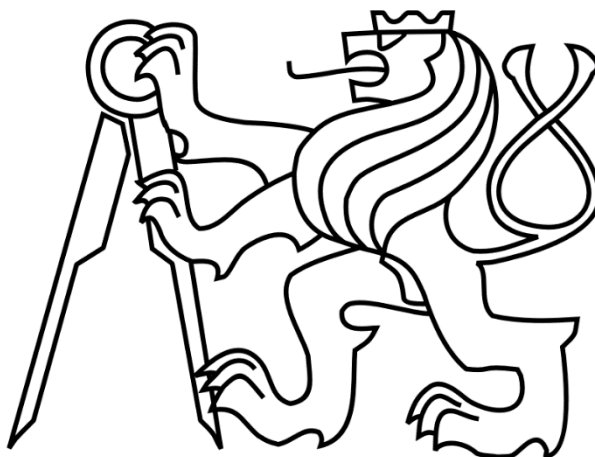


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Diplomová práce

Návrh pracoviště se dvěma kolaborativními roboty

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jochman** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **459862**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**
Studijní program: **Průmysl 4.0**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh pracoviště se dvěma kolaborativními roboty

Název diplomové práce anglicky:

Design of a workplace with two collaborative robots

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Návrh pracoviště pro přípravu nápojů využívající dva kolaborativní roboty. Součástí je analýza současného řešení s jedním kolaborativním robotem, optimalizace produktivity formou využití dvou robotů a analýza možnosti využití mobilní platformy; Osnova práce: 1) Rešerše v oblasti kolaborativních robotů a možnosti jejich spolupráce (včetně možnosti propojení s mobilní platformou), 2) Analýza stávajícího řešení pracoviště pomocí jednoho robotu, 3) Koncepční návrh nového řešení pomocí dvou kolaborativních robotů, 4) Simulační studie pracoviště, 5) Robotické programy a externí řízení, 6) Testování; Rozsah grafické části: schémata zapojení, vývojový diagram funkce pracoviště; Rozsah textové části: 60-80 stran;

Seznam doporučené literatury:

HOUŠA, Jaromír. Stavba výrobních strojů II. Dot. Praha: České vysoké učení technické, 1994.; Firemní dokumentace KUKA [online]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz>;

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jiří Švéda, Ph.D., ústav výrobních strojů a zařízení FS

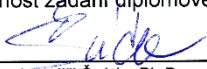
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

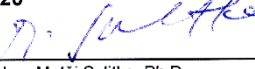
Ing. Pavel Burget, Ph.D., Testbed CIIRC

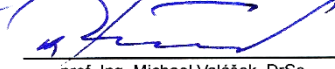
Datum zadání diplomové práce: **28.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **19.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2020**


Ing. Jiří Švéda, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

28.04.2020
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 19. 7. 2020

.....

Bc. Tomáš Jochman

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Švédovi, Ph.D. a Ing. Pavlu Burgetovi, Ph.D. za odborné rady a poznámky. Dále bych chtěl také poděkovat Českému institutu informatiky, robotiky a kybernetiky za umožnění podílení se na tomto velice zajímavém projektu. Díky patří i mé rodině a nejbližším za podporu při studiu.

Anotace

Autor:	Bc. Tomáš Jochman
Název diplomové práce:	Návrh pracoviště se dvěma kolaborativními roboty
Rozsah práce:	107 str., 78 obr., 26 tab.
Akademický rok:	2020
Škola:	ČVUT – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí:	Ing. Jiří Švéda, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Pavel Burget, Ph.D.
Zadavatel:	ČVUT – Fakulta strojní
Klíčová slova:	Kolaborativní robot, kolaborativní koncový efektor, robotický bar, PLC
Anotace:	Diplomová práce se zabývá návrhem pracoviště pro přípravu nápojů pomocí dvou kolaborativních robotů. Součástí práce je také analýza současného řešení s jedním kolaborativním robotem, optimalizace produktivity formou využití dvou robotů a analýza možnosti využití mobilní platformy.

Annotation

Author:	Bc. Tomáš Jochman
Title of diploma thesis:	Design of a workplace with two collaborative robots
Extent:	107 p., 78 fig., 26 tab.
Academic year:	2020
University:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 – Department of Production Machines and Equipment
Supervisor:	Ing. Jiří Švéda, Ph.D.
Consultant:	Ing. Pavel Burget, Ph.D.
Submitter of the theme	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Key words:	Collaborative robot, collaborative end effector, robotic bar, PLC
Annotation:	This diploma thesis deals with the design of a workplace for the preparation of beverages using two collaborative robots. Part of the work is also the analysis of the current solution with one collaborative robot, optimization of productivity in the form of the use of two robots and analysis of the possibility of using a mobile platform.

Obsah

1. Úvod	11
2. Cíle práce	12
3. Požadavky pro návrh kolaborativního robotického pracoviště	13
3.1. Definice pojmů	14
3.2. Proces navrhování kolaborativního robotického pracoviště	15
3.3. Identifikace nebezpečí a posouzení rizika pro kolaborativní systém robotu.....	17
3.3.1. Návrh uspořádání kolaborativního systému robotu	18
3.3.2. Posouzení rizika kolaborativního systému robotu.....	19
3.4. Bezpečnostní požadavky a ochranná opatření systému robotu	19
3.5. Požadavky pro kolaborativní systém robotu	22
3.5.1. Návrh operace kolaborativního robotu.....	22
3.5.2. Kolaborativní operace.....	22
3.6. Požadavky na ověření a validace kolaborativního systému robotu	26
4. Využití robotů pro výrobu nápojů	27
4.1. Podobná robotická pracoviště	27
4.2. Výrobci kolaborativních robotů	31
4.2.1. Aubo	31
4.2.2. Bosch.....	32
4.2.3. Doosan	32
4.2.4. Elephant Robotics	33
4.2.5. Fanuc.....	33
4.2.6. Kuka	34
4.2.7. Mitsubishi Robotics.....	34

4.2.8. Nachi	35
4.2.9. Neuromecka	35
4.2.10. Omron.....	36
4.2.11. Staubli.....	36
4.2.12. Universal Robots	37
4.2.13. Yaskawa	37
4.3. Výrobci mobilních platform	38
4.3.1. Aubo	38
4.3.2. KUKA.....	39
4.3.3. Staubli.....	39
4.3.4. Yaskawa	40
4.4. Výrobci efektorů pro kolaborativní roboty	40
4.4.1. Pneumatické efektory Festo	41
4.4.2. Elektrické efektory ONROBOT	42
4.4.3. Elektrický efektor ROBOTIQ.....	43
4.4.4. Elektrický efektor SCHUNK	44
4.4.5. Elektrický efektor WEISS	44
4.4.6. Elektrický efektor ZIMMER	45
5. Analýza stávajícího řešení „Robobar“	46
5.1. Popis pracovního cyklu	46
5.2. Analýza výrobního procesu.....	47
5.3. Analýza řídicího systému	49
5.4. Požadavky na nový návrh	50
6. Návrh nového pracoviště	51
6.1. Koncepční návrhy	51

6.2. Specifikace robotického pracoviště	52
6.2.1. Kolaborativní roboty Kuka LBR iiwa 14 R820	53
6.2.2. Koncové kolaborativní efekторы Schunk CO-ACT EGL-C	54
6.2.3. Mobilní platforma Kuka KMR iiwa 14 R820	55
6.3. Uspořádání kolaborativního pracoviště	56
6.4. Simulace výrobních procesů	57
6.4.1. Modelování pracoviště	58
6.4.2. Tvorba operací	60
6.4.3. Výstup simulace	61
6.5. Programování robotů	62
6.5.1. Importování pozic ze simulace do robotu	62
6.5.2. Nastavení hardwarové konfigurace robotů	63
6.5.3. Programování robotů	66
6.6. Řídicí systém.....	70
6.6.1. Konfigurace robotů a koncových efektorů.....	73
6.6.2. Konfigurace bezpečnostních programů	76
6.6.3. Konfigurace panelů HMI	77
6.6.4. Konfigurace synchronního servomotoru	78
6.6.5. Konfigurace krokových motorů	80
6.6.6. Konfigurace laserového skeneru	83
6.6.7. Konfigurace ostatních zařízení	85
6.6.8. OPC UA komunikace.....	85
6.7. Propojení s mobilní platformou.....	88
6.8. Testování	89
7. Závěr	94

Seznam použité literatury.....	97
Seznam použitých softwarů	100
Seznam obrázků	101
Seznam tabulek	103
Seznam příloh	104

1. Úvod

Diplomová práce se věnuje problematice kolaborativních robotů. Roboty budou v tomto řešení částečně spolupracovat mezi sebou a zároveň i s lidmi. Původní pracoviště nazvané „Robobar“ vyrábělo nápoje pomocí jednoho kolaborativního robotu. Toto řešení ukázalo po delší době provozu řadu nedostatků. Jedním z nich byla například dlouhá čekací doba na objednaný nápoj. Občas došlo také k selhání některé z částí výrobního procesu.

Ze strany zadavatele práce vznikl seznam požadavků, které mají být v novém řešení splněny. Důraz bude dále kladen na zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti nového pracoviště. Pozornost bude také věnována designovému pojetí celého konceptu. Toto pracoviště poté bude určeno pro prezentační účely v Testbedu Průmyslu 4.0 v Českém institutu informatiky, robotiky a kybernetiky, který je součástí Českého vysokého učení technického v Praze.

Tento projekt realizuje právě Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky sídlící v Praze 6. Vzhledem k tomu, že již na světě bylo několik podobných robotických pracovišť zprovozněno pro komerční účely, bude dbáno na unikátnost nového řešení a zároveň na dobrý vizuální efekt pro osoby, které s ním přijdou do kontaktu.



Obr. 1 – Původní řešení „Robobar“

2. Cíle práce

Práci lze strukturovat dle vymezených hlavních cílů do následujících bodů:

- Technologická charakteristika – rešerše všech důležitých dosavadně známých poznatků k problematice kolaborativních robotů z různých relevantních zdrojů informací (jelikož se stále jedná o poměrně novou problematiku).
- Stav řešené problematiky – rešerše popisující současný stav dané problematiky robotických pracovišť s podobnou aplikací v České republice a ve světě společně s průzkumem trhu s kolaