.0, kde tvoří nedílnou součást inteligentních a propojených výrobních systémů. [22][23]

2.3 Definice a základní charakteristiky průmyslových robotů

Součástí této podkapitoly jsou základní definice manipulátoru a průmyslového robotu. Dále pak charakteristiky a vlastnosti průmyslových robotů.

2.3.1 Definice

1) Manipulátor

Manipulátor je mechanické zařízení určené pro uchopení a manipulaci s objekty. Je tvořeno základním ramenem, které se skládá z kloubových článků a pohonných jednotek.

Podle normy ISO 8373, vydané Mezinárodní organizací pro standardizaci, jsou manipulátory definovány následovně: *stroj, ve kterém mechanismus obvykle sestává ze sady členů (segmentů) navzájem spojených otočnou nebo posuvnou vazbou za účelem uchopení a/nebo přemísťování předmětů (obrobků nebo nástrojů obvykle v několika stupních volnosti.* [25]

2) Průmyslový robot

Jedná se o komplexní systém, který kromě samotného manipulátoru obsahuje řídicí systém, senzory a další komponenty umožňující automatizaci a inteligentní řízení celého procesu.

Podle normy ISO 8373, vydané Mezinárodní organizací pro standardizaci, jsou průmyslové roboty definovány následovně: *automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď upevněn na místě, nebo mobilní k využití v průmyslových aplikacích.* [25]

2.3.2 Charakteristika průmyslových robotů

Mezi základní charakteristiky průmyslových robotů patří:

- morfologie – struktura, tvar a uspořádání pohyblivých částí robotu
- počet stupňů volnosti – spolu s vlastní velikostí robotu určují pracovní prostor robotu. Běžné roboty mívají 5 až 6 stupňů volnosti.
- způsob pohonu – jaký typ pohonu robot využívá k pohybu jednotlivých pohyblivých částí (mechanický, pneumatický, hydraulický, elektrický, kombinovaný)
- Druh servopohonů a způsob odměřování – souvisí s použitým typem pohonu. Není pro většinu uživatelů rozhodující prvek.
- Způsob řízení a komunikace s okolím – závisí na použitém hardwaru a softwaru
- Autonomnost robotu – zahrnuje všechny použité senzory a udává, zda je schopen robot spolupracovat s člověkem. [7]

2.3.3 Vlastnosti průmyslových robotů

Mezi základní vlastnosti průmyslových robotů patří:

- Vlastní velikost a hmotnost – je dána stavbou průmyslového robotu a jeho plánovaným využitím. Průmyslový robot je navržen tak aby hmotnost pohyblivých částí byla co nejnižší a zároveň bylo dosaženo potřebné pevnosti a tuhosti při jeho využití.
- Hmotnost břemene – tento parametr udává jaká je maximální hmotnost břemene, se kterým je robot schopen manipulovat. Naprostá většina výrobců udává tento údaj včetně hmotnosti koncového efektoru (nástroje). Čistá hmotnost manipulovaného břemene je tedy podstatně nižší.

- Dosahovaná přesnost – je závislá na hmotnosti břemene, se kterým robot manipuluje. Udává přesnost, jaké lze dosáhnout při opakovaném pohybu.
- Rychlost pohybů – tato veličina je závislá na použitém typu pohonů, okamžitém zatížení robotu a dosahované přesnosti.
- Způsob a rozsah vnímání – dáno použitými senzory [7]

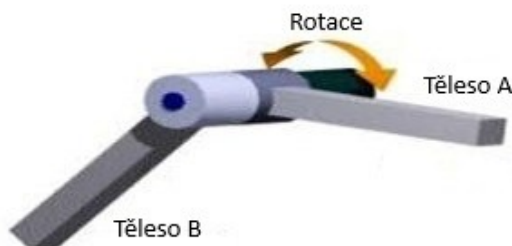
2.4 Pohybové prvky průmyslových robotů

Tato podkapitola se věnuje pohybovým prvkům průmyslových robotů.

2.4.1 Kinematická dvojice

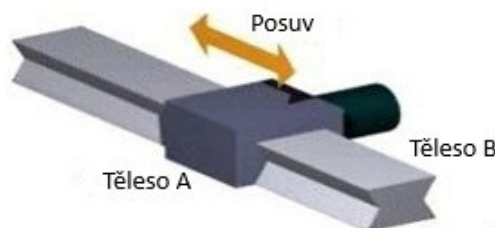
Kinematická dvojice představuje dvojici částí robotu, které jsou navzájem pohyblivě spojeny. Pohyb jedné části vůči druhé je omezen. Obvykle disponuje jedním stupněm volnosti.

- Rotační KD – určuje pohyblivou křivku jako kruhový oblouk, který má střed v bodě spojení. Poloměr je dán délkou tělesa.



Obrázek 4: Rotační kinematická dvojice [26]

- Posuvná (translační) KD – pohyb je po přímce mezi stacionární částí B a pohyblivou částí A.



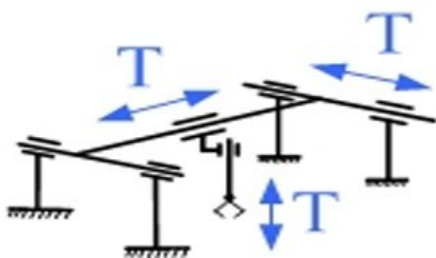
Obrázek 5: Translační kinematická dvojice [26]

Tyto kinematické dvojice mohou dále tvořit libovolně dlouhé řetězce. K dosažení libovolného bodu v pracovním prostoru stačí 3 stupně volnosti, tedy pohyb v osách X, Y, Z. Pokud je vyžadován přístup k libovolnému bodu v pracovním prostoru z různých směrů je potřeba dalších 3 stupňů volnosti. [26]

2.4.2 Rozdělení podle typu struktury

1) Struktura TTT – portálová struktura

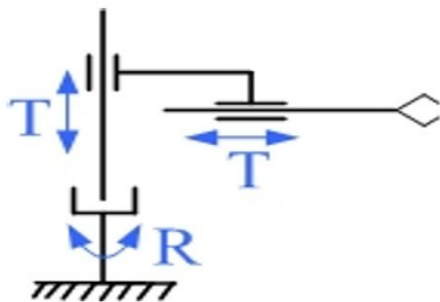
Jedná se o 3 translační pohybové jednotky, které jsou vzájemně na sebe kolmé. Nejčastěji se této struktury využívá u portálových přemisťovacích systémů – např. pro vyprázdnění palet. Pracovní prostor je ve tvaru kvádra. Pohyb je možný v osách x, y, z. Mezi klíčové vlastnosti patří stabilita, přesnost a jednoduché programování. Nevýhoda je prostorová pohyblivost. [26]



Obrázek 6: Struktura TTT [26]

2) Struktura RTT – válcová, cylindrická struktura

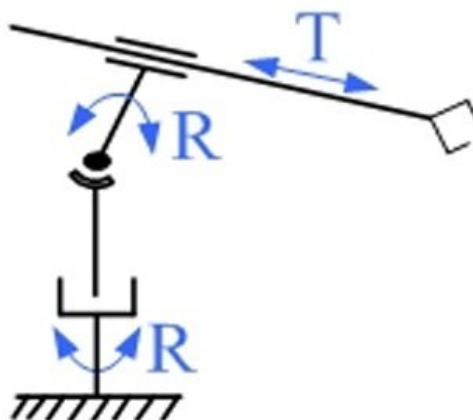
Tato struktura se skládá z jednoho rotačního a dvou translačních, na sebe kolmých, pohybů. Základem pohybu je otáčení hlavní části okolo své osy. Nosné rameno se pohybuje translačním pohybem po hlavní části robotu. Uchopovací zařízení se pohybuje horizontálně pomocí teleskopického prodlužování nebo krácení ramena. Pracovní prostor je ve tvaru válce. Tato struktura se vyznačuje svojí robustností a jednoduchým řízením. [26]



Obrázek 7: Struktura RTT [26]

3) Struktura RRT – polární, sférický, kloubový robot

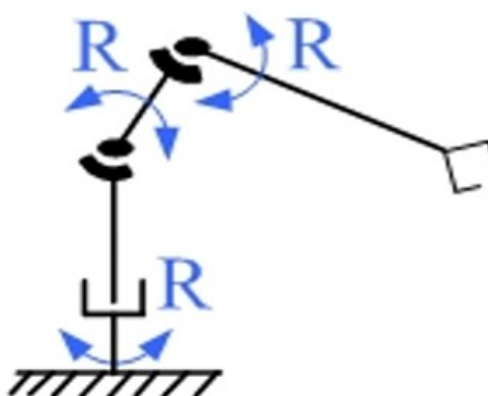
Složení této struktury je 2 rotační a 1 translační KD. Jedná se o nejrozšířenější strukturu, především z důvodu minimální prostorové náročnosti. Základem pohybu nosného ramena je otáčení kolem své osy, dále má rameno možnost náklonu. Horizontální pohyb je zabezpečen vysunutím ramene. Pracovní prostor odpovídá kulovité ploše a rovině. [26]



Obrázek 8: Struktura RRT [26]

4) Struktura RRR – otáčivý, úhlový robot

Struktura je složena ze tří rotačních KD. Robot se tedy skládá ze tříčlenného ramena se třemi klouby. Pracovní prostor je vymezen kulovitou plochou. Charakteristická vlastnost této struktury je dobrá manipulační schopnost. [26]

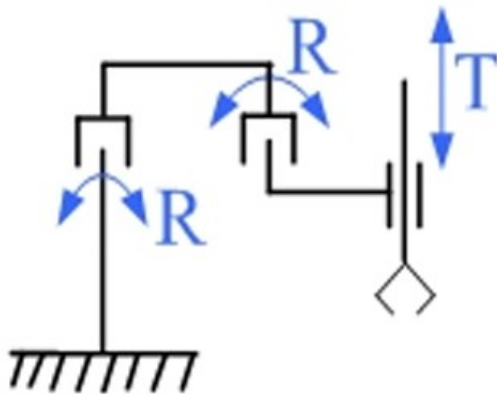


Obrázek 9: Struktura RRR [26]

5) Struktura SCARA

Tato struktura je složena dvěma rotačníma KD a jedné translační KD. Hlavní výhodou je vysoká pohyblivost. Mezi další výhody patří vysoká rychlost pohybu a vysoké zrychlení.

Nevýhodou potom menší pracovní prostor ve tvaru prstence a složitější řízení. Uplatňuje se při plošných montážích. [26]



Obrázek 10: Struktura SCARA [26]

2.5 Klasifikace průmyslových robotů

Průmyslové roboty se dělí podle následujících kritérií:

2.5.1 Klasifikace podle generace

Tabulka 3: Rozdělení robotů dle generace [26][27]

Generace	Charakteristika
Nultá	Bez zpětné vazby. V případě poruchy nebo nedovolené změny v monitorované oblasti dojde k zastavení a přivolání obsluhy.
První	Jednoduchá zpětná vazba. Roboty mohou přepínat mezi několika předpřipravenými podprogramy.
Druhá	Schopnost optimalizace. Výběr nejvhodnějšího programu podle zadaného kritéria. (např. přesnost)
Třetí	Samostatná tvorba programu. Učení se na základě zkušeností, vstupem je pouze cíl úkolu.
Čtvrtá	Autonomní roboty se sociálním chováním podobnému lidskému.

2.5.2 Klasifikace podle kinematiky (SCARA, Delta, šestiosé atd.)

1) Kartézské (portálové) roboty

Jedná se o roboty se strukturou typu TTT – 3 translační pohybové jednotky. Díky jejich jednoduché konstrukci se nejčastěji využívají pro přesun výrobků (např. z palety na paletu). [28]



Obrázek 11: Kartézský typ robotu [29]

2) Cylindrické roboty

Struktura těchto robotů je typu RTT – 1 rotační a 2 translační pohybové jednotky. Využití těchto robotů je především při bodovém svařování, manipulaci s tlakovými odlitky, broušení, paletizaci. [30]



Obrázek 12: Cylindrický robot [30]

3) SCARA roboty

Kinematická struktura u těchto robotů je typu RRT. Tyto roboty se využívají pro stejné účely jako kartézské roboty. Oproti nim jsou však rychlejší, přesnější a lépe se integrují. [31]



Obrázek 13: SCARA robot [32]

4) Kloubové (antropomorfní) roboty

Jedná se o nejrozšířenější typ průmyslových robotů. Tyto roboty mají 4-6 stupňů volnosti a připomínají lidskou paži. Robotické rameno je složeno z kloubů a se základnou je spojeno rotačním kloubem. Pracovní prostor je ve tvaru polokoule. Nejčastěji se využívají pro paletizaci, svařování, manipulaci, montáž atd. [31]



Obrázek 14: Kloubový průmyslový robot [33]

5) Delta roboty (paralelní)

Delta roboty jsou označovány jako paralelní roboty. Jedná se o 3 robotická ramena, která jsou spojena k jedné základně namontované nad pracovní prostor. Každé z ramen může ovládat všechny klouby koncového efektoru. Tyto roboty dosahují jemných a přesných pohybů, zároveň však velice rychlých. Nejčastěji jsou využívány v potravinářském, farmaceutickém a elektronickém průmyslu. [31]



Obrázek 15: Delta robot [34]

2.5.3 Klasifikace podle počtu stupňů volnosti

Rozdělení dle počtu stupňů volnosti je klíčové pro určení pohybových schopností robotu a vhodnosti pro různé typy úloh v průmyslu.

DOF = degrees of freedom

Tabulka 4: Klasifikace podle počtu stupňů volnosti

Počet DOF	Charakteristika	Příklady
Nízký (3-4 DOF)	Omezená pohyblivost. Vhodné pro jednoduché manipulace a úlohy s malým pracovním prostorem.	Delta roboty, některé SCARA roboty
Střední (5-6 DOF)	Běžné u většiny průmyslových robotů. Flexibilnější pohyb a lepší prostorová orientace.	Standardní průmyslové roboty.
Vysoký (7+ DOF)	Umožňují komplexnější pohyb, složité trajektorie a vyhýbání překážkám. Typické pro kolaborativní roboty.	Kolaborativní roboty se 7 klouby.

2.5.4 Podle způsobů řízení

Rozdělení dle způsobů řízení určuje schopnosti robotu a jeho využití v průmyslových aplikacích.

Tabulka 5: Klasifikace podle typu řízení

Typ řízení	Charakteristika	Příklady využití
Programovatelné	Vykonávají předem definované trajektorie.	Manipulace, montáž svařování, paletizace
Adaptivní (senzorické)	Reagují na okolí pomocí senzorů (LIDAR, kamera, spínače). Umožňují variabilitu a přizpůsobení.	Třídění objektů, flexibilní manipulace
Autonomní	Samostatné rozhodování a plánování trajektorie v reálném čase. Využívají AI a strojové učení.	AGV vozíky, mobilní robotika

2.5.5 Podle způsobu interakce s člověkem

Průmyslové roboty dle způsobu interakce s člověkem lze rozdělit na dva základní typy:

Tradiční průmyslové roboty pracují v oddělených prostorech bez přímé interakce s člověkem. Vyžadují bezpečnostní opatření jako např. ochranné bariéry nebo světelné závory. Jsou vhodné pro úkoly vyžadující vysokou přesnost a rychlost.

Kolaborativní roboty jsou navrženy pro bezpečnou spolupráci s člověkem. Jsou vybaveny senzory pro detekci kolize. Používají se v aplikacích, kde robot doplňuje lidskou práci, například při montáži nebo manipulaci s křehkými objekty.

3 VÝROBNÍ TECHNOLOGIE A JEJICH ROBOTIZACE

V této kapitole se nachází popis automatizace ve výrobních systémech a nejčastěji využívaných výrobních technologiích spojených s roboty.

3.1 Přehled hlavních výrobních technologií

Výrobní technologie jsou jednotlivé metody a procesy používané k přeměně surovin na konečné produkty. Jednotlivé výrobní technologie jsou popsány níže.

3.1.1 Obrábění (třískové a netřískové obrábění)

Obrábění je technologický proces, při kterém se polotovar přetváří na požadovaný tvar, rozměr a kvalitu podle technické dokumentace. Dělí se na třískové obrábění a beztřískové obrábění. [35][36]

Mezi procesy **třískového obrábění** patří soustružení, frézování a vrtání. Základem tohoto procesu je odstraňování materiálu ve formě třísek za účelem dosažení požadovaného tvaru a rozměru.

Pod pojmem **beztřískové obrábění** si lze představit procesy, které používají jiné principy pro odstraňování materiálu. Patří sem například laserové obrábění, obrábění vodním paprskem a elektroerozivní obrábění (EDM).

3.1.2 Tváření (lisování, tažení, kování, válcování)

Tváření je výrobní technologie, při které se mění tvar materiálu působením mechanických sil, aniž by došlo k porušení jeho celistvosti. Proces probíhá za studena nebo za tepla a materiál během tohoto procesu nemění svůj objem.

Mezi základní metody patří:

- Kování – materiál tvarován za tepla působením tlaku za účelem zvýšení mechanických vlastností a dosažení požadovaného tvaru
- Lisování – tvarování materiálu působením tlaku pomocí lisu za účelem dosažení přesného tvaru, nejčastěji za studena
- Válcování – průchod materiálu skrze válec za účelem snížení tloušťky nebo průřezu [35][36]

3.1.3 Svařování

Svařování je proces, při kterém jsou spojeny dvě nebo více součástí za pomoci tepla, tlaku anebo jejich kombinací. Cílem je vytvořit pevné spojení s dostatečnou pevností. Níže jsou popsány hlavní metody svařování.

- obloukové svařování – svařování za využití elektrického oblouku k tavení a spojování materiálu
- odporové svařování – teplo potřebné pro svařování je generováno průchodem elektrického proudu skrz svařované materiály [35][36]

3.1.4 Povrchové úpravy

Tento proces je využíván ke zlepšení vlastností povrchu obrobků, například odolnost proti korozi, odolnost proti opotřebení anebo zlepšení estetického vzhledu. Mezi hlavní metody patří:

- galvanické pokovování – nanášení kovové vrstvy na povrch výrobku pomocí elektrolytického procesu
- lakování a práškové lakování – nanášení ochranné a dekorativní vrstvy na povrch výrobku [35][36]

3.1.5 Lící technologie

Při tomto procesu se roztavený materiál vlije do formy, kde ztuhne a tím se získá požadovaný tvar výrobku. Lití je vhodné pro výrobu složitých tvarů. Jednou z nejčastějších metod je odlévání do pískových forem. [35][36]

3.1.6 Plastové technologie

Při zpracování plastů se z plastických hmot vytvářejí výrobky požadovaného tvaru a vlastností. Mezi nejčastější metody patří:

- vstřikování plastů – roztavený plast je vstřikován do formy a tím vzniká výrobek
- vytlačování (extruze) – plastový materiál protlačován skrz trysku k vytvoření kontinuálního profilu [35][36]

3.1.7 3D tisk a aditivní výroba

Jedná se o moderní výrobní proces, při kterém se výrobky vytváří postupným vrstvením roztaveného filamentu na základě digitálního modelu. Využívá se především při tvorbě prototypů nebo malých sérií výrobků. Mezi hlavní metody patří:

- FDM (Fused deposition modeling) – postupné vrstvení materiálu, čímž vzniká požadovaný výrobek
- SLS (Selective laser sintering) – využíván laser pro spékání práškového materiálu. Obdobně jako u FDM k tomuto dochází vrstvu po vrstvě. [35][36]

3.2 Robotizace výrobních systémů

Robotizace výrobních systémů je klíčovým trendem v průmyslové automatizaci. Základním kamenem robotizace tvoří stacionární průmyslové roboty a manipulátory (dále PRaM). Přidáním periferního vybavení (všechno ostatní vybavení pracoviště) vzniká robotizované technologické pracoviště (dále jen RTP). Robotizovaná výrobní soustava (dále RVS) vzniká spojením více RTP. Takové soustavy i samotné RTP mohou být plně přizpůsobeny potřebám firmy, ve kterých jsou instalovány.

Základní důvody firem pro zavádění robotizace:

- vývoj a implementace nových technologií
- modernizace stávajících výrobních systémů
- inovace výrobních prostředků
- inovace samotných výrobků
- zvýšení produktivity práce
- eliminace činností, které jsou pro člověka fyzicky náročné, zdraví škodlivé nebo monotónní
- splnění ekologických požadavků a dalších norem souvisejících s ochranou životního prostředí
- rozšíření výrobních kapacit [7]

3.2.1 Složení RTP a výrobních systémů

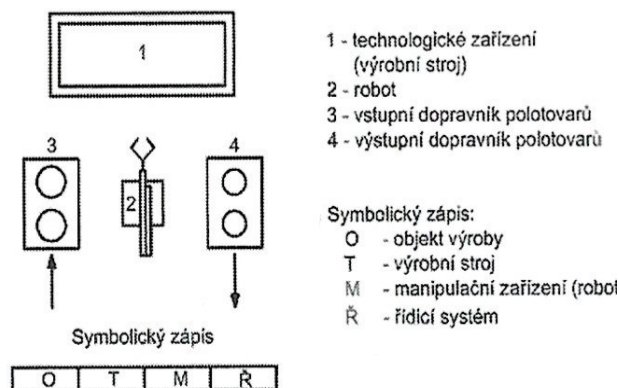
Základní charakteristiky RTP jej definují jako účelově vytvořené uspořádání prvků PRaM a periferních zařízení, které v automatickém cyklu vykonává manipulační nebo technologické operace v daném výrobním procesu, případně v jeho vybrané části.

Při tvorbě RTP a výrobního systému je nutné postupovat systematicky a tím navrhnout optimální řešení z hlediska ergonomie a efektivnosti. Na základě požadavků firmy se stavební struktury RTP klasifikují na sedm úrovní. [7]

1) robotizovaný modul

Robotizovaný výrobní modul představuje primární provozní jednotku, která je schopna nezávisle vykonávat automatizované funkce a slouží jako stavební prvek pro složitější výrobní celky. Je typický tím, že bez zásahu člověka zajišťuje tři hlavní činnosti:

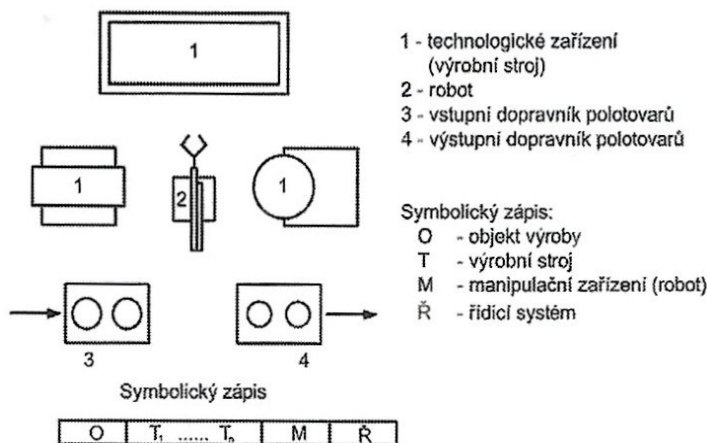
- realizaci technologického procesu
- provádění manipulačních operací
- řízení všech funkcí robotizovaného modulu [7]



Obrázek 16: Robotizovaný modul [7]

2) robotizovaná buňka

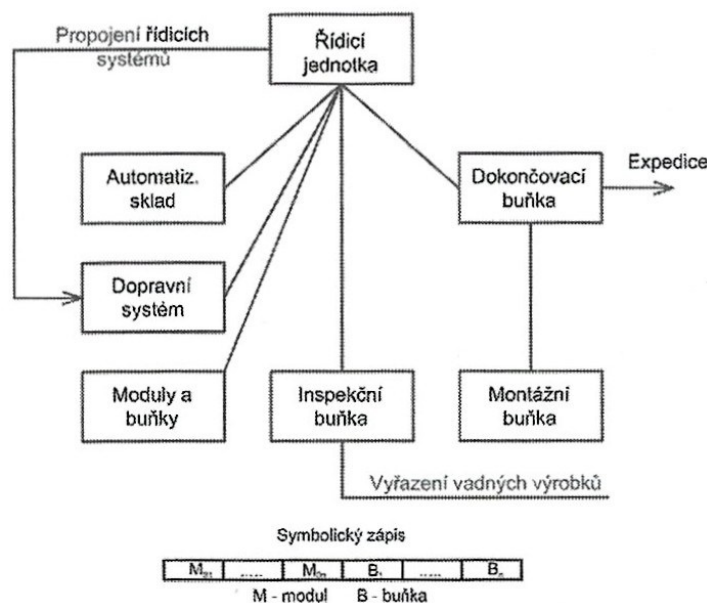
Robotizovaná buňka vzniká spojením více technologických pracovišť nebo výrobních strojů, které jsou společně obsluhovány jediným prostředkem pro realizaci automatizace a manipulace (PRaM). [7]



Obrázek 17: Robotizovaná buňka [7]

3) skupina robotizovaných buněk

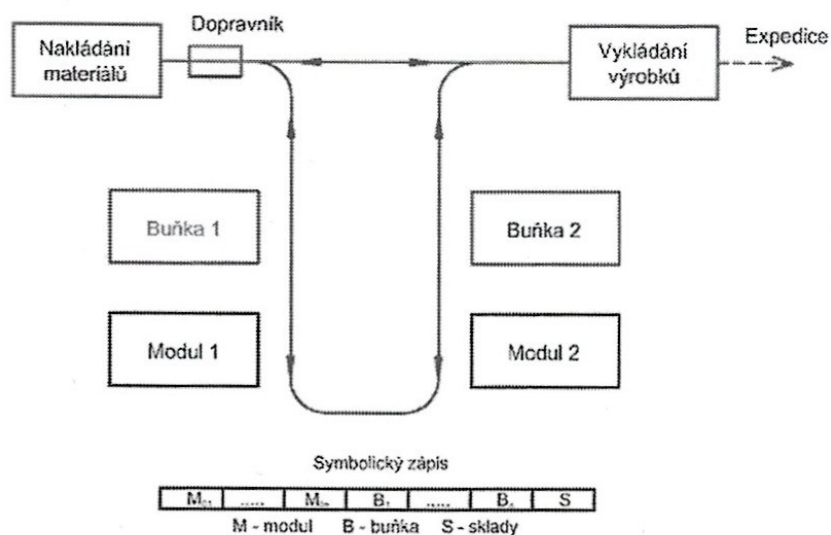
Tato skupina vzniká integrací několika vzájemně závislých modulů nebo robotizovaných buněk do jednoho celku. Jejich propojení zajišťuje systém meziperační dopravy, který je řízen centrálně.



Obrázek 18: Skupina robotizovaných buněk [7]

4) pružný robotizovaný systém

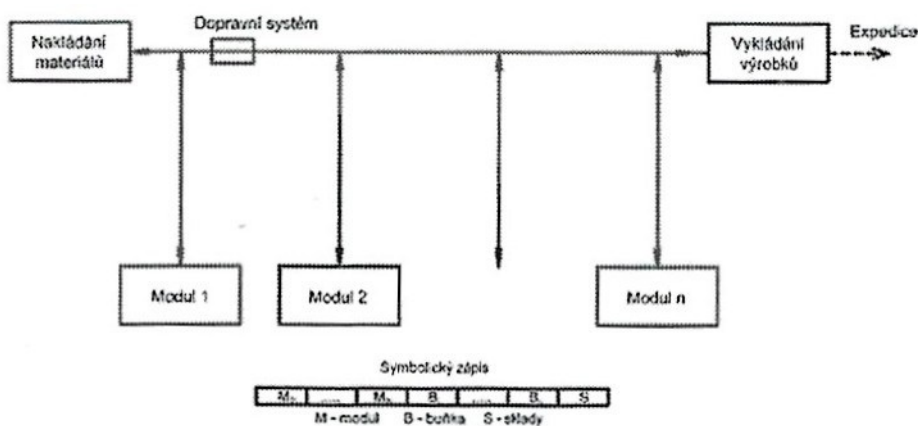
Tento systém vzniká spojením robotizovaných modulů, buněk případně skupin buněk s různou úrovní výrobních funkcí. [7]



Obrázek 19: Pružný robotizovaný systém [7]

5) robotizovaná linka

Robotizovaná linka má pevnější vazbu modulů a buněk než pružné robotizované systémy. Jsou závislé na technologickém postupu výroby. Jednotlivé buňky a moduly jsou navzájem propojeny dopravním systémem. [7]



Obrázek 20: Robotizovaná linka [7]

3.2.2 RTP a manipulace s materiálem

Manipulace představuje klíčový prvek při návrhu výrobních systémů s využitím PRaM a při samotném návrhu RTP. Významnou roli v této oblasti sehraávají periferní zařízení související s manipulací. Manipulace s materiálem se dělí do několika základních oblastí:

- Materiálový tok – řízená a organizovaná změna polohy manipulovaného objektu.
- Skladování materiálů a výrobků – snaha o co největší omezení skladových zásob.
- Mezioperační a operační manipulace – odvíjí se od míry automatizace výrobního procesu; využívají se PRaM, transferové dopravníky a specificky navržené podavače.
- Řešení manipulace s materiálem – řídí se následujícími zásadami:
 - Navrhovat přímé a co nejkratší trasy, vyhýbat se zbytečnému křížení a zpětným pohybům.
 - Eliminovat zbytečné manipulace s materiálem.
 - Zajistit plynulý a nepřerušovaný materiálový tok.
 - Vytvářet vhodné pracovní podmínky a dodržovat zásady bezpečnosti práce.
 - Manipulace s odpadem – zahrnuje odsun nadbytečného materiálu a jeho následné zpracování.
- Balení, vážení a počítání kvantity – součást dokončovacích operací spojených s manipulací. [7]

Při zajišťování výroby je manipulace klíčová. Vhodné řešení dopravy může snížit počet pracovníků, odstranit námahu, monotónnost a nekvalifikovanou práci. Dále snižuje rizikovost a zvyšuje bezpečnost práce. Optimalizací lze dosáhnout snížení potřeby výrobního prostoru a pomocných ploch. [7]

Je charakterizována těmito parametry:

- směrem (odkud – kam)
- intenzitou (množství materiálu přepraveného za určitý čas)
- frekvencí (počet přepravených cyklů za čas)

Dělí se na:

- vnější dopravu
- mezi objektovou dopravu
- vnitro objektovou dopravu
- meziperační manipulaci s materiálem
- technologické operace s materiálem [7]

3.2.3 Periferní zařízení RTP

Periferní zařízení představují doplňková pomocná zařízení, která spolu s výrobním zařízením a prostředky PRaM tvoří součást robotizovaného výrobního systému. V kontextu RTP zahrnují široké spektrum zařízení umožňujících plnou automatizaci výrobních operací. Podílejí se na přísunu a odsunu polotovarů, výrobků a dalších prvků v rámci pracoviště, a zároveň zajišťují řadu dalších nezbytných činností potřebných pro bezproblémový chod RTP.

Typy periferních zařízení můžeme rozdělit:

- dopravníky (válečkové, článkové, podvěsné, speciální)
- doplňková zařízení dopravních tras
- polohovadla
- přesuvny
- obraceče
- bezpečnostní periferní zařízení
- odsávací zařízení manipulační a technologické efektory
- statní [7]

3.3 Návrhy RTP pro různé technologie

V této podkapitole jsou popsány návrhy RTP pro různé technologie.

3.3.1 RTP pro obrábění

Technologie obrábění kovových i nekovových materiálů patří k nejrozšířenějším strojírenským metodám výroby součástí. Obrábění se provádí na různých typech obráběcích strojů, které se liší podle druhu vykonávané operace a charakteru obráběného materiálu.

Tabulka 6: Obrábění [7]

Typ pohybu	Charakteristika	Příklad strojů
Rotační pohyb obrobku	Obrobek se otáčí, nástroj se přibližuje.	Soustruhy s vodorovnou a svislou osou, brusky
Rotační pohyb nástroje – pevný obrobek	Nástroj se otáčí, obrobek je pevně upnutý.	Všechny typy vrtaček
Rotační pohyb nástroje – obrobek na stole	Nástroj se otáčí, obrobek je upnut na pojezdovém stole s možností pohybu ve třech osách.	Frézky, vyvrtávačky, rovinné brusky
Přímočarý pohyb nástroje i obrobku	Nástroj i obrobek vykonávají přímočarý pohyb.	Hoblovačky (vodorovné i svislé)

V robotizovaném technologickém pracovišti (RTP) určeném pro obrábění se prostředky PRaM využívají především k obsluze obráběcích strojů, přičemž jejich hlavní funkcí je manipulace s obrobky nebo nástroji. Tyto prostředky lze rozdělit do následujících kategorií:

- roboty a manipulátory integrované přímo do konstrukce obráběcího stroje
- účelové roboty a manipulátory určené k obsluze konkrétní třídy obráběcích strojů
- účelové manipulátory propojené s velkokapacitním zásobníkem obrobků
- portálové manipulátory
- mostní manipulátory
- univerzální sloupové nebo stojanové roboty [7]

3.3.2 RTP pro tváření

RTP pro tváření je využívá zejména pro sériové a malosériové výroby. Podle použité technologie výroby a prováděné manipulace v daném RTP jsou na PRaM a periferní zařízení kladeny různé požadavky, například:

- univerzální použití pro širší sortiment výrobků
- plynulá regulace pohybu
- chod v automatickém režimu
- vysoká rychlost manipulace s ohledem na krátké manipulační časy
- omezené rozměry zařízení ve vztahu k velikosti pracovního prostoru lisu (vhodné je využití PRaM s cylindrickou nebo kartézskou kinematickou strukturou)
- vysoká přesnost polohování a krokování [7]

Budování RTP v oblasti plošného tváření ovlivňují zejména dva hlavní faktory. Prvním z nich je počet operací potřebných pro výrobu dané součásti. Tento faktor ovlivňuje uspořádání pracoviště. Při nižším počtu operací se využívá hnízdové uspořádání, při vyšším počtu se využívá uspořádání linkové. Druhým faktorem je tvar vstupního polotovaru. Pro kusový tvar je využíváno přesuvných zařízení zásobníkového typu. Pro tvar ve formě pruhů je vstupní zařízení manipulátor, nejčastěji vybaven přísavkovým efektozem. RTP vstupní polotovar ve formě svitku je na vstupu odvíjecí zařízení. [7]

Pro RTP v oblasti objemového tváření je charakteristickým znakem nutnost ohřát polotovar a poměrně přesně dodržet tyto teploty. Toho lze dosáhnout krátkým manipulačním časem a automatickou kontrolou teploty polotovarů. Vhodné operace, pro které lze využít RTP:

- zpětné protlačování
- sdružené protlačování vpřed
- zápusťkové kování
- rovinné kalibrování
- značkování [7]

3.3.3 RTP pro svařování

RTP v oblasti svařování je jedna z nejpočetnějších skupin. Při návrhu je potřeba brát ohled na ekonomickou návratnost. Koncept pracoviště a vybavení pracoviště se odvíjí od použití svařovací technologie:

- obloukové svařování – probíhá v ochranné atmosféře plynu nebo pod tavidlem
- odporové svařování – typicky bodové svařování pomocí elektrického odporu
- laserové svařování – využívá koncentrovaný paprsek laseru k vytvoření svaru [7]

Podstatou svařování kovů je vytvoření metalurgického spoje prostřednictvím meziatomových sil, které vznikají působením tepla, tlaku nebo kombinací obou. Níže jsou uvedeny dva nejběžnější typy robotizovaných technologických pracovišť (RTP) pro svařování [7] :

1) RTP obloukového svařování

Při tomto typu svařování je využívána ochranná atmosféra, ve které je vhodným řešením použití PRaM. Při návrhu je potřeba zohlednit technologické operace, svařované objekty, požadavky na použité průmyslové roboty a požadavky na svařovací vybavení. [7]

S ohledem na ekonomickou návratnost je vhodné použít tyto pracoviště pro menší kusy vyráběné ve větších sériích. Nejčastěji se jedná o výrobky v rozmezích 5 až 60 kg. Na svařované objekty se kladou následující požadavky:

- přístupnost svařovaných spojů
- čistota povrchu – odstranění nečistot pro dosažení kvalitního svaru
- minimální mezera při svařování tenkých plechů – důležité pro přesné spojení a minimalizaci deformací [7]

2) RTP pro bodové svařování

Základem tohoto pracoviště je bodové svařování za pomoci svařovacích kleští. Nejčastěji se svařují plechy o tloušťce cca 0,6 mm až 1,0 mm. Plechy jsou povrchově upraveny nebo zpevněny. Z tohoto důvodu je potřeba svařovat při využití většího výkonu a s vyšší přitlačnou silou elektrod. Nejčastěji se využívají v automotive při svařování dílů pro karoserie automobilů apod. Návrh RTP pro bodové svařování musí splňovat následující kritéria:

- tvar a uspořádání svařovaných spojů
- objekty svařování – materiál a tvar dílů určených ke svařování
- body svařování – přesně definovaná místa, kde má být svár proveden
- čas cyklu – důležité pro efektivitu výroby
- pružnost linky – schopnost linky přizpůsobit se různým variantám výrobku
- účel linky – sériová nebo kusová výroba
- správný výběr průmyslového robotu [7]

3.3.4 RTP pro montáž

Jedná se o jednu z početnějších skupin budovaných pracovišť. Koncepce pracoviště je ovlivněna použitými principy spojování součástí a montážními operacemi. [7]

RTP pro montáž se zabývají spojováním mnoha drobných dílů do jednoho většího, tím může být už hotový výrobek nebo do výrobků určených pro další montáž. Pro každou montovanou součást musí být součástí pracoviště zásobník, který je periferním zařízením. V automatickém provozu je potřeba aby každý kus v zásobníku byl správně prostorově orientován a separován od ostatních kusů. Další důležitý krok je výběr vhodných montážních prostředků. Ty lze rozdělit na tři základní skupiny:

- montážní zařízení – zabezpečují montážní procesy (montážní centra a stroje, montážní nástroje)
- manipulační zařízení – vysoké požadavky na přesnost a tuhost jednotlivých mechanismů
- řídicí systém [7]

Montážní operace jsou základní jednotkou montážního procesu. Jsou realizovány na jednom pracovním místě bez přestavení montážního zařízení. Základní činnosti montážních operací:

- orientace součástí
- podávání montovaných součástí
- spojení součástí
- upevnění
- kontrola

- odebrání smontovaného celku [7]

Principiálně se spojování a montáž dělí na:

- ruční montáž – Hlavní výhodou je velká přizpůsobivost a nízká vstupní investice. Nevýhodou je nízká efektivita a potřeba více pracovníků.
- automatizovaná montáž – Automatizovaná montáž má smysl při určité sériové a opakované výrobě. Nevýhodou je velká vstupní investice.
- pružné automatizované montážní systémy [7]

3.3.5 RTP pro paletizaci

Technologie paletizace případně depaletizace nabízí široké možnosti nasazení PRaM. Roboty zde plní pouze manipulační funkci. RTP jsou projektovány na míru dané aplikaci. U těchto pracovišť je nutné použít bezpečnostní prvky, které zajistí bezpečnou interakci PRaM s okolím. Velkou roli mají palety. Pro správnou funkci RTP je třeba využít standardizované palety. Paletizaci rozlišujeme s ohledem na typ paletizovaného předmětu:

- paletizace rotačních předmětů – nebalených
- paletizace předmětů typu kvádrů – nebalených
- paletizaci zabalených předmětů v krabici
- paletizaci sypkých hmot – zabalených v pytli [7]

Při paletizaci nebalených předmětů nebo sypkých hmot balených v pytli můžeme využít dva typy paletizace:

- s použitím prokladu – tento typ paletizace vyžaduje použití periferních zařízení, které se starají o manipulaci s proklady.
- bez použití prokladu [7]

V praxi je paletizační stanice složena z:

- 1) Dopravníkový systém – zajišťuje dopravu výrobku k PRaM
- 2) PRaM – obstarává přesun výrobku z dopravníku
- 3) zásobníku palet – dimenzován, tak aby měl dostatečnou zásobu palet na celou směnu, případně je vyřešeno doplňování palet tak aby se nenarušil paletizační proces
- 4) výstupním zařízením – dopravníkový systém, balicí zařízení [7]

II PRAKTICKÁ ČÁST

4 KOMERČNĚ DOSTUPNÁ ŘEŠENÍ

Tato kapitola představuje komerčně dostupná řešení pro návrh výukového pracoviště na fakultě aplikované informatiky univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Pro návrh výukového pracoviště byl vybrán robot TX2-60L, z tohoto důvodu jsou u tohoto robotu uvedeny i možnosti jeho programování.

4.1 Stäubli TX2-60 L

Robot STÄUBLI TX2-60 L je šestiosý průmyslový robot od společnosti STÄUBLI ze série TX2, určený pro aplikace vyžadující vysokou přesnost, rychlost a flexibilitu. Písmeno L v názvu je označení pro verzi long reach. Tato verze má zvýšený dosah oproti základní verzi, která disponuje dosahem pouze 670 mm. [37]

4.1.1 Technické parametry a konstrukce

Tento robot patří do skupiny robotů s kloubovou kinematikou. Mezi jeho hlavní výhody patří vysoká dynamika a přesnost pohybu. Dále potom kompaktní design, který umožňuje instalaci i v omezených prostorech. V tabulce níže jsou uvedeny základní technické údaje.

Tabulka 7 Základní technické údaje – Stäubli TX2-60 L [37]

Základní technické údaje	
Počet stupňů volnosti	6
Nosnost	3,7 kg
Dosah v zápěstí	920 mm
Opakovatelnost pohybu	+ - 0,03 mm
Maximální rychlost	11,1 m/s
Váha robotu	53 kg
Stupeň krytí (tělo/zápěstí)	IP65/IP67
Způsob upevnění	Možnost montáže v rozsahu 360°
Ovladač	Stäubli CS9



Obrázek 21: Robot Staubli TX2-60L [37]

4.1.2 Možnosti a aplikace v průmyslu

Robot STÄUBLI TX2-60 L je velice univerzální a jeho použití je možné napříč všemi průmyslovými odvětvími. [37]

Tabulka 8 Aplikace STÄUBLI TX2-60 L v průmyslu [37]

Oblast	Popis aplikace
Automotive	Montáž dílů, manipulace s těžšími součástkami, testování, strojová obsluha
Elektronika	Manipulace s deskami plošných spojů (PCB), přesné polohování, šroubování
Farmacie & laboratoře	Práce v čistých prostorech (verze s hygienickým krytím), dávkování, třídění
Potravinářství	Balení, manipulace s potravinami (hygienické varianty s IP67)
Obsluha strojů (CNC)	Nakládání a vykládání dílů, výměna nástrojů
Pájení, lepení, dávkování	Precizní pohyby pro aplikace kapalin nebo tepla
Kontrola kvality	Senzorické kontroly, kamerové systémy, testování výrobků

4.1.3 Programování a řízení robotu

Robot Stäubli TX2-60L je programovatelný prostřednictvím několika nástrojů a jazyků, které umožňují jak přímé řízení robotického ramene, tak i integraci do širších automatizačních systémů. Primárním jazykem pro programování těchto robotů je VAL 3, který byl vyvinut přímo firmou Stäubli. Kromě toho je dostupná i možnost programování a simulace pomocí vývojového prostředí Stäubli Robotics Suite (SRS) a také integrace s průmyslovými standardy jako jsou PLC, ROS. [37]

VAL 3 – nativní jazyk pro řízení robotu

Tento programovací jazyk je strukturovaný a podobný jazyku C. Umožňuje plnohodnotné řízení robotu. Nabízí rozsáhlé možnosti, včetně tvorby uživatelských funkcí, řízení pohybu, práce s proměnnými, cykly, podmínkami, řízení digitálních i analogových vstupů. [37]

Programy lze také psát přímo v ovladači robotu nebo vytvářet offline a následně nahrát do řídicí jednotky. [38]

Robot Stäubli TX2-60L je navržen tak, aby bylo možné jej snadno integrovat do různých automatizačních řešení. Podporuje průmyslové komunikační protokoly jako:

- EtherCAT
- PROFINET
- EtherNet/IP
- Modbus TCP
- OPC UA [38]

Díky těmto protokolům může robot komunikovat například s PLC (např. Siemens, Beckhoff) nebo s nadřazeným MES/SCADA systémem. Lze jej také integrovat do ROS (Robot operating system), případně vývoj vlastních aplikací pomocí Python, které komunikují s řídicím systémem robotu. [37]

4.2 KR AGILUS KR 6 R900-2

Robot KR AGILUS KR 6 R900-2 je průmyslový robot od společnosti KUKA Robotics Corporation z modelové řady Agilus. Tato řada představuje ucelenou řadu malých robotů. Dle výrobce je hlavní předností této řady užitečné zatížení, vysoká rychlost, krátké časy cyklů a integrovaný systém napájení. [39]

4.2.1 Technické parametry a konstrukce

KR Agilus má šest os a je přizpůsoben na mimořádně vysoké pracovní rychlosti bez ztráty extrémní přesnosti. Nízké prostorové nároky a možnost instalace v libovolné poloze z něj dělají mimořádně přizpůsobivý stroj vhodný pro širokou škálu aplikací. V tabulce níže jsou základní technické parametry. [39]

Tabulka 9: Základní technické údaje – KR Agilus KR6 R900-2 [39]

Základní technické údaje	
Počet stupňů volnosti	6
Nosnost	6,7 kg
Dosah v zápěstí	901 mm
Opakovatelnost pohybu	+/- 0,02 mm
Maximální rychlost	výrobce neuvádí
Váha robotu	55 kg
Stupeň krytí (tělo/zápěstí)	IP65/IP67
Způsob upevnění	podlaha, strop, stěna (libovolný úhel)
Ovladač	KR C5 micro/ KR C4 smallsize-2/ KR C4 Compact
Doba cyklu	150 cyklů za minutu



Obrázek 22: Robot KUKA KR6 R900-2 [39]

4.2.2 Možnosti a aplikace v průmyslu

Robot KR Agilus KR6 R900-2 je díky své opakovatelnosti, krátkým časům cyklů a nosnosti univerzální volbou do všech odvětví průmyslu. Využití je podobné jako u robotu Stäubli TX2-60L. Dle výrobce mezi nejčastější aplikace patří:

- Manipulační operace
- Měření, testování a kontrola
- Paletování, balení a kompletace objednávek
- Kování a ohýbání
- Nanášení lepidel, tmelů nebo podobných materiálů
- Různé obráběcí operace [40]

4.3 ABB – IRB 1600-6/1.2

Dalším zástupcem v této kategorii je robot IRB 1600-6/1.2 od společnosti ABB. Vychází z řady robotů IRB 1600, která se vyznačuje až o 50 % kratších cyklových časů než ostatní roboty této třídy. Roboty této řady jsou osazeny druhou generací technologie QuickMove. Tato technologie slouží ke zlepšení akcelerace a decelerace. [41]

4.3.1 Technické parametry a konstrukce

Společnost ABB uvádí, že roboty IRB 1600 jsou spolehlivé v extrémně náročných podmínkách a při nepřetržitém provozu. Jako u předchozích robotů je i IRB 1600 montáž plně flexibilní a v případě tohoto konkrétního ramene lze provést montáž přímo do stroje. Díky nízké hladině intenzity zvuku <70 dB je robot vhodný pro použití v nezávadném pracovním prostředí. V tabulce níže jsou uvedeny základní technické údaje, stejné jako u předchozích robotů. [41]

Tabulka 10: Základní technické údaje – ABB IRB 1600-6/1.2 [41]

Základní technické údaje	
Počet stupňů volnosti	6
Nosnost	6 kg
Dosah v zápěstí	1200 mm
Opakovatelnost pohybu	+ - 0,02 mm
Maximální rychlost	150-160-170-320-400-460 %/s
Váha robotu	250 kg
Stupeň krytí (standard/volitelné)	IP54/IP67
Způsob upevnění	Na stěnu, na podlahu, shelf, na šikmou rovinu, invertovaná plocha
Ovladač	IRC5 Single Cabinet/IRC5 Compact



Obrázek 23: Robot ABB IBR 1600-6/1.2 [41]

4.3.2 Možnosti a aplikace v průmyslu

Stejně jako u předchozích robotů je i tento vhodný téměř pro všechny odvětví průmyslu. Díky svému dosahu a vysoké nosnosti jsou jeho hlavní aplikace při těchto činnostech:

- Montáž
- Obloukové svařování
- Manipulace s materiálem
- Obsluha strojů
- Odebírání materiálu
- Čištění/nástřik
- Dávkování
- Balení [41]

4.4 Porovnání

Všechny roboty, které jsou uvedeny jsou šestiosé se zanedbatelným rozdílem v opakovatelnosti pohybu, stejným stupněm krytím a možností montáže, včetně použití v průmyslu. Hlavní rozdíly jsou v dosahu zápěstí, nosnosti a vlastní hmotnosti. Rychlosti, které uvádí výrobci nejsou přímo porovnatelné, z tohoto důvodu jsou v tomto porovnání irelevantní.

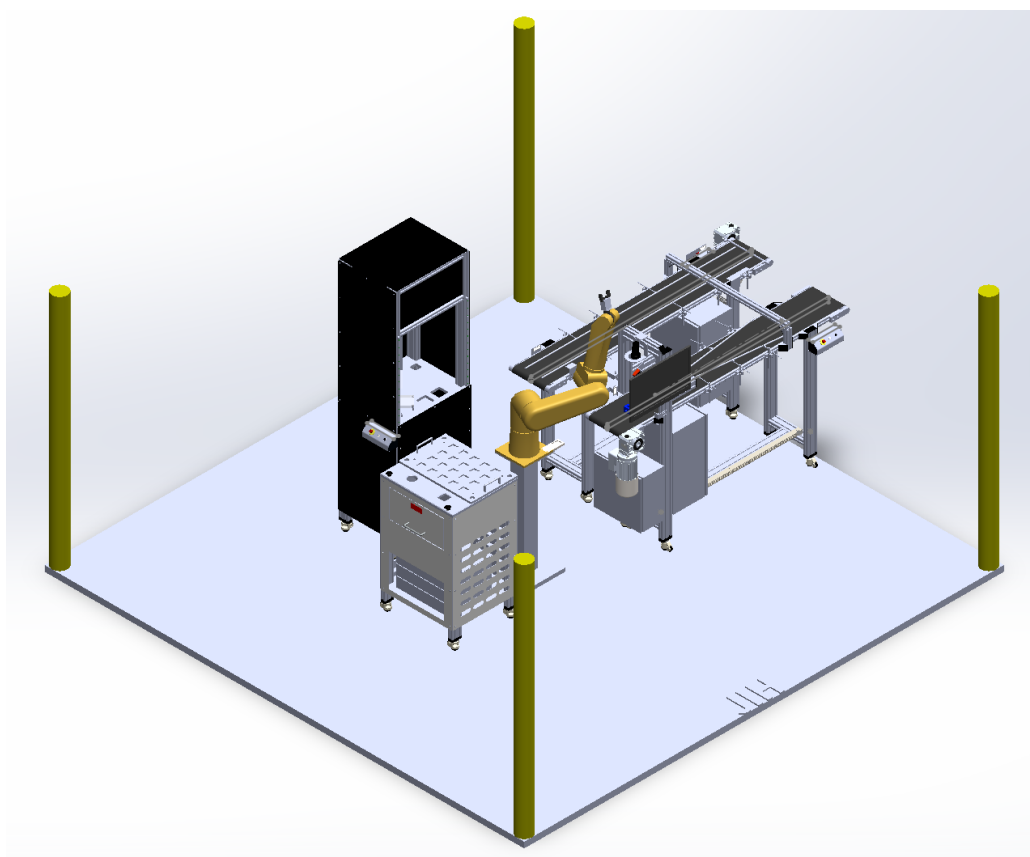
Dle tabulek 7,9 a 10 můžeme vidět, že robot IRB 1600-6/1.2 od společnosti ABB má nejvyšší dosah (1200 mm). Této hodnoty dosahuje při několika násobně vyšší váze než ostatní dva roboti. Rozdíl v dosahu robotů TX2-60L a KR6 R900-2 je zanedbatelný, rovněž i rozdíl v jejich vlastní hmotnosti. Robot KR6 R900-2 má však větší nosnost o 3 kg.

5 KONCEPT VÝUKOVÉHO PRACOVISTĚ – STÄUBLI TX2-60 L

Tato kapitola je věnována návrhu výukového pracoviště. Součástí je základní popis pracoviště včetně detailního popisu všech použitých i nepoužitých částí včetně CAD modelů. Robot Stäubli TX2-60L je popsán v předchozí kapitole. Všechny CAD modely byly vytvořeny v programu SOLIDWORKS.

5.1 Popis pracoviště

Výukové pracoviště je složeno z následujících částí: Robot Stäubli Tx2-60L, odkládací stůl, odkládací skříň, dopravníkový pás A a dopravníkový pás B. Na obrázku 24 lze vidět rozmístění jednotlivých částí v simulačním prostředí a na obrázku 25 je rozmístění v realitě.



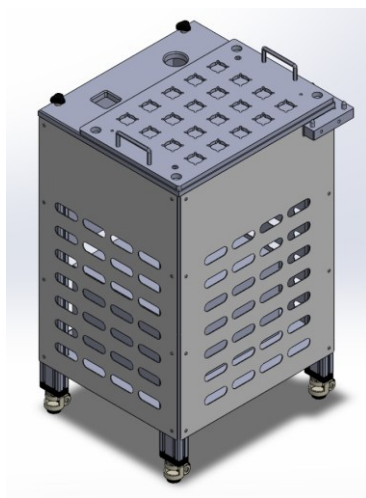
Obrázek 24: CAD model výukového pracoviště



Obrázek 25: Reálné výukové pracoviště

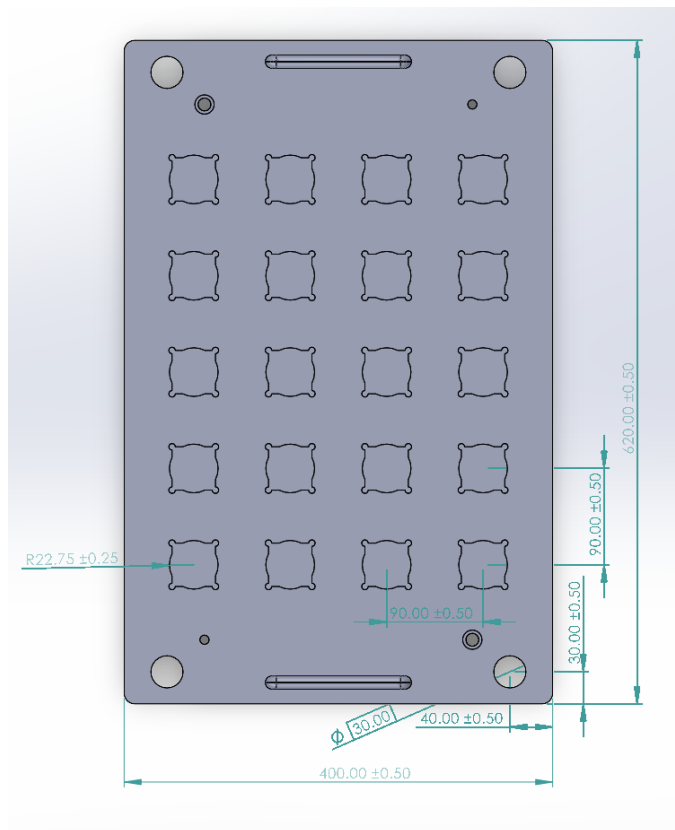
5.2 Odkládací stůl

Odkládací stůl má následující rozměry: 56x62x101,5 cm (šířka x délka x výška). Na skutečném stole se na přední straně nachází volič režimu robotu, držák na teach pendant SP2 a nouzové tlačítko STOP pro zastavení pohybu robotu. Na obrázku 26 je zobrazen CAD model stolu, který neobsahuje volič režimu robotu a držák na teach pendant, protože tyto části nejsou stěžejní pro simulaci. Dále se na stole nachází dvě odhazovací díry. Jedna je ve tvaru kruhu, druhá ve tvaru čtverce. Přístup k dílům, které zde byly odhozeny je ze strany stolu.



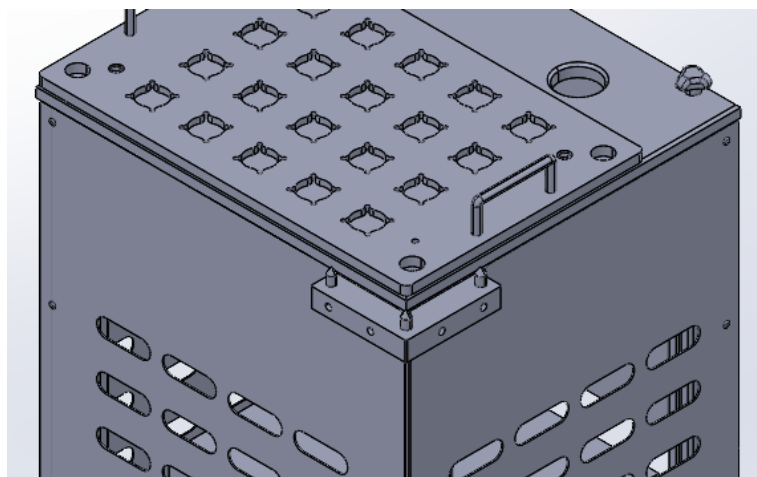
Obrázek 26: CAD model odkládacího stolu

Podložka, která se na stole nachází má dvacet pozic pro odkládání dílů. Podložka má rozměry, které můžeme vidět na obrázku 27. Průměr pozice pro váleček je 45,5 mm a rozměr pozice pro krychli je 40,5 mm. Všechny uvedené rozměry na obrázku 27 jsou v mm.



Obrázek 27: Rozměry podložky pro odkládání dílů

Na rohu stolu je upevněn kalibrační díl. Tento kalibrační díl je obsažen ve všech částech tohoto pracoviště a má stejné rozměry kalibračních hrotů a vzdálenosti mezi nimi. Slouží ke správné kalibraci v simulačním prostředí robotu.



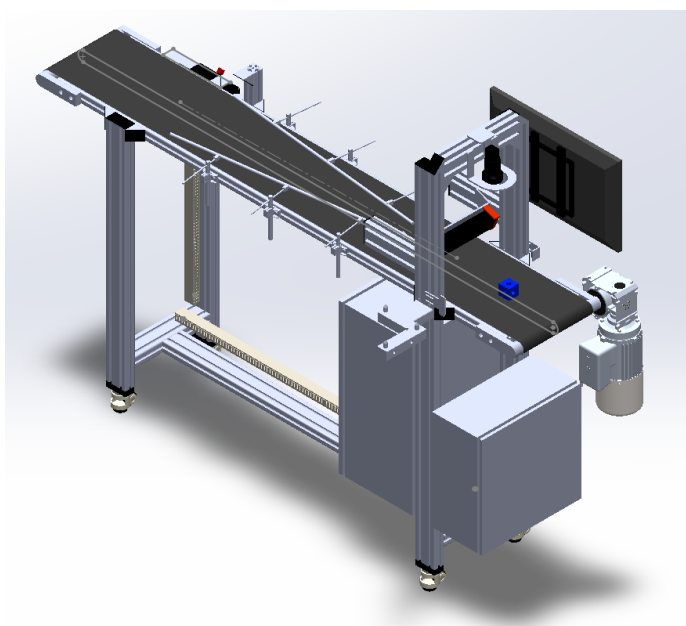
Obrázek 28: Odkládací stůl – kalibrační hroty

5.3 Dopravníkové pásy

Výukové pracoviště obsahuje i dva dopravníkové pásy. Pro zjednodušení jsou tyto pásy označeny jako dopravníkový pás A a dopravníkový pás B. Oba pásy jsou ovládány pomocí frekvenčních měničů. Tyto měniče jsou ovládány PLC. PLC v této sestavě je Siemens S7-1500. Toto PLC dále ovládá i osvětlení kamery.

5.3.1 Dopravníkový pás A

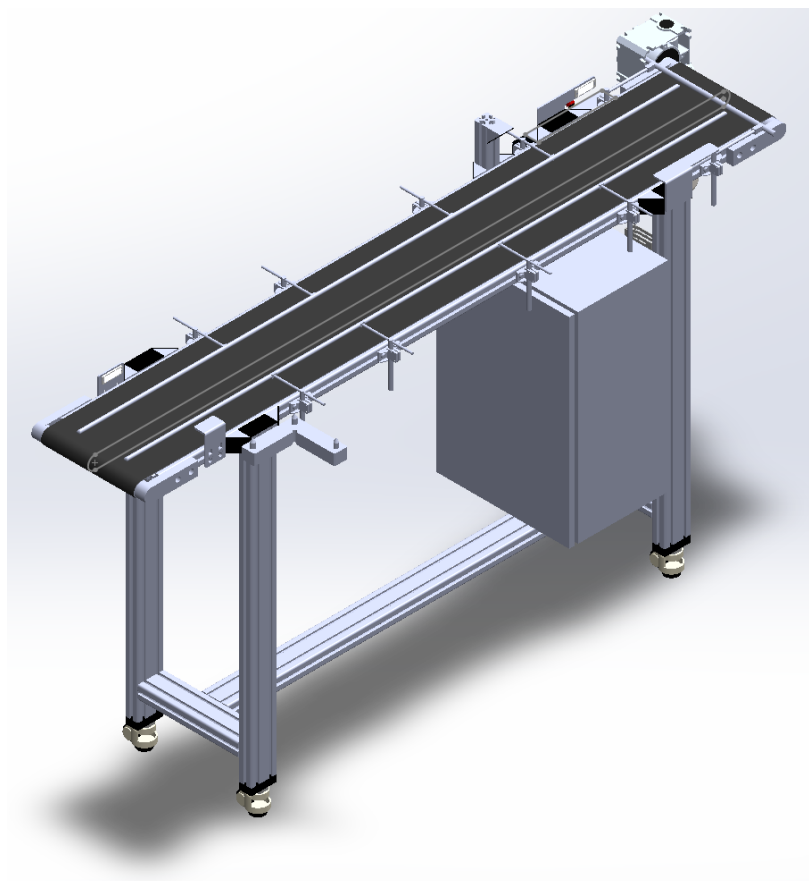
Dopravníkový pás A má délku 192 cm, šířka je 30 cm. Z důvodu použití tohoto pásu jako pás, který dopravuje díly na místo odkud je vyzvedává robot je tento pás vybaven zábranami, které zajišťují dopravu dílu na správnou pozici pro odebrání. Spuštění pásu obstarává PLC. Případně lze pás zapnout manuálně přes tlačítka na pravé straně pásu. Zastavení pásu ve správné poloze pod kamerou zajišťuje koncový senzor. Dopravníkový pás A je dále osazen kamerou OMRON FH-SC05R, která slouží k zjištění potřebných údajů o dílu. Nejčastěji zjišťované údaje jsou: barva, rozměry a přesná poloha dílu. Kamera OMRON je ovládána pomocí vlastního softwaru od společnosti OMRON. Tento software je možno ovládat manuálně nebo za využití PLC. Tento software je součástí navrhnuté úlohy 3 a je zde i detailněji popsán. Dále se zde nachází monitor sloužící pro zobrazení výstupu z kamer. Stejně jako u odkládacího stolu se i na této části nachází kalibrační díl, pro správnou orientaci v simulačním prostředí robotu. Na obrázku níže lze vidět přesné rozmístění jednotlivých komponentů na dopravníkovém páse. Zobrazený CAD model odpovídá reálnému rozložení.



Obrázek 29: CAD model dopravníkového pásu A

5.3.2 Dopravníkový pás B

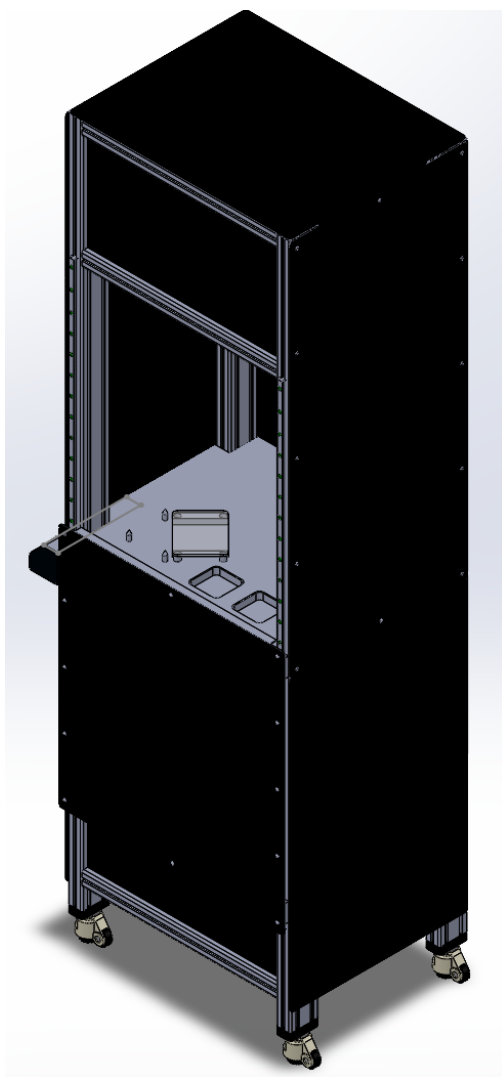
Dopravníkový pás B má délku 192 cm, šířka je 30 cm. Tento pás slouží jako pás, který odsunuje díly z pracovního prostoru robotu. Spouštění probíhá přes PLC za využití světelného senzoru. Případně manuálně přes tlačítka na levé straně pásu. Pokud senzor detekuje odložený díl, vyčká na dokončení pohybu robotu a následně spustí pás. Na druhém konci pásu je koncový světelný senzor, který po detekci dílu vypne motory pásu. Rovněž se zde po stranách nachází zábrany pro správnou pozici odloženého dílu. Na konci pásu je potom zábrana, která zabráňuje spadnutí dílu z pásu. Stejně jako u předchozích částí se i zde nachází kalibrační díl, který zajišťuje správnou orientaci v simulačním prostředí robotu.



Obrázek 30: CAD model dopravníkového pásu B

5.4 Odkládací skříň s kamerovým systémem

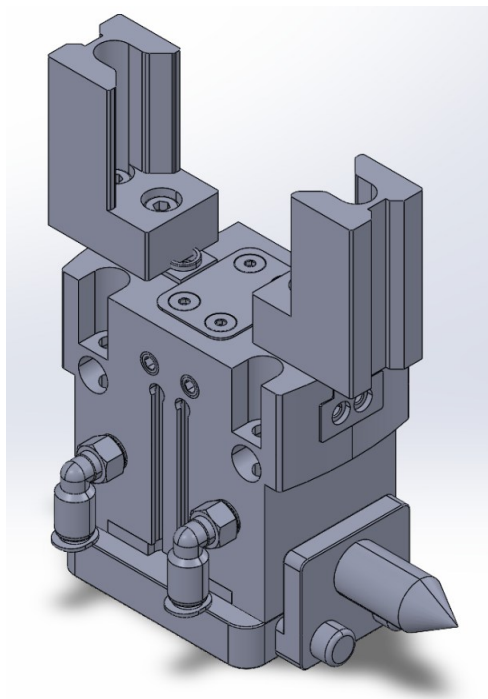
Odkládací skříň s rozměry: 200 cm, 64 cm, 51 cm (výška, šířka, délka). Na levém boku skříně se nachází nouzové tlačítko STOP pro zastavení pohybu robotu. Skříň je vybavena kamerou OMRON FH-SC05R. Kamera je opět ovládaná přes vlastní software. Tato kamera slouží k rozpoznání, zda zkoumaný díl má díru. Na podložce ve skříně se nachází světlo pro kameru, které je ovládáno přes PLC. Na rozdíl od ostatních částí pracoviště se kalibrační hroty nachází přímo uvnitř skříně zapuštěné do podložky. Rozměry hrotů stejně jako vzdálenost mezi nimi, zůstávají stejné. Dále se zde nachází dvě odhazovací místa pro odhazování dílů. Přístup k takto odhozeným dílům je ze zadní strany skříně. Model skříně můžeme vidět na obrázku 31.



Obrázek 31: CAD model odkládací skříně

5.5 Nástroj

Robot je vybaven paralelním chapadlem (gripperem), který je určen k uchopení objektů za využití dvou rovnoběžně se pohybujících čelistí. Součástí tohoto gripperu je i kalibrační hrot, který je využíván v navrhnutých úlohách.



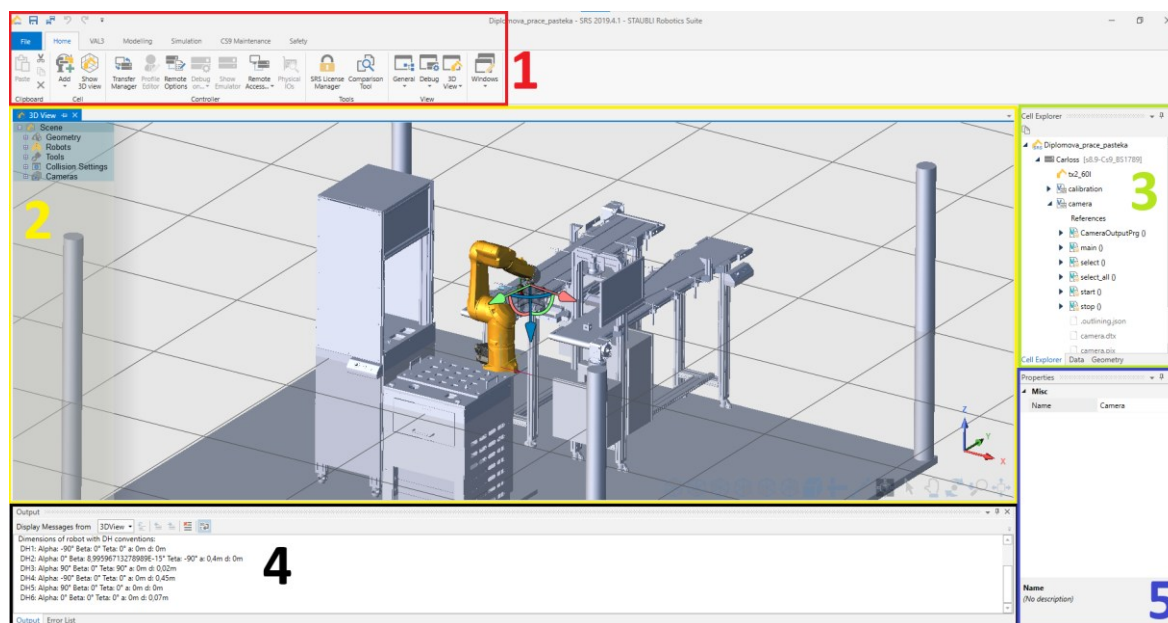
Obrázek 32: CAD model nástroje robotu

6 STÄUBLI ROBOTICS SUITE

Tato část práce detailněji popisuje simulační prostředí Stäubli Robotics suite (dále jen SRS), dále pak možnosti ovládání a programování robotu pomocí tohoto softwaru anebo dodávaného teach pendantu SP2.

6.1 SRS prostředí

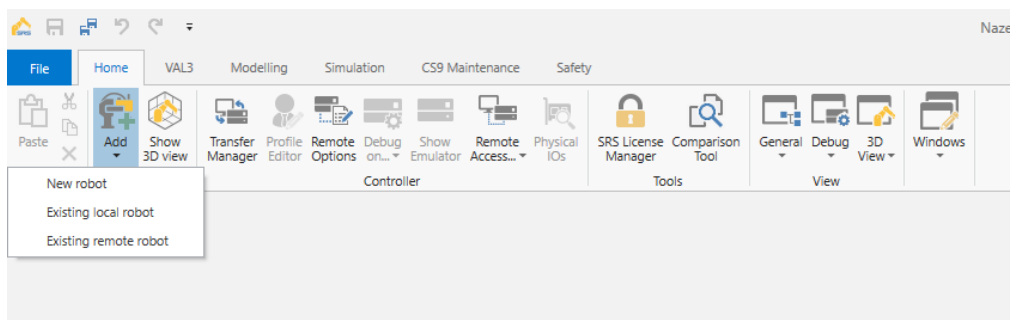
V rámci přiblížení funkčnosti programu SRS je popisován hotový projekt s vypracovanými výukovými úlohami. Způsob, jakým vytvořit nový projekt a přidat robot s ovladačem je popsán při řešení výukových úloh. Pro lepší popis jednotlivých částí bylo okno programu rozděleno na jednotlivé části. Jedná se o základní rozložení a toto rozložení je možno změnit dle požadavků uživatele.



Obrázek 33: Prostředí SRS

V první označené části se nachází hlavní nabídka programu obsahující 7 záložek: file, home, VAL3, modeling, simulation, CS9 Maintenance a safety. Jednotlivé záložky nabízí další možnosti. V záložce home najdeme možnost „Add“ pro přidání robotu včetně ovladače. Robot lze přidat pomocí volby „Existing remote robot“ připojení k reálnému robotu za využití IP adresy robotu nebo výběrem „new robot“, která zobrazí nabídku všech dostupných robotů, včetně všech způsobů montáže a vyvedené kabeláže. Dále se zde nachází možnost „Show 3D view“, která zobrazí 3D simulační prostředí, které se zobrazí ve druhé vyznačení části obrazovky. Možnost „Transfer Manager“ slouží k nahrání vybrané aplikace do robotu. Další důležitou možností je „Remote Access“. Tato možnost slouží k připojení k teach

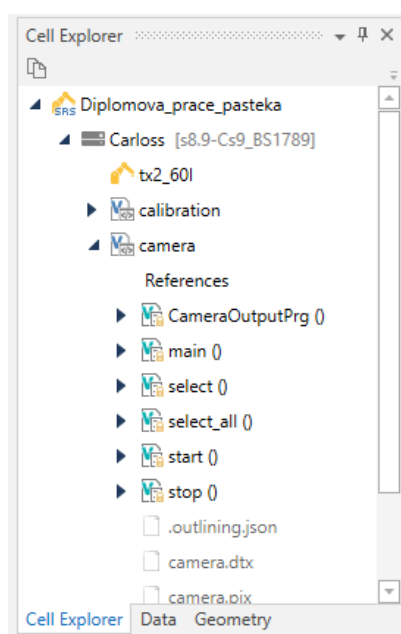
pendantu robotu a jeho zobrazení na daném PC. Pomocí takto připojeného tech pendantu lze robot ovládat přímo z PC. Detailnější pohled na první vyznačenou část je na obrázku níže.



Obrázek 34: Detail na záložky v prostředí SRS

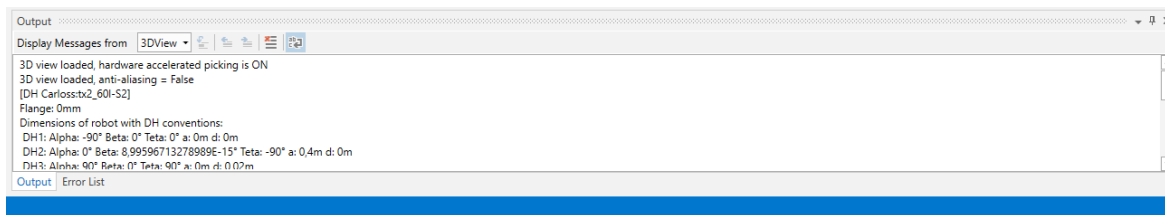
Ve druhé vyznačené části se nachází 3D simulační prostředí robotu. V této části obrazovky najdeme v levém horním rohu možnosti ovládání scény: volba robotu a nástroje, zobrazení kolizí a ovládání kamery. Zároveň tato část obrazovky slouží k zobrazení dalších oken jako například zobrazení a úpravu programu, úpravu potřebných dat robotu atd.

Třetí vyznačená část má ve spodní části 3 záložky. Záložka „Cell Explorer“, jak už název napovídá, slouží k procházení jednotlivých robotů, které jsou součástí projektu a jejich aplikací, včetně všech programů. Tento strom možností je znázorněn na obrázku 34 níže. Záložka „Data“ zobrazuje všechny proměnné, body a nástroje, které jsou součástí projektu. Záložka „Geometry“ obsahuje dodatečná data potřebné pro správné fungování naučených bodů a nástrojů.



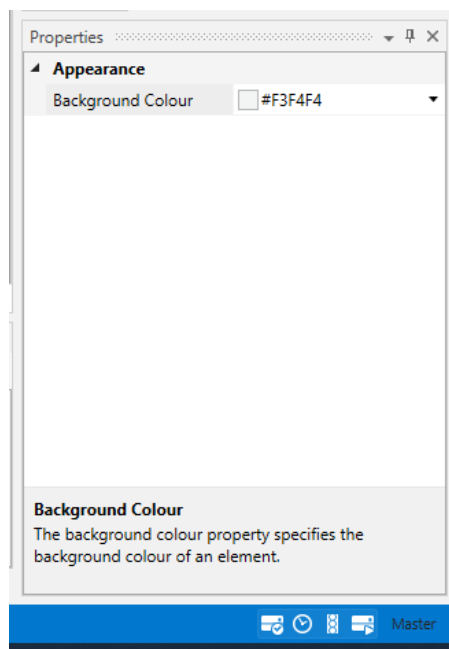
Obrázek 35: Detail Cell explorer v prostředí SRS

Čtvrtá vyznačená část okna zobrazuje chybové hlášky programu (např. chybovou hlášku při nesprávné kompilaci vytvořeného programu atd.).



Obrázek 36: Detail chybových hlášek v prostředí SRS

Pátá vyznačená oblast okna zobrazuje dodatečné vlastnosti právě zvolené možnosti v okně. Tato část je nejvíce využita při tvorbě „interface“.



Obrázek 37: Detail vlastností v prostředí SRS

6.2 Teach pendant SP2

Robot Stäubli TX2-60L je dodáván s teach pendantem (ovladačem) SP2, který je znázorněn na obrázku 38. Ve vyznačené sekci 1 se nachází základní tlačítka pro ovládání obrazovky: tlačítko domů, tlačítko zpět a tlačítko kontextové nabídky. Ve vyznačené sekci 2 se nachází další tři tlačítka. Horní bílé tlačítko slouží pro zapnutí motorů robotu, tlačítko pod ním slouží ke spuštění/zastavení pohybu robotu a tlačítka plus a minus ovládají rychlost pohybu robotu. Tlačítka ve vyznačené části tři jsou programovatelná a slouží k ovládání digitálních výstupů robotu, např. otevření/sevření nástroje. Vyznačená část čtyři ovládá pohyb jednotlivých os robotu. Spodní tři tlačítka ovládají osy, které slouží k natočení nástroje. Na zadní straně

ovladače se nachází bezpečnostní tlačítko, které musí být zamáčknuto po celou dobu kdy mají být zapnuty motory. Pokud operátor toto tlačítko pustí, když jsou zapnuty motory robot se zastaví a na displeji se zobrazí chybové hlášení. Posledním tlačítkem, které se zde nachází je velké červené tlačítko na horní části ovladače. Sloužící k nouzovému zastavení motorů.



Obrázek 38: Teach pendant SP2

Teach pendant SP2 je spojen s přepínačem modů robotu, který se nachází na přední straně stolu. Tento přepínač má 3 režimy: manuální, automatický a vzdálený automatický režim. Ikona, v jakém režimu robot operuje se nachází v pravém dolním rohu displeje.



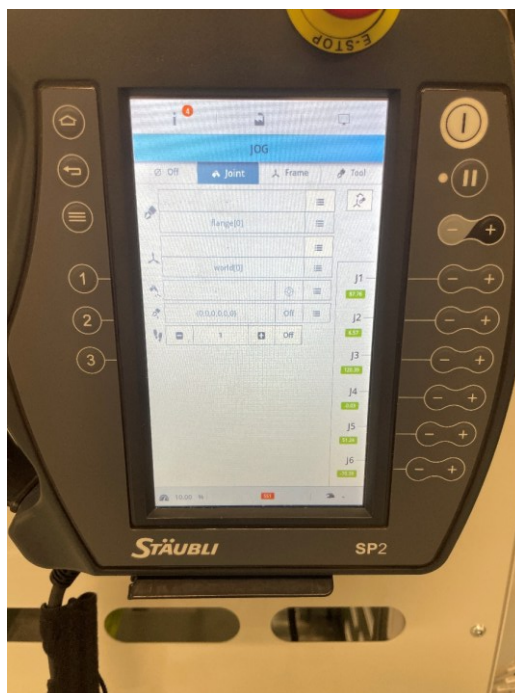
Obrázek 39: Přepínač režimů robotu

Automatický režim – horní poloha přepínače – se využívá pro spouštění operátorem vytvořených programů. Bez přepnutí do tohoto režimu robot není schopen vykonat zvolený program.

Ovládání ve vzdáleném automatickém režimu – spodní poloha – je využíváno, pokud příkazy k pohybu posílá další připojené zařízení např. PLC. Na robotu se spustí požadovaná aplikace a poté robot čeká na příkazy z nadřazeného zařízení. S tímto zařízením komunikuje za využití jednoho z podporovaných komunikačních protokolů např. PROFINET, ETHERCAT atd.

Manuální režim – aktuálně zvolený režim na obrázku 40 – je využíván, jak už název napovídá, pro manuální pohyb robotu. Robot se ovládá pomocí tlačítek na pravé straně ovladače. Robot v manuálním režimu můžeme ovládat pomocí několika typů pohybu.

Pohyb typu joint ovládá úhly natočení jednotlivých kloubů robotu. Tento způsob učení a pohyb není nejpřesnější. Jedná se spíše o rychlý manuální přesun k určité oblasti.



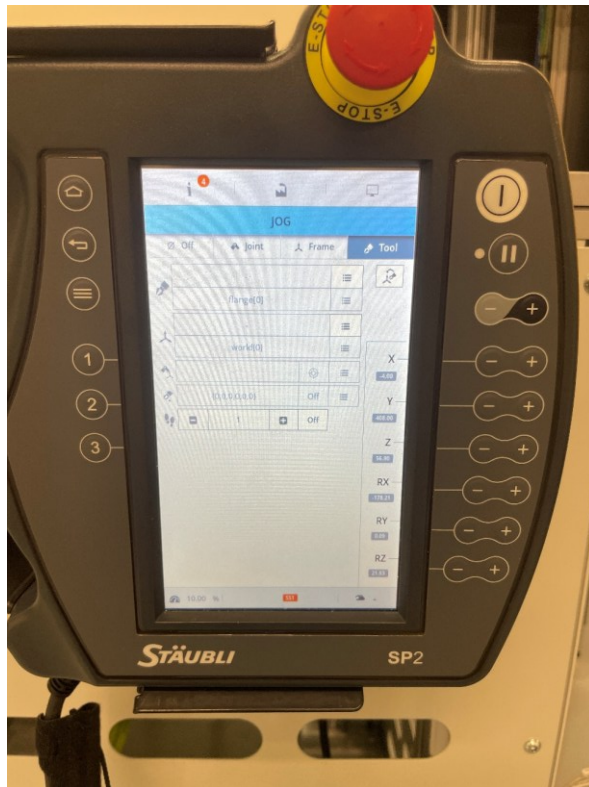
Obrázek 40: Manuální režim robotu – joint typ pohybu

Pokud je součástí programu frame můžeme se pohybovat v jeho souřadnicích pohybem typu frame a všechny uložené body budou mít souřadnice vztažené právě ke zvolenému framu. Můžeme ovládat pohyb ve 3 osách a natočení nástroje. V novějších verzích ovladače lze vytvořit a naučit nový frame přímo v ovladači.



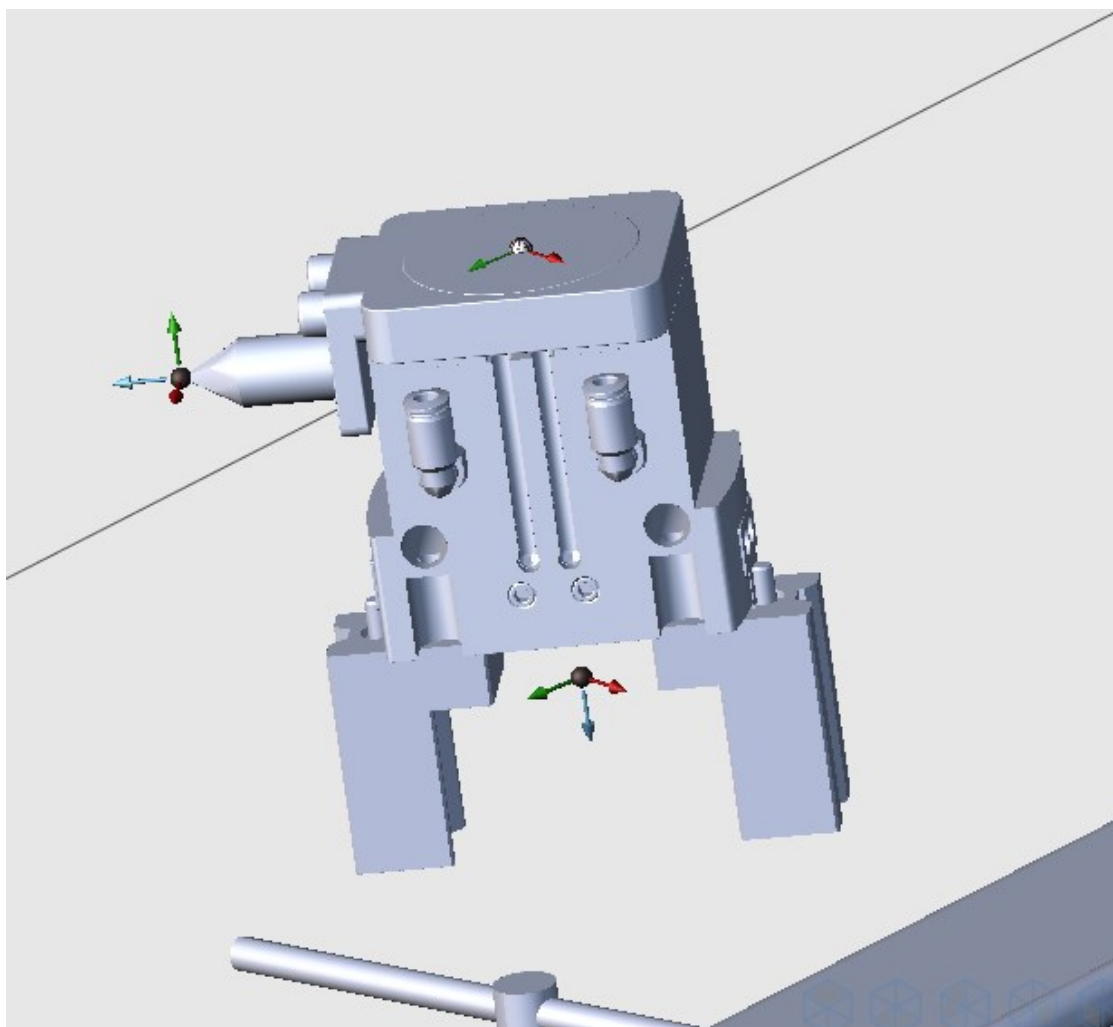
Obrázek 41: Manuální režim robotu – frame typ pohybu

Tool pohyb je ovládání s využitím nástroje. Nejprve musí být zvolena aplikace, která obsahuje nějaký nástroj, poté můžeme zvolit tento nástroj a ovladač pohybuje bodem, kterým nástroj interaguje s okolím neboli TCP bodem.



Obrázek 42: Manuální režim robotu – tool typ pohybu

Na obrázku níže můžeme vidět, jak je v programu SRS zvolen TCP bod. Pro příklad byl využit nástroj z úloh, které jsou v další části práce. Nástroj obsahuje 2 TCP body, jeden na kalibračním hrotu a druhý ve středu čelistí. První uvedený je používán v úloze 1 pro kalibraci. Druhý je využíván pro uchopení válečku.



Obrázek 43: TCP nástroje

6.3 VAL3

Pro vytvoření aplikací roboty od firmy Stäubli využívají programovací jazyk VAL3. Tento jazyk je podobný jazyku C. Níže jsou vypsány všechny příkazy a funkce, které byly využity při ověřování funkčnosti navržených výukových úloh. Robot je schopen daleko složitějších instrukcí, ale pro seznámení s možnostmi a pro výuku jsou tyto příkazy a funkce dostačující.

- Frame

Frame je lokální souřadnicový systém, který se používá pro jednodušší přeučení bodů, ke kopírování pozic bodů nebo např. posun bodů v paletě. Je definován třemi body. Pro určení těchto bodů se využívá přesný kalibrační hrot. Detailnější vysvětlení frame je součástí druhé úlohy.

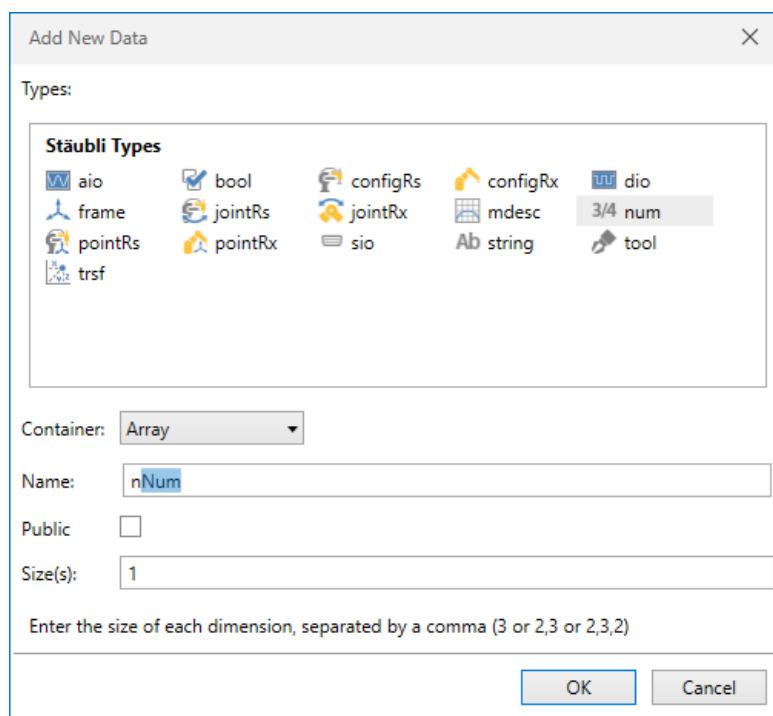
- Proměnné

Proměnné mohou mít maximálně 15 znaků – písmena (a...z, A...Z), číslice (0...9) případně podtržítka. Není povoleno používat mezeru a speciální znaky. První znak musí být malé písmeno dle požadovaného typu proměnné. Standardem je velké písmeno po tomto označení typu proměnné. Typy proměnných jsou vypsány v tabulce 11.

Tabulka 11: Typy proměnných

Typ proměnné	Popis
aio	analogové proměnné (vstupy/výstupy)
bool	boolean proměnné (true/false)
configRs	konfigurace ramene (SCARA, pouze rameno "shoulder")
configRx	konfigurace ramene (6osé, rameno "shoulder" - loket "elbow" - zápěstí "wrist")
dio	digitální proměnné (vstupy/výstupy)
frame	kartézské souřadnicové systémy "frames"
jointRs	úhlové pozice (SCARA: 4 hodnoty)
jointRx	úhlové pozice (6osé: 6 hodnoty)
mdesc	Motion descriptor – nastavení pohybů
num	číselné proměnné
pointRs	kartézské souřadnice (SCARA: trsft + configRs)
PointRx	kartézské souřadnice (6osé: trsft + configRx)
sio	serial proměnné (RS323/422, TCP/IP socket)
string	řetězec textových proměnných
tool	definice nástroje
trsf	kartézské transformace

V programu SRS lze vytvořit proměnné za využití dialogového okna, které je znázorněno na obrázku 44. V kolonce „Size“ lze určit velikost pole této proměnné, pokud necháme 1 bude mít pole pouze jednu hodnotu na kterou se můžeme odkazovat pouze názvem. Pokud zvolí uživatel jiné číslo než 1 např. 10 bude mít pole 10 hodnot a na jednotlivé pozice v poli se odkazuje: typNázev[pozice]



Obrázek 44: Okno pro vytvoření proměnných

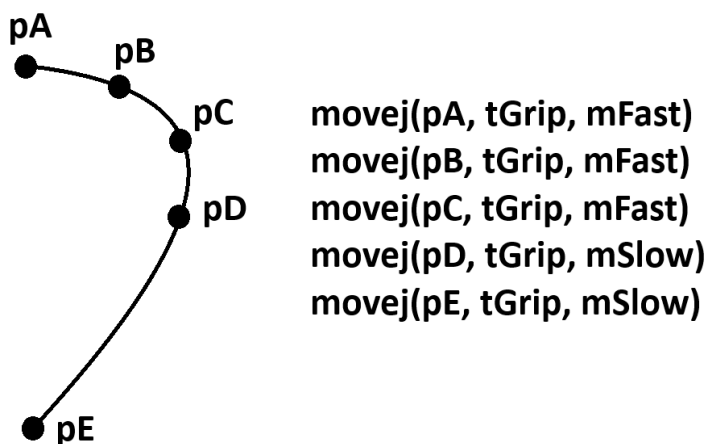
- movej(point, tool, mdesc)

Point – zvolený bod kam se má robot posunout

Tool – s jakým nástrojem se má do tohoto bodu dostat

Mdesc – označuje rychlost jakou se má do daného bodu dostat

Jedná se o naprogramovaný pohyb po křivce. Využívá se pro pohyb, kde nehrozí kolize: bez překážky, zakládání, ... Na obrázku 45 je ukázka pohybu a použitých příkazů.



Obrázek 45: Ukázka pohybu při využití příkazu movej

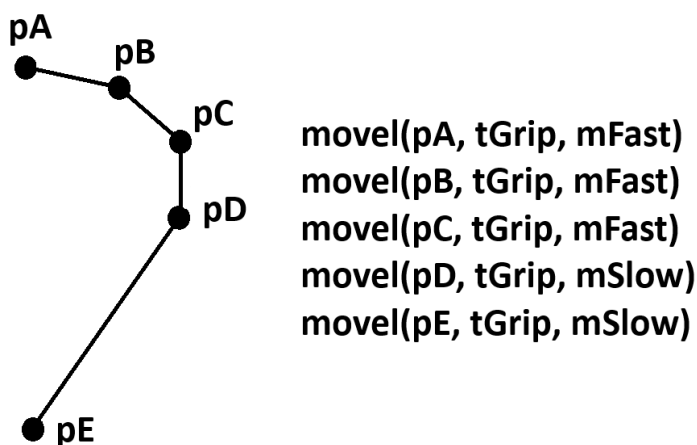
- `movej(point, tool, mdesc)`

Point – zvolený bod kam se má robot posunout

Tool – s jakým nástrojem se má do tohoto bodu dostat

Mdesc – označuje rychlost jakou se má do daného bodu dostat

Tento příkaz provádí naprogramovaný příkaz po přímce. Využívá kartézskou interpolaci. Využívá se pro pohyb v omezeném prostoru: překážka, vkládání, ... Na obrázku 46 je ukázka pohybu a použitých příkazů.

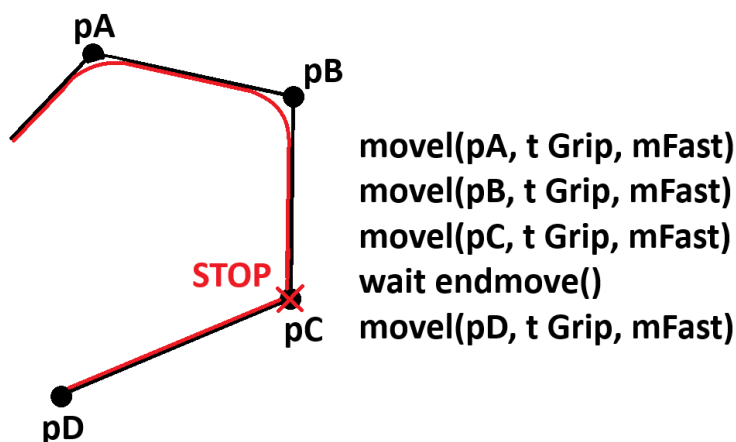


Obrázek 46: Ukázka pohybu při využití příkazu movel

- `wait endmove()`

Tato instrukce dává robotu pokyn, aby čekal, dokud nedokončí daný pohyb, než bude pokračovat další instrukcí. Pro pozorovatele to vypadá jako by se robot v daném bodě na

chvíli zastavil. Na obrázku 47 je černě znázorněna požadovaná dráha pohybu a červeně skutečná dráha pohybu.



Obrázek 47: Ukázka pohybu při použití `wait endmove()`

- `appro(point, trsf)`

`point` – zvolený bod ke kterému se má robot přiblížit

`trsf` – transformace proměnné v kartézských souřadnicích = o kolik a ve které ose se má robot přiblížit k danému bodu `point`. Zadává se číselně v podobě $\{x, y, z, rx, ry, rz\}$.

Tato instrukce provádí přiblížení k danému bodu. Hodnoty os se zadávají v mm. Zápis instrukce je následující:

```
// přiblížení nad bod pA, posun v ose z o 100 mm
nDistance = 100
trPosunuti = {0, 0, -nDistance, 0, 0, 0}
pApp = appro(pA, trPosunuti)
movej(pApp, tGrip, mFast)

//další způsoby zápisu stejne instrukce
movej(appro(pA, trPosunuti), tGrip, mFast)
movej(appro(pA, {0, 0, -100, 0, 0, 0}), tGrip, mFast)
movej(appro(pA, {0, 0, -nDistance, 0, 0, 0}), tGrip, mFast)
```

- `point here(tool, frame)`

Tato funkce vrací aktuální pozici bodu vzhledem k nástroji, který je určen prvním parametrem a ve druhém parametru pro zvolený souřadnicový systém (`frame`). Existuje i funkce `joint jhere ()` se stejnými parametry, která vrací aktuální pozici úhlu robotu

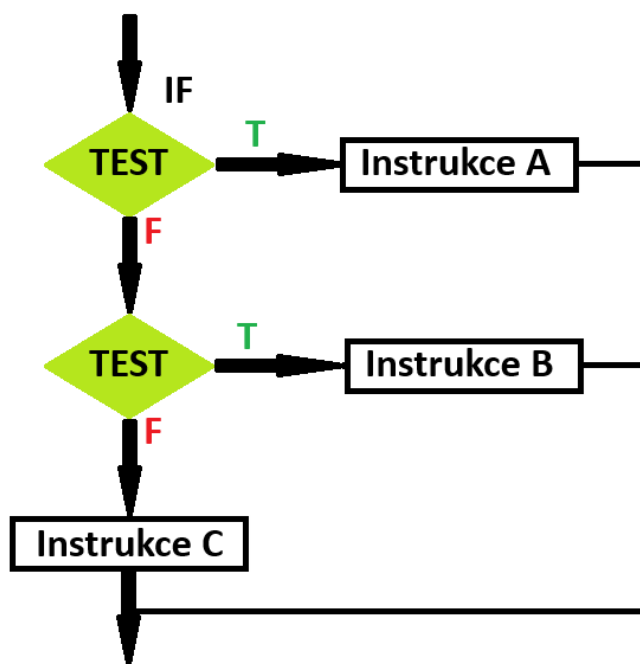
Ukázka kódu:

```
pA = here(tGrip, world)
```

- If podmínka

Podmínka IF je v tomto programovacím jazyce stejná jako ve všech ostatních. Jedná se o podmínku typu „Pokud něco platí, udělej tohle.“ Použitelné operátory jsou: <, >, ==, !=, >=, <=, and, or, xor, !.

```
If n == 1  
<instrukce A>  
elseif  
<instrukce B>  
else  
<instrukce C>  
endif
```



Obrázek 48: Znázornění IF cyklu

- For cyklus

Tento cyklus opakovaně vykonává určité instrukce, dokud není splněn určitý počet cyklů.

Níže je uvedena ukázka zápisu.

```
For nCislo = 1 to 10  
<instrukce>  
endFor
```

- While cyklus

While cyklus na rozdíl od for cyklu vykonává určitou část kódu, dokud platí zadaná podmínka. Níže je opět ukázka zápisu.

```
While nCislo > 3  
<instrukce>  
endWhile
```

7 SOUBOR ÚLOH

Jedním z hlavních cílů této diplomové práce je vytvoření souboru úloh vhodných pro výuku robotiky na FAI UTB. Koncept těchto úloh je vytvořit v jednom projektu několik aplikací, kdy každá další aplikace navazuje na předchozí a vyžaduje znalosti v ní použité.

7.1 Úloha 1 – Kalibrace robotu a prostředí

7.1.1 Cíl úlohy

V této úloze je studentům představen proces kalibrace průmyslového robotu Stäubli TX2-60L a jeho zorientování v rámci pracovního prostoru. Robot je nejprve ručně uveden do výchozí pozice, přičemž je kladen důraz na přesnost a bezpečnost pohybů. Studenti jsou postupně seznámeni s tím, jakým způsobem může být robot ovládán v manuálním i automatickém režimu.

Dále je věnována pozornost simulačnímu prostředí Stäubli Robotics Suite, které slouží k vizualizaci a testování vytvořených programů. V rámci úlohy je ukázáno, jakým způsobem importovat CAD modely reálných součástí pracoviště do prostředí. Tyto modely musí být správně umístěny a orientovány tak, aby odpovídaly skutečnému fyzickému uspořádání.

Prostřednictvím této úlohy je studentům umožněno osvojení základních pracovních návyků při programování a simulaci robotických trajektorií, s důrazem na správnou kalibraci, orientaci prvků a bezpečné ovládání robotu.

7.1.2 Zadání

Vytvořte projekt pro úlohy, které budete zpracovávat v tomto semestru. Vytvořte aplikaci s vlastním uživatelským rozhraním pro kalibraci robotu, dále připravte simulační prostředí v programu SRS tak, aby odpovídalo reálnému fyzickému uspořádání.

7.1.3 Doporučený postup

1. Založte nový projekt
2. Přidejte robot TX2-60L a ovladač s odpovídající verzí fyzickému ovladači.
3. Vytvořte aplikaci pro kalibraci robotu, včetně uživatelského rozhraní pro ovladač SP2 a programů pro kalibraci.
4. Přidejte vhodné pole bodů pro kalibraci.

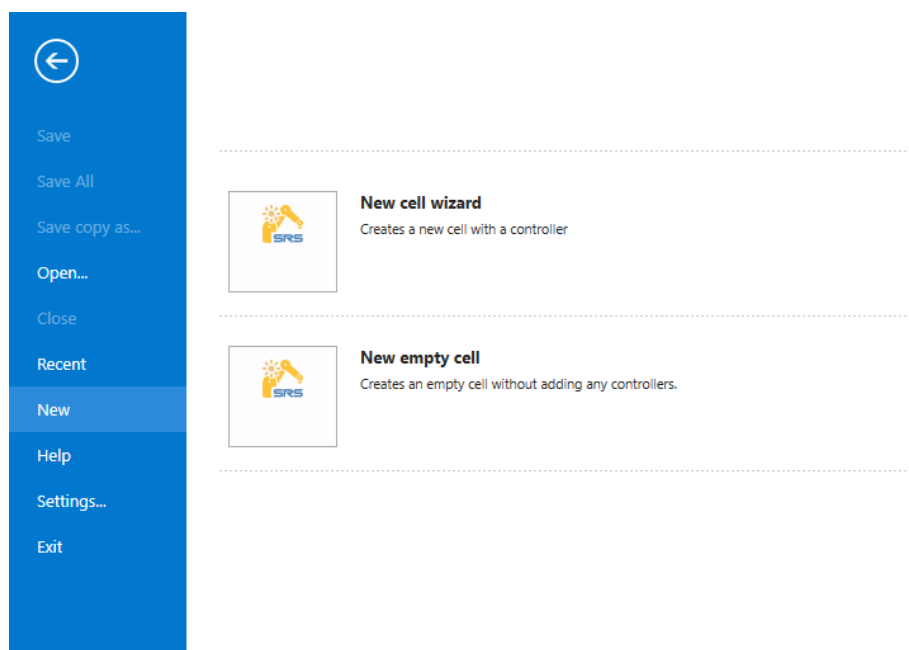
5. Nahrajte aplikaci do robotu.
6. Kalibrujte robot.
7. Synchronizujte pole bodů z robotu s polem bodů v programu SRS.
8. Vložte odpovídající CAD modely do simulačního prostředí.
9. Ověřte funkčnost simulačního prostředí.
10. Vyplňte protokol úlohy, popište tvorbu kódu a průběh kalibrace.

Protokol pro vyplnění je přílohou této práce jako příloha 1.

7.1.4 Vypracování

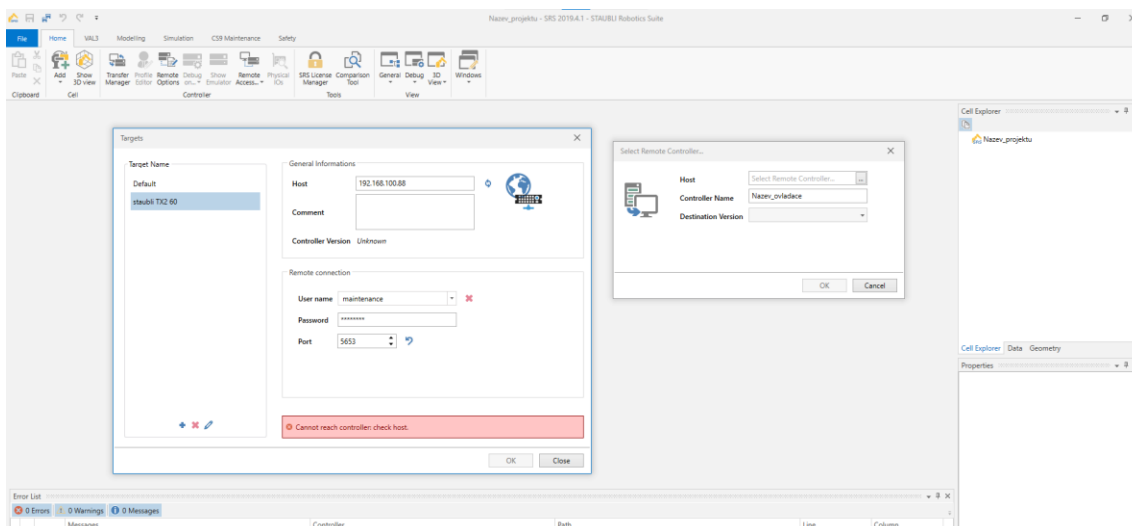
Pro ověření splnitelnosti zadání byla úloha ukázkově vypracována. Níže je stručně popsán průběh řešení.

Prvním krokem bylo vytvoření nového projektu.



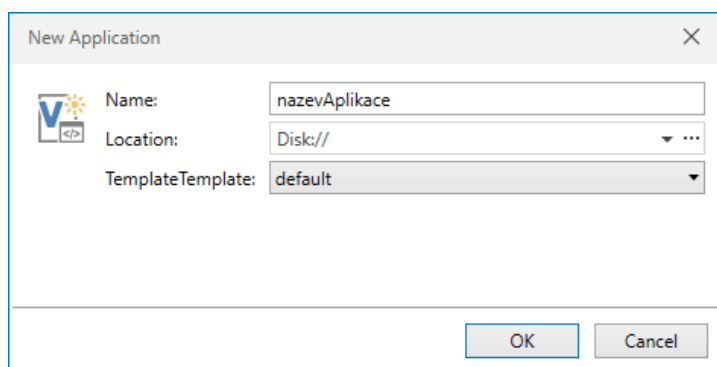
Obrázek 49: Úloha 1 – Založení projektu

Projekt byl založen jako prázdná buňka a poté přidán ovladač robotu pomocí připojení k reálnému robotu. Vložení ovladače tímto způsobem automaticky rozpoznalo typ robotu a verzi ovladače.



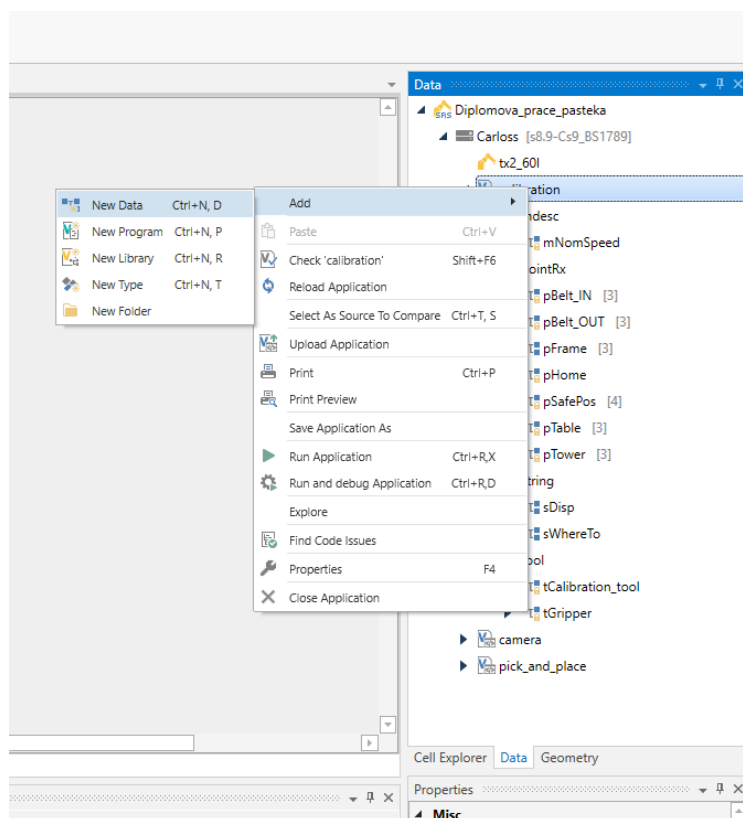
Obrázek 50: Úloha 1- Přidání ovladače

Dalším krokem bylo vytvoření nové aplikace. Tato aplikace byla pojmenována Kalibrace.

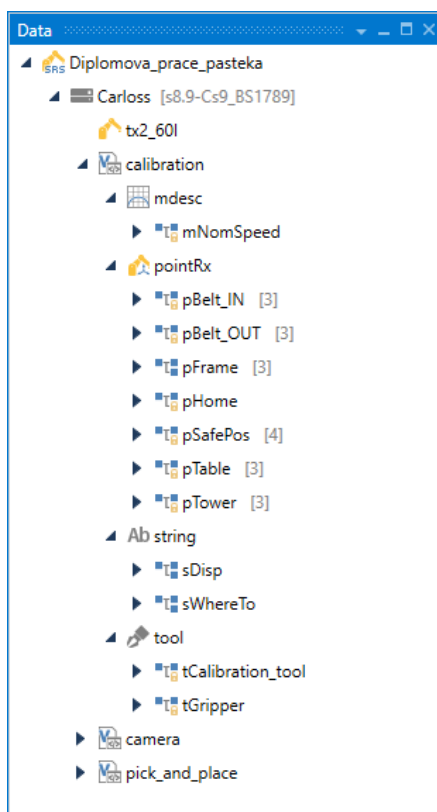


Obrázek 51: Úloha 1 – Přidání nové aplikace

Následovalo vytvoření všech potřebných bodů pro kalibraci. Tyto body jsou ukázány na obrázku 53. Body byly vloženy jako pole. Pro každý komponent pracoviště jedno pole. Číslo v závorce je počet pozic v tomto poli. Rovněž byl přidán i bod pro výchozí pozici – „pHome“.

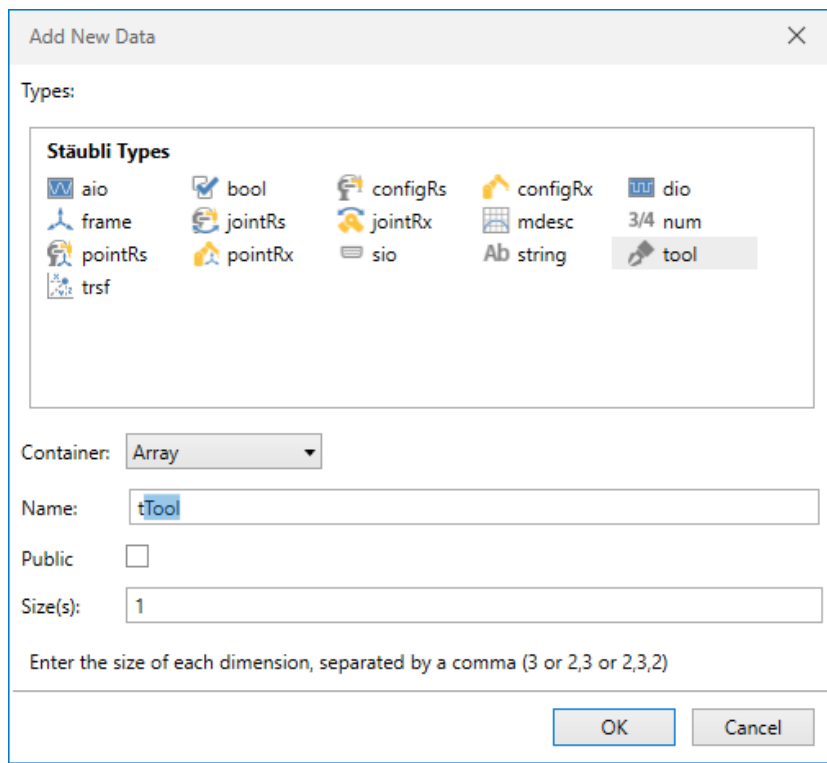


Obrázek 52: Úloha 1 – Vložení nové proměnné



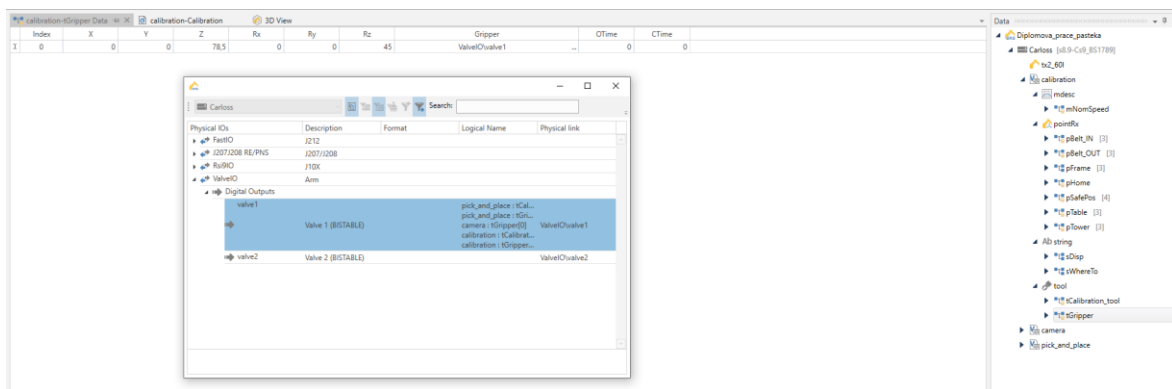
Obrázek 53: Úloha 1 – Data tree

Dalším logickým krokem bylo přidání nástroje robotu (obrázek 51) a upravení jeho bodů pro přichycení k robotu a pro uchopení. Rovněž byl vložen CAD model tohoto nástroje.



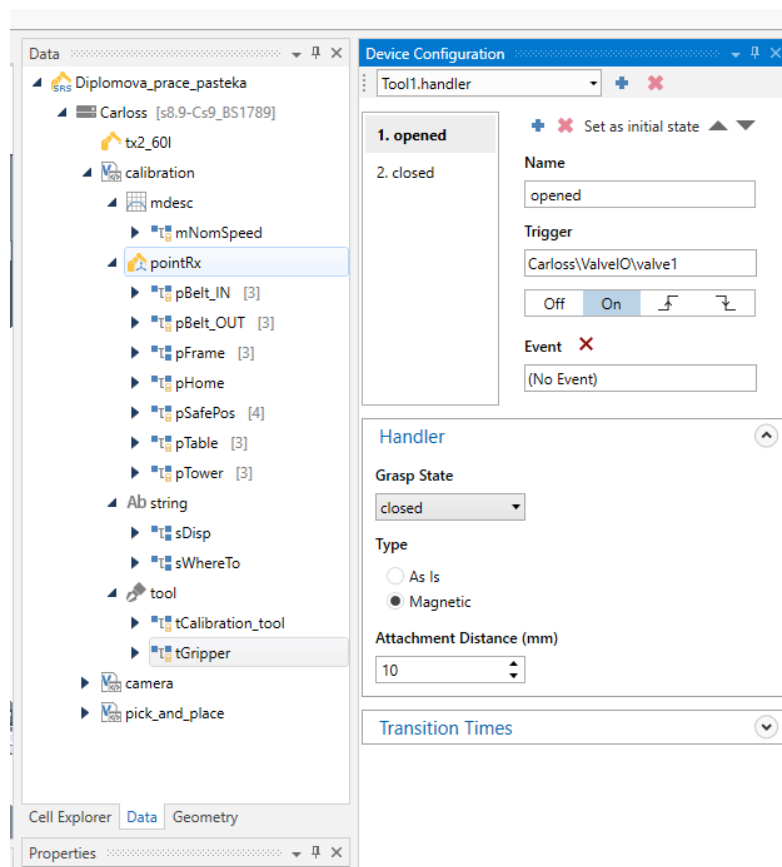
Obrázek 54: Úloha 1 – Přidání nástroje

Následovalo přiřazení digitálních výstupů robotu, aby bylo možné ovládat nástroj.



Obrázek 55: Úloha 1 – Úprava bodů nástroje

Poté byla provedena finální konfigurace a nástroj byl úspěšně přidán.



Obrázek 56: Úloha 1 – Konfigurace nástroje

Následovalo vytvoření uživatelského rozhraní. Pro úspěšné splnění této úlohy stačí přidat možnosti pro kalibraci home pozice, pozice stolu, pozice dopravníku A, dopravníku B a odkládací skříně. Na obrázku níže lze vidět, že byla přidána i možnost pro kalibraci framu, který je využíván v druhé úloze.

Kalibrace

Home position NEW HOME	Table position Safe pos [0] [1] [2]
Conveyor belt IN position Safe pos [0] [1] [2]	Conveyor belt OUT position [1] [0] [2] Safe pos
Tower position [1] Safe pos [2] [0]	Frame calibration Zero point Safe pos X Y

Label

Calibration test

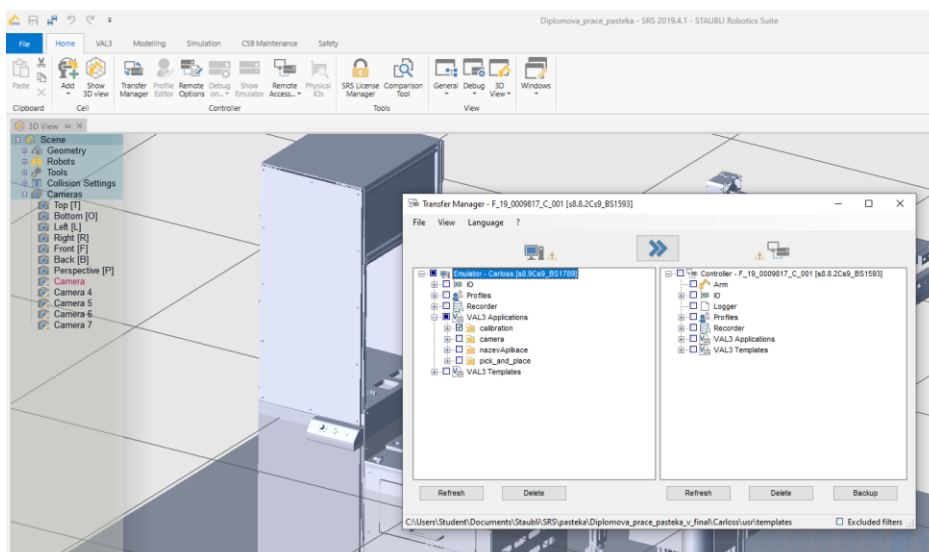
Obrázek 57: Úloha 1 – Uživatelské rozhraní

V další části byly vytvořeny a napsány programy pro jednotlivé tlačítka z uživatelského rozhraní. Tyto programy využívají funkci *point here()*. Pro test kalibrace, který je znázorněn na spodní části obrázku 57. Byl napsán program, jehož dráha se skládá ze všech naučených bodů a robot ji dokáže projet tak, aby nedošlo ke kolizi.



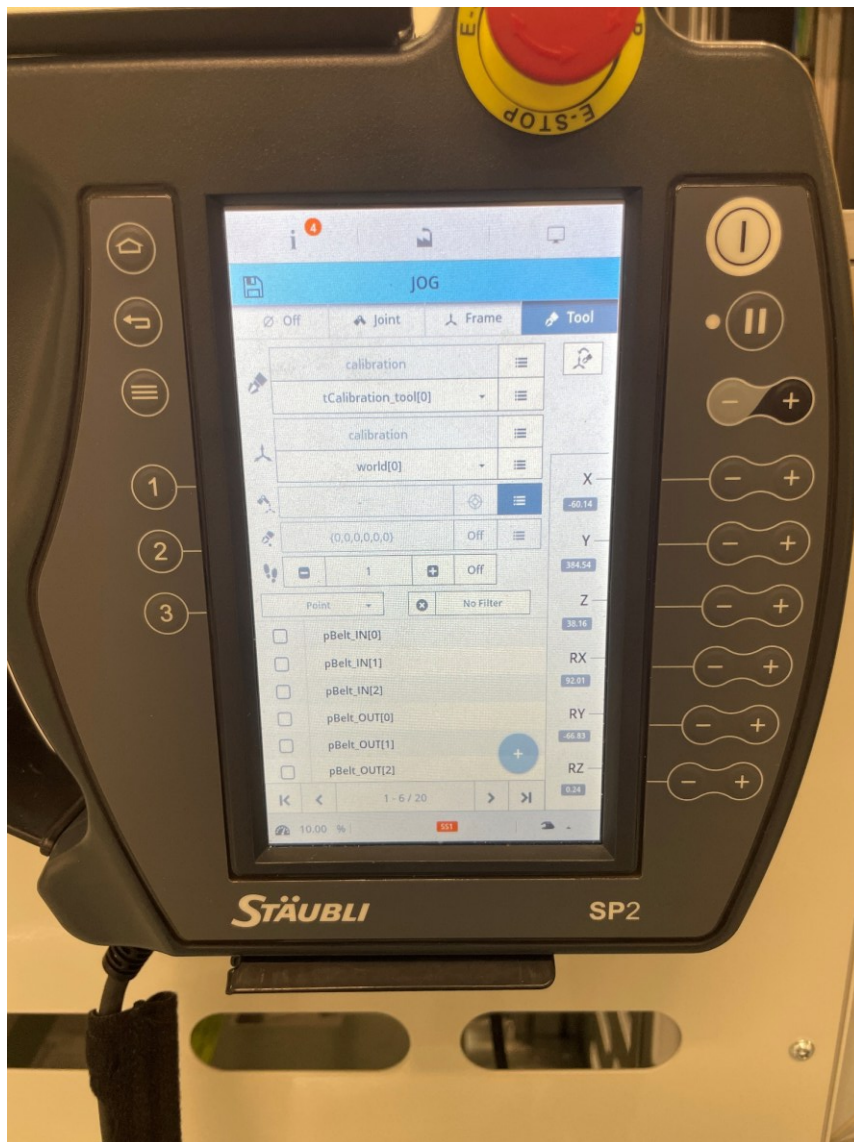
Obrázek 58: Úloha 1 – Programy

Následovalo nahrání aplikace do robotu pomocí „transfer manager“.



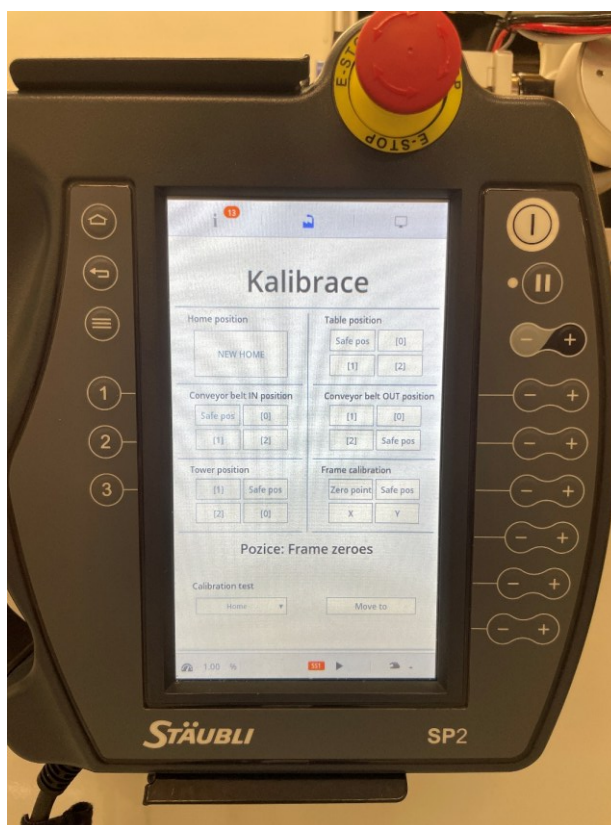
Obrázek 59: Úloha 1 – Nahrání aplikace do robotu

V následujícím kroku byl robot přepnut do manuálního režimu, ve kterém byl zvolen odpovídající typ pohybu dle požadavků na danou operaci. V tomto případě Tool pohyb. Následně byla spuštěna připravená aplikace.

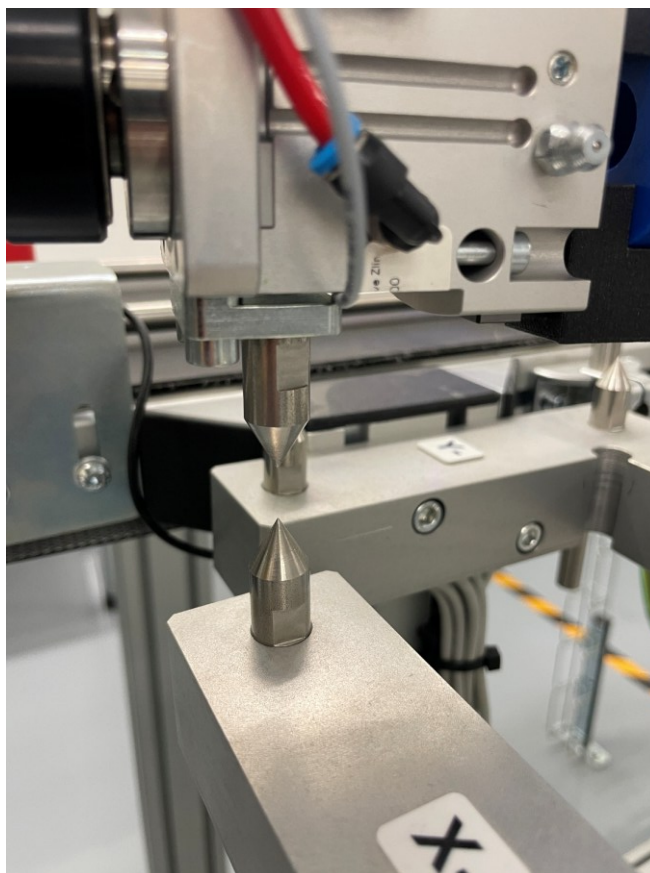


Obrázek 60: Úloha 1 – Spuštění aplikace

V dalším kroku byly manuálně identifikovány a zaznamenány všechny potřebné kalibrační body. K jejich ukládání bylo využito uživatelské rozhraní, které bylo vytvořeno a nakonfigurováno v předchozích fázích práce. Tento postup umožnil přesné zachycení referenčních pozic, které slouží jako základ pro sladění virtuálního modelu s reálným uspořádáním pracoviště.

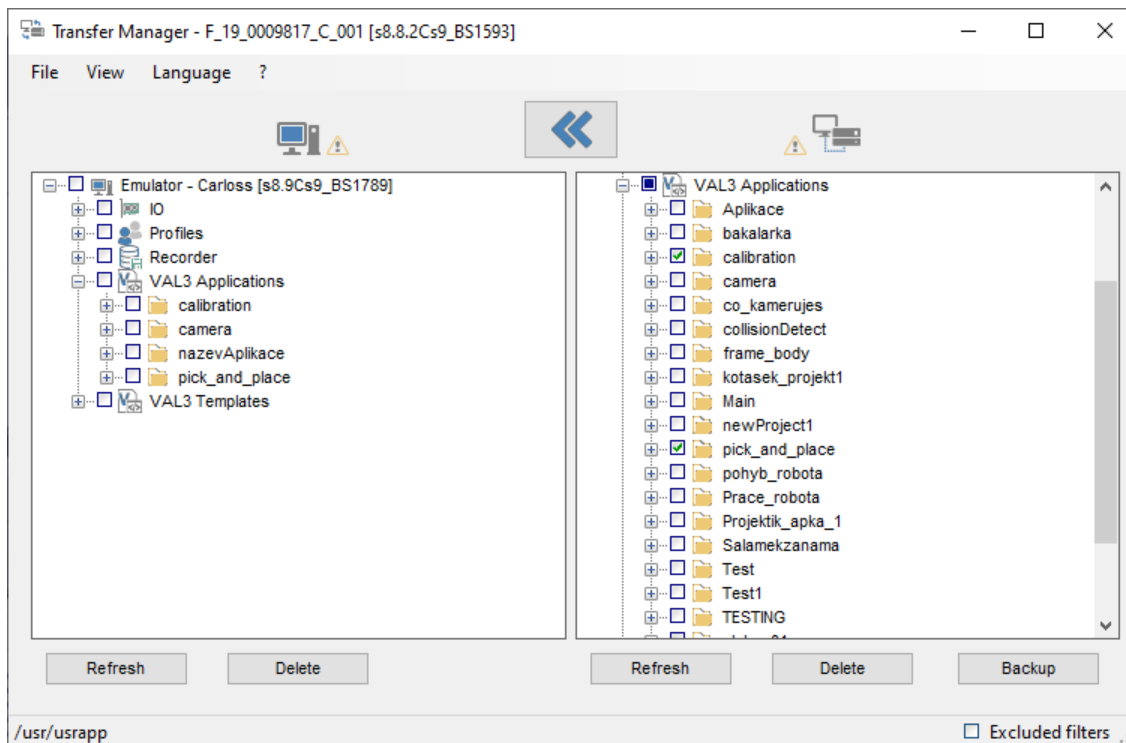


Obrázek 61: Úloha 1 – Uživatelské prostředí – fyzický ovladač SP2



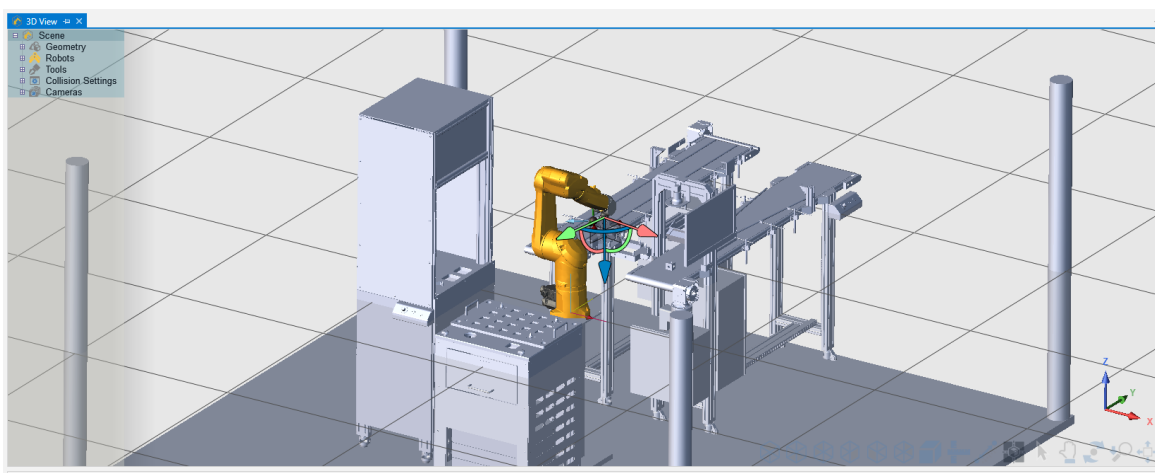
Obrázek 62: Úloha 1 – Kalibrační hroty

Po provedení kalibrace byla aplikace nahrána zpět do PC.



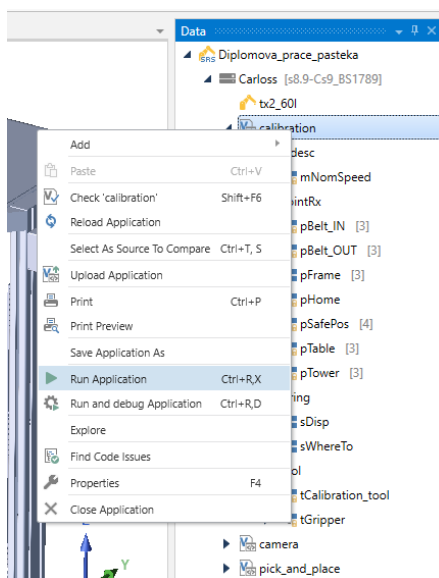
Obrázek 63: Úloha 1 – Nahrání aplikace zpět do PC

Následovalo vložení všech zbývajících CAD modelů jednotlivých komponent pracoviště do softwarového prostředí. Tyto modely byly následně prostorově zarovnány a natočeny na základě referenčních bodů získaných v předchozích krocích. Tímto způsobem bylo dosaženo přesného prostorového zarovnání virtuálního modelu s reálnou konfigurací pracoviště, což je klíčové pro následné plánování trajektorií a ověřování kolizí.



Obrázek 64: Úloha 1 – Simulační prostředí

V závěrečném kroku byla ověřena správnost provedené kalibrace pomocí připraveného testovacího programu. Nejprve byla jeho funkčnost prověřena v simulačním prostředí, kde bylo možné bez rizika vyhodnotit trajektorie a odezvu systému. Následně byly identické pohyby provedeny reálným robotem a výsledky z obou prostředí byly vzájemně porovnány. Tento postup umožnil posoudit přesnost kalibrace a sladění virtuálního modelu s fyzickým pracovištěm.



Obrázek 65: Úloha 1 – Start aplikace



Obrázek 66: Úloha 1 – Ovladač v simulačním prostředí

7.2 Úloha 2 – Pick and place

7.2.1 Cíl úlohy

Cílem této úlohy je přemístění objektu – konkrétně válečku – z výchozí pozice do jiné, předem definované. Při realizaci úlohy je kladen důraz na přesné programování trajektorie a bezpečný pohyb koncového efektoru.

Součástí úlohy je vytvoření uživatelského rozhraní, prostřednictvím kterého má být robot ovládán. Toto rozhraní je navrženo tak aby uživateli umožňovalo volit požadované operace – například zahájení pohybu, uložení nebo výběr koncové pozice – bez nutnosti zásahu do samotného kódu programu. Tím je zajištěna vysoká flexibilita a komfort při práci s robotem.

Během práce na úloze se studenti seznámí se základními principy interakce člověk-stroj, strukturou jednoduchého rozhraní a jeho napojením na řídicí logiku robotu. Zároveň si osvojí způsoby definování pozic v prostoru, práci s proměnnými a volání jednotlivých funkcí v rámci aplikace.

Výsledkem úlohy je funkční robotická aplikace, v níž je váleček automatizovaně přemísťován mezi dvěma místy na podložce a je ovládán prostřednictvím uživatelsky přívětivého rozhraní.

7.2.2 Zadání

Přidejte do projektu další aplikaci. Navrhněte vhodné řešení pro přemísťování válečku z jedné pozice podložky do jiné. Pozice pro přemístění musí být volitelná. Aplikaci doplňte vhodným uživatelským prostředím.

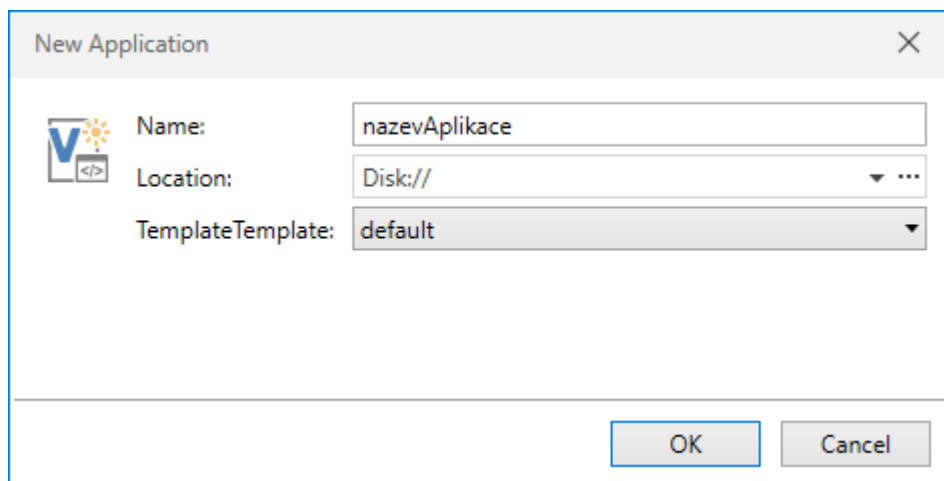
7.2.3 Doporučený postup

1. Vytvořte novou aplikaci pro úlohu 2, včetně uživatelského rozhraní.
2. Přidejte frame pro podložku na stole.
3. Vytvořte vhodné pole bodů ve vytvořeném framu.
4. Vytvořte příslušné programy pro pohyb robotu pro splnění zadání.
5. Ověřte funkčnost v simulačním prostředí, poté na reálném robotu.
6. Vyplňte protokol úlohy, popište tvorbu kódu a průběh plnění zadání.

Protokol pro vyplnění je přílohou této práce jako příloha 2.

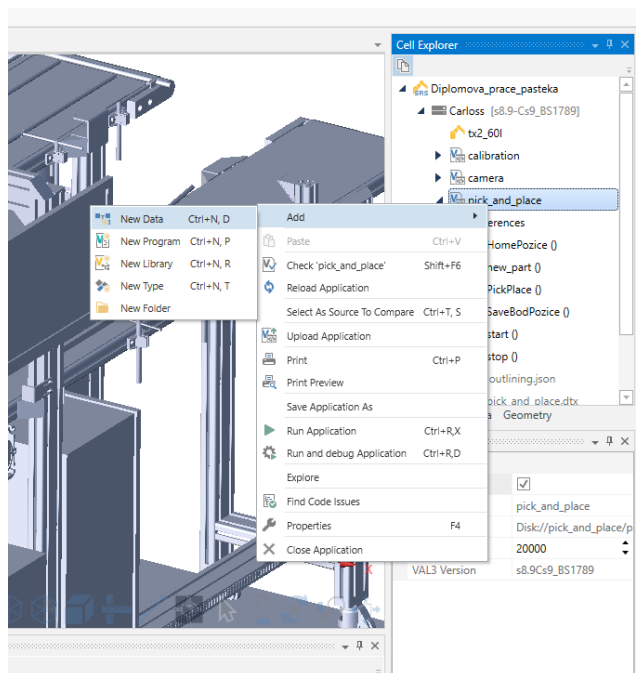
7.2.4 Vypracování

Prvním krokem bylo přidání další aplikace. Tato byla pojmenována „Pick and place“.

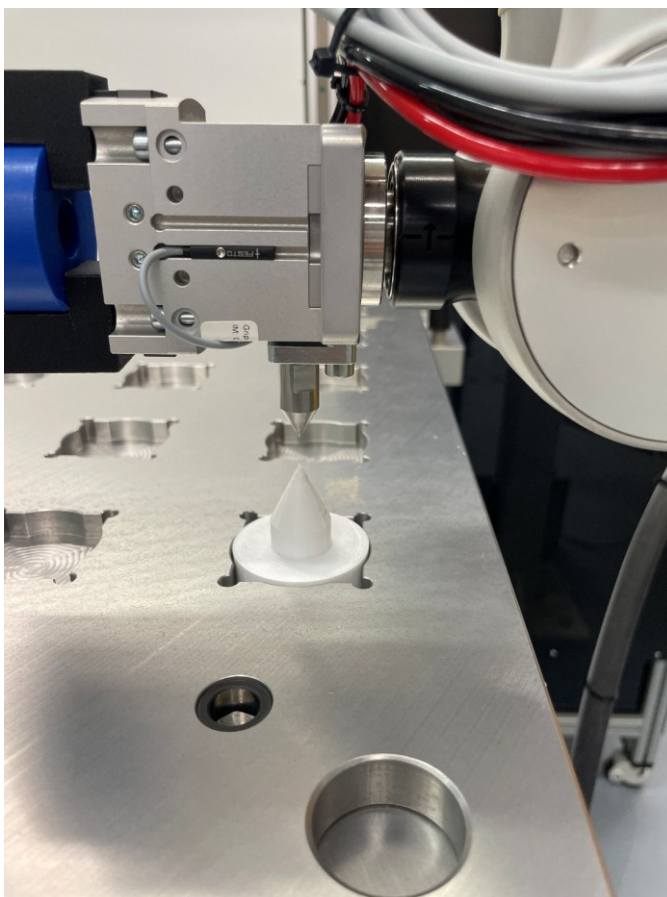


Obrázek 67: Úloha 2 – přidání aplikace

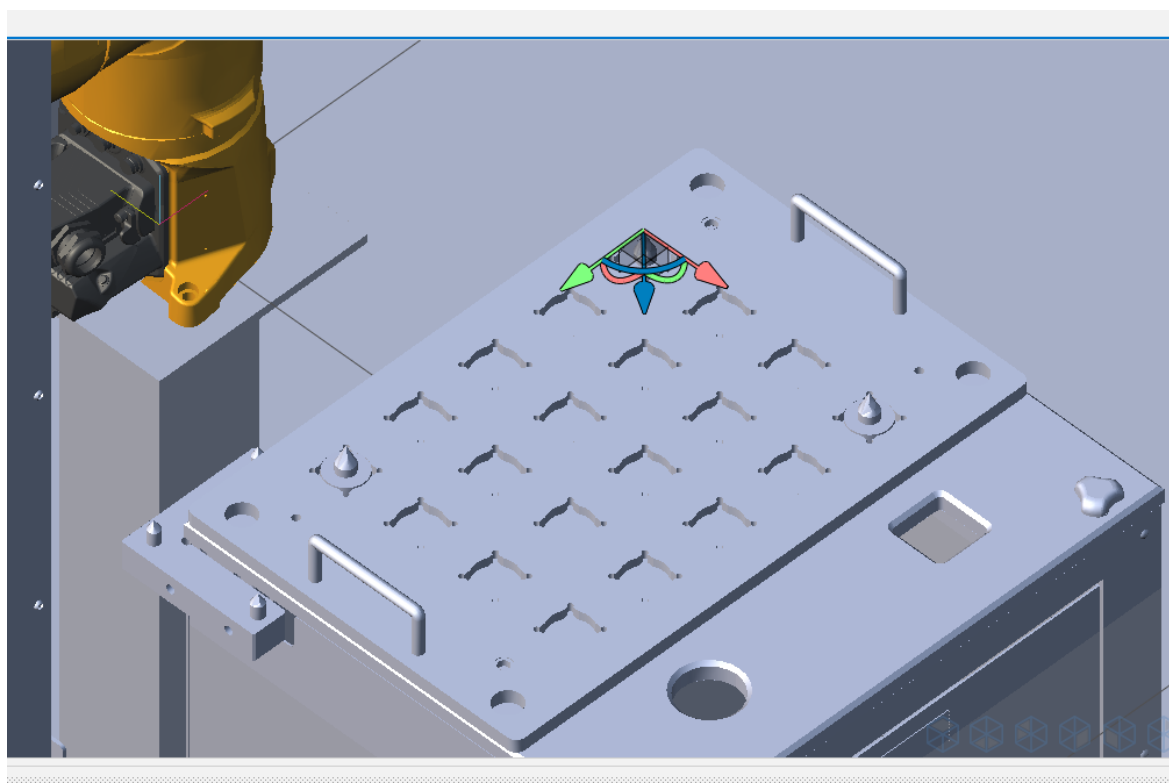
Do modelu pracoviště byl přidán nový souřadnicový systém (frame), který reprezentuje rovinu podložky umístěné na stole. Tento frame byl definován na základě kalibračních bodů získaných manuálním navedením robotu a uložen pomocí vytvořeného rozhraní v úloze 1.



Obrázek 68: Úloha 2 – přidání nové proměnné

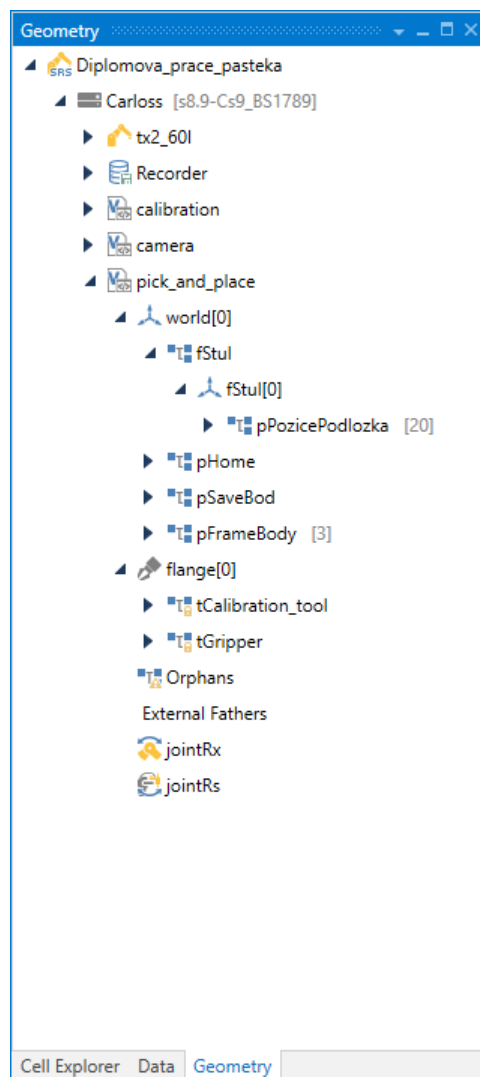


Obrázek 69: Úloha 2 – kalibrační hroty



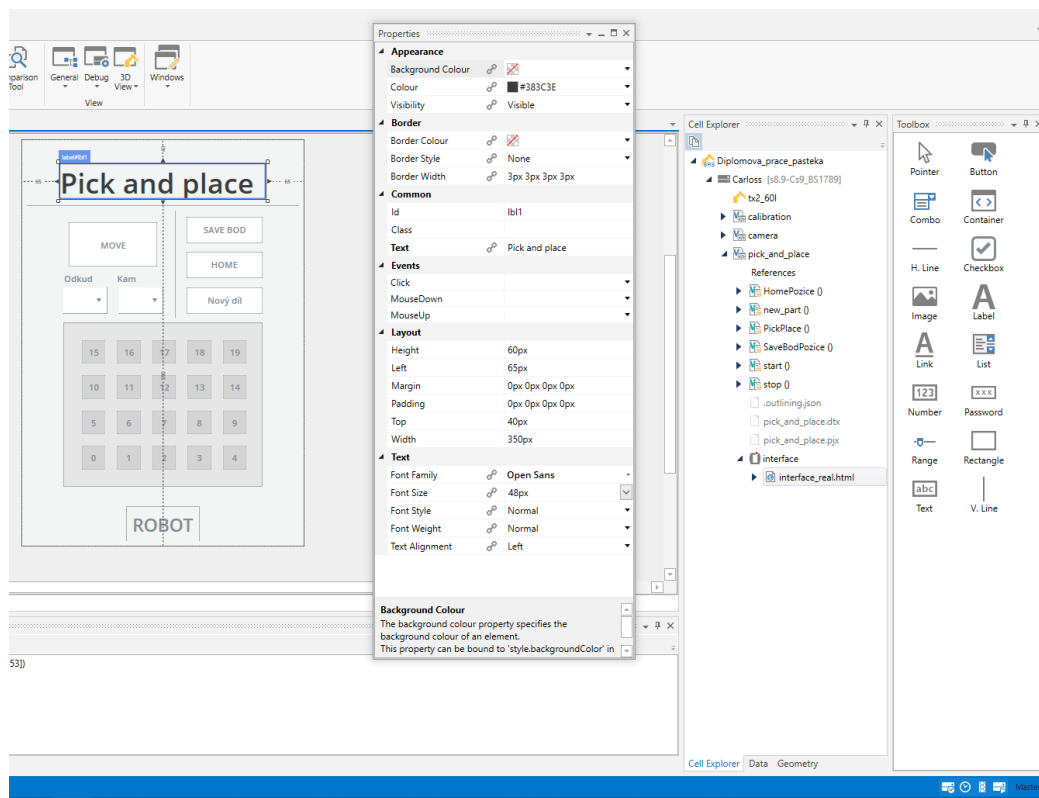
Obrázek 70: Úloha 2 – přidání frame

Dále byly přidány body všech pozic do vytvořeného souřadnicového systému. Tyto body simulují pracovní plochu pro úlohu. Body byly dopočítány pomocí vzdáleností pozic. Rovněž byly přidány body pro výchozí pozici a pomocný bod nad podložkou, který slouží k bezpečnému pohybu robotu k podložce.



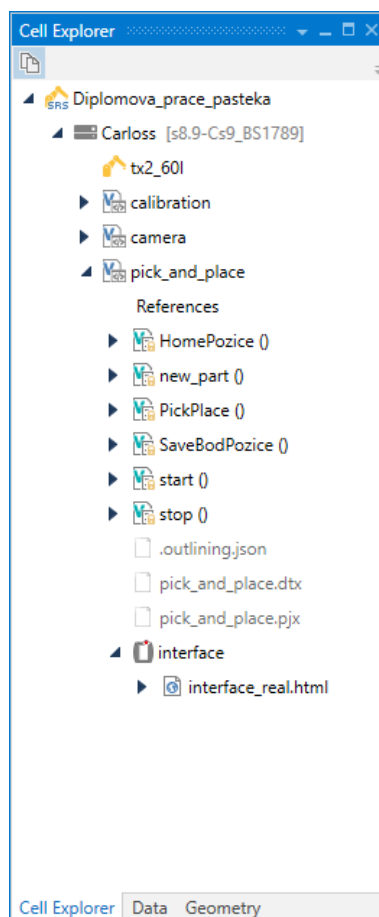
Obrázek 71: Úloha 2 – geometry tree

Dále bylo vytvořeno uživatelské rozhraní pro ovládání robotu, které umožňuje ukládání, výběr a spouštění trajektorií. Rozhraní bylo navrženo s důrazem na jednoduchost obsluhy a kompatibilitu s požadavky zadání.



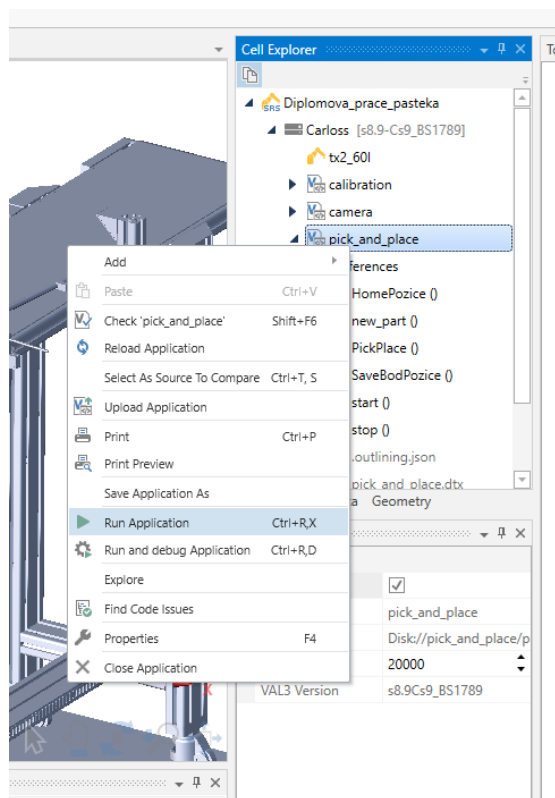
Obrázek 72: Úloha 2 – uživatelské rozhraní

Byly vytvořeny nové programy pro řízení pohybu robotu k jednotlivým bodům. Pohyby byly voleny s ohledem na bezpečnost, efektivitu a přehlednost trajektorií. Využity byly jak lineární (move), tak kloubové (movej) pohyby.



Obrázek 73: Úloha 2 – program tree

Nejprve byly všechny trajektorie ověřeny v simulačním prostředí, kde bylo možné bez rizika zkontrolovat dosah, orientaci a možné kolize. Po úspěšné simulaci byl program nahrán do reálného robotu. Funkčnost úlohy byla ověřena.

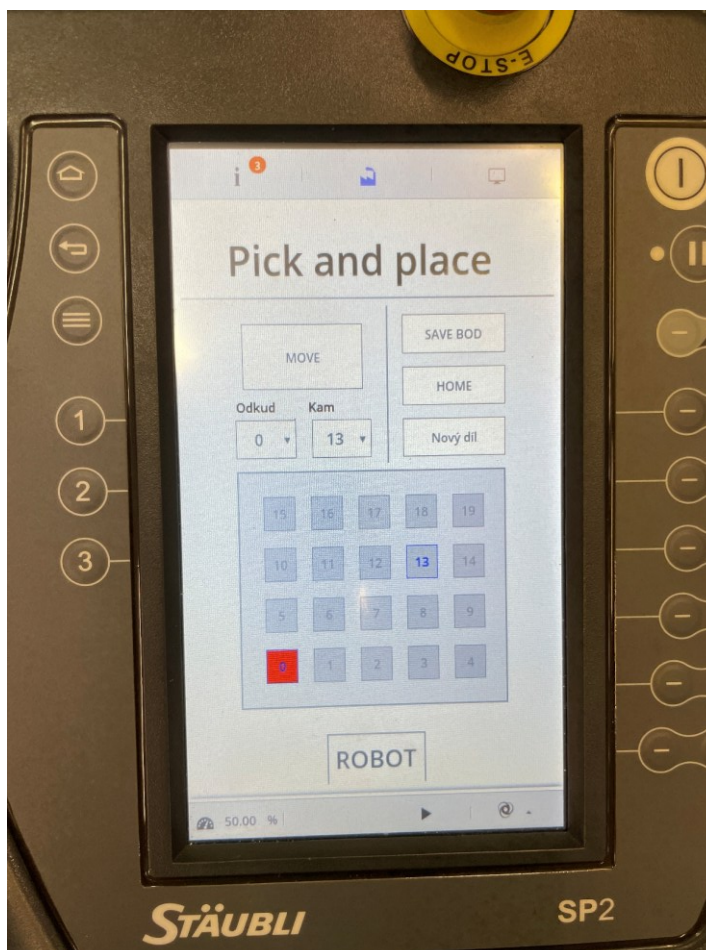


Obrázek 74: Úloha 2 – spuštění simulace



Obrázek 75: Úloha 2 – ovladač v simulaci

Výstupem této úlohy je přesun válečku z první vybrané pozice do jiné vybrané pozice. Tyto pozice jsou graficky znázorněny pro přehlednost. Červeně vyznačené pole je aktuální pozice válečku. Tyto grafické prvky jsou součástí aplikace, avšak po studentech nejsou požadovány.



Obrázek 76: Úloha 2 – fyzický ovladač SP2

7.3 Úloha 3 – Třídění válečků dle barvy

7.3.1 Cíl úlohy

Cílem této úlohy je integrace kamerového systému do robotického pracoviště a jeho využití pro automatizované rozpoznání barvy válečku. Robot je v této úloze naprogramován tak, aby byl schopen manipulovat s válečky na základě informací získaných z kamery.

V první fázi úlohy je váleček uchopen z předem definované pozice. Následně je pomocí kamery provedena kontrola jeho barvy. Kamerový systém je připojen přímo do robotického prostředí bez využití PLC, aby byl schopen předat získané informace přímo robotu. Konfigurace kamery probíhá v samostatném softwaru k tomu určenému výrobcem kamery.

Na základě detekované barvy je váleček přemístěn a odhozen do předem definovaného odhazovacího místa. Po dokončení manipulace s prvním válečkem pokračuje program vybráním dalšího válečku. Počet válečků je volen uživatelem.

Touto úlohou jsou studentům představeny principy počítačového vidění v praxi, základní techniky zpracování obrazové informace a jejího využití v reálném čase při rozhodování o pohybu robotu. Zároveň si studenti osvojí způsoby komunikace mezi robotem a externími zařízeními, a to včetně přenosu dat a vyhodnocování parametrů objektu.

7.3.2 Zadání

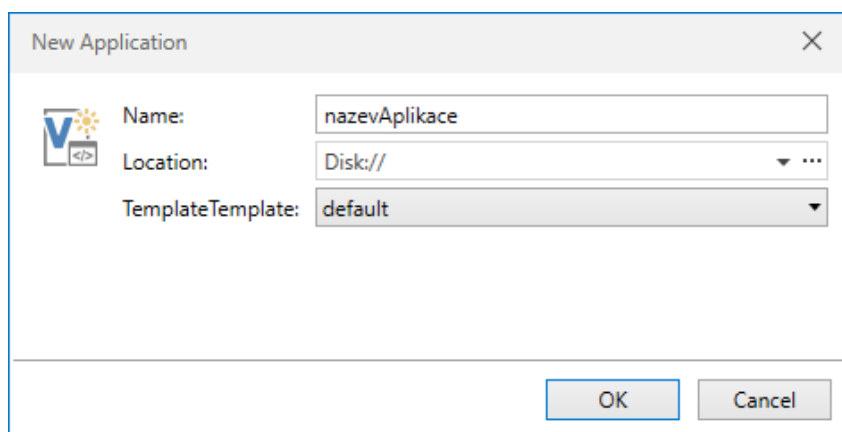
Přidejte do projektu další aplikaci pro třídění válečků dle barvy. Navrhněte vhodné řešení této aplikace.

7.3.3 Doporučený postup

1. Vytvořte novou aplikaci a uživatelské rozhraní
2. Přidejte do aplikace kameru.
3. Nakonfigurujte kameru v příslušném programu.
4. Vytvořte frame nad podložkou – lze převzít z úlohy 2, včetně bodů
5. Vytvořte příslušné programy pro splnění zadání.
6. Ověřte funkčnost pohybů v simulačním prostředí.
7. Nahrajete aplikaci do robotu a ověřte funkčnost
8. Vyplňte protokol úlohy, popište tvorbu kódu a způsob přidání kamery

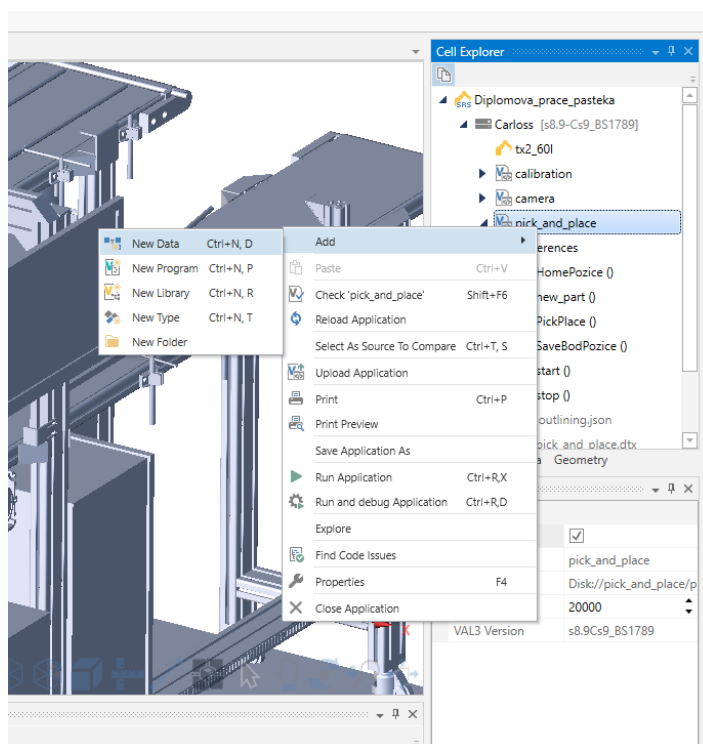
7.3.4 Vypracování

Opět byla do projektu vložena nová aplikace se jménem „Camera“ pro ověření funkčnosti této úlohy.

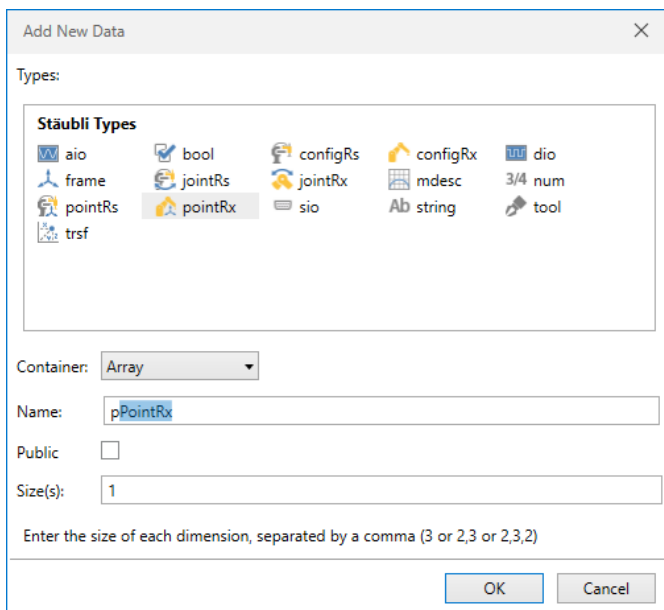


Obrázek 77: Úloha 3 – vložení aplikace

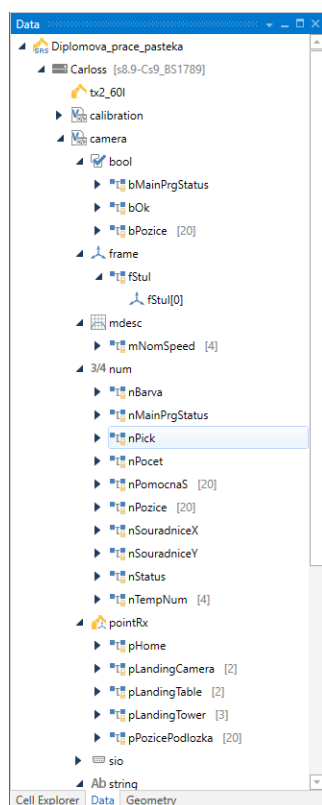
Do struktury aplikace byla integrována průmyslová kamera. Kamera byla přidána jako nový prvek v systému pomocí typu proměnné SIO, přesněji jako externí zařízení připojené přes Ethernet. Takovéto připojení neumožňuje odzkoušení navrhnutého programu simulačně. Z tohoto důvodu pro simulaci byl program upraven. Rovněž byly přidány všechny potřebné body pro pohyb robotu.



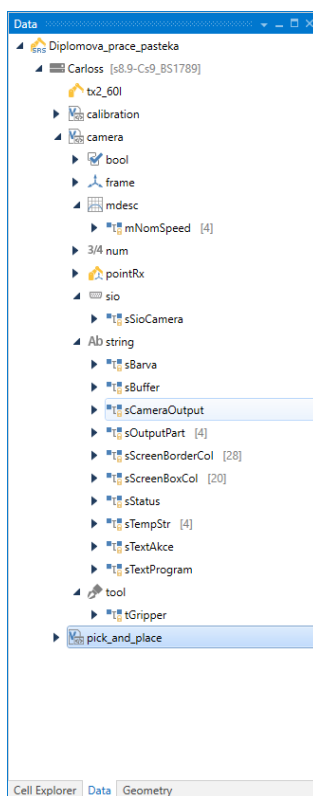
Obrázek 78: Úloha 3 – přidání nové proměnné



Obrázek 79: Úloha 3 – přidání kamery přes SIO

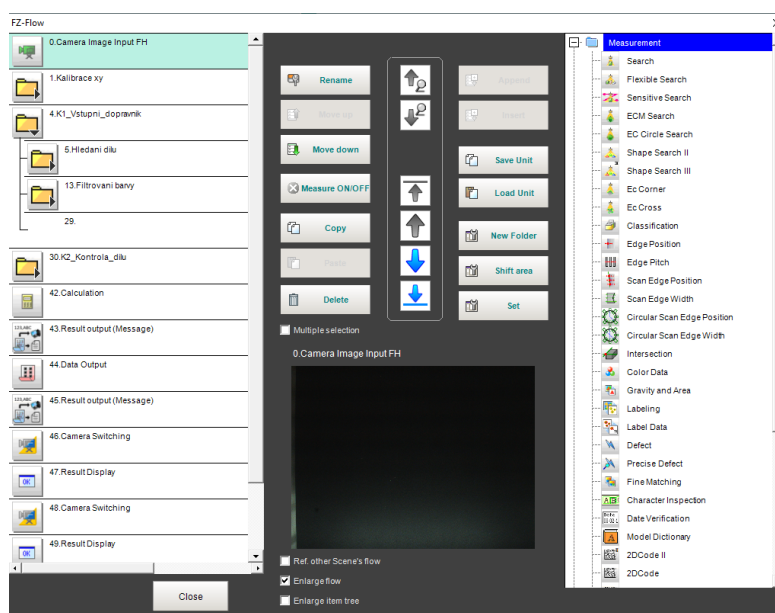


Obrázek 80: Úloha 3 – data tree 1



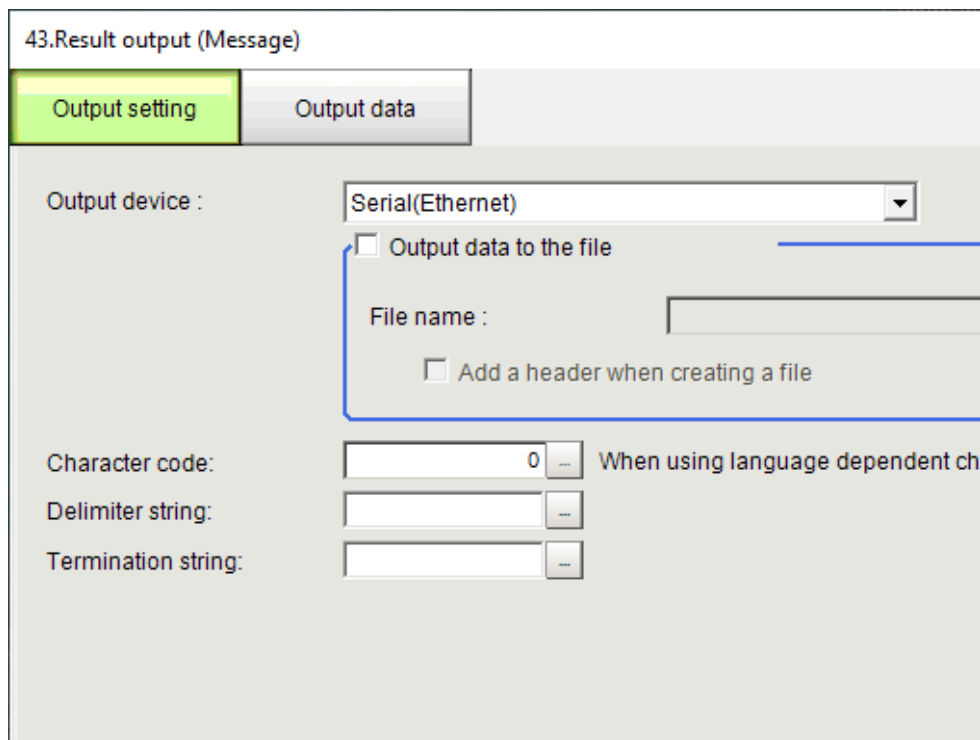
Obrázek 81: Úloha 3 – data tree 2

Kamera – FH SC05R byla nakonfigurována prostřednictvím grafického rozhraní aplikace FZ/FH/FJ-XXX Ver.6.11. Nejprve byla vytvořena „scéna“ programu. Poté správně nastaveny všechny prvky ve „flow“ této scény. Prvky byly nastaveny tak, aby výstup z kamery posílal do robotu údaje o souřadnicích, barvě a o stavu objektu (ok/nok).



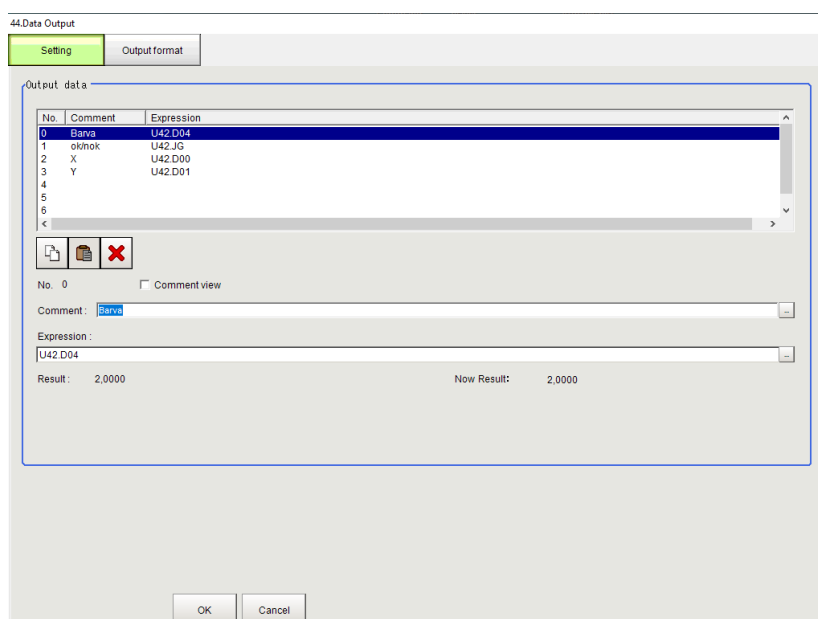
Obrázek 82: Úloha 3 – nastavení kamery

Kamera posílá data ve formě stringu pomocí tří bloků. Blok 43 slouží jako počáteční prvek a blok 45 jako koncový prvek posílaného stringu. Tento prvek byl zvolen jako písmeno „X“. Nastavení provedené v kameře se poté provedlo i v robotu, tak aby tyto prvky byly stejné.



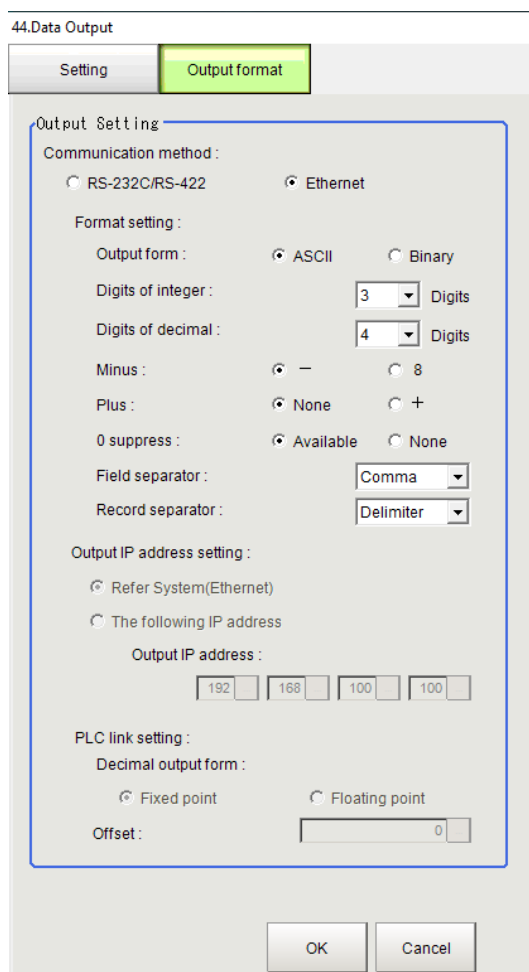
Obrázek 83: Úloha 3 – zahájení komunikace – nastavení

Jak bylo zmíněno v předchozím kroku, kamera posílá celkem čtyři údaje – barva, stav měření, x souřadnice a y souřadnice.



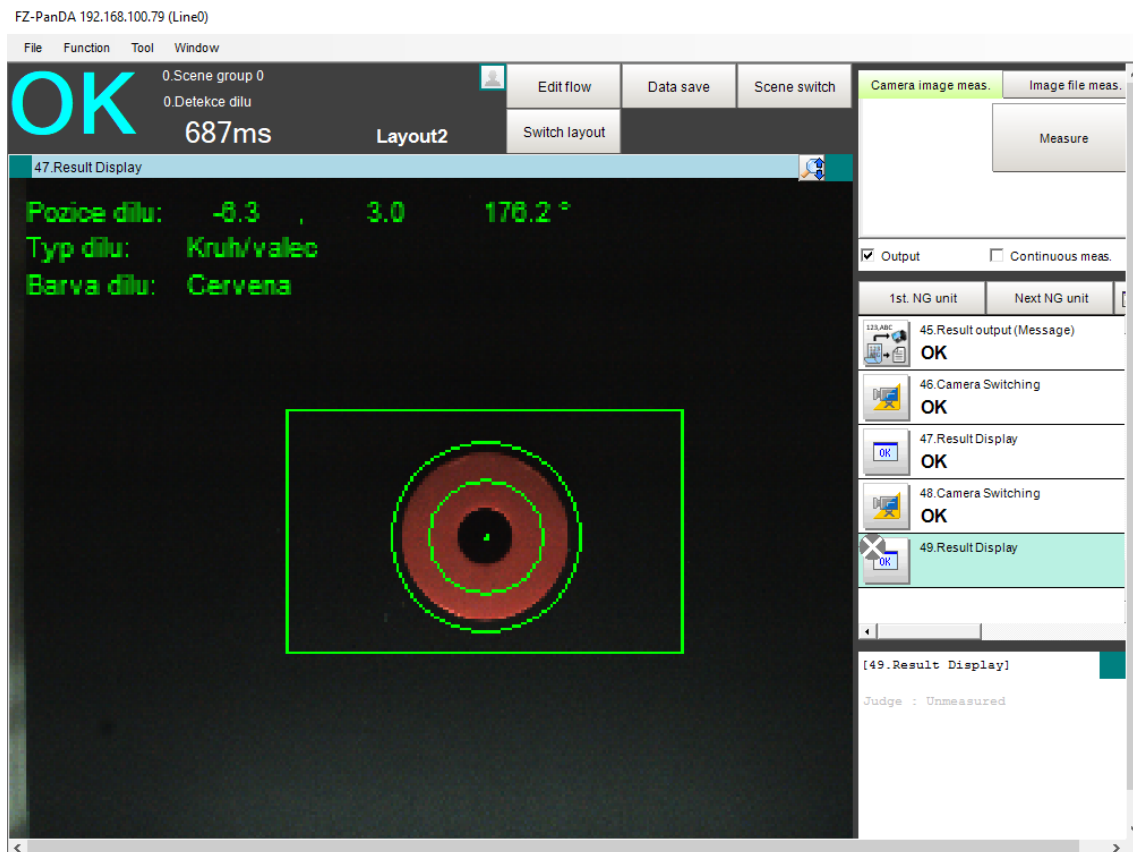
Obrázek 84: Úloha 3 – Data output

Tyto data jsou posílány ve stringu jako čísla. Formát těchto čísel je XXX.YYYY – 3 místa před desetinou tečkou a 4 desetinná místa. Jednotlivá data jsou oddělena čárkou.



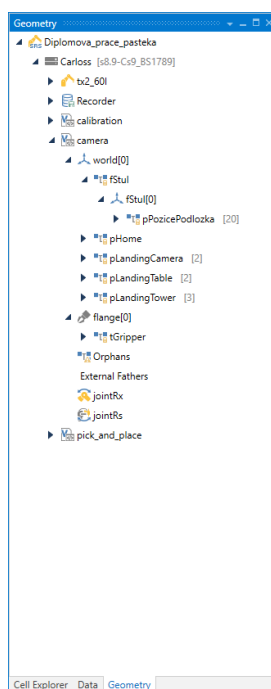
Obrázek 85: Úloha 3 – Data output – nastavení

Na obrázku níže je vidět výstup z kamery, pokud robot založí červený váleček. Vidíme zde souřadnice založeného dílu, typ dílu, barvu dílu a vlevo nahoře stav měření.



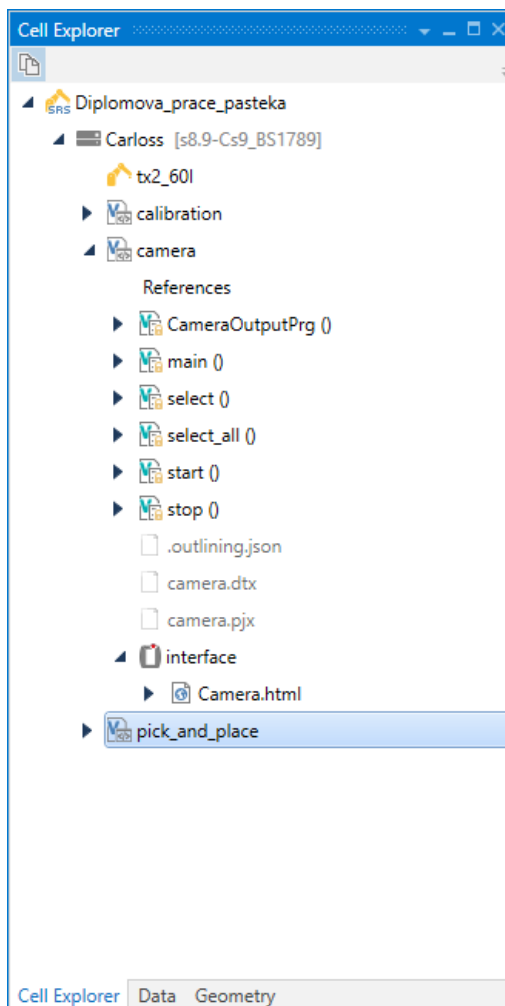
Obrázek 86: Úloha 3 – výstup z kamery

Po úspěšném nastavení kamery byl vytvořen nový souřadnicový systém v aplikaci dle úlohy 2. Na obrázku níže vidíme jeho strukturu.



Obrázek 87: Úloha 3 – geometry tree

V dalším kroku byly vytvořeny a napsány programy potřebné pro úspěšné splnění zadání. Tyto programy využívají data z kamery k řízení pohybu robotu. Byly využity příkazy `movej`, `call`, `for` cyklus a `if`.



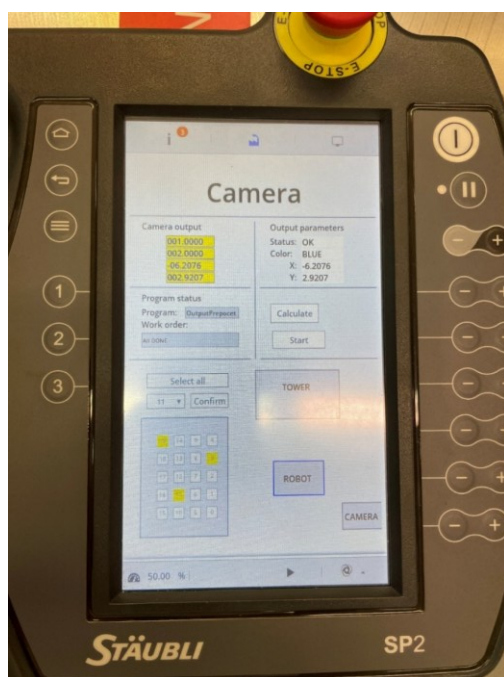
Obrázek 88: Úloha 3 – program tree

Pro účely simulace byl program upraven tak, aby robot pracoval s předem definovanými barvami válečků. Cílem této úpravy bylo ověřit, zda je schopen dosáhnout do všech určených odhazovacích pozic a zda je schopen pohybu bez kolizí. Simulace potvrdila správnou funkčnost trajektorií, a proto mohl být program následně nahrán do robotu a otestován na fyzickém pracovišti.



Obrázek 89: Úloha 3 – ovladač simulace

Výstupem této úlohy je třídění válečků dle barvy. Uživatel nejprve označí všechny pozice, na kterých se nachází váleček a poté spustí program tlačítkem Start. Robot kontroluje pozice od 0 po 19, pokud se na nějaké z nich nachází váleček, robot jej zvedne a založí pod kameru pro zjištění barvy. Poté co kamera pošle data o barvě, robot opět zvedne váleček a přesune ho na určené místo. Celá sekvence se opakuje, dokud není podložka prázdná. Poté se robot vrátí do výchozí pozice a program se ukončí.



Obrázek 90: Úloha 3 – fyzický ovladač SP2

8 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Diskuse výsledků se zaměřuje na vyhodnocení funkčnosti navrženého výukového pracoviště a efektivity jednotlivých úloh z pohledu výukového přínosu.

8.1 Ověření splnitelnosti úloh

První úloha je zaměřena na základní manipulaci s robotem a ovládání jeho pohybů. Studenti se zde seznámí s různými typy pohybů využívaných při manipulaci s robotem a naučí se je správně aplikovat podle konkrétní situace. Dále si osvojí práci v programu SRS, a to včetně základního ovládání, navigace v uživatelském rozhraní a zápisu jednoduchého programu. Tato úloha plní roli úvodního cvičení, které umožňuje studentům získat jistotu při práci s robotem a prostředím.

Druhá úloha se zaměřuje na vytvoření uživatelského souřadnicového systému a realizaci jednoduché aplikace typu „pick and place“. Studenti se naučí nejen vytvořit a použít tento souřadný systém, ale také správně pracovat s orientací nástroje a přizpůsobit pohyby konkrétním pozicím v prostoru. Úloha navádí ke správnému logickému myšlení, prostorové představivosti a přesnou práci s pozicemi v trojrozměrném prostoru.

