

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

Bc. Jakub Kuchař



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. Jakub Kuchař
Osobní číslo: A23349
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
Téma práce anglicky: Design of a training workplace with a 6-axis industrial robot Stäubli TX2-60

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární rešerši na téma roboty v průmyslové výrobě a ve výuce.
- Vyhledejte možná komerčně dostupná řešení a popište je.
- Navrhněte koncept výukového pracoviště s 6osým průmyslovým robotem Stäubli TX2-60.
- Vytvořte soubor úloh dle navrženého konceptu výukového pracoviště.
- Ověřte funkčnost navrženého řešení.
- 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://chat.openai.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

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a ověřením výukového pracoviště s průmyslovými roboty v Průmyslu 4.0. Cílem práce je navrhnout a realizovat koncept výukového pracoviště se dvěma šestiosými roboty Stäubli TX2-60 v robotické laboratoři Fakulty Aplikované Informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

V teoretické části byla provedena literární rešerše historického vývoje automatizačních systému, členění robotů podle konstrukčního uspořádání, přehled softwarových platform a simulačních nástrojů. Dále se část zaměřila na integraci robotických a stavebnicových systémů do technického vzdělávání.

Klíčová slova: průmyslová robotika, výukové pracoviště, Stäubli TX2-60, mechatronika, digitální dvojče

ABSTRACT

This master thesis deals with the design and verification of a teaching workplace with industrial robots in Industry 4.0. The aim of the thesis is to design and implement a concept of a teaching workplace with two six-axis Stäubli TX2-60 robots in the robotics laboratory of the Faculty of Applied Informatics at Tomas Bata University in Zlín.

In the theoretical part, a literature search of the historical development of automation systems, a classification of robots according to their design, an overview of software platforms and simulation tools were carried out. Furthermore, the part focused on the integration of robotic and modular systems into technical education.

Keywords: industrial robotics, teaching workplace, Stäubli TX2-60, mechatronics, digital twin

Rád bych touto cestou vyjádřil své upřímné poděkování vedoucímu mé diplomové práce, panu doc. Ing. Aleši Mizerovi, Ph.D., za jeho odborné vedení, cenné připomínky a podporu v průběhu zpracování diplomové práce. Jeho trpělivost a ochota si vždy najít čas pro konzultace mi výrazně pomohly při zdokonalení zpracování práce.

Dále chci poděkovat své rodině za nesmírnou morální podporu, porozumění a povzbuzení během náročných okamžiků přípravy této práce. Bez jejich trpělivosti by bylo dosažení tohoto cíle mnohem obtížnější.

OBSAH

ÚVOD.....	13
I TEORETICKÁ ČÁST	15
1 HISTORIE PRŮMYSLU.....	16
1.1 PRŮMYSL 1.0.....	17
1.2 PRŮMYSL 2.0.....	17
1.2.1 Průmysl 3.0	19
1.2.2 Průmysl 4.0	20
2 TYPY PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	22
2.1 KARTÉZSKÝ ROBOT	22
2.2 KLOUBOVÉ ROBOTY	23
2.3 ROBOTY DELTA/ PARALELNÍ ROBOT	23
2.4 ROBOTY SCARA	24
2.5 CYLINDRICKÝ ROBOT	25
2.6 MOBILNÍ ROBOTY	25
3 ROBOTY VE VÝUCE	27
3.1 LEGO MINDSTORMS	28
3.2 VEX ROBOTICS.....	29
3.3 OZOBOT	30
3.4 ROBOTIKA V PRAXI VUT – BRNO	31
3.5 ROBOTIKA V PRAXI ŠUMPERK – COBOT	32
3.6 ROBOTIKA V PRAXI TEPLICE – STŘEDNÍ ŠKOLA AGC	33
3.7 PROČ JE NUTNÁ IMPLEMENTACE ROBOTICKÉHO PRACOVÍŠTĚ DO ŠKOL/UNIVERZIT.....	34
4 PROGRAMOVÁNÍ ROBOTŮ	35
4.1 PROGRAMOVACÍ JAZYKY	36
4.1.1 Python	36
4.1.2 C++ a C#	37
4.1.3 MATLAB	38
4.2 PROGRAMY PRO SIMULACI A NÁVRH PROGRAMŮ DO ROBOTŮ	39
4.2.1 Siemens Tecnomatix Robotics	40
4.2.2 ABB Robot Studio	41
4.2.3 FANUC ROBOGUIDE.....	42
4.2.4 KUKA AppTech	43
5 ROBOT STAUBLI TX2-60	44
5.1 KINEMATIKA ROBOTU	44
5.2 MOŽNOSTI INTEGRACE DO VÝUKY	44

II	PRAKTICKÁ ČÁST	46
6	MOŽNÁ KOMERČNÍ DOSTUPNÁ ŘEŠENÍ	47
6.1	STÄUBLI TX2-60	47
6.1.1	Využití ve výuce	47
6.1.2	Bezpečnostní funkce	47
6.1.3	Hodnocení	47
6.2	ABB, IRB 1200, IRB 1300, KOLABORATIVNÍ ŘADA YUMI	48
6.2.1	Využití ve výuce	48
6.2.2	Bezpečnostní funkce	48
6.2.3	Hodnocení	48
6.3	KUKA (KUKA KR AGILUS, KOLABORATIVNÍ LBR IIWA)	49
6.3.1	Využití ve výuce	49
6.3.2	Hodnocení	49
6.4	FANUC LR MATE, KOLABORATIVNÍ CR A CRX ŘADY	50
6.4.1	Využití ve výuce	50
6.4.2	Hodnocení	50
6.4.3	Universal Robots UR3, UR5, UR10	51
6.4.4	Využití ve výuce	51
6.4.5	Hodnocení	51
6.5	SHRNUTÍ A POROVNÁNÍ	52
7	NÁVRH KONCEPTU VÝUKOVÉHO PRACOVÍŠTE	53
7.1	OBEZNĚ	53
7.2	ŘÍDÍCÍ SYSTÉM	54
7.3	PŘÍKLADY VÝUKOVÝCH ÚLOH	55
7.3.1	Kalibrační aplikace	55
7.3.2	Pick & Place aplikace (odběr a umístění dílů)	56
7.3.3	Komunikace Robot-Robot-PLC	57
7.4	SOFTWARE PRO VÝUKOVÉ APLIKACE	57
8	ÚLOHY	59
8.1	ÚLOHA 1 – KALIBRACE PROSTŘEDÍ, VYTVOŘENÍ DIGITÁLNÍHO DVOJČETE	60
8.1.1	Nastavení buňky v SRS	61
8.1.2	Import modelu gripperu	62
8.1.3	Kalibrace nástroje, nastavení TCP	63
8.1.4	Import kalibračního hrotu, nastavení	64
8.1.5	Import modelu prostředí	65
8.1.6	Nahrání programu do robotu	66
8.1.7	Zjištění souřadnic na reálném robotu, následná kalibrace s virtuálním prostředím	67
8.2	ÚLOHA 2 – PICK&PLACE APLIKACE S VYUŽITÍM FUNKCE „FRAME“	69
8.2.1	Vytvoření aplikace	69
8.2.2	Programování	73

8.2.3	Vytvořit Interface.	74
8.2.4	Spuštění a naučení nových bodů	74
8.3	KOOPERACE ROBOTŮ	75
8.3.1	Vytvoření aplikace	75
8.3.2	Stáhnutí socketové komunikace	76
8.3.3	Programování	76
8.3.4	Vytvoření interface.....	78
8.3.5	Spuštění a naučení nových bodů	79
8.4	ZHODNOCENÍ.....	80
9	DISKUSE	81
	ZÁVĚR	83
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	85
	SEZNAM OBRÁZKŮ	88
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	90

ÚVOD

Robotika se stala v dnešní moderní době zásadním prvkem průmyslové výroby, kde roboty zajišťují vysokou produktivitu, přesnost a flexibilitu v automatizovaných linkách. Současný nástup konceptu Průmyslu 4.0 klade důraz nejen na inteligentní stroje, ale i na integrátory a kvalifikovanou obsluhu těchto systému. Vzdělávací pracoviště s průmyslovým robotem tak představuje efektivní nástroj pro propojení teoretických poznatků s praktickými dovednostmi, které jsou nezbytné pro budoucí odborníky v oboru mechatroniky, automatizace a robotiky.

Cílem této diplomové práce je navrhnout a ověřit funkčnost konceptu výukového pracoviště se dvěma šestiosými průmyslovými roboty Stäubli TX2-60.

V této diplomové práci je nejprve provedena literární rešerše zabývající se oblastí průmyslové robotiky. V teoretické části je podrobně zmapován historický vývoj automatizačních systémů – od prvních programovatelných logických automatů až po současné šestiosé roboty používané v rámci koncepcí Průmyslu 4.0. Součástí rešerše je také systematické rozčlenění robotů podle konstrukčního uspořádání (kartézské, kloubové, SCARA, delta, cylindrické a mobilní roboty), přehled softwarových platforem a programovacích jazyků (Python, C/C#, MATLAB) používaných pro jejich řízení, včetně popisu specializovaných simulačních nástrojů (Siemens Tecnomatix, ABB RobotStudio, FANUC ROBOGUIDE, KUKA AppTech).

Druhá část teoretické práce se věnuje pedagogickým aspektům využití robotů ve vzdělávacím procesu. Analyzuje možnosti integrace stavebnicových systémů (např. LEGO Mindstorms, VEX Robotics, Ozobot) do osnov technických oborů a hodnotí jejich přínos pro rozvoj praktických dovedností studentů.

V praktické části je na základě teoretických poznatků navržen koncept výukového pracoviště se šestiosým průmyslovým robotem Stäubli TX2-60, který byl realizován v robotické laboratoři Fakulty Aplikované Informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Návrh zahrnuje uspořádání pracoviště, volbu řídicího systému, bezpečnostní prvky a softwarovou architekturu, včetně integrace digitálního dvojčete.

Pro tento koncept je vytvořen soubor výukových úloh, který studenty systematicky provádí procesem kalibrace, programování základních i pokročilých aplikací typu pick & place a komunikace mezi roboty a PLC. Výukové úlohy jsou udělány jako zadání a následné

vysvětlení kroků, které vedou k naučení a dokončení výukových úloh. Výstupem budou studenti, kteří umí naprogramovat roboty, kteří se v praxi běžně používají.

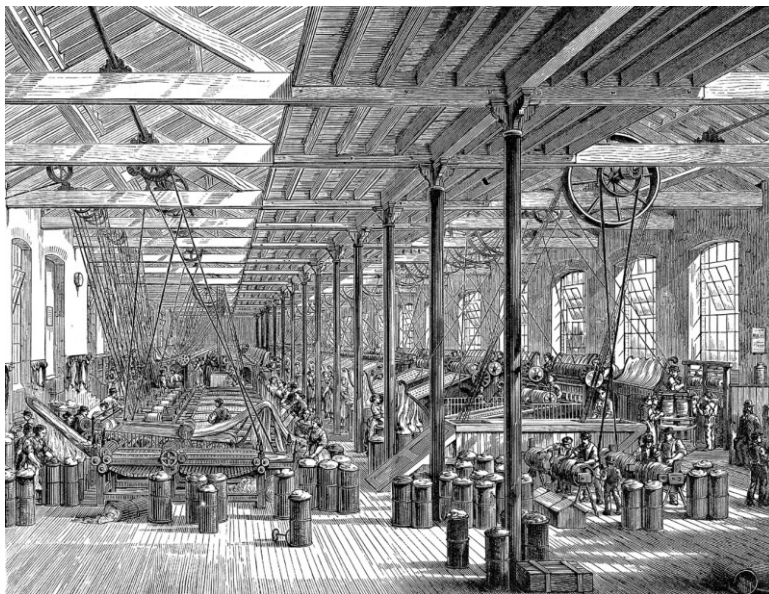
I TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE PRŮMYSLU

Průmyslová revoluce představuje jedno z nejvýznamnějších období v moderní historii, kdy došlo k zásadní proměně ekonomiky, společnosti a každodenního života. Tento proces znamenal přechod od agrárního a řemeslného hospodářství k průmyslové výrobě, poháněné technologickými inovacemi a využitím nových zdrojů energie. Začala v Británii v 18. století a postupně se rozšířila do dalších částí světa. [1][2]

Průmyslová revoluce přinesla celou řadu technologických, socioekonomických a kulturních změn. Mezi klíčové inovace patřilo využití železa a oceli, rozvoj parního stroje a dalších energetických zdrojů, masová výroba a nové dopravní a komunikační prostředky, jako byly železnice, parníky či telegraf. Tyto změny vedly k růstu měst, změně pracovních podmínek, rozvoji dělnické třídy a novým ekonomickým i politickým strukturám. [1][2]

Průmyslová revoluce měla hluboký dopad nejen na hospodářství, ale i na společnost jako celek. Vedla ke změně vztahu člověka k práci, přírodním zdrojům i technologii, což položilo základy moderního průmyslového světa. [1][2]



Obrázek 1 Manufaktura [3]

1.1 Průmysl 1.0

Průmyslová revoluce, jejíž počátky se datují kolem roku 1750, znamenala zásadní změnu ve výrobě a společenské organizaci. [4]

První průmyslová revoluce představovala přechod od ruční výroby k mechanizovaným procesům. Rozvíjel se vývoj parního stroje. Thomas Newcomen vynalezl v roce 1712 první funkční parní stroj určený k odčerpávání vody z dolů, což vedlo ke zvýšené těžbě uhlí. Tento vynález se stal předchůdcem parních strojů Jamese Watta, které v 18. století způsobily revoluci v průmyslové výrobě. Průmysl 1.0 položil základy moderního průmyslu a otevřel cestu k dalším inovacím a základům automatizace.[2] [4]



Obrázek 2 Parní stroj [5]

1.2 Průmysl 2.0

Druhá průmyslová revoluce, která probíhala mezi lety 1850 a 1914, přinesla zásadní změny v energetických procesech a výrobních metodách. V průběhu této revoluce bylo zřejmé, že pro výrobu energie a pohon strojů, které vyrábějí zboží, bude zapotřebí stále méně lidské práce. Ocel, která se vyráběla již po staletí, byla dříve produkována na zakázku, nikdy ne v masovém měřítku. Zavedení Bessemerova procesu umožnilo levnou a masovou výrobu oceli, což umožnilo výstavbu rozsáhlých železničních tratí, které byly používány pro lokomotivy parních vlaků. [2][4][6]

Zároveň byly zavedeny nové zdroje energie. Alessandro Volta vytvořil v roce 1800 první elektrickou baterii, což umožnilo rozvoj elektrické energie. V roce 1875 byla objevena surová ropa, která vedla k rozvoji spalovacích motorů, jenž se používají i dnes v

automobilech. Tyto motory spalovaly palivo, aby generovaly teplo potřebné k pohonu strojů. [4][6]

V roce 1901 založil Ransom E. Olds první montážní linku pro výrobu automobilů, což vedlo k rapidnímu zvýšení produkce. Oldsmobile díky montážní lince zvýšil výrobu o 500 %, což mělo za následek pokles cen automobilů. [4][6]

Tento pokrok inspiroval Henryho Forda, který v roce 1913 zavedl montážní systémy pro pásovou hromadnou výrobu automobilů, což byl zásadní krok směrem k plné automatizaci výroby. Před Fordovým vynálezem se automobily vyráběly na jednom pracovišti, ale díky pásové výrobě se tento proces stal mnohem rychlejším a efektivnějším. Ford je považován za otce hromadné výroby automobilů, a jeho systém výroby se stal vzorem pro průmysl. [4][6]

Na rozdíl od prvního průmyslového období, kdy stroje stále vyžadovaly lidskou práci, znamenala druhá průmyslová revoluce přechod k plné automatizaci výroby s lidským dohledem. [4][6]



Obrázek 3 Pásová výroba [5]

1.2.1 Průmysl 3.0

Třetí průmyslová revoluce, známá také jako „digitální revoluce“ nebo „první počítačová éra“, začala v 70. letech 20. století. V tomto období byly vyvinuty jednoduché, ale poměrně velké počítače, které měly dobrý výpočetní výkon a položily základy pro vývoj dnešních strojů.[2][6]

Průmyslová revoluce 3.0 přinesla částečnou automatizaci, která byla dosažena díky jednoduchým počítačům a programovatelným logickým automatům (PLC), což jsou paměťově programovatelné řídicí jednotky. Před touto revolucí existovaly některé jednoduché automatizované systémy, ale stále bylo nutné, aby do procesu zasahoval člověk. [6]

Zavedení informačních technologií (IT) a elektroniky do mnoha výrobních procesů prohloubilo automatizaci a vedlo k pokroku ve využívání obnovitelných zdrojů energie a rozvoji konektivity a přístupu k internetu.[6]

Třetí průmyslová revoluce je stále přítomná i v současnosti, kdy většina současných továren a výrobních odvětví stále funguje na této vývojové úrovni. Díky těmto technologiím dnes můžeme automatizovat celé výrobní procesy, přičemž dobrým příkladem jsou roboty, které mohou vykonávat určité činnosti samostatně, bez nutnosti lidského zásahu.[6]

Na konci 20. století došlo v elektronickém průmyslu k velkému pokroku, kdy byly vynalezeny elektronické komponenty jako integrované obvody a tranzistory. Tyto elektronické součástky přinesly částečnou automatizaci strojů ve výrobních procesech, což vedlo k větší přesnosti výroby, vyšší rychlosti a lepší kompetenci, a dokonce i k nahrazení lidské práce v některých výrobních procesech.[6]

V 60. letech 20. století byl vynalezen programovatelný logický automat (PLC), který spustil automatizované procesy s využitím elektroniky. Také začlenění elektronických strojů do výrobních procesů vedlo k poptávce po softwarových systémech pro řízení elektronického hardwaru, což podpořilo tehdejší trh s vývojem softwaru. Tyto systémy umožnily nejen provoz elektronických zařízení, ale také zajištění různých řídicích procesů, jako je řízení zásob, sledování výrobků, plánování podnikových zdrojů, toků výrobků a logistiku přepravy. Od tohoto období se systémy s využitím informačních technologií a elektroniky neustále vyvíjely a automatizovaly.[6]

Mezi další elektronické stroje vynalezené během třetí průmyslové revoluce patří integrované obvody, digitální logické systémy, tranzistory MOS a technologie jako internet, počítače, digitální mobilní telefony a mikroprocesory.[6]



Obrázek 4 Svařovací roboty [5]

1.2.2 Průmysl 4.0

Průmysl 4.0 je současná fáze průmyslové revoluce, která navazuje na třetí průmyslovou revoluci a vyznačuje se využíváním komunikačních a inteligentních informačních technologií v různých průmyslových odvětvích. K rozšíření výrobních systémů, které již zahrnují automatizaci a počítačové technologie, se využívají síťová propojení. Tato čtvrtá revoluce vedla k efektivnímu propojení systémů, známému jako „kyberneticko-fyzikální výrobní systémy“, což vedlo k rozvoji inteligentní výroby a továren. Veškerá výroba je téměř zcela automatizovaná a výrobní systémy, lidé a komponenty spolu komunikují prostřednictvím sítě. [6][7]

Tento přechod změnil způsob práce lidí a umožnil efektivnější pracovní procesy. Výrobní průmysl je dnes téměř zcela digitalizován. Navíc došlo k výraznému nárůstu používání digitálních zařízení a strojů ve výrobních odvětvích i v terénu, což usnadnilo poskytování servisní historie a dokumentace zařízení odborníkům na údržbu. [6]

Průmysl 4.0 je charakterizován výrobními zařízeními, skladovacími systémy a inteligentními stroji, které mohou autonomně spouštět akce, ovládat jiná zařízení a vyměňovat si informace bez lidského zásahu. Tento ideální model distribuce informací je umožněn prostřednictvím průmyslového internetu věcí (IIoT), který zahrnuje 5 klíčových prvků: [6][7]

- Cloud computing

- Big data
- Kyberfyzikální systémy
- Strojové učení a umělou inteligenci
- Internet věcí (IoT).

Tyto technologie neustále pokračují v rozvoji, přičemž se objevují nové příklady aplikace Průmyslu 4.0. Například inteligentní stroje budou schopny autonomně organizovat logistiku, předvídat poruchy a provádět údržbu, čímž zajistí nepřetržitý chod výrobních procesů. Důraz na udržitelnost v rámci Průmyslu 4.0 vedl k rozvoji ekologických technologií poháněných digitální transformací, jako je umělá inteligence a digitální dvojče. Tyto technologie pomáhají zefektivnit výrobu a snížit náklady firmy.[6]



Obrázek 5 Internet věcí – IoT [5]

2 TYPY PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

Průmyslové roboty se využívají ve výrobních procesech jako jsou svařování, lakování, balení, pomáhají pracovníkům s náročnými úkoly a ve světě logistiky zefektivňují práci. Každý typ robotu je určen na specifickou úlohu od automatizovaných ramen montujících výrobky až po mobilní roboty pohybující se ve skladech. Rozdělení průmyslových robotů je popsáno v následujících kapitolách.[2][8][9][10]

2.1 Kartézský robot

Kartézské roboty, známé jako lineární nebo portálové roboty pracují ve třech lineárních osách a používají kartézský souřadnicový systém (X, Y, Z). Pohybují se po přímkách ve třech osách, což jim umožňuje snadné polohování, jednoduché programování, a i vysokou nosnost, jelikož kartézský robot je konstrukčně podobný mostovému jeřábu. Díky této konfiguraci se používají v aplikacích jako CNC obrábění a 3D tisk. Tyto roboty se také používají k přemísťování materiálu, nakládání a vykládání strojů, paletizaci, svařování a montáži výrobků.[8][9][10]



Obrázek 6 Kartézský robot [8]

2.2 Kloubové roboty

Kloubové roboty jsou nejběžnější používané typy průmyslových robotů a svou konstrukcí se nejvíce podobají lidské paži. Jsou vybaveny rotačními klouby, které jim umožňují flexibilní a široký rozsah pohybu v několika osách. Mohou být osazeny různými chapadly a nástroji, jako jsou vrtačky, brusky nebo lasery. Nejběžněji se používá konfigurace 6osého robotu. Tyto typy mohou vykonávat širokou škálu aplikací. Používají se k montáži na linkách, vychystávání, svařování, paletizaci, manipulaci s materiálem, obsluze strojů a pick-and-place aplikace. U tohoto typu robotu je složitější programování než např. u robotu SCARA.[8][9][10]



Obrázek 7 Kloubový robot [11]

2.3 Roboty delta/ Paralelní robot

Průmyslový paralelní robot se může skládat ze tří ramen připojených k pevné základně, která společně řídí polohu koncového efektoru. Delta roboty se vyrábějí v různých konfiguracích. Tříosé roboty dokážou přemístit objekt z jedné roviny do druhé, přičemž víceosé dokážou objekty uchopovat z různých stran a z různých úhlů. [8][9][10][12]

Díky paralelnímu uspořádání ramen a lehké konstrukci dosahují delta roboty vysokých přesností a rychlostí. Jejich hlavní výhodou je schopnost pracovat v synchronizaci s ostatními stroji, což zvyšuje efektivitu. Delta roboty se používají v elektronickém, potravinářském a farmaceutickém průmyslu.[8][9][10][12]



Obrázek 8 Robot delta [8]

2.4 Roboty SCARA

Roboty SCARA jsou rychlé a přesné průmyslové roboty se čtyřmi osami pohybu. Klouby robotu se pohybují v horizontální rovině podél tří os, zatímco nástroj se pohybuje vertikálně podél čtvrté osy. Tyto roboty jsou vyvinuty k provádění těch úkolů, které vyžadují vysokou rychlost a přesnost ve výrobních a montážních procesech. Jsou vhodné pro aplikace jako montáž a kompletace, ale i pro testovací a kontrolní úlohy. Roboty SCARA jsou velmi oblíbené pro „pick and place“ aplikace. Často jsou to aplikace pro balení do krabic.[8][9][10][12]



Obrázek 9 Robot SCARA [13]

2.5 Cylindrický robot

Roboty s válcovými souřadnicemi představují specifickou kategorii průmyslových robotů, jejichž osy tvoří válcovou soustavu souřadnic, jedné rotační a dvou lineárních. Uplatňují se zejména při montážních operacích, manipulaci na obráběcích strojích, bodové svařování a paletizace. Pohyb hlavního ramene je vertikální, což je zajištěno vertikálním pneumatickým válcem integrovaným do ramene. Rotaci pak zajišťuje motor v kombinaci s převody. [8][9][10][12]

Pohybuje se ve válcovém souřadnicovém systému. To je trojrozměrný systém, který určuje polohu bodu pomocí tří parametrů: radiální vzdálenosti od osy, úhlové polohy a vertikální polohy vzhledem k referenční rovině. [8][9][10][12]



Obrázek 10 Cylindrický robot [14]

2.6 Mobilní roboty

Autonomní mobilní roboty se vyskytují v oblasti logistiky mnohem častěji, než tomu bylo dříve. Jejich implementace přináší výrazné zvýšení efektivity, produktivity a bezpečnosti provozu. Jednou z hlavních výhod je jejich schopnost nahradit tradiční metody manipulace s materiálem, jako jsou vysokozdvizné vozíky nebo pevné dopravníky. Tím se minimalizuje riziko pracovních úrazů, snižuje chybovost lidské obsluhy a automatizují se opakující se procesy. Díky pokročilým senzorům a moderním navigačním systémům jsou tyto roboty

schopny bezpečně se pohybovat v dynamicky proměnlivém prostředí, vyhýbat se překážkám a optimalizovat své trasy v reálném čase. [15][16]

Mobilní robot lze využít v automobilovém průmyslu, skladování, zdravotnictví a maloobchodu. Moderní mobilní roboty jsou vybaveny softwarovými nástroji umožňující interakci s člověkem a využívají nejnovější technologie v oblasti bateriových systémů jako je indukční nabíjení, které zajišťuje jejich nepřetržitý provoz.[15][16]



Obrázek 11 Mobilní robot [17]

3 ROBOTY VE VÝUCE

Robotika nachází uplatnění v široké škále oborů – od výroby a automatizace, přes automobilový průmysl, kosmonautiku a letectví, až po umělou inteligenci, herní průmysl, medicínu a další aplikace.

Proto vznikla robotika ve výuce, což je ve vzdělávání rozvíjející se obor, v němž se žáci učí kooperovat s robotem a učí se dovednosti programování. Robotika podporuje kreativitu, naučí je navrhovat, konstruovat a ovládat roboty.

Žáci musí přemýšlet, využívat jejich představivost, aby vytvořili robot, který bude plnit určitý úkol nebo skupinu úkolů. Studenti se učí o fyzické konstrukci robotů, včetně použití převodů, motorů, senzorů a konstrukčních prvků.

Nedílnou součástí robotiky je programování. Studenti se učí programovat své roboty k provádění konkrétních úkolů pomocí různých programovacích jazyků a platforem. Další součástí robotu ve výuce je pochopení základů obvodů, senzorů a dalších elektronických součástek, které jsou pro stavbu robotu zásadní.

Učí žáky testovat, dělat chyby a učit se z nich, řešit problémy. Je také skvělou motivací, když jimi vytvořený kód funguje a robot správně splní úkol nebo úkoly. V následujících podkapitolách jsou příklady robotů ve výuce.



Obrázek 12 Robotické pracoviště UTB Zlín

3.1 Lego Mindstorms

Žáci mohou prozkoumávat široké spektrum funkcí robotů prostřednictvím intuitivního přetahování příkazu doplněného o interaktivní školící průvodce. Ti provedou žáky od základů až k pokročilejším technikám programování a tvorbě složitějších modelů, přičemž si zdokonalují své dovednosti. Aplikace Minstorms nabízí řadu funkcí včetně strojového učení, které využívá kameru nebo mikrofon zařízení k rozpoznávání obrazů nebo zvuků. Aplikace obsahuje digitální návody k sestavení pěti základních robotů, což žákům umožňuje snadnou variabilitu při hraní a při stavbě nových modelů. Program využívá dva programovací jazyky, které jsou dostupné pro široké spektrum uživatelů. [18]

Prvním je Scratch, virtuální jazyk pro začátečníky, který umožňuje jednoduché přetahování příkazů a druhým je Python, populární textový jazyk, který je ideální pro pokročilejší uživatele. Aplikace podporuje dálkové ovládání robotů prostřednictvím Bluetooth což uživatelům umožňuje okamžité ovládání robotů. Ovládání lze přizpůsobit individuálním potřebám, nebo dokonce připojit roboty k externím ovladačům herních konzolí. [18]



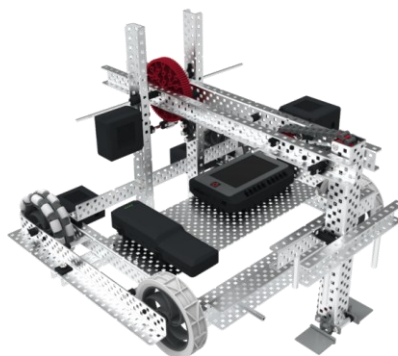
Obrázek 13 Lego mindstorms [19]

3.2 VEX Robotics

Robotické systémy VEX jsou navrženy tak, aby umožnily snadnou integraci do výuky a podpořily rozvoj dovedností. Díky modulárnímu designu jsou vhodné pro žáky všech věkových kategorií – od základní školy až po univerzitní úroveň. [20]

Roboty VEX se skládají z různých mechanických a elektronických komponent, jako jsou motory, senzory, procesory a ovládací jednotky. Žáci si mohou sestavit vlastní robotickou konstrukci a naprogramovat ji tak, aby plnila různé úkoly, Například sledování čáry, manipulací s objekty nebo autonomní navigaci. [20]

Programování robotů VEX probíhá v softwarovém prostředí VEXcode, které je dostupné pro různé platformy a přizpůsobené úrovni znalostí studentů. Programuje se pomocí blokového programování, kde žáci přetahují a spojují bloky s kódem. Přepínání mezi blokem a textem a textové programování, jako je Python a C++.[20]



Obrázek 14 Vex Robotics [21]

3.3 Ozobot

Ozobot je malý programovatelný robot určený pro výuku programování logického myšlení a algoritmizace. Ozobot je malý a kompaktní robot vybavený senzory pro sledování čar a barevných kódů. Dá se programovat dvěma způsoby: [22]

- Programování pomocí barevných kódů:

Nejjednodušší způsob programování a ovládání je pomocí nakreslených cest s barevnými kódy. Robot dokáže rozeznat specifické kombinace barev a podle nich měnit rychlost, směr nebo provádět pohyby jako je otáčení nebo zrychlení. [22]

- Blokové programování

Pokročilejší programování zahrnuje bloky, které se skládají pod sebe a tím tvoří kód, kterým se robot řídí. Lze vytvářet různé podmínky, smyčky[22]



Obrázek 15 Ozobot [23]

3.4 Robotika v praxi VUT – Brno

Fakulta architektury VUT v Brně zahájila pilotní provoz specializované učebny vybavené průmyslovým robotem KUKA, který od zimního semestru 2021/2022 slouží k výuce nového povinného předmětu CAM techniky (Computer Aided Manufacturing). Studenti se v rámci tohoto předmětu seznámí nejen s prací s roboty, ale také s ovládáním laserových řezaček, CNC fréz, 3D tiskáren a dalších počítačem řízených strojů. [24]

Robot KUKA je osazen na kolejnici a disponuje sedmi stupni volnosti, takže pokryje větší pracovní prostor a lze ho rychle přemísťovat mezi stanicemi. Díky modulárnímu uchycení nástrojů mohou studenti navrhovat vlastní koncové efekторы – od frézy pro obrábění dřeva, přes horký drát pro řezání polystyrenu, až po aplikaci speciálních materiálů pro 3D tisk (např. betonové směsi). [24]

Bezpečnostní řešení učebny zahrnuje prosklené stěny, uzamykatelné bezpečnostní zámky pro automatický provoz a vícestupňové okruhy nouzového zastavení. V další fázi projektu se plánuje doplnění menších kolaborativních robotů, s nimiž budou studenti pracovat samostatně na drobných úkolech.[24]



Obrázek 16 Robotické pracoviště na VUT v Brně [24]

3.5 Robotika v praxi Šumperk – cobot

V šumperské Střední škole řemesel byl zakoupen cobot typu DOOSAN M1013. [25]

Hlavním motivem byla potřeba špičkově připravených absolventů, kteří po nástupu do práce zvládnou požadavky zaměstnavatelů ihned od prvního dne. [25]

Cobot umožňuje intuitivní ovládání a najde uplatnění nejen při svařování, ale také při montážních pracích, třídění materiálu nebo povrchových úpravách. Díky robotické automatizaci lze opakované přesné svařování výrazně zrychlit, zpřesnit, zkvalitnit a zároveň minimalizovat expozici studentů škodlivým výparům. [25]



Obrázek 17 Robotické pracoviště ve střední škole řemesel [25]

3.6 Robotika v praxi Teplice – Střední škola AGC

Střední škola AGC v Teplicích zakoupila své třetí robotické pracoviště, vybavené šestiosým robotem FANUC ER-4iA s průmyslovou kamerou. Cílem školy je odborná příprava žáků pro jejich plné a kvalifikované nasazení do pracovního procesu a využívání průmyslových technologií. [26]

Díky dřívějším investicím má škola nyní tři ze čtyř majoritních platforem robotických technologií v Česku – FESTO, ABB a nově FANUC. Na novém pracovišti si studenti ověřují teorii programování PLC řídicí jednotky, pozicování v 3D souřadnicovém systému a vliv „strojového vidění“ na výsledky výroby. Robot je osazen mechanickou jednotkou se šesti osami, což plně odpovídá standardům průmyslu 4.0. Škola plánuje doplnit vybavení o pásový dopravník a v budoucnu rozšířit portfolio o platformu KUKA.[26]



Obrázek 18 Robotické pracoviště ve střední škole AGC [26]

3.7 Proč je nutná implementace robotického pracoviště do škol/univerzit

Implementace robotického pracoviště ve školách a na univerzitách se ukazuje jako důležitý prvek moderního vzdělávání, který studentům poskytuje praktické i teoretické základy. Práce s platformami jako Lego Mindstorms, VEX Robotics či Ozobot umožňuje studentům se seznámit s mechanikou, elektrotechnikou i s programováním v reálném čase. Díky modulární konstrukci a intuitivnímu softwaru se studenti naučí navrhovat jednoduché i složitější robotické soustavy, porozumí principům sensoriky i řídicím systémům a získají zkušenosti se základy algoritmů.

Při stavbě, programování a ladění robotů jako je například VUT Brno, Šumperk, Teplice se studenti musí nejprve naučit zacházet s robotem. Naučit se základní věci jako jsou souřadné systémy robotu, programování a bezpečnosti práce v automatizovaném prostředí.

V kontextu průmyslu 4.0 otevírá robotika přístup k nejmodernějším technologiím, jako je internet věcí (IoT), umělá inteligence či průmyslové komunikační protokoly. Seznámení se s těmito koncepty v akademickém prostředí připravuje studenty na požadavky dnešního i budoucího trhu práce a usnadňuje plynulý přechod do výzkumných týmů či průmyslových firem.

Zavedení robotického pracoviště ve výuce nejen obohacuje technické znalosti studentů, ale zároveň učí nové odborníky s komplexním pohledem na moderní technologie.

4 PROGRAMOVÁNÍ ROBOTŮ

Průmyslové roboty lze programovat různými způsoby. Nejčastěji používaná metoda je online programování, při kterém se programování provádí přímo na pracovišti. Alternativou je off-line programování, které využívá softwarové systémy pro tvorbu programů ve virtuálním prostředí.[2][27]

Online programování:

Tato metoda je založena na přímém ovládní robotu pomocí uživatelského rozhraní (teach-
pendant), kdy programátor navádí robot nebo vytváří aplikaci přímo na pracovišti.
[2][27][28]



Obrázek 19 Online programování [29]

Off-line programování:

Off-line metoda umožňuje vytvoření programu v softwarovém 3D prostředí bez nutné přítomnosti robotu. Program lze exportovat do příslušného formátu a následně nahrát do řídicího systému robotu. [2][27][28]

Programování robotů hraje nezastupitelnou roli ve vývoji moderních autonomních systémů. Každé elektronické zařízení nebo stroj potřebuje jazyk, který umožňuje nejen jeho pohyb, ale i komunikaci s jinými zařízeními, lidmi nebo okolním prostředím. [27]

Tento jazyk se nazývá programovací jazyk, což je soubor instrukcí – algoritmů, které řídí činnost robotu a umožňují mu efektivně vykonávat zadané úkoly. [27]

Na světě existuje více než 1500 programovacích jazyků, ale pouze některé jsou využívány v oblasti robotiky. Výběr jazyka a programu závisí na konkrétní aplikaci a systému, se

kterým se pracuje. Mezi nejpoužívanější jazyky patří C++, Python, Java, MATLAB nebo C#. Výběr správného programovacího jazyka hraje zásadní roli ve vývoji inteligentních autonomních systému, přičemž výkon, podpora hardwaru a snadnost použití jsou hlavní kritéria při rozhodování.[27][28]



Obrázek 20 Virtuální off-line programování [30]

4.1 Programovací jazyky

Nejčastěji se pro programování robotů a k získání analytických dat ze strojů využívají tyto jazyky:

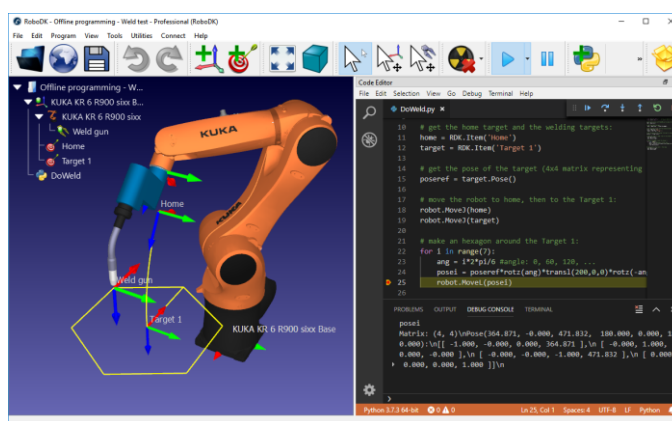
- Python
- C++ a C#
- MATLAB

4.1.1 Python

Python se stal jedním z nejoblíbenějších programovacích jazyků v oblasti robotiky, a to především díky své jednoduchosti, čitelnosti a rozsáhlým knihovnám. Jeho využití je obzvláště významné v úlohách zaměřených na analýzu dat, strojové učení a umělou inteligenci, které se stávají stále důležitější součástí moderních robotických systémů. [31][32][33]

Jednou z hlavní předností Pythonu je jeho snadná syntaxe, která umožňuje rychlé osvojení i začátečníkům. Tento jazyk výrazně urychluje vývoj softwaru, protože vyžaduje méně řádků kódu než například C# nebo C++. [31][32][33]

Další výhodou jazyka Python je jeho rozsáhlá sada knihoven, které zefektivňují zpracování dat, strojové učení i náročné matematické výpočty. Uplatňuje se také jako hlavní skriptovací jazyk v operačním systému ROS (Robot Operating System), softwarové platformě pro vývoj robotických aplikací. Díky němu lze vytvářet algoritmy pro umělé inteligence a strojového učení, jež robotům umožňují přizpůsobovat se okolnímu prostředí a činit autonomní rozhodnutí. Zároveň usnadňuje psaní skriptů pro řízení a simulaci robotických systémů, což výrazně urychluje testování a optimalizaci kódu před nasazením do fyzických robotů.[31][32][33]



Obrázek 21 Python programování [34]

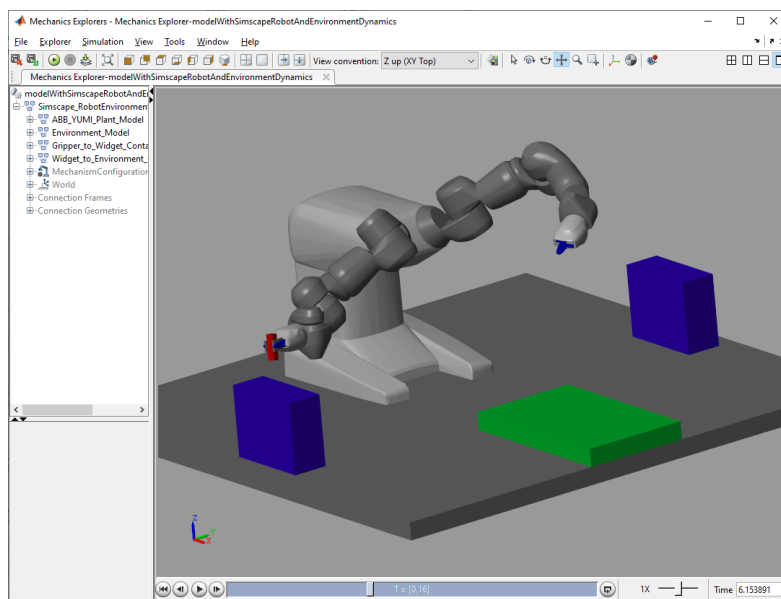
4.1.2 C++ a C#

V oblasti robotiky se za standard často používají programovací jazyky C# a C++, které patří mezi vyspělé pro všeobecné použití. Přestože jazyk C++ nebo C# není tak uživatelsky přívětivý jako například Python a obvykle vyžaduje delší a komplexnější kód, jejich hlavní výhoda spočívá v široké kompatibilitě s hardwarem. Mnoho hardwarových knihoven je navrženo právě v těchto jazycích, což zajišťuje přímý přístup k nízkoúrovňovým funkcím zařízení a umožňuje optimalizaci výkonu. [31][32][33]

C++ je specificky využíván v robotických aplikacích, které kladou důraz na řízení v reálném čase a optimalizaci paměťových nároků a kvůli těmto vlastnostem zůstává C++ nejčastěji používaným nástrojem při vývoji moderních robotických systémů.[31][32][33]

4.1.3 MATLAB

MATLAB je široce používán jako programovací jazyk a vývojové prostředí, které v robotice usnadňuje a slouží zejména při analýze dat, simulacích a návrhu řídicích systémů. Matlab má Toolbox, který obsahuje funkce pro kinematiku, dynamiku a generování trajektorií. Tímto mohou vývojáři vytvářet systémy pro výzkum a simulace robotických ramen.[32][31][33]



Obrázek 22 Matlab programování [35]

4.2 Programy pro simulaci a návrh programů do robotů

K programování a následné simulaci se v robotice používají programy, kde se může vytvořit digitální dvojče a následně simulovat a optimalizovat procesy. Například se využívají tyto programy:

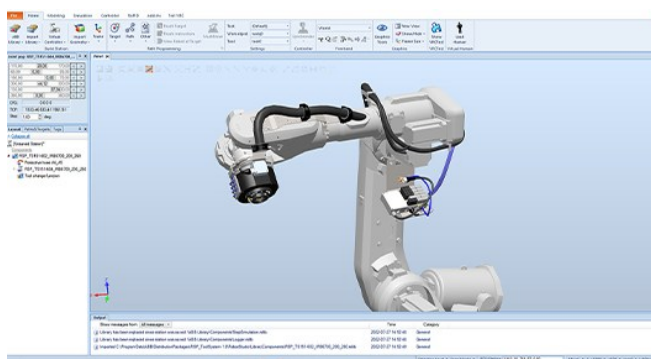
- ABB RobotStudio
- Siemens Tecnomatix Robotics
- KUKA AppTech
- FANUC ROBOGUIDE
- Yaskawa Motosim

4.2.2 ABB Robot Studio

Software ABB RobotStudio umožňuje programovat roboty bez přerušení výroby, což usnadňuje testování a optimalizaci robotických procesů. RobotStudio využívá virtuální kontrolér, který simuluje reálný software robotu, což usnadňuje realistické simulace. [38]

Nová cloudová verze RobotStudia umožňuje programování robotů online a sdílenou práci týmů, čímž snižuje časovou náročnost, náklady i nutnost fyzického testování. [38]

Program obsahuje simulaci brzdné dráhy robotu, kinematiku robotu a informace o motorech. RobotStudio nabízí podporu rozšířené AR a virtuální reality, což umožňuje interaktivní vizualizaci robotických zařízení ve 3D prostředí.[38]



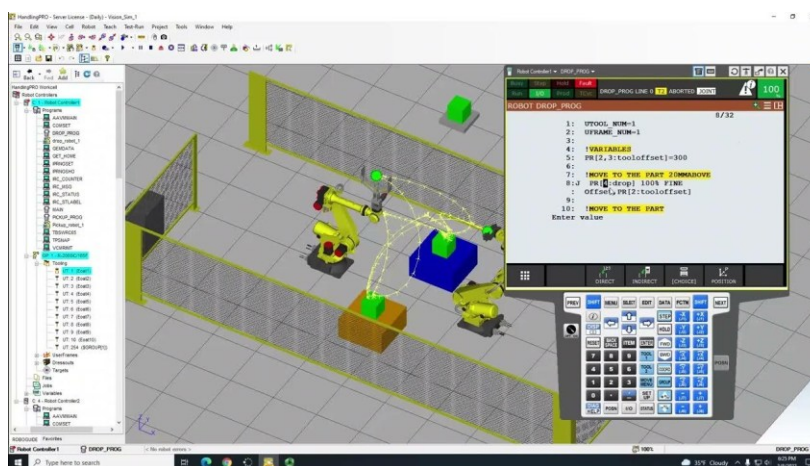
Obrázek 24 ABB Robot Studio [39]

4.2.3 FANUC ROBOGUIDE

Fanuc Roboguide je pokročilý simulační software určený k off-line programování a simulaci robotických pracovišť. Tento program umožňuje navrhovat, programovat testovat aplikace s roboty ve virtuálním prostředí což přináší výhodu v optimalizaci výrobních procesů. [40]

Software umožňuje simulaci v 3D prostředí, ve kterém lze naprogramovat trajektorie, vytíženost motorů, spotřeby energie a času programu, který robot vykonává. Simulace následně lze přenést do kontroléru robotu. [40]

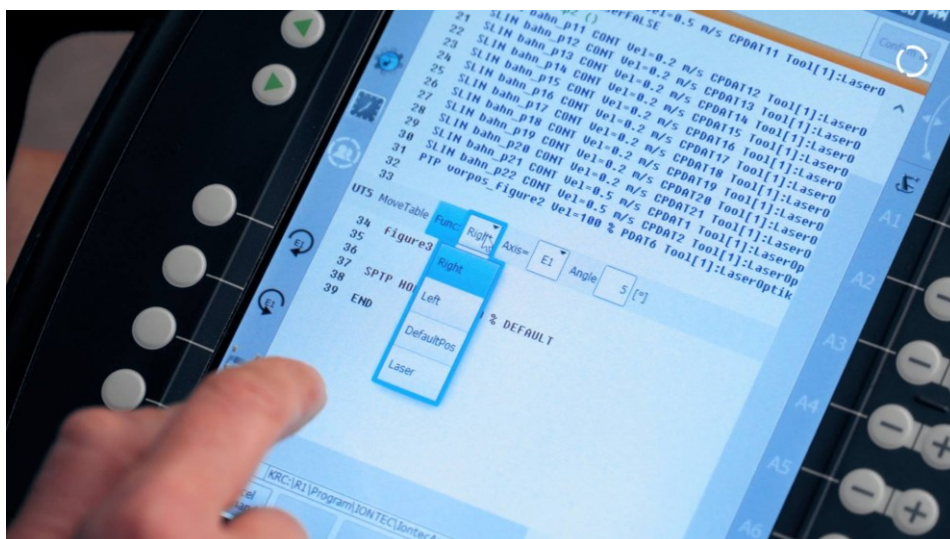
Fanuc Roboguide má vestavěné CAD modely k běžně používaným přípravkům, jako jsou stoly, dopravníky a nástroje. Dají se také importovat CAD modely existujících dílů a přípravků, či úchopových prvků. Software následně vygeneruje program, který se nahraje do robotu.[40]



Obrázek 25 Fanuc Roboguide [41]

4.2.4 KUKA AppTech

Kuka AppTech je software vyvinutý společností KUKA. Hlavním cílem je usnadnit a zrychlit programování průmyslových robotů. Místo ručního programování uživatelé mohou sestavit úkoly z předpřipravených programů a modulárnímu principu. Uživatelé vybírají z knihovny hotové funkční bloky, jež lze parametrově upravovat dle požadavků. V Kuka AppTech lze programovat online i off-line. Off-line lze na počítači vytvořit a simulovat digitální dvojče celé buňky, ověřit kolize a optimalizovat dráhy. Výsledný program se přenesse do robotu. Tyto technologie umožňují snadné nastavení robotu i pro složitější aplikace, jako je manipulace s materiály, svařování, lepení nebo měření.[42]



Obrázek 26 Kuka programování [43]

5 ROBOT STAUBLI TX2-60

Stäubli TX2-60 je šestiosý průmyslový robot navržený pro vysokou přesnost, rychlost a flexibilitu a výhodou tohoto typu robotu je, že má poměrně malé rozměry. Tyto roboty mají jedinečné vlastnosti, díky nimž jsou přizpůsobitelné pro všechna průmyslová odvětví. Jeho nosnost dosahuje až 4,5 kg. A maximální dosah činí 920 mm. Robot nabízí možnost montáže v rozsahu 360 stupňů, což zajišťuje flexibilní integraci do různých pracovních prostorů. [44]

V průmyslu je TX2-60 využíván v různých aplikacích. Montáže a balení, manipulace s materiálem a díky své kompatibilitě je ideální pro použití v potravinářském farmaceutickém a elektronickém průmyslu. Ve vzdělávacích institucích může sloužit k výuce robotiky a automatizace. Využívá softwaru Stäubli Robotics Suite pro simulování a programování robotu.[44]

5.1 Kinematika robotu

Robot TX2-60 má 6 os neboli stupňů volnosti (DOF – Degrees of Freedom), které mu umožňují komplexní pohyb v prostoru a manipulaci s objekty v libovolné orientaci. Kinematika tohoto typu robotu je kloubová a skládá se z rotačních kloubů. Tato konstrukce je běžná u robotů určených pro přesné operace, kde je důležité dosáhnout maximálního pokrytí pracovního prostoru při zachování tuhosti a přesnosti. [44]

5.2 Možnosti integrace do výuky

Robot TX2-60 je vhodný nejen pro průmyslové aplikace, ale i pro výukové účely na vysokých školách a technických univerzitách. Vzdělávací instituce mohou robot využívat při výuce programování v jazyce VAL 3 nebo pomocí grafického rozhraní ve Stäubli Robotics Suite. Díky simulátoru lze provádět off-line programování bez nutnosti fyzického robotu. [44]

Navíc může být začleněn do širších konceptů jako jsou Průmysl 4.0, digitální dvojče nebo kolaborativní robotika, což studentům umožňuje získat praktické dovednosti relevantní pro moderní průmyslové prostředí.



Obrázek 27 Robot Staubli TX2-60 UTB Zlín

II PRAKTICKÁ ČÁST

6 MOŽNÁ KOMERČNÍ DOSTUPNÁ ŘEŠENÍ

V současnosti existuje na trhu široké portfolio průmyslových robotů i kolaborativních robotů (tzv. cobotů), které lze využít nejen ve výrobě, ale také ve školách a výzkumných pracovištích. Jejich hlavní výhody zahrnují možnosti pro praktickou výuku programování, mechatroniky, robotiky, průmyslové automatizace a dalších příbuzných oborů. Tato kapitola se zaměřuje na výběr několika komerčně dostupných systémů od různých výrobců – například Stäubli, ABB, KUKA, Fanuc či Universal Robots. Tyto robotické systémy lze reálně nasadit v komerčních provozech, ale zároveň se hodí i do prostředí škol a laboratoří, kde je kladen důraz na bezpečnost a jednoduché ovládání.

6.1 Stäubli TX2-60

Řada TX2 představuje šestiosé průmyslové roboty s vysokou přesností a rychlostí. Model TX2-60 patří mezi kompaktnější varianty, s únosností do 4,5 kg a dosahem okolo 670 mm.[44]

6.1.1 Využití ve výuce

- ✓ Pro školy je výhodou zejména velmi dobrá dokumentace od výrobce, hardware, software i bezpečnostní prvky.[44]
- ✓ Díky svým kompaktním rozměrům se Stäubli TX2-60 hodí do učeben či výukových laboratoří, kde prostor bývá omezený. [44]
- ✓ Robot podporuje komunikační protokoly – je tak možné jej integrovat do standardního PLC řešení (například pro výuku průmyslové automatizace v kombinaci s dalšími periferiemi). [44]

6.1.2 Bezpečnostní funkce

- ✓ Řada TX2 je zabezpečena konfigurací s buňkou, která chrání před neoprávněným vstupem do prostoru robotu. [44]

6.1.3 Hodnocení

- ✓ Stäubli TX2-60 lze jednoznačně doporučit pro aplikace, které vyžadují vysokou přesnost, rychlost a relativně kompaktní rozměry. [44]

6.2 ABB, IRB 1200, IRB 1300, kolaborativní řada YuMi

- ✓ ABB je jedním z nejstarších a největších výrobců průmyslových robotů, které se vyznačují spolehlivostí a dlouhou životností.[45]
- ✓ Modelová řada IRB 1200 a IRB 1300 jsou malé šestiosé roboty s užitečným zatížením do cca 5–7 kg (dle konkrétního modelu) a dosahem mezi 700 až 900 mm. [45]

6.2.1 Využití ve výuce

- ✓ Pro výukové aplikace je velkou výhodou široká uživatelská komunita a přehledná dokumentace. ABB navíc nabízí výukové moduly a školicí programy pro pedagogy. [45]
- ✓ Tyto menší roboty lze umístit do běžné školní laboratoře. ABB poskytuje software (ABB RobotStudio) vhodné pro nácvik programování ještě před tím, než studenti přijdou do styku se skutečným robotem. [45]

6.2.2 Bezpečnostní funkce

- ✓ IRB 1200 či IRB 1300 nejsou vyloženě kolaborativní modely, ovšem v kombinaci s vhodnými bezpečnostními prvky (ochrannými ploty, skenery, světelnými závorami) se dají bezpečně nasadit i do učeben. [45]
- ✓ ABB také nabízí kolaborativní roboty YuMi (např. single-arm YuMi či dual-arm YuMi) vyznačující se možností bezpečné spolupráce s lidmi. [45]

6.2.3 Hodnocení

- ✓ ABB roboty patří k mezi lídry odvětví, které jsou díky dostupnosti v celé řadě firemních provozů vhodné i pro střední a vysoké školy, které chtějí studenty připravit na praxi. [45]
- ✓ RobotStudio a další softwarové nástroje jsou jedny z nejlépe hodnocených v oblasti výuky. [45]

6.3 Kuka (KUKA KR Agilus, kolaborativní LBR iiwa)

KR Agilus je šestiosý robot známý vysokými rychlostmi pohybu, robustní konstrukcí a flexibilitou v montážních úkonech.[46]

- ✓ Nosnost může být v rozmezí 6–11 kg (dle konkrétní varianty), dosah se pohybuje mezi 700 a 1101 mm. [46]

LBR iiwa je sedmiosý robot vyvinutý pro bezpečnou spolupráci člověka s robotem – tzv. HRC (Human-Robot Collaboration). [46]

- ✓ Díky senzorce v každé ose je robot schopen velmi citlivě reagovat na dotykové a silové interakce. [46]
- ✓ Nosnost je obvykle 7 nebo 14 kg, rozsah pohybu je od 800-820 mm. [46]

6.3.1 Využití ve výuce

Řada KR Agilus se často objevuje ve výukových a testovacích laboratořích, zejména díky dostupné dokumentaci a širokým možnostem programování. [46]

LBR iiwa je ideální pro pokročilejší pracoviště a univerzity, které se zabývají výzkumem kolaborativních robotů, zpracováním senzorických dat či pokročilých řídicích algoritmů. [46]

- ✓ Díky své kolaborativní povaze lze robot využít i v situacích, kde se studenti učí programovat interakci člověk–robot bez nutnosti kompletních fyzických zábran. [46]

6.3.2 Hodnocení

- ✓ KUKA nabízí výborné průmyslové i kolaborativní řešení. Pro vzdělávání je důležité, že k robotům existuje podrobná technická dokumentace i oficiální školicí kurzy. [46]

6.4 Fanuc LR Mate, kolaborativní CR a CRX řady

LR Mate je malý šestiosý robot navržený pro lehčí manipulační úlohy s nosností od 8 - 25 kg a dosahem kolem 1441 mm (záleží na dané konfiguraci).[47]

Fanuc CR a CRX jsou kolaborativní roboty se zeleným barevným označením, které slouží k práci v blízkosti lidí. Mají vestavěné senzory pro monitorování síly a nárazu. [47]

- ✓ Nosnost se pohybuje od cca 5 kg až do 50 kg (dle modelu). [47]

6.4.1 Využití ve výuce

Fanuc LR Mate je často využíván v laboratořích a školách, protože firma Fanuc patří mezi nejrozšířenější dodavatele robotů v automotive, elektrotechnice a dalších průmyslových odvětvích. [47]

- ✓ Studenti se tak mohou učit práci s platformou, kterou později najdou v mnoha reálných průmyslových provozech. [47]
- ✓ Podobně jako ABB či KUKA, i Fanuc nabízí programovací software ROBOGUIDE se simulátorem a výukovými kurzy. [47]

6.4.2 Hodnocení

- ✓ Fanuc roboty patří k nejoblíbenějším a na trhu jsou dlouhodobě osvědčené. Díky silnému zázemí a širokému využití v průmyslu jsou dobrou volbou pro školy, které chtějí studentům poskytnout přípravu s roboty, jež naleznou v praxi. [47]

6.4.3 Universal Robots UR3, UR5, UR10

Universal Robots (UR) je průkopníkem v oblasti kolaborativních robotů. Jejich řada UR3/UR5/UR10 (a novější e-Series) je velmi oblíbená pro snadné programování a rychlou instalaci.[48]

- ✓ Liší se především maximální nosností (3, 5, 10, 30 kg) a dosahem (od cca 500 mm po 1300 mm) [48]

6.4.4 Využití ve výuce

- ✓ Univerzální a intuitivní programování s využitím dotykového tabletu nebo skriptovacího jazyka URScript. Zvládnou s ním pracovat i začátečníci, což je ideální pro střední a vysoké školy. [48]
- ✓ UR roboty jsou oblíbené zejména v menších firmách a start-upech, takže pro studenty představují perspektivní platformu. [48]
- ✓ Roboty UR jsou navrženy jako kolaborativní od samého počátku. Mají vestavěné senzory, které zastaví robot při střetu s člověkem, a také disponují snadným nastavením bezpečných zón. [48]
- ✓ V podmínkách škol lze bezpečnost dále zvýšit doplněním dalších prvků (např. lehké oplocení, optické brány), avšak v základním režimu bývá práce s UR roboty velmi bezpečná. [48]

6.4.5 Hodnocení

- ✓ Universal Robots představuje často první volbu pro výuku kolaborativní robotiky, a to díky jednoduchému ovládání, relativně nízkým pořizovacím nákladům a široké uživatelské komunitě. [48]

6.5 Shrnutí a porovnání

Při výběru průmyslového robotu do výuky je třeba zohlednit především:

1. **Využití v praxi:** Roboty od ABB, KUKA, Fanuc či Stäubli jsou zavedenými průmyslovými standardy. Studenti získají zkušenosti, které uplatní v reálném provozu.
2. **Kolaborativní schopnosti:** Pokud je cílem naučit studenty práci s moderními kolaborativními roboty (tzv. coboty), vyplatí se zaměřit na výrobce jako Universal Robots, KUKA LBR iiwa, Fanuc CR/CRX. Tyto roboty umožňují větší interaktivitu a praktické ukázky bez potřeby složitých bezpečnostních bariér.
3. **Nároky na prostor a bezpečnost:** Velikost pracoviště je ve školách často omezená. Kompaktní modely Stäubli TX2-60, ABB IRB 1200 nebo Fanuc LR Mate umožňují jednoduchou instalaci v omezeném prostoru a snadnou integraci. Kolaborativní roboty s malou zástavbovou plochou, jako UR3 či UR5, jsou pro školní laboratoře taktéž vhodné.
4. **Technická a servisní podpora:** Zavedení výrobci poskytují školicí a výukové programy, návody a příklady úloh. Pro pedagogy i studenty je důležité mít k dispozici kvalitní dokumentaci a snadno dosažitelný servis.
5. **Cena a dostupnost:** Ceny průmyslových robotů se mohou výrazně lišit. Kolaborativní roboty bývají o něco dražší než konvenční řešení s obdobnou nosností, avšak nabízejí vyšší flexibilitu. Někteří výrobci mívají zvýhodněné edukační programy.

Pro školní prostředí je vhodné vybírat především menší modely s důrazem na bezpečnost a s maximálně otevřeným softwarem, který umožní výuku programování, integrace s PLC a průmyslovými sběrnici, ale i testování pokročilých funkcí (vision systémy, senzorika apod.). Roboty od výrobců jako Stäubli, ABB, KUKA, Fanuc či Universal Robots tvoří současnou špičku a nabízejí řešení vhodná pro širokou škálu didaktických, výzkumných i praktických aplikací. Díky jejich reálnému nasazení v průmyslu mají studenti možnost získat zkušenosti, které jsou přímo uplatnitelné v jejich budoucí profesní dráze.

7 NÁVRH KONCEPTU VÝUKOVÉHO PRACOVÍŠTE

7.1 Obecně

Návrh konceptu spočívá v moderním výukovém pracovišti, které se skládá ze dvou robotických ramen. Tyto roboty jsou šestiosé průmyslové roboty Stäubli TX2-60 s vlastním řídicím systémem. Tyto dva roboty mohou vzájemně komunikovat a spolupracovat prostřednictvím propojeného PLC (programovatelného logického automatu), který koordinuje jejich činnost. Cílem návrhu je vytvořit efektivní a bezpečné pracoviště pro praktickou výuku studentů.

Koncept výukového robotického pracoviště s roboty Stäubli TX2-60 se inspiruje pracovišti využívaných v praxi, kde roboty spolu komunikují a spolupracují. Samotný robot TX2-60 patří k nejnovější generaci robotů Stäubli a je často využíván pro výuku díky své rychlosti, přesnosti a bezpečnostním funkcím.

Každý z obou robotů je umístěn na vlastní základně (pracovišti). Rozmístění robotů je navrženo tak, aby se pracovní dosahy obou TX2-60 částečně překrývaly v jedné společné oblasti. Tím je umožněna kooperace – například předávání dílů mezi roboty. Každé pracoviště obsahuje pracovní stůl či paletu pro odkládání dílů v dosahu robotu.

Bezpečnost je prioritou návrhu. Okolo buňky jsou instalovány ochranné hliníkové profily zakrytované plexisklem s uzamykatelnými dveřmi, tak aby nedošlo ke vstupu k robotu. Přístup do prostoru robotu je možný pouze při servisním provozu nebo v režimu výuky se sníženou rychlostí. Dveře jsou opatřeny bezpečnostními zámky a koncovými spínači, které hlídají jejich zavření.

Každý robot má na TeachPendantu nouzová tlačítka (E-Stop) pro okamžité vypnutí systému v případě nebezpečí. Nouzové tlačítko, které vypne celou robotickou buňku je umístěno v boční části oplechování.



Obrázek 28 Robotické pracoviště UTB Zlín

7.2 Řídicí systém

Efektivní spolupráce dvou robotů vyžaduje spolehlivý řídicí a komunikační systém. Robotické pracoviště je propojeno s programovatelným logickým automatem PLC, který slouží jako řídicí centrum. PLC zajišťuje koordinaci činnosti obou robotů, řízení periferií (dopravníků, senzorů apod.). PLC je typu Beckhoff. PLC je kompatibilní s roboty Stäubli. Tento programovatelný automat využívá komunikační protokoly průmyslových sběrnic (EtherCAT, ProfiNet, Ethernet/IP aj.), takže PLC může s roboty komunikovat přes rozhraní. Ve výukovém prostředí to umožní studentům seznámit se s průmyslovou komunikací a integrací robotů do automatizačních linek. Komunikace robot–PLC probíhá na úrovni vstupů/výstupů (digitálních signálů).

V PLC se vyhodnocuje stav senzorů a vstupů (např. zda druhý robot dokončil úkol, zda je zavřen ochranný kryt) a na základě toho pomocí výstupních signálů řídí oba roboty. Každý robot má definovány signály připravené k předání/převzetí, cyklus dokončen, chyba apod. které PLC monitoruje a nastavuje. Tím je zajištěna synchronizace – např. první robot zvedne díl a pošle PLC signál, že drží objekt, PLC následně povolí druhému robotu najet do předávací pozice atd.



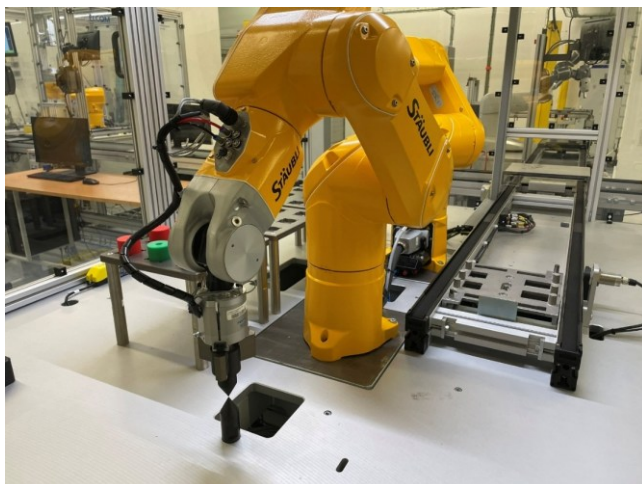
Obrázek 29 PLC – Beckhoff[49]

7.3 Příklady výukových úloh

Návrh pracoviště umožňuje realizovat pestrou škálu výukových úloh, které simulují reálné průmyslové aplikace. Studenti si na nich prakticky vyzkoušejí programování robotů. Níže uvedené úlohy pokrývají základní i pokročilejší témata robotiky: od jednoduchého pick & place až po synchronizaci více robotů.

7.3.1 Kalibrační aplikace

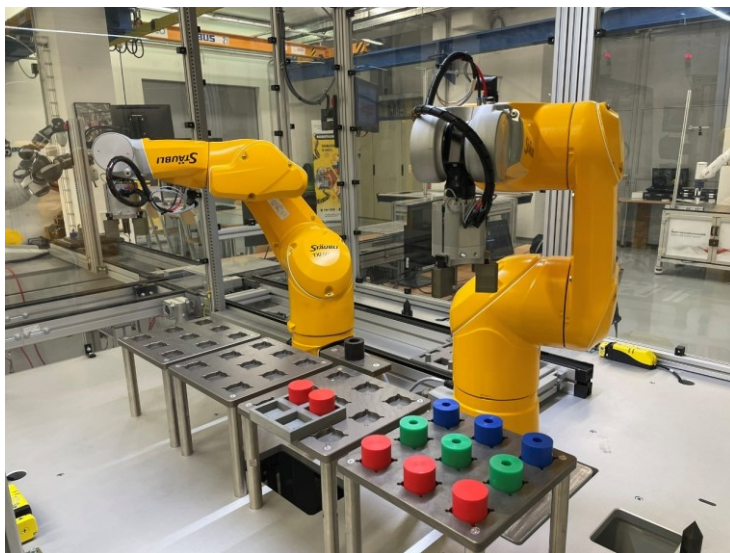
Kalibrační aplikace je úplný základ pro studenty, než začnou pracovat s robotem. Nejprve se naučí pracovat se softwarem od firmy Staubli, Staubli Robotics Suite. Po seznámení se s programem, začnou vytvářet jednoduchou aplikaci, která bude mít za úkol importovat modely prostředí buňky, kalibrační hrot, vytvoření kalibračního bodu, který je realizován v pevně daném bodu v robotickém pracovišti. Sjednocení souřadných systému modelu robotu v simulačním programu s reálným robotem. Tzv. vytvoření digitálního dvojčete.



Obrázek 30 Kalibrace robotu

7.3.2 Pick & Place aplikace (odběr a umístění dílů)

Pomocí vytištěné 3D paletizační podložky s nastavitelným úhlem, je možné skládat vytvořené 3D vytištěné válečky z palety na paletu. Robot umísťuje objekty válce na paletu pod různými úhly, což nutí studenty přemýšlet nad různými souřadnými systémy, přepočty souřadnic a využitím funkce „frame“ pro zvolení nulového bodu. Tato úloha rozvíjí porozumění tomu, jak robot vnímá souřadný prostor a jak lze měnit souřadný systém nástroje.



Obrázek 31 Rozvržení robotického pracoviště pro úlohy

7.3.3 Komunikace Robot-Robot-PLC

Tato pokročilejší úloha vyžaduje synchronizaci obou robotů přes PLC. První robot zvedne váleček z jedné strany palety a předá ho do ruky druhého robotu v definovaném předávacím bodě. Druhý robot poté objekt umístí na cílové místo. Tato úloha učí studenty plánovat koordinované pohyby a řešit časování – oba roboty musí přesně sladit své trajektorie v čase i prostoru. Zároveň se klade důraz na bezpečnost: roboty si vzájemně nesmí vkročit do pracovní drah. Studenti musí naprogramovat komunikační logiku v PLC, která zajistí, že druhý robot zahájí pohyb teprve tehdy, když první dosáhl bezpečné polohy, a naopak.



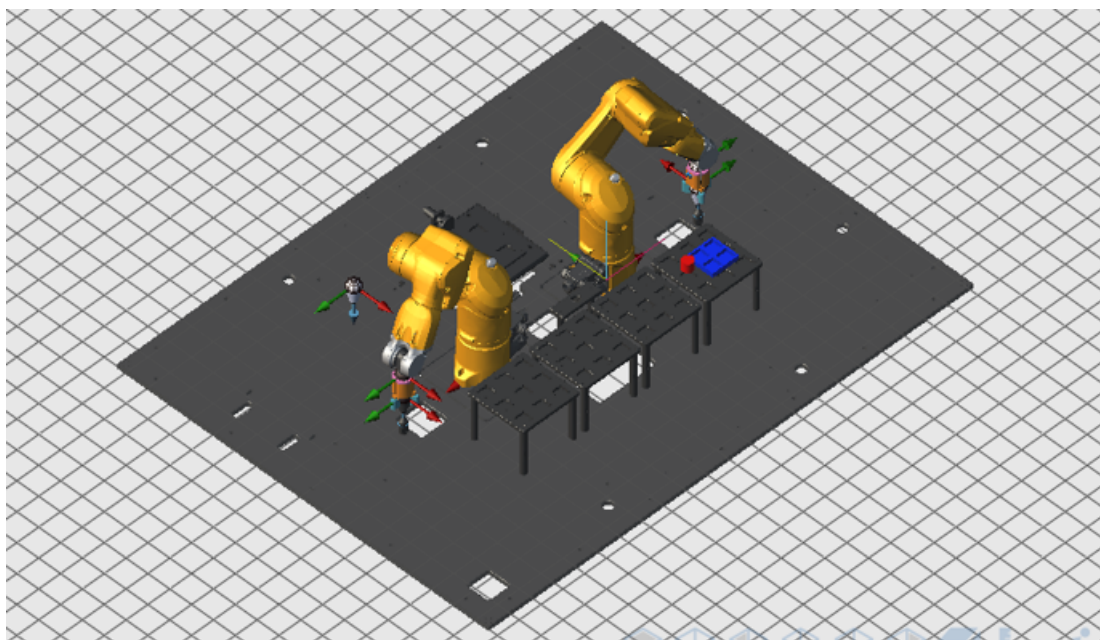
Obrázek 32 Aplikace v praxi – předávání válečků

7.4 Software pro výukové aplikace

Stäubli Robotics Suite (SRS): Jedná se o oficiální off-line programovací a simulační nástroj od Stäubli. Umožňuje 3D simulaci robotické buňky, programování trajektorií robotů v jazyce VAL3 (nativní programovací jazyk robotů Stäubli) a ladění programů ještě před nasazením na skutečný robot. Studenti mohou v SRS navrhnout a vizualizovat kompletní robotickou buňku, umístit do ní modely robotů, chapadel a následně simulovat průběh úlohy.

Software podporuje detekci kolizí, takže si studenti ověří, zda jejich program nehrozí srážkou robotu s okolím nebo s druhým robotem. Také je možné analyzovat časy cyklu a optimalizovat dráhy.

SRS tak slouží jako výborný nástroj pro přípravu úloh off-line: studenti mohou programovat virtuální roboty, a teprve až program funguje v simulaci, přenést ho do skutečného zařízení.



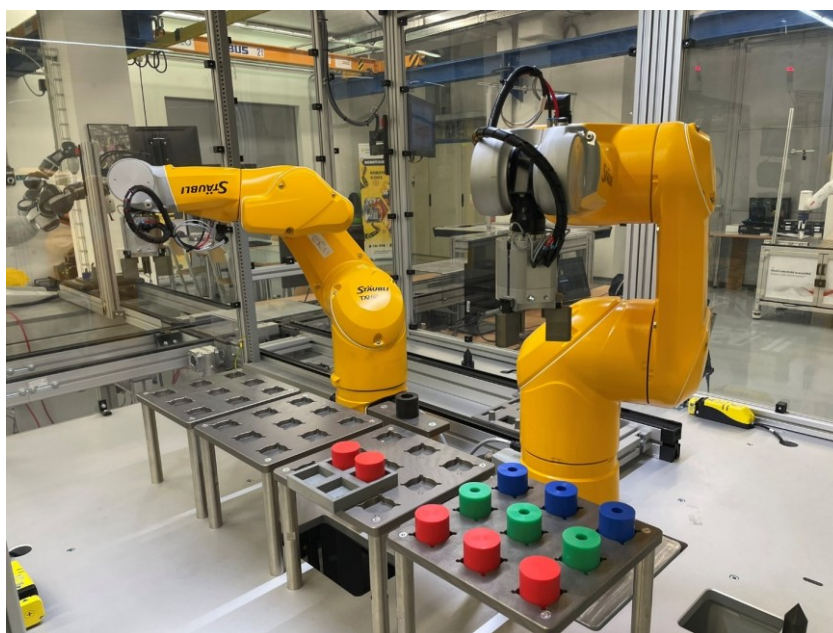
Obrázek 33 Robotické pracoviště ve virtuálním prostředí

8 ÚLOHY

Úlohy byly vytvořeny na základě pracoviště, které se skládá ze dvou robotických ramen. Tyto úlohy byly vytvořeny od nejjednodušších po těžší, aby si studenti budovali dovednosti v oblasti průmyslové robotiky.

Každá úloha vychází z předchozí, od základní kalibrace přes manipulaci s objekty až po koordinaci více robotů. Díky tomu studenti získávají pevné základy, které na sebe navazují a jsou základy praktických znalostí a funkcí, které se běžně používají ve firmách.

Úlohy jsou navrženy od nejjednoduššího seznámení se s prostředím, kalibrací a základní znalost pojmů. Následuje standardní operace s opakovacími cykly. Nejpokročilejší je synchronizace dvou robotů přes PLC, kde studenti aplikují logiku podmínek.



Obrázek 34 Rozvržení úloh robotického pracoviště

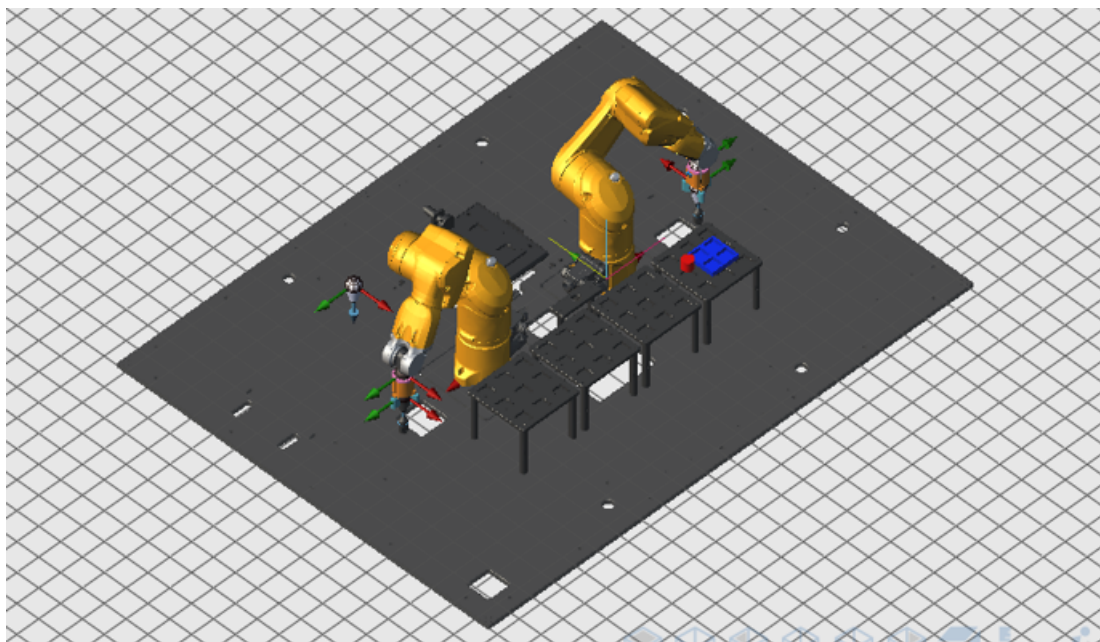
8.1 Úloha 1 – Kalibrace prostředí, vytvoření digitálního dvojčete

Tato úloha je zaměřena na vytvoření digitálního dvojčete robotického pracoviště, tedy sladění simulačního modelu robotu a pracovního prostoru s realitou. Studenti se naučí používat simulační prostředí software Stäubli Robotics Suite.

Cílem je definovat správně TPC nástroje a referenční bod v pracovním prostoru, tak aby souřadné systémy v simulaci odpovídaly fyzickému.

TCP – Bod na koncovém nástroji robotu, který se považuje za referenční pro veškeré řízení pohybu. Souřadný systém (0,0,0) v lokálním souřadnicovém systému nástroje.

Návod platí pro obě robotická ramena s tím, že v závěrečné části postupu u druhého robotu posouváme robotem, nikoli modelem pracoviště.



Obrázek 35 Robotické pracoviště ve virtuálním prostředí

8.1.1 Nastavení buňky v SRS

Nejprve je potřeba spustit software Stäubli Robotics Suite a vytvořit nový projekt robotické buňky. Dále vložit do vytvořeného projektu model šestiosého robotu Stäubli TX2-60 s konfigurací, která je v reálné robotické buňce. Pojmenovat roboty podle názvu stanoviště, které je napsané z boku oplechování.

Program je strukturován do čtyř hlavních panelů nástrojů, z nichž každý pokrývá specifické fáze programování robotů.

1. Panel projektové správy a 3D zobrazení

Add: přidání nového robotu

Show 3D view: zobrazí vizualizaci pracovního prostředí

3D view: zde se nachází Edit Possition, Device Configuration a Jog

2. Strom aktuálně používaných robotů, těles, kolizí a předvoleb kamery projektové správy a 3D zobrazení

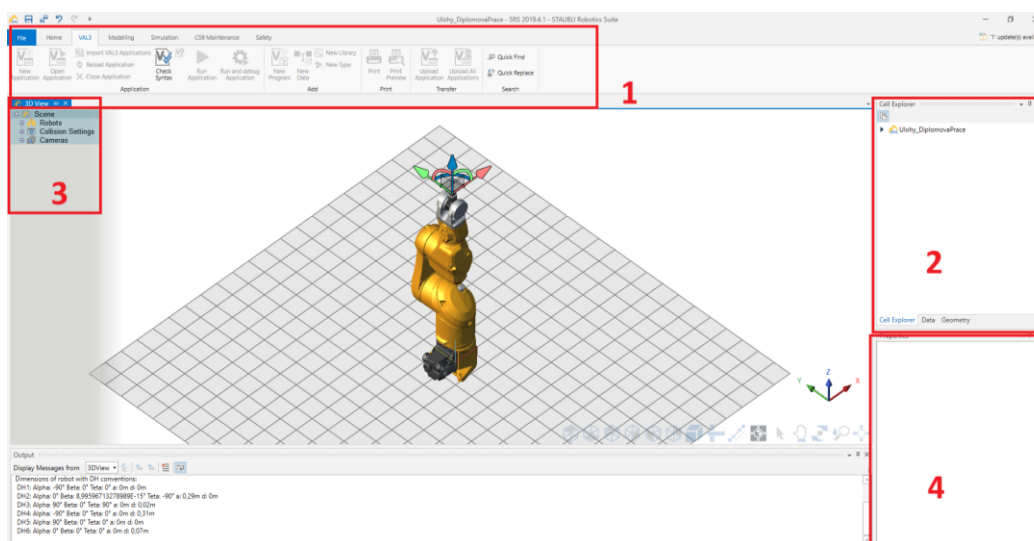
Cell Explorer: uživatelské aplikace, knihovny podprogramy a interface

Data – proměnné, které se využívají buď v programu nebo v interface

Geometry – zde nalezneme deklarované body, souřadné systémy a rozměry nástroje

3. V bloku č.2 je strom aktuálně používaných robotů, těles, kolizí a předvoleb kamery. Po přidání nějakého objektu jej nalezneme právě v tomto stromě.

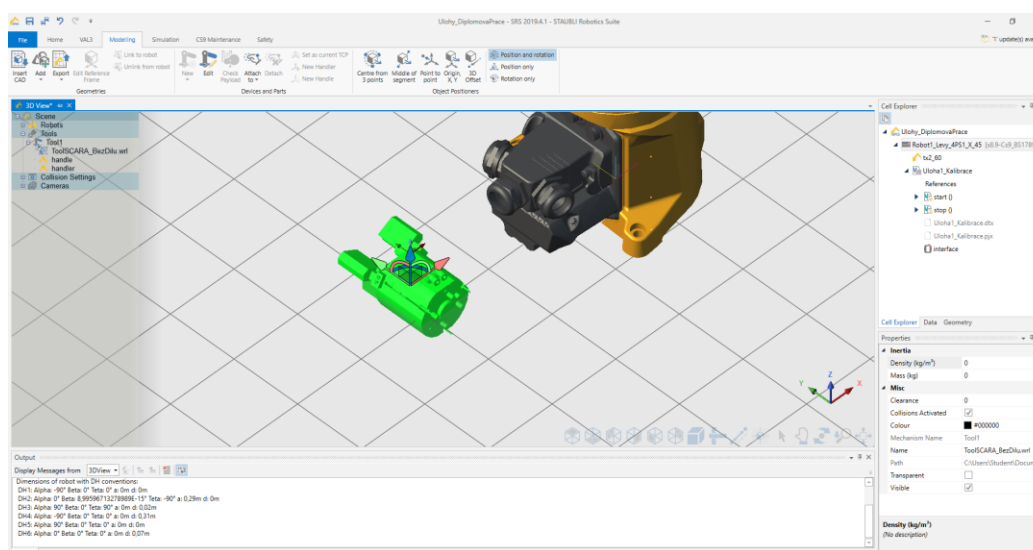
4. V 4 panelu jsou tzv. nastavovací parametry a informace o programových blocích.



Obrázek 36 Program Staubli Robotics Suite

8.1.2 Import modelu gripperu

Do prostředí programu je potřeba nahrát ze složky již vytvořený gripper. Po importování se objekt objeví na pozicích 0,0,0, což bude uvnitř robotu, pokud s ním již nebylo hýbáno. Je potřeba model gripperu vytáhnout v X nebo Y ose ven z robotu. Vložený model bude v programu brán jako nějaký neurčený objekt. Gripper se nastaví v programu jako „Tool“.



Obrázek 37 Import gripperu do virtuálního prostředí

8.1.3 Kalibrace nástroje, nastavení TCP

Po importu modelu gripperu do projektu je nutné jej správně nakonfigurovat jako Tool (gripper) tak, aby řídicí systém robotu věděl:

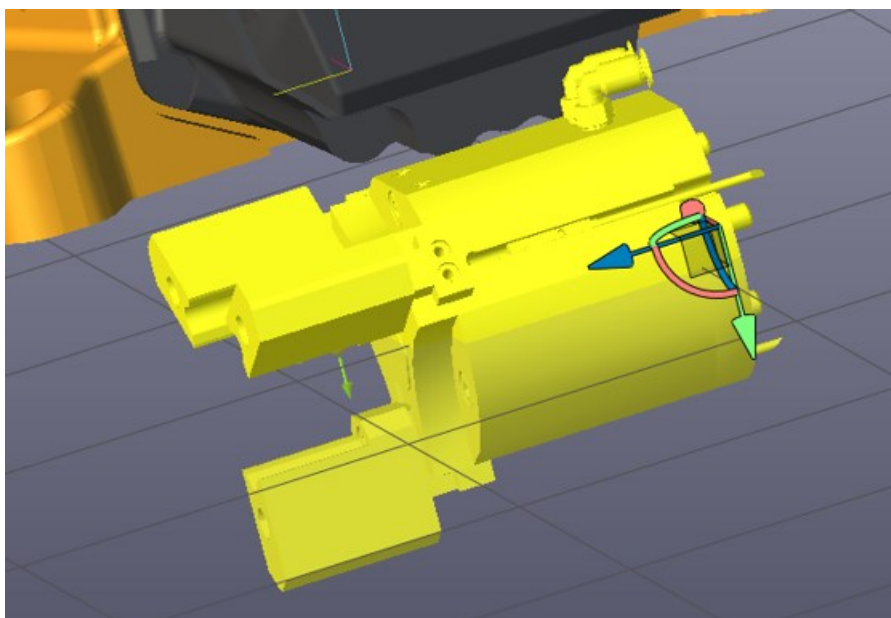
- kde je střed uchopovací části („handler“) – tedy bod, kterým robot bude uchopovat předměty
- kde se nachází místo uchycení nástroje („handle“) na robotické přírubě, aby robot správně uchopil a přenesl celý nástroj

Pro zajištění přesnosti při definování Tool Center Point (TCP) se používá třibodová kalibrace (3-center-point method)

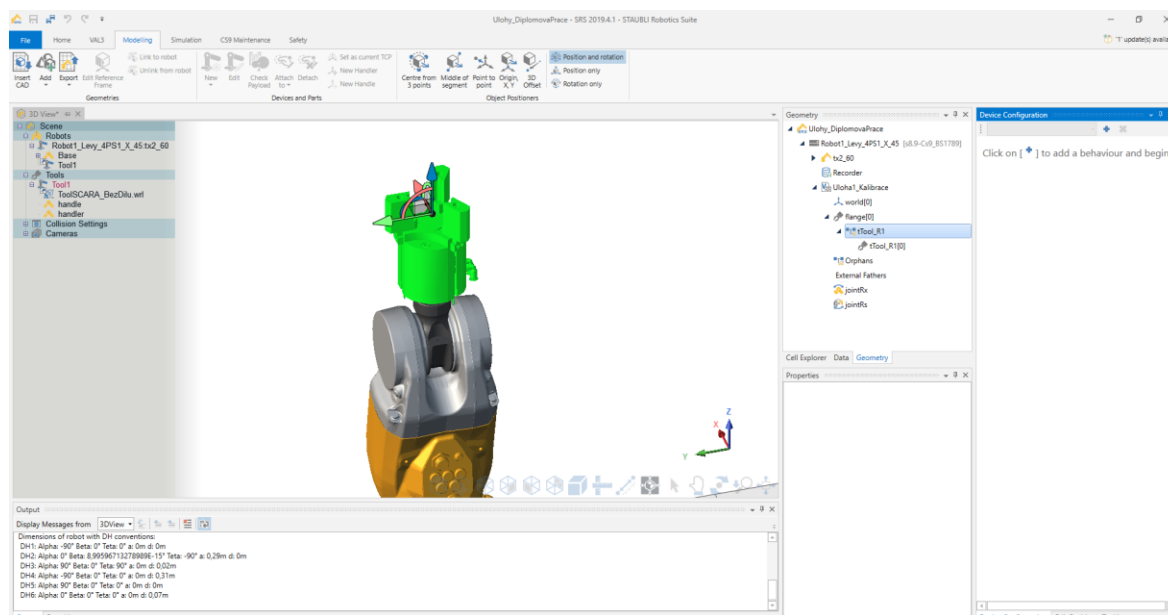
TCP – Bod na koncovém nástroji robotu, který se považuje za referenční pro veškeré řízení pohybu. Souřadný systém (0,0,0) v lokálním souřadnicovém systému nástroje.

Na základě výběru „handler“ nebo „handle“ určíme pomocí třibodové kalibrace střed gripperu, musí být dbán velký zřetel na X, Y, Z osy – kam směřují, aby byly zajištěny stejné orientace robotické ruky a nástroje.

Po dokončení kalibrace nástroj upneme na robotickou ruku.



Obrázek 38 Kalibrace TCP



Obrázek 39 Gripper upnut na robot

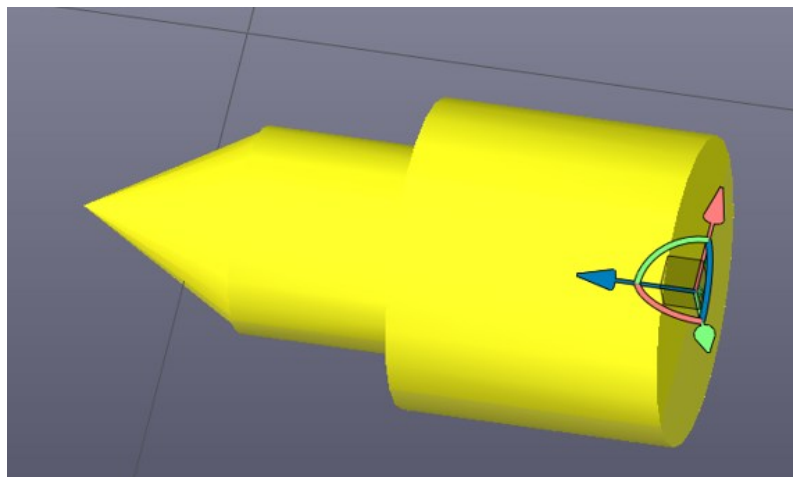
8.1.4 Import kalibračního hrotu, nastavení

Po dokončení importu a konfigurace hlavního chapadla (gripperu) je třeba obdobným způsobem připravit i kalibrační hrot. Do projektu Staubli Robotics Suite se naimportuje CAD model kalibračního hrotu, který byl vytvořen podle geometrie reálného zařízení.

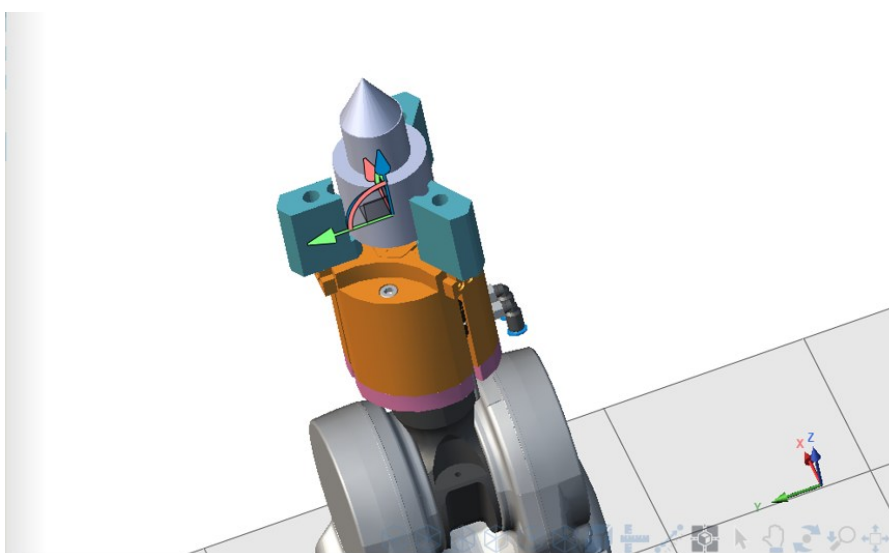
Po importování se objekt objeví na pozicích 0,0,0, což bude uvnitř robotu, pokud s ním již nebylo hýbáno. Je potřeba kalibrační hrot vytáhnout v X nebo Y ose ven z robotu.

Dále je potřeba ho označit jako „Part“, což je nástroj, kterým robot může dělat pohyby a uchopovat ho. Tím řídicí systém robotu ví, že tento objekt může být uchopen, přenášen a pohybován.

Pomocí funkce metodou tříbodové kalibrace naučíme „handle“ - střed na ploše, za který bude následně chytán gripperem. Dále je nutné ho připevnit pomocí výběru „Attach“ na „gripper“, tím si ho robot upne do gripperu.



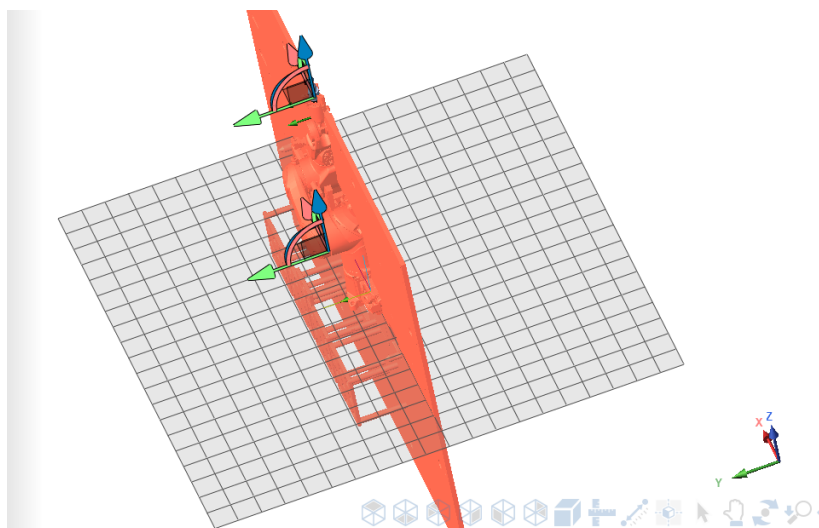
Obrázek 40 3D model kalibračního hrotu



Obrázek 41 Kalibrační hrot upnut do gripperu

8.1.5 Import modelu prostředí

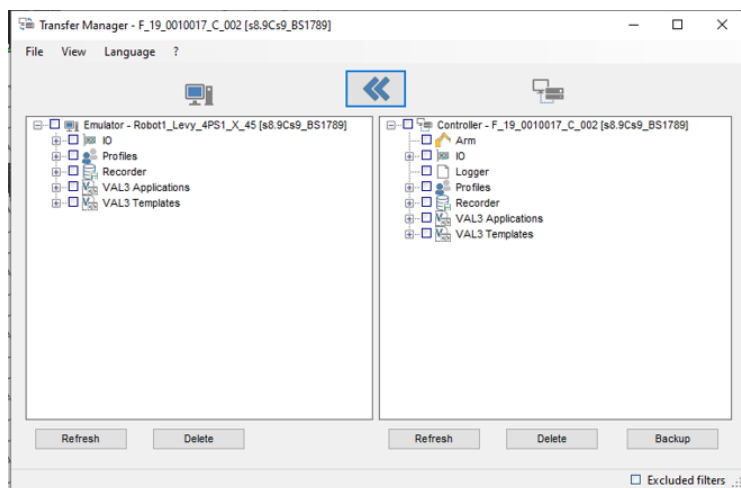
Jako další krok následuje importovat model robotického pracoviště do projektu. Importování probíhá stejně jako v předchozích kapitolách. Rozdíl je jen v tom, že se importovaný objekt neoznačuje jako „part“ ani „Tool“, je to jen model. Vzhledem k tomu, že nejsou doposud definovány žádné souřadnice z reálného robotu, je doporučeno nepřesouvat importovaný model v pracovním prostoru.



Obrázek 42 3D model základny po importu do virtuálního prostředí

8.1.6 Nahrání programu do robotu

Protože se na pracovišti nachází dvě ramena Stäubli TX2-60, každé s vlastním kontrolérem, je třeba program nasměrovat na správné zařízení. Roboty jsou rozlišeny koncovou IP adresou



Obrázek 43 Prostředí pro nahrávání programu do robotu

8.1.7 Zjištění souřadnic na reálném robotu, následná kalibrace s virtuálním prostředím

Při přechodu z virtuální simulace na reálné rameno robotu je nezbytné postupovat v nejvyšší opatrnosti a přesně dodržet následující kroky.

Robot musí být přepnut do režimu MANUAL, jinak s ním nelze hýbat. Přepnutí se provede pomocí klíčku, který je na bočním oplechování společně s E-Stopem, který v případě nebezpečné situace po zmáčknutí okamžitě odpojí všechny pohony společně se vzduchem, který do robotické ruky vede.

Upněte nástroj kalibrační hrot do robotického ramena, pomocí TeachPendantu

TeachPendant – ruční ovladač pro roboty, může být dotykový nebo tlačítkový pomocí kterého se:

- volí provozní režimy
- zadává a upravuje body
- řídí pohyby v reálném čase
- nahrává, spouští a ladí programy
- nastavuje rychlost a další parametry pohybu
- obsahuje nouzové tlačítko E-Stop – pro odpojení pohonů v případě nebezpečí

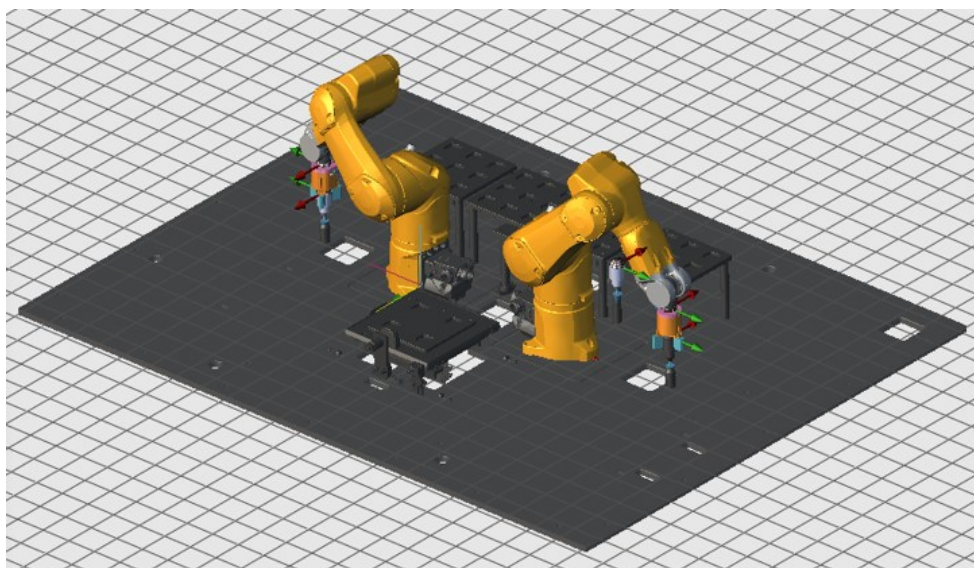
Na dotykové obrazovce TeachPendantu se přepne ovládání do režimu JOG. V tomto režimu lze robot plynule posouvat v osách X, Y, Z (nebo v kloubových osách)

V nabídce JOG zkontrolujte, že je aktuálně aktivní nástroj i režim FRAME ve kterém se zaklikne nahraná aplikace a nástroj, aby se souřadnice přepočítaly vůči nástroji.

Následně opatrně s robotem hýbeme v osách X, Y, Z ke kalibračnímu hrotu, který je umístěn v blízkosti robotického ramene. Najíždění musí být prováděno s nejvyšší opatrností, aby nedošlo ke kolizi. Na TeachPendantu je možnost si zvolit procentuální rychlost robotu. Doporučuje se používat co nejnižší v blízkosti kalibračního bodu, aby nedošlo ke kolizi.

Najedťte kalibrační hrot téměř na dotek k fyzickému kalibračnímu bodu a následně přepište souřadnice do vytvořené tabulky bodu v Staubli Robotics Suite. Poté rameno nastavíme do souřadnic, které jsou i na robotu. Následně připravený model robotického pracoviště

natočíme a napozicujeme tak, aby kalibrační hrot ve virtuálním prostředí odpovídal reálnému kalibračnímu hrotu.



Obrázek 44 Zkalibrované virtuální prostředí

8.2 Úloha 2 – Pick&Place aplikace s využitím funkce „Frame“

Ve druhé úloze si studenti osvojí základní dovednosti manipulace s objekty pomocí robotu – konkrétně úkol typu Pick and Place (uchop a umísti). K dispozici je 3D vytištěná paletizační podložka se 4 otvory pro umístění malých válečků (válcových dílů). Robot má za úkol zvednout 2 válečky umístit je do otvorů paletizační podložky. Následně má student za úkol vytvořit jednoduché grafické prostředí na kontrolér robotu.

Studenti se při tom naučí pracovat s uživatelsky definovanými souřadnými systémy pro snadnější popis pozic v různých orientacích, využívat základní programové struktury a optimalizovat trajektorie pohybu (např. kombinací kloubových a lineárních pohybů pro dosažení plynulého a bezpečného pohybu). Úloha také ukazuje práci s orientací nástroje a objektu – robot musí správně orientovat nástroj při pokládání dílů do podložky. Tato úloha navazuje na předešlou, kdy nyní je robot zkalibrován se simulací.

8.2.1 Vytvoření aplikace

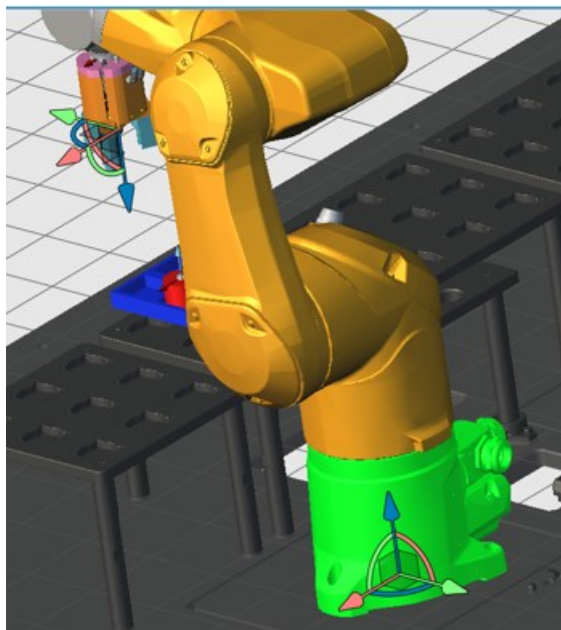
Nejdříve vytvoříme aplikaci s názvem ValeckyFramePaleta_R1, kde do jejího adresáře musíme vytvořit Frame.

Co je to frame?

Frame (souřadný systém) je v robotice třírozměrný referenční systém popisující polohu a orientaci. Tzn. Bod, kde má souřadný systém svůj „nultý bod“ (origin) [X:0 , Y:0 , Z:0]. Každý frame umožňuje jednoznačně popsat polohu a orientaci libovolného bodu nebo tělesa vůči jinému frame. Máme 3 souřadné systémy:

1. World Frame

World Frame je výchozí (defaultní) souřadný systém robotu, jehož počátek („0,0,0“) je umístěn v patě robotu. Směr os odpovídá výrobní specifikaci (osa Z kolmo vzhůru, osy X/Y v rovině podlahy) a nelze jej uživatelsky změnit. Všechny absolutní souřadnice, poloha i orientace se vůči němu vypočítávají.

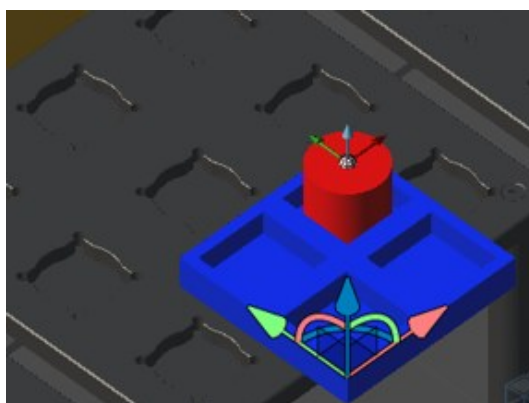


Obrázek 45 World Frame

2. User Frame

User Frame (také „Workpiece Frame“) je uživatelsky definovaný souřadný systém, jehož počátek a orientaci lze zvolit libovolně – typicky na rohu nebo okraji palety, či obrobku.

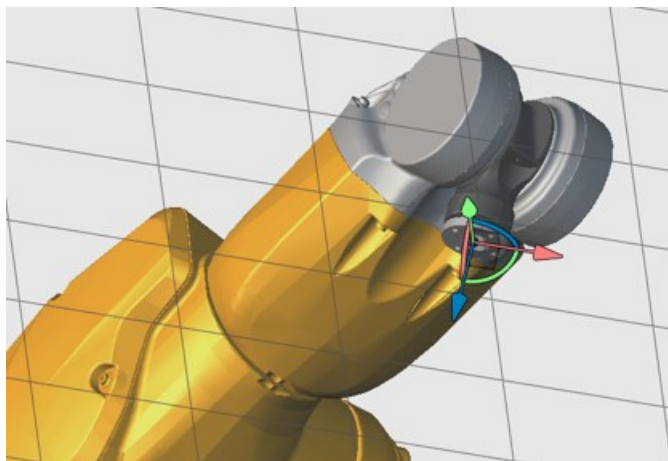
V praxi to vypadá tak, že se naučí User Frame jako nový počátek (0,0,0) na paletě. Robot si zapamatuje polohu a orientaci tohoto bodu. Když se paleta posune nebo natočí o jiný uhel nebo polohu, stačí přeučít tento User Frame na nový roh palety a všechny body navázané na tento frame zachovají své lokální souřadnice



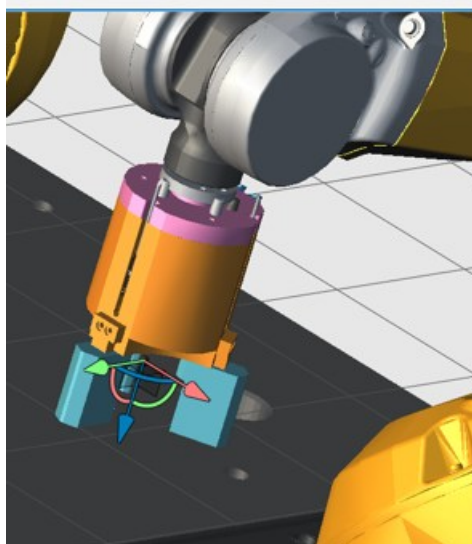
Obrázek 46 User Frame

3. Tool Frame

Tool Frame je souřadný systém navázaný na konec robotického ramene, přesně v místě Tool Center Point (TCP). Původně je TCP na přírubě robotu, ale pokud je k němu připojen gripper či jiný nástroj, musí se posunout Tool Frame o hodnotu odpovídající délce a orientaci přídatného nástroje. To zajistí, že při zadání cílové souřadnice robot přivede právě „špičku“ nástroje (TCP) na požadované místo.



Obrázek 47 Tool Frame před umístěním gripperu



Obrázek 48 Tool Frame po umístění gripperu

Po vytvoření a otestování požadovaných Frame v programu je dalším krokem definice bodů (Body), které budou sloužit k uložení konkrétních pozic v pracovním prostoru. Pro naši Pick & Place aplikaci zavedeme tyto tři body:

1. PickValecek , PlaceValecek

- Název „PickValecek“, „PlaceValecek“
- Atribut: 2 – označuje, že jde o bod velikosti 2 polí
- Účel: pozice, ve které robot uchopí nebo umístí váleček ze zásobníku.

2. SafeBod

- Název „SafeBod“
- Atribut: 1 – v této aplikaci je potřeba 1 bodu, ale klidně jich může být víc
- Použití: slouží jako výchozí i koncová pozice pro každou operaci, aby byl zajištěn vždy bezpečný pohyb mimo pracovní plochu.

Aby mohli uživatelé spouštět jednotlivé kroky z grafického ovládacího panelu, rozdělíme logiku na následující podprogramy. Každý z nich nahrává nebo řídí příslušnou sadu bodů:

- SetPickValecku_0
- SetPick Valecku_1
- SetPlaceValecku_0
- SetPlaceValecku_1
- SafePozice
- MainProgram

8.2.2 Programování

Programování slouží k řízení pohybů robotu, zajištění komunikace mezi PLC a robotem, implementaci logiky včetně smyček a podprogramů, a nakonec koordinaci jednotlivých operací.

Zde jsou vysvětleny základy programů, které bude student využívat.

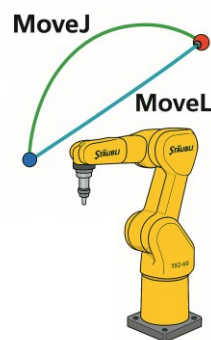
Pohyby:

Základem všech pohybových funkcí jsou dva způsoby interpolace dráhy TCP, označované v programovacím jazyce robotu jako MoveL a MoveJ. Příkaz MoveL provádí lineární interpolaci, takže se nástroj (TCP) mezi výchozím a cílovým bodem pohybuje po přímce.

Naopak MoveJ využívá kloubové (úhlové) interpolace: robot optimalizuje cestu v prostoru svých šesti kloubů a synchronizuje pohyb os tak, aby TCP dosáhl požadované pozice co nejrychleji. Výsledná dráha TCP není přímá, ale křivková

```
moveL (BOD, NÁSTROJ, RYCHLOST)
[ moveL (pSafeBod[0], tTool, mNomspeed) ]

moveJ (BOD, NÁSTROJ, RYCHLOST)
[ moveL (pSafeBod, tTool, mNomspeed) ]
```



Obrázek 49 Porovnání pohybů robotu

Definování a ukládání nových bodů:

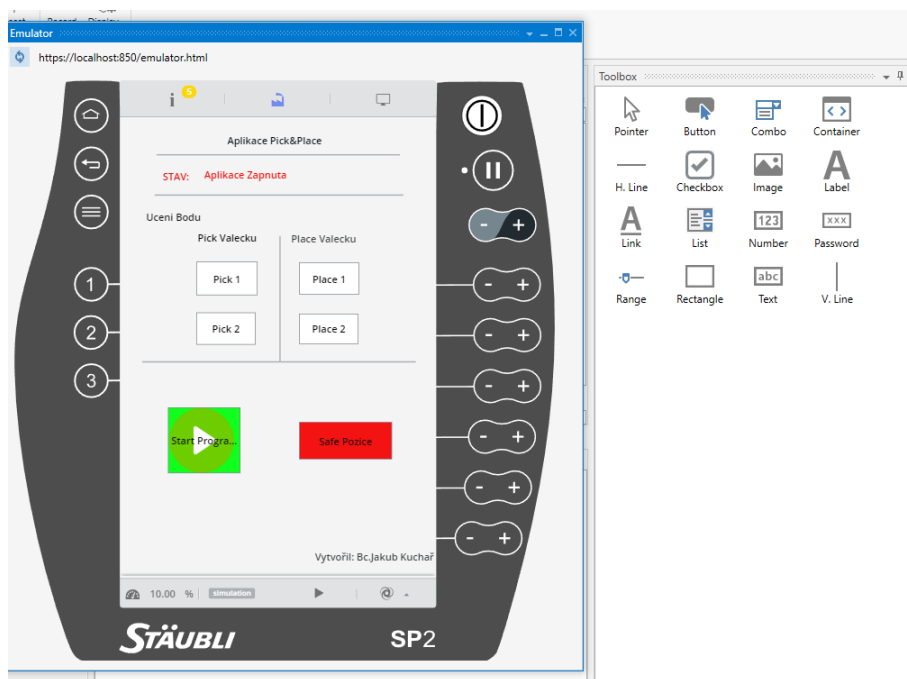
Tento kód dělá to, že uloží souřadnice, kde se robot aktuálně nachází.

here(NÁSTROJ, FRAME)

[here(tTool,RohPalety)]

8.2.3 Vytvořit Interface.

Interface je grafické uživatelské prostředí běžícím na řídicím systému robotu, které umožňuje snadno konfigurovat a ovládat aplikaci bez nutnosti přímé editace kódu. V tomto prostředí lze vytvářet různé ovládací prvky jako například: tlačítka pro spuštění podprogramů, výběrové seznamy či rozbalovací menu, přepínače a posuvníky. Všechny tyto prvky se konfigurují přímo na kontroléru robotu, pomocí vestavěného grafického rozhraní.



Obrázek 50 Grafické prostředí pro vytvoření interface

8.2.4 Spuštění a naučení nových bodů

Nyní je potřeba aby byl program nahrán do robotu a aby byly naučeny body, které budou odpovídat paletě. Následně body zkontrolovat, aby nedošlo ke kolizi. Pak se může program spustit.

8.3 Kooperace robotů

V této pokročilejší úloze si studenti osvojí dovednosti koordinovaného řízení dvou robotů prostřednictvím PLC. Konkrétně první robot uchopí váleček ze „skladu“ a přenes ho do definovaného předávacího bodu, kde ho “předá” druhému robotu. Ten následně váleček převezme a umístí na cílovou pozici. Daná úloha opět navazuje na předešlé, kdy je již zkalibrováno prostředí

8.3.1 Vytvoření aplikace

Vytvoříme novou aplikaci s názvem KooperaceRobotu_R1 a R2, pro každý robot zvlášť. Následně vytvoříme body, které budou mít název:

V Robotu 1

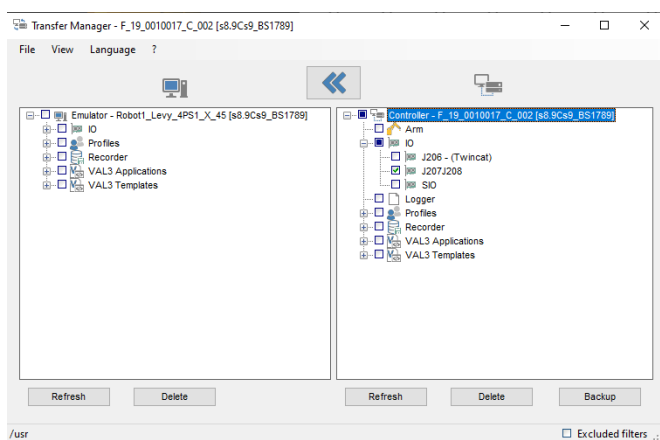
- PickValecku
- SafePozice
- BodPredani

V Robotu 2

- PlaceValecek
- SafePozice
- BodPredani

8.3.2 Stáhnutí socketové komunikace

Nejprve je nutné z kontroléru robotů Staubli TX20-60 stáhnout odpovídající komunikační knihovnu, která zajistí podporu socketové komunikace v rámci PLC. Po úspěšném přenosu knihovny do projektového souboru je zapotřebí restartovat programové prostředí, aby se nové soubory propsaly do programu. Komunikační logika je realizována prostřednictvím signálů vstupů (Input) a výstupů (Output) obou robotů, jež přijímají hodnoty z PLC a zpětně je vyhodnocují v aplikačním kódu.



Obrázek 51 Stahování socketové komunikace

8.3.3 Programování

Pro úspěšné dokončení této úlohy je třeba využít znalosti získané v předchozích cvičeních a aplikovat je na synchronizaci dvou robotů. U této aplikace je nutno využít cykly typu : for, while

Cyklus for je navržen tak, že po každém vykonání cyklu se přičte do vytvořené proměnné 1 a tím je program schopen posunout Pick/Place místo o další index – (robot dá váleček na jiné předem definované místo)

- Cyklus začíná přiřazením počáteční hodnoty (v tomto příkladu nPocetOpakovani = 0). Tato hodnota odkazuje na první prvek v poli pozic.
- Před každým průchodem se vyhodnotí podmínka nPocetOpakovani < N (kde N je celkový počet definovaných pozic). Díky tomu program ví, kdy má cyklus zastavit – když i dosáhne hodnoty N, žádná další pozice už neexistuje.

- V každé iteraci se robot pomocí funkce `move1(...)` přemístí na souřadnice aktuální pozice `move1(pPickPozice[nPocetOpakovani],tTool,mNomspeed)` a poté vykoná operaci uchopení či odložení součástky.

Ukázka kódu `for`:

```
for nPocetOpakovani = 0 to 10 step 1
    move1(pPickPozice[nPocetOpakovani],tTool,mNomspeed)
endFor
```

Princip cyklu `while` je založen na opakovaném vykonávání bloku instrukcí tak dlouho, dokud je splněna určena logická podmínka. Na rozdíl od cyklu `for`, kde je řízení iterace pevně spojeno s inkrementací řídicí proměnné, `while` poskytuje větší flexibilitu v podobě libovolně složitých podmínek a řízení jejich změny uvnitř těla cyklu.

- Před vstupem do cyklu musí být definován a inicializován stav, který bude sloužit pro vyhodnocení podmínky (`Opakovani = true`).
- Při každém průchodu před tělem cyklu se zkontroluje hodnota výrazu v závorce za slovem `while`. Je-li výraz `true`, provede se tělo cyklu; je-li `false`, cyklus končí a řízení programu pokračuje následující instrukcí mimo cyklus.

Ukázka kódu `while`, který se provede pouze jednou:

```
Opakovani = true
While (Opakovani)
    *kod*
    Opakovani = false
endWhile
```

Princip fungování komunikace:

```
aioSet(aKomunikace_R1[1],900)
```

zapisuje do komunikačního bufferu `aKomunikace_R1` na výstupním portu (index 1) hodnotu 900. Tento číselný kód jsme si libovolně definovali jako signál, na jehož přijetí bude čekat druhý robot. Na straně robotu 2 pak používáme programový blok

```
Wait(aioGet(aKomunikace_R2[0]) == 900)
```

kde funkce aioGet čte ze vstupního portu (index 0) bufferu aKomunikace_R2 a příkaz Wait drží druhého robota v zablokováném stavu, dokud nepřijme přesně tento signál. Díky tomu je zajištěna přesná synchronizace obou jednotek: robot 1 nejprve odešle signál, a teprve poté, co robot 2 detekuje hodnotu 900, pokračuje ve své další činnosti.

8.3.4 Vytvoření interface

Pro ovládání robota nejprve je potřeba vytvořit uživatelské rozhraní - interface, který bude odkazovat na vytvořené podprogramy, ukazovat status robota, v jaké činnosti se právě nachází. Dále spuštění programu a stop program. Součástí ovládacího panelu by mělo být i tlačítko pro návrat do tzv. „home pozice“, tedy předem definované bezpečné polohy robota. Tato poloha by měla být navržena tak, aby se při jejím dosažení robot vyhnul kolizím s paletami či jinými objekty v pracovním prostoru.

Interface robotů je vhodné vytvořit tak, aby jeden kontroler byl nadřazený a druhý podřazený. Když se zapne program na jednom automaticky se spustí program i na druhém.



Obrázek 52 Intefrace robotu – R1



Obrázek 53 Interface robotu – R2

8.3.5 Spuštění a naučení nových bodů

Nahrajte program do obou robotických ramen. Nyní je třeba, aby se naučily body, které budou odpovídat reálným souřadnicím v pracovním prostoru, a tyto body následně odzkoušet, aby nedošlo ke kolizím. Výsledek by měl být takový, že roboty si předají válečky, které jsou na paletě. Vždy v místě předání čeká robot na druhého, aby byly koordinovány.

8.4 Zhodnocení

Studenti nejprve získají základní dovednosti v práci se softwarem Sätubli Robotics Suite: seznámí se s uživatelským rozhraním a importují modely prostředí společně s kalibračním hrotem. Následně definují pevný kalibrační bod v robotickém pracovišti a pomocí něj uloží parametry, jež dovolí přesné sjednocení souřadných systémů mezi digitálním modelem a reálným robotem, čímž vytvoří plnohodnotné digitální dvojče. Tento krok je zásadní pro ověření přesnosti kalibrace a nastavení prostředí před praktickými úkoly.

V další fázi studenti sestaví 3D tištěnou paletizační podložku s nastavitelným úhlem a naprogramují robot tak, aby přenášel 3D tištěné válce z jedné strany palety na druhou. Při této úloze se naučí pracovat s různými souřadnými systémy a využívat souřadný systém FRAME. Díky variabilnímu úhlu podložky jsou studenti nuceni přeučít souřadnice FRAMU a správně zvolit referenční rámec, což vede k jejich porozumění tomu, jak robot vnímá a manipuluje v trojrozměrném prostoru.

V pokročilé úloze studenti navrhnu a implementují komunikační logiku s PLC pro koordinaci dvou nezávislých robotů. První robot zvedne váleček z jedné strany palety a předá jej ve zvoleném předávacím bodě druhému robotu, který jej poté umístí na cílové místo. Tento úkol vyžaduje synchronizaci trajektorií obou robotů v čase i prostoru, přičemž studenti musí zajistit, aby se jejich pracovní dráhy nepřekrývaly. Nejdůležitějším prvkem je bezpečnostní mechanismus: PLC musí povolit pohyb druhého robotu až poté, co první dosáhne bezpečné pozice, a zároveň zabránit spuštění zpětného pohybu dříve, než je první robot mimo kolizní zónu.

9 DISKUSE

Navržený koncept výukových úloh se dvěma šestiosými roboty Stäubli TX2-60 ověřilo propojení teoretických znalostí z oblasti Průmyslu 4.0 s praktickými dovednostmi studentů. Studenti se naučí nejenom základní operace, jako je kalibrace nástroje a tvorba digitálního dvojčete, ale i složitější úlohy typu pick & place nebo kooperace více robotů.

Zpětná vazba od studentů i vyučujících potvrzuje, že praktická cvičení vedla ke zřetelnému zlepšení povědomí o programování a práci s reálnými průmyslovými roboty. Studenti zároveň získali praktickou zkušenost se skutečným řídicím systémem, což významně posílilo jejich dovednosti v programování robotu v jazyku VAL3 a propojení robotu.

Modulární stavebnice LEGO Mindstorms a VEX Robotics jsou obecně považovány za vhodný úvod do robotiky a logického myšlení. Diplomová práce však ukazuje, že jejich překlenutí ke skutečným průmyslovým aplikacím je omezené. Naopak srovnávací studie komerčně dostupných robotů (ABB IRB 1200/1300, KUKA KR Agilus, FANUC LR Mate, coboty Universal Robots) potvrdila, že roboty Stäubli nabízí nejlepší poměr výkonu a flexibility.

Mezi hlavní výhody patří modulární struktura výukových úloh, která umožňuje postupné zvyšování obtížnosti – od kalibračních cvičení přes pick & place úlohy až po komplexní kooperaci dvou robotů. Implementace digitálního dvojčete v Stäubli Robotics Suite a jeho synchronizace s reálným robotem během výuky umožnila studentům bezpečně testovat a ladit programy dříve, než je spustí na skutečném zařízení. To nejen zrychlilo ladicí proces, ale také snížilo riziko chyb a poškození zařízení.

Další úloha byla koncepčně navržena jako komplexní úloha s propojením PLC s dopravníkovým systémem. Vzhledem k vysoké komplexnosti již existujícího PLC programu a absenci předchozích praktických zkušeností s jeho strukturou a jazykem nebylo však možné úlohu plně implementovat ani detailně analyzovat jeho kód.

Integrace reálných robotů do výuky by mohla být doplněna o další zařízení v oblasti průmyslové automatizace, robotiky a PLC. Práce by šla rozšířit o pokročilé scénáře, jako je strojové učení pro vizuální inspekci dílů, při využití integrovaných 3D kamer a senzorů. Další možné zlepšení by bylo sledovat dlouhodobý dopad této formy výuky na profesní uplatnění absolventů – například formou studie. Rozšíření srovnávací studie o nejnovější kolaborativní robotické systémy by pak pomohlo udržet výukové pracoviště v souladu s rychle se vyvíjejícími průmyslovými standardy.

Diskuse potvrdila, že navržené pracoviště představuje významný krok pro zlepšení vzdělávání v oblasti mechatroniky a automatizace. Koncept úloh spočívá v propojení simulace, reálného hardware a strukturovaných úkolů, které společně podporují aktivní učení a připravují studenty na reálné požadavky moderního Průmyslu 4.0. Implementace robotického pracoviště Stäubli TX2-60 tak otevírá cestu k dalšímu rozvoji pokročilých výukových metod a přispívá k formování kompetentních odborníků.

ZÁVĚR

V diplomové práci byl navržen a ověřen koncept výukového pracoviště se dvěma šestiosými průmyslovými roboty Stäubli TX2-60, jehož hlavním cílem bylo propojit teoretické poznatky z oblasti automatizace a robotiky s praktickými dovednostmi studentů.

V teoretické části byl popsán vývoj průmyslu od jeho počátků až po současný koncept Průmyslu 4.0, jednotlivé typy průmyslových robotů, softwarové platformy a programovací jazyky využívané pro jejich řízení. Softwarové platformy a programovací jazyky, zejména Python, C++/C# a MATLAB, a jejich uplatnění při vývoji řídicích algoritmů, doplněné o přehled simulačních nástrojů (Siemens Tecnomatix, ABB RobotStudio, FANUC ROBOGUIDE, KUKA AppTech). Součástí řešení byly také pedagogické aspekty využití robotů ve výuce, které ukázaly, že modulární stavebnice jako LEGO Mindstorms či VEX Robotics představují vhodný úvod do logického myšlení a programování, avšak plné využití potenciálu moderních robotů umožní studentům až praktická práce s reálnými roboty.

V praktické části byla provedena srovnávací studie komerčně dostupných řešení (ABB IRB, KUKA KR, FANUC LR, Universal Robots), na jejímž základě byl vybrán robot Stäubli TX2-60 jako optimální platforma pro univerzitní výuku díky jeho přesnosti, nosnosti a bezpečnostním prvkům.

Následně byl detailně navržen koncept pracoviště v robotické laboratoři Fakulty Aplikované Informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, který zahrnoval uspořádání, výběr řídicího systému, instalaci ochranných prvků i implementaci digitálního dvojčete. Součástí návrhu byl také soubor výukových úloh – od kalibrace a tvorby digitálního dvojčete, přes aplikace typu pick & place, až po kooperaci mezi roboty a komunikaci s PLC –, jež studenti budou realizovat na reálných robotech.

Pilotní ověření ukázalo, že tento postup výrazně zvyšuje praktické kompetence studentů v oblasti průmyslové automatizace a robotiky. Na základě získaných zkušeností je možné robotické pracoviště dále rozšířit spektrum úloh o pokročilé scénáře, jako je víceosá interpolace či strojové učení pro vizuální inspekci, a kromě toho integrovat do výukového pracoviště i další komponenty (senzory, kolaborativní roboty).

Celkově práce prokázala, že navržené výukové pracoviště se šestiosými roboty Stäubli TX2-60 efektivně propojuje teorii s praxí, podporuje aktivní učení a připravuje studenty na požadavky moderního průmyslu 4.0. Jeho implementace představuje významný krok k inovativnímu vzdělávání v oblasti mechatroniky a automatizace.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BRITANNICA. *History of Technology*. Online. BRITANNICA. History of Technology. 2025. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/history-of-technology>. [cit. 2025-04-22].
- [2] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Online. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [3] *Industrial Revolution*. Online. In: Britanica. 2025. Dostupné z: <https://www.britannica.com/event/Industrial-Revolution>. [cit. 2025-04-26].
- [4] *Industry 1.0 to 4.0: How Industry & Factory Automation have Evolved*. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.ledcontrols.co.uk/blog/industry-1-0-to-4-0-how-industry-factory-automation-have-evolved/>. [cit. 2025-04-26].
- [5] *Industrial Revolution 4.0*. Online. In: EFFINGHAM Centre of technology. Dostupné z: https://www.ecot.com.my/industry4_0.html. [cit. 2025-04-26].
- [6] *Industry 1.0 to 4.0*. Online. 2023. Dostupné z: <https://sustainability-success.com/industry-1-0-to-4-0-2-3-revolution/>. [cit. 2025-04-26].
- [7] LENARČIČ, Jadran a HUSTY, Manfred (ed.). *Latest advances in robot kinematics*. Online. Dordrecht: Springer, [2012]. ISBN 978-94-007-4619-0.
- [8] ROBOTEC. *6 types of industrial robots*. Online. Dostupné z: <https://robotec.org/blog/types-of-industrial-robot.html>. [cit. 2025-04-26].
- [9] *Different Types of Industrial Robots*. Online. Dostupné z: <https://processsolutions.com/what-are-the-different-types-of-industrial-robots-and-their-applications/>. [cit. 2025-04-26].
- [10] *Industrial Robots: Types and different applications*. Online. Dostupné z: <https://www.anzocontrols.com/robot/types-of-industrial-robots-and-applications/>. [cit. 2025-04-26].
- [11] *Kloubový robot*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD-elektrick%C3%BDm-obloukem/arcmate-100id>. [cit. 2025-04-26].
- [12] *Types of Industrial Robots*. Online. Dostupné z: <https://ethosautomation.com/general/types-of-industrial-robots>. [cit. 2025-04-26].
- [13] *Evsint - Scara robot*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.evsint.com/wp-content/uploads/2020/08/SCARA-robot-1.jpg>. [cit. 2025-04-26].
- [14] *Cerexio - Cylindrický robot*. Online. In: . Dostupné z: <https://cerexio.com/wp-content/uploads/2021/08/Cylindrical.png>. [cit. 2025-04-26].
- [15] ABB. *Autonomní mobilní roboty (AMR)*. Online. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/autonomni-mobilni-roboty>. [cit. 2025-04-26].
- [16] KUKA. *Mobilní roboty KUKA*. Online. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty%2C-slu%C5%BEby/amr-autonomni-mobilni-robotika/mobiln%C3%AD-roboty>. [cit. 2025-04-26].

- [17] *Bosch company , mobilní robotika*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.boschrexroth.com/cs/cz/produkty/skupiny-produktu/mobilni-robotika/>. [cit. 2025-04-26].
- [18] LEGO. *Lego mindstorms*. Online. Dostupné z: https://www.lego.com/cs-cz/themes/mindstorms/app?icmp=LP-SHTB-Standard-Mindstorms_About_TB_App-TH-MD-4P8TD9NOCE. [cit. 2025-04-26].
- [19] *Botland - LegoMindstorms*. Online. In: . Dostupné z: <https://botland.cz/stazene-produkty/449-lego-mindstorms-nxt-20-8547-startovaci-sada.html>. [cit. 2025-04-26].
- [20] VEXCODE. *VEX Robotics*. Online. Dostupné z: <https://www.vexrobotics.com/vexcode>. [cit. 2025-04-26].
- [21] *Vexrobotics*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.vexrobotics.com/v5-competition-starter-kit.html>. [cit. 2025-04-26].
- [22] *Ozobot*. Online. Dostupné z: <https://ozobot.com/>. [cit. 2025-04-26].
- [23] *Insplay - ozobot*. Online. In: . Dostupné z: https://www.insplay.eu/en_US/shop/product/ozo-50102bit-ozobot-bit-robot-entry-kit-9738. [cit. 2025-04-26].
- [24] *FA - VUT*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.fa.vutbr.cz/pages/prispevek.aspx?ID=3766&lang=cz>. [cit. 2025-04-26].
- [25] *Idnes -kobot*. Online. In: . Dostupné z: https://www.idnes.cz/olomouc/zpravy/robot-stredni-skola-remesel-vyuka-svarovani.A210915_626990_olomouc-zpravy_hrs. [cit. 2025-04-26].
- [26] *Střední škola AGC*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.skola-agc.cz/aktuality/stredni-skola-agc-odhalila-roboticke-pracoviste>. [cit. 2025-04-26].
- [27] *Jak programovat roboty?* Online. Dostupné z: <https://vaseprojekty.cz/jak-programovat-roboty/>. [cit. 2025-04-26].
- [28] CRAIG, John J. *Introduction to robotics: mechanics and control*. Online. Third edition. Always learning. Harlow: Pearson, [2014]. ISBN 978-1-292-04004-2.
- [29] *Abb RobotStudio*. Online. In: . Dostupné z: <https://new.abb.com/news/cs/detail/98160/abb-robotstudior-prechazi-do-cloudu-a-umoznuje-sdilenou-spolupraci-online>. [cit. 2025-04-26].
- [30] *Off-line programování*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.blumenbecker.com/cz/automatizace/prumyslove-roboty/offline-programovani>. [cit. 2025-04-26].
- [31] *Best Programming Languages for Robotics Development*. Online. Dostupné z: <https://www.analyticsinsight.net/robotics/best-programming-languages-for-robotics-development>. [cit. 2025-04-26].
- [32] *Top 7 programming languages used to build robots*. Online. Dostupné z: <https://roboticsbiz.com/top-7-programming-languages-used-to-build-robots/>. [cit. 2025-04-26].
- [33] *Top 8 Robotic Programming Languages*. Online. Dostupné z: <https://builtin.com/robotics/robotic-programming-language>. [cit. 2025-04-26].
- [34] *Python - programování*. Online. In: . Dostupné z: <https://github.com/RoboDK/RoboDK-API/blob/master/Python/readme.md>. [cit. 2025-04-26].

- [35] *Matlab programming*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/robotics/ug/model-and-control-a-manipulator-arm-with-simscape.html>. [cit. 2025-04-26].
- [36] *Tecnomatix Robotics – programujte průmyslové roboty rychle a snadno*. Online. 2017. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25844n-tecnomatix-robotics-programujte-prumyslove-roboty-rychle-a-snadno>. [cit. 2025-04-26].
- [37] *Siemens*. Online. In: . Dostupné z: <https://blogs.sw.siemens.com/tecnomatix/process-simulate-how-to-create-more-attachments-for-robot-cables/>. [cit. 2025-04-26].
- [38] *ABB robotics*. Online. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics>. [cit. 2025-04-26].
- [39] *Abb Robot Studio*. Online. In: . Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/software-a-digital/robotstudio/robotstudio-desktop>. [cit. 2025-04-26].
- [40] FAUNC. *Fanuc Roboguide*. Online. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu>. [cit. 2025-04-26].
- [41] *Fanuc RoboGuide*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.robotforum.com/robotforum/thread/44669-in-roboguide-robot-can-not-reach-positions-less-than-j1-approximately-70-degrees/>. [cit. 2025-04-26].
- [42] *Kuka AppTech*. Online. Dostupné z: https://www.kuka.cn/en-cn/products/robotics-systems/software/simulation-planning-optimization/kuka_usertech. [cit. 2025-04-26].
- [43] *Kuka*. Online. In: . Dostupné z: https://www.kuka.cn/en-cn/products/robotics-systems/software/simulation-planning-optimization/kuka_usertech. [cit. 2025-04-26].
- [44] STAUBLI. *TX2-60 industrial robot*. Online. Dostupné z: <https://www.staubli.com/global/en/robotics/products/industrial-robots/tx2-60.html>. [cit. 2025-05-26].
- [45] ABB. *Průmyslové roboty*. Online. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/roboty>. [cit. 2025-05-26].
- [46] KUKA. *Průmyslové roboty firmy KUKA*. Online. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%5%beby/robotick%5%a9-syst%5%a9my/pr%5%afmyslov%5%a9-roboty>. [cit. 2025-05-26].
- [47] FANUC. *Průmyslové roboty FANUC*. Online. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty>. [cit. 2025-05-26].
- [48] UNIVERSAL ROBOTS. *Universal robots*. Online. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/produkty/robot-ur3e/>. [cit. 2025-05-26].
- [49] *Beckhoff*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/de-de/produkte/ipc/control-panels/cp6xxx-cp7xxx-singletouch-control-panels/cp6900-0001-0010.html>. [cit. 2025-05-26].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Manufaktura [3].....	16
Obrázek 2 Parní stroj [5].....	17
Obrázek 3 Pásová výroba [5].....	18
Obrázek 4 Svařovací roboty [5].....	20
Obrázek 5 Internet věcí – IoT [5].....	21
Obrázek 6 Kartézský robot [8].....	22
Obrázek 7 Kloubový robot [11].....	23
Obrázek 8 Robot delta [8].....	24
Obrázek 9 Robot SCARA [13].....	24
Obrázek 10 Cylindrický robot [14].....	25
Obrázek 11 Mobilní robot [17].....	26
Obrázek 12 Robotické pracoviště UTB Zlín.....	27
Obrázek 13 Lego mindstorms [19].....	28
Obrázek 14 Vex Robotics [21].....	29
Obrázek 15 Ozobot [23].....	30
Obrázek 16 Robotické pracoviště na VUT v Brně [24].....	31
Obrázek 17 Robotické pracoviště ve střední škole řemesel [25].....	32
Obrázek 18 Robotické pracoviště ve střední škole AGC [26].....	33
Obrázek 19 Online programování [29].....	35
Obrázek 20 Virtuální off-line programování [30].....	36
Obrázek 21 Python programování [34].....	37
Obrázek 22 Matlab programování [35].....	38
Obrázek 23 Siemens simulation [37].....	40
Obrázek 24 ABB Robot Studio [39].....	41
Obrázek 25 Fanuc Roboguide [41].....	42
Obrázek 26 Kuka programování [43].....	43
Obrázek 27 Robot Stäubli TX2-60 UTB Zlín.....	45
Obrázek 28 Robotické pracoviště UTB Zlín.....	54
Obrázek 29 PLC – Beckhoff[49].....	55
Obrázek 30 Kalibrace robotu.....	56
Obrázek 31 Rozvržení robotického pracoviště pro úlohy.....	56
Obrázek 32 Aplikace v praxi – předávání válečků.....	57
Obrázek 33 Robotické pracoviště ve virtuálním prostředí.....	58
Obrázek 34 Rozvržení úloh robotického pracoviště.....	59

Obrázek 35 Robotické pracoviště ve virtuálním prostředí	60
Obrázek 36 Program Stäubli Robotics Suite	62
Obrázek 37 Import gripperu do virtuálního prostředí.....	62
Obrázek 38 Kalibrace TCP	63
Obrázek 39 Gripper upnut na robot	64
Obrázek 40 3D model kalibračního hrotu.....	65
Obrázek 41 Kalibrační hrot upnut do gripperu	65
Obrázek 42 3D model základny po importu do virtuálního prostředí	66
Obrázek 43 Prostředí pro nahrávání programu do robotu	66
Obrázek 44 Zkalibrované virtuální prostředí.....	68
Obrázek 45 World Frame	70
Obrázek 46 User Frame	70
Obrázek 47 Tool Frame před umístěním gripperu.....	71
Obrázek 48 Tool Frame po umístění gripperu.....	71
Obrázek 49 Porovnání pohybů robotu	73
Obrázek 50 Grafické prostředí pro vytvoření interface	74
Obrázek 51 Stahování socketové komunikace	76
Obrázek 52 Intefrace robotu – R1.....	78
Obrázek 53 Interface robotu – R2.....	79

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

TCP Tool Center Point

PLC Programmable Logic Controller

IoT Internet of Things

ROS Robot Operating System

DOF Degrees of Freedom

SRS Stäubli Robotics Suite