Třetí úloha představuje nejvyšší úroveň obtížnosti. Tato úloha simuluje reálné využití robotiky v automatizovaných výrobních procesech, kde jsou roboty integrovány s dalšími systémy. Kombinuje strojové vidění, uživatelsky definovaný souřadnicový systém a programování robotu. Studenti se zde naučí, jakým způsobem připojit kameru k robotu a pomocí jejího ovládacího programu ji správně nastavit. Dále přenos dat z kamery a využití těchto dat pro třídění válečků podle jejich barvy.

Testování všech tří úloh na reálném robotu potvrdilo jejich technickou proveditelnost i didaktickou vhodnost. Úlohy byly navrženy tak, aby refletovaly postupný rozvoj dovedností a zároveň studenty motivovaly k hlubšímu pochopení principů robotického programování. Celkově tyto úlohy považují za efektivní nástroj pro praktickou výuku, který dobře propojuje teorii s reálným nasazením robotických systémů v průmyslové praxi.

8.2 Možnosti rozšíření pracoviště

Slabší stránkou navrženého řešení je omezené zapojení dalších periférií, které by rozšířily výukové scénáře. Do budoucna se nabízí možnost rozšíření pracoviště o centralizované řízení pomocí PLC, čímž by bylo možné simulovat komplexnější výrobní úlohy. Jednou z možností je zapojení dopravníkových pásů a odsun válečků pomocí nich místo jejich odhazování do předem daných pozic. Dále pak využití další kamery pro vylepšené třídění, např. váleček s dírou.

8.3 Zhodnocení funkčnosti pracoviště

Funkčnost výukového pracoviště byla ověřena jak v simulačním prostředí SRS, tak i na reálném robotu Stäubli TX2-60L v laboratorních podmínkách. Testování potvrdilo, že jednotlivé komponenty pracoviště spolupracují bezchybně a umožňují realizaci všech navržených úloh bez technických překážek.

Pracoviště splňuje základní požadavky na praktickou výuku průmyslové robotiky. Navržené úlohy byly provedeny v plném rozsahu a výsledky odpovídaly zadání. Přestože navržené řešení neobsahuje centralizované řízení periférií, jako jsou např. dopravníky, z hlediska výuky základních principů robotiky a interakce se strojovým viděním lze funkčnost považovat za plně vyhovující. Pracoviště je připraveno k nasazení ve výuce a může sloužit jako efektivní pomůcka při výuce robotiky na FAI UTB.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout výukové pracoviště s využitím 6osého průmyslového robotu Stäubli TX2-60L, které by bylo vhodné pro praktickou výuku na FAI UTB v oblasti průmyslové robotiky. Na základě rešerše současných technologií a porovnání komerčně dostupných řešení byl vytvořen vlastní koncept výukového pracoviště, k němuž byla navržena sada tří výukových úloh.

Úlohy byly navrženy s cílem pokrýt základní oblasti programování a ovládání průmyslového robotu a zároveň umožnit studentům získat praktické zkušenosti s reálným robotickým systémem. První navržená úloha se zaměřila na kalibraci reálného robotu a simulačního prostřední v programu Stäubli Robotics Suite. Druhá úloha s názvem „pick and place“ navazuje na kalibraci a dále ji rozvíjí, skrze vytvoření nového souřadného systému a přenášení válečku v tomto souřadnicovém systému. Třetí úloha staví na obou předchozích úlohách. Využívá vytvořený souřadnicový systém a přidává třídění válečků na základě barvy za využití kamery. Funkčnost všech navržených úloh byla ověřena jak v simulačním prostředí Stäubli Robotics Suite, tak i na reálném robotu v laboratorních podmínkách.

Hlavním přínosem práce je vytvoření výukového řešení, které studentům umožňuje pracovat s průmyslovým robotem používaným v praxi, čímž dochází ke zkvalitnění výuky a jejímu přiblížení skutečným požadavkům průmyslu. Navržený koncept navíc rozšiřuje možnosti výuky o nové typy úloh a praktických scénářů, které jsou relevantní i z hlediska budoucího uplatnění studentů.

Navržené pracoviště je možné dále rozšířit, například integrací programovatelného logického automatu, který by umožnil komplexní řízení jednotlivých komponent, jako jsou další kamery, osvětlovací prvky nebo dopravníky. Tím by bylo možné simulovat ještě realističtější provozní podmínky a dále zvýšit úroveň výukového prostředí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUDEK, Gregory a JENKIN, Michael. *Computational principles of mobile robotics*. New York: Cambridge University Press, 2000. ISBN 0521568765 978-0-521-56876-0.
- [2] *ROBOTICS OVERVIEW*. Online. Builtin, 2022. Dostupné z: <https://builtin.com/robotics>. [cit. 2025-04-20].
- [3] *Robotics*. Online. Javatpoint. Dostupné z: <https://www.javatpoint.com/what-is-robotics>. [cit. 2025-04-20].
- [4] VOLNÁ, Eva a KOTYRBA, Martin. *Umělá inteligence*. Online, Studijní opora. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. Dostupné z: https://projekty.osu.cz/svp/opory/PrF_Volna,Kotyrba_Umela-intelig.pdf. [cit. 2023-05-16].
- [5] *Průručka ČJ 2*. Online. 2025. Dostupné z: https://prirucka.ujc.cas.cz/?id=robot_1. [cit. 2025-04-28].
- [6] *Průručka ČJ*. Online. 2025. Dostupné z: <https://prirucka.ujc.cas.cz/?id=robot>. [cit. 2025-04-28].
- [7] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [8] *Časopis Vesmír*. Online. 1999. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1999/cislo-3/asimovovy-zakony-robotiky.html>. [cit. 2025-04-28].
- [9] *NASA robot Opportunity*. Online. 2025. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Opportunity#/media/Soubor:NASA_Mars_Rover.jpg. [cit. 2025-04-30].
- [10] *Industrie 4.0 Maturity Index*. Pdf. 2020. Dostupné z: <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/>. [cit. 2025-04-29].
- [11] *Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues*. Online. 2017. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452414X17300043>. [cit. 2025-04-29].
- [12] *Smart Factory*. Online. 2025. Dostupné z: <https://industry4o.com/wp-content/uploads/smartfactory2.jpg> <https://industry4o.com/2023/05/05/industry-4-0-the-benefits-of-smart-manufacturing/>. [cit. 2025-04-30].
- [13] *Digital Twin in Industry: State of Art*. Online. 2019. Dostupné z: <https://sci-hub.se/downloads/2020-09-01/9d/tao2019.pdf>. [cit. 2025-04-29].
- [14] *Understanding additive manufacturing : rapid prototyping, rapid tooling, rapid manufacturing*. Online. Hanser Publishers, 2012. ISBN 9783446431621. Dostupné z: <https://vufind.katalog.k.utb.cz/Record/kn-ocn843889566>. [cit. 2025-04-29].
- [15] *MES systémy*. Online. 2019. Dostupné z: <https://download.e-bookshelf.de/download/0002/6795/05/L-G-0002679505-0013252218.pdf>. [cit. 2025-04-29].
- [16] BOYER, Stuart A. *Scada: supervisory control and data acquisition*. 4th ed. Research Triangle Park: International Society of Automation, 2010. ISBN 978-1-936007-09-7.

- [17] MONK, Ellen a WAGNER, Bret. *Concepts in Enterprise Resource Planning*. 4th ed. Cengage learning, 2012. ISBN 978-1111820398.
- [18] *Industrial Revolution*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.britannica.com/event/Industrial-Revolution/The-first-Industrial-Revolution>. [cit. 2025-04-28].
- [19] *Welcome to the third industrial revolution*. Online. 2015. Dostupné z: <https://magazine.wharton.upenn.edu/issues/summer-2015/welcome-to-the-third-industrial-revolution/>. [cit. 2025-04-28].
- [20] *Průmysl 4.0*. Online. 2025. Dostupné z: <https://blog.topsolid.com/cs/prumysl-4-0-jak-budou-vypadat-tovarny-budoucnosti-a-inteligentni-obrabeni/>. [cit. 2025-04-28].
- [21] *Historie robotů*. Online. 2014. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/historie-robotu-saha-az-do-recke-mytologie/>. [cit. 2025-04-28].
- [22] *The development history of robots*. Online. 2022. Dostupné z: <https://cz.blbrobot.com/news/the-development-history-of-industrial-robots-61431856.html>. [cit. 2025-04-28].
- [23] *Historie průmyslových robotů*. Online. 2018. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/historie-prumyslovych-robotu>. [cit. 2025-04-28].
- [24] *Kuka FAMULUS*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-de/company/about-kuka/history>. [cit. 2025-04-30].
- [25] *Terminologický slovník*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.nlfnorm.cz/terminologicky-slovník/53338#id-53338>. [cit. 2025-04-30].
- [26] KMEC, Ján; VALÍČEK, Jan; DANEL, Roman a ŘEPKA, Michal. *PRŮMYSL 4.0 - AUTOMATIZACE A ROBOTIZACE PRO PRŮMYSLOVOU SFÉRU*. Online, Studijní opora kurzu ČŽV. České Budějovice: Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, 2020. Dostupné z: https://is.vstecb.cz/do/vste/ustav_technicko-technologicky/pr/kurzy_pro_spolecnost_4_0/robotika/Opora_Robotika.pdf. [cit. 2025-05-16].
- [27] RUMÍŠEK, Pavel. *Automatizace (roboty a manipulátory)*. Online, Vědecká. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_roboty_rumisek.pdf. [cit. 2025-04-28].
- [28] *Cartesian robots for automation*. Online. 2023. Dostupné z: <https://toolbox.igus.com/4397/cartesian-robots-for-automation>. [cit. 2025-04-29].
- [29] *Cartesian robot*. Online. 2013. Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21831692/the-difference-between-cartesian-six-axis-and-scara-robots>. [cit. 2025-04-30].
- [30] *Cylindrical robot*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.automate.org/products/cylindrical>. [cit. 2025-04-29].
- [31] *Type of robotic arms*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/in/blog/types-of-robotic-arms/>. [cit. 2025-04-29].
- [32] *What Is a SCARA Robot?* Online. 2023. Dostupné z: <https://robodk.com/blog/what-is-a-scara-robot/>. [cit. 2025-04-29].
- [33] *Fanuc M2000*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/~media/corporate/products/robots/m2000/m2000ia1700/fea-ro-pr-m20001700-l-1.jpg?w=400>. [cit. 2025-04-30].

- [34] *Fanuc DELTA*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/~media/corporate/products/robots/delta/dr-3ib/dr-3ib8lplating.jpg>. [cit. 2025-04-30].
- [35] GROOVER, Mikell P. *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. 5th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2013. ISBN 978-1-118-23146-3.
- [36] KALPAKJIAN, Serop a SCHMID, Steven. *Manufacturing Engineering and Technology in SI Units*. 8th ed. Pearson, 2022. ISBN 978-1292422244.
- [37] *Robot Staubli TX2-60L*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.staubli.com/global/en/robotics/products/industrial-robots/tx2-60.html>. [cit. 2025-04-29].
- [38] *TX2 robot range product*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.staubli.com/content/dam/robotics/products/robots/tx2/TX2-robot-range-product-leaflet-EN.pdf>. [cit. 2025-04-30].
- [39] *KUKA KR6-R900-2*. Online. 2025. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/8350ff3ca11642998dbdc81dcc2ed44c/0000290001_cs.pdf?rev=ae2be1f695f44364a58af2a8e7ba4e24&hash=6465609EC73A591AB063330457E60E53. [cit. 2025-05-08].
- [40] *KUKA KR6-R900-2 info*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.digikey.cz/cs/product-highlight/k/kuka-robotics/agilus-kr6-r900-2-robot-kit>. [cit. 2025-05-08].
- [41] *ABB IBR 1600*. Online. 2025. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK108470A0580&LanguageCode=cs&DocumentPartId=&Action=Launch>. [cit. 2025-05-10].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Planetární sonda Oppurtunity od společnosti NASA [9]	16
Obrázek 2: Chytrá továrna [12]	18
Obrázek 3: Robot FAMULUS společnosti KUKA [24]	23
Obrázek 4: Rotační kinematická dvojice [26]	25
Obrázek 5: Translační kinematická dvojice [26]	25
Obrázek 6: Struktura TTT [26]	26
Obrázek 7: Struktura RTT [26]	26
Obrázek 8: Struktura RRT [26]	27
Obrázek 9: Struktura RRR [26]	27
Obrázek 10: Struktura SCARA [26]	28
Obrázek 11: Kartézský typ robotu [29]	29
Obrázek 12: Cylindrický robot [30]	29
Obrázek 13: SCARA robot [32]	30
Obrázek 14: Kloubový průmyslový robot [33]	30
Obrázek 15: Delta robot [34]	31
Obrázek 16: Robotizovaný modul [7]	36
Obrázek 17: Robotizovaná buňka [7]	37
Obrázek 18: Skupina robotizovaných buněk [7]	37
Obrázek 19: Pružný robotizovaný systém [7]	38
Obrázek 20: Robotizovaná linka [7]	38
Obrázek 21: Robot Stäubli TX2-60L [37]	48
Obrázek 22: Robot KUKA KR6 R900-2 [39]	51
Obrázek 23: Robot ABB IBR 1600-6/1.2 [41]	53
Obrázek 24: CAD model výukového pracoviště	55
Obrázek 25: Reálné výukové pracoviště	56
Obrázek 26: CAD model odkládacího stolu	56
Obrázek 27: Rozměry podložky pro odkládání dílů	57
Obrázek 28: Odkládací stůl – kalibrační hroty	57
Obrázek 29: CAD model dopravníkového pásu A	58
Obrázek 30: CAD model dopravníkového pásu B	59
Obrázek 31: CAD model odkládací skříně	60
Obrázek 32: CAD model nástroje robotu	61
Obrázek 33: Prostředí SRS	62
Obrázek 34: Detail na záložky v prostředí SRS	63

Obrázek 35: Detail Cell explorer v prostředí SRS.....	63
Obrázek 36: Detail chybových hlášek v prostředí SRS	64
Obrázek 37: Detail vlastností v prostředí SRS	64
Obrázek 38: Teach pendant SP2	65
Obrázek 39: Přepínač režimů robotu	66
Obrázek 40: Manuální režim robotu – joint typ pohybu	67
Obrázek 41: Manuální režim robotu – frame typ pohybu	67
Obrázek 42: Manuální režim robotu – tool typ pohybu.....	68
Obrázek 43: TCP nástroje.....	69
Obrázek 44: Okno pro vytvoření proměnných	71
Obrázek 45: Ukázka pohybu při využití příkazu movej	72
Obrázek 46: Ukázka pohybu při využití příkazu movel	72
Obrázek 47: Ukázka pohybu při použití wait endmove().....	73
Obrázek 48: Znárodnění IF cyklu	74
Obrázek 49: Úloha 1 – Založení projektu.....	77
Obrázek 50: Úloha 1- Přidání ovladače	78
Obrázek 51: Úloha 1 – Přidání nové aplikace	78
Obrázek 52: Úloha 1 – Vložení nové proměnné.....	79
Obrázek 53: Úloha 1 – Data tree	79
Obrázek 54: Úloha 1 – Přidání nástroje.....	80
Obrázek 55: Úloha 1 – Úprava bodů nástroje.....	80
Obrázek 56: Úloha 1 – Konfigurace nástroje	81
Obrázek 57: Úloha 1 – Uživatelské rozhraní.....	82
Obrázek 58: Úloha 1 – Programy	83
Obrázek 59: Úloha 1 – Nahrání aplikace do robotu	83
Obrázek 60: Úloha 1 – Spuštění aplikace	84
Obrázek 61: Úloha 1 – Uživatelské prostředí – fyzický ovladač SP2	85
Obrázek 62: Úloha 1 – Kalibrační hroty.....	85
Obrázek 63: Úloha 1 – Nahrání aplikace zpět do PC	86
Obrázek 64: Úloha 1 – Simulační prostředí.....	86
Obrázek 65: Úloha 1 – Start aplikace	87
Obrázek 66: Úloha 1 – Ovladač v simulačním prostředí.....	87
Obrázek 67: Úloha 2 – přidání aplikace	89
Obrázek 68: Úloha 2 – přidání nové proměnné.....	89
Obrázek 69: Úloha 2 – kalibrační hroty.....	90

Obrázek 70: Úloha 2 – přidání frame.....	90
Obrázek 71: Úloha 2 – geometry tree	91
Obrázek 72: Úloha 2 – uživatelské rozhraní	92
Obrázek 73: Úloha 2 – program tree.....	93
Obrázek 74: Úloha 2 – spuštění simulace	94
Obrázek 75: Úloha 2 – ovladač v simulaci	94
Obrázek 76: Úloha 2 – fyzický ovladač SP2	95
Obrázek 77: Úloha 3 – vložení aplikace	97
Obrázek 78: Úloha 3 – přidání nové proměnné	97
Obrázek 79: Úloha 3 – přidání kamery přes SIO.....	98
Obrázek 80: Úloha 3 – data tree 1.....	98
Obrázek 81: Úloha 3 – data tree 2.....	99
Obrázek 82: Úloha 3 – nastavení kamery	99
Obrázek 83: Úloha 3 – zahájení komunikace – nastavení	100
Obrázek 84: Úloha 3 – Data output	100
Obrázek 85: Úloha 3 – Data output – nastavení	101
Obrázek 86: Úloha 3 – výstup z kamery.....	102
Obrázek 87: Úloha 3 – geometry tree	102
Obrázek 88: Úloha 3 – program tree.....	103
Obrázek 89: Úloha 3 – ovladač simulace.....	104
Obrázek 90: Úloha 3 – fyzický ovladač SP2	104

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Skloňování slova robot [5][6]	15
Tabulka 2 – Rozdělení mobilních robotů [1]	17
Tabulka 3: Rozdělení robotů dle generace [26][27]	28
Tabulka 4: Klasifikace podle počtu stupňů volnosti	31
Tabulka 5: Klasifikace podle typu řízení	32
Tabulka 6: Obrábění [7]	41
Tabulka 7 Základní technické údaje – Stäubli TX2-60 L [37]	47
Tabulka 8 Aplikace STÄUBLI TX2-60 L v průmyslu [37]	48
Tabulka 9: Základní technické údaje – KR Agilus KR6 R900-2 [39]	50
Tabulka 10: Základní technické údaje – ABB IRB 1600-6/1.2 [41]	52
Tabulka 11: Typy proměnných	70

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SRS Stäubli Robotics Suite

mm milimetr

cm centimetr

MES Manufacturing Execution Systems

SCADA Supervisory Control and Data Acquisition

ERP Enterprise Resource Planning

IoT internet of things

KD kinematická dvojice

FDM Fused depositon modeling

SLS selective laser sintering

PRam průmyslové roboty a manipulátory

RTP robotizované technologické pracoviště

RVS robotizovaná výrobní soustava

Kg kilogram

m/s metr za sekundu

PLC programovatelný logický automat

°/s stupeň za sekundu

CAD computer aided design

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: PROTOKOL – ÚLOHA 1

Příloha P II: PROTOKOL – ÚLOHA 2

Příloha P III: PROTOKOL – ÚLOHA 3

PŘÍLOHA P I: PROTOKOL – ÚLOHA 1

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ		
FAKULTA APLIKOVANÉ INFORMATIKY		
LABORATORNÍ CVIČENÍ -		
STUDENT:		
ROČNÍK/SKUPINA:	DATUM:	ÚLOHA Č.: 1
NÁZEV ÚLOHY: Úloha 1 – Kalibrace		

Zadání:

Vytvořte projekt pro úlohy, které budete zpracovávat v tomto semestru. Vytvořte aplikaci s vlastním uživatelským rozhraním pro kalibraci robotu, dále připravte simulační prostředí v programu SRS tak, aby odpovídalo reálnému fyzickému uspořádání.

Cíl úlohy:

V této úloze je studentům představen proces kalibrace průmyslového robotu Stäubli TX2-60L a jeho zorientování v rámci pracovního prostoru. Robot je nejprve ručně uveden do výchozí pozice, přičemž je kladen důraz na přesnost a bezpečnost pohybů. Studenti jsou postupně seznámeni s tím, jakým způsobem může být robot ovládán v manuálním i automatickém režimu.

Dále je věnována pozornost simulačnímu prostředí Stäubli Robotics Suite, které slouží k vizualizaci a testování vytvořených programů. V rámci úlohy je ukázáno, jakým způsobem importovat CAD modely reálných součástí pracoviště do prostředí. Tyto modely musí být správně umístěny a orientovány tak, aby odpovídaly skutečnému fyzickému uspořádání.

Prostřednictvím této úlohy je studentům umožněno osvojení základních pracovních návyků při programování a simulaci robotických trajektorií, s důrazem na správnou kalibraci, orientaci prvků a bezpečné ovládání robotu.

Postup řešení:

1. Založte nový projekt
2. Přidejte robot TX2-60L a ovladač s odpovídající verzí fyzickému ovladači.
3. Vytvořte aplikaci pro kalibraci robotu, včetně uživatelského rozhraní pro ovladač SP2 a programů pro kalibraci.
4. Přidejte vhodné pole bodů pro kalibraci.
5. Nahrajte aplikaci do robotu.
6. Kalibrujte robot.
7. Synchronizujte pole bodů z robotu s polem bodů v programu SRS.
8. Vložte odpovídající CAD modely do simulačního prostředí.
9. Ověřte funkčnost simulačního prostředí.
10. Vyplňte protokol úlohy, popište tvorbu kódu a průběh kalibrace.

Vypracování:

Závěr:

PŘÍLOHA P II: PROTOKOL – ÚLOHA 2

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ		
FAKULTA APLIKOVANÉ INFORMATIKY		
LABORATORNÍ CVIČENÍ -		
STUDENT:		
ROČNÍK/SKUPINA:	DATUM:	ÚLOHA Č.: 2
NÁZEV ÚLOHY: Úloha 2 – Pick and place		

Zadání:

Přidejte do projektu další aplikaci. Navrhněte vhodné řešení pro přemísťování válečku z jedné pozice podložky do jiné. Pozice pro přemístění musí být volitelná. Aplikaci doplňte vhodným uživatelským prostředím.

Cíl:

Cílem této úlohy je přemístění objektu – konkrétně válečku – z výchozí pozice do jiné, předem definované. Při realizaci úlohy je kladen důraz na přesné programování trajektorie a bezpečný pohyb koncového efektoru.

Součástí úlohy je vytvoření uživatelského rozhraní, prostřednictvím kterého má být robot ovládán. Toto rozhraní je navrženo tak aby uživateli umožňovalo volit požadované operace – například zahájení pohybu, uložení nebo výběr koncové pozice – bez nutnosti zásahu do samotného kódu programu. Tím je zajištěna vysoká flexibilita a komfort při práci s robotem.

Během práce na úloze se studenti seznámí se základními principy interakce člověk-stroj, strukturou jednoduchého rozhraní a jeho napojením na řídicí logiku robotu. Zároveň si osvojí způsoby definování pozic v prostoru, práci s proměnnými a volání jednotlivých funkcí v rámci aplikace.

Výsledkem úlohy je funkční robotická aplikace, v níž je váleček automatizovaně přemísťován mezi dvěma místy na podložce a je ovládán prostřednictvím uživatelsky přívětivého rozhraní.

Postup řešení:

1. Vytvořte novou aplikaci pro úlohu 2, včetně uživatelského rozhraní.
2. Přidejte frame pro podložku na stole.
3. Vytvořte vhodné pole bodů ve vytvořeném framu.
4. Vytvořte příslušné programy pro pohyb robotu pro splnění zadání.
5. Ověřte funkčnost v simulačním prostředí, poté na reálném robotu.
6. Vyplňte protokol úlohy, popište tvorbu kódu a průběh plnění zadání.

Vypracování:

Závěr:

PŘÍLOHA P III: PROTOKOL – ÚLOHA 3

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ		
FAKULTA APLIKOVANÉ INFORMATIKY		
LABORATORNÍ CVIČENÍ -		
STUDENT:		
ROČNÍK/SKUPINA:	DATUM:	ÚLOHA Č.: 3
NÁZEV ÚLOHY: Úloha 3 – Třídění válečků		

Zadání:

Přidejte do projektu další aplikaci pro třídění válečků dle barvy. Navrhněte vhodné řešení této aplikace.

Cíl:

Cílem této úlohy je integrace kamerového systému do robotického pracoviště a jeho využití pro automatizované rozpoznání barvy válečku. Robot je v této úloze naprogramován tak, aby byl schopen manipulovat s válečky na základě informací získaných z kamery.

V první fázi úlohy je váleček uchopen z předem definované pozice. Následně je pomocí kamery provedena kontrola jeho barvy. Kamerový systém je připojen přímo do robotického prostředí bez využití PLC, aby byl schopen předat získané informace přímo robotu. Konfigurace kamery probíhá v samostatném softwaru k tomu určenému výrobcem kamery.

Na základě detekované barvy je váleček přemístěn a odhozen do předem definovaného odhazovacího místa. Po dokončení manipulace s prvním válečkem pokračuje program vybráním dalšího válečku. Počet válečků je volen uživatelem.

Touto úlohou jsou studentům představeny principy počítačového vidění v praxi, základní techniky zpracování obrazové informace a jejího využití v reálném čase při rozhodování o pohybu robotu. Zároveň si studenti osvojí způsoby komunikace mezi robotem a externími zařízeními, a to včetně přenosu dat a vyhodnocování parametrů objektu.

Postup řešení:

1. Vytvořte novou aplikaci a uživatelské rozhraní
2. Přidejte do aplikace kameru.
3. Nakonfigurujte kameru v příslušném programu.
4. Vytvořte frame nad podložkou – lze převzít z úlohy 2, včetně bodů
5. Vytvořte příslušné programy pro splnění zadání.
6. Ověřte funkčnost pohybů v simulačním prostředí.
7. Nahrajete aplikaci do robotu a ověřte funkčnost
8. Vyplňte protokol úlohy, popište tvorbu kódu a způsob přidání kamery

Vypracování:

Závěr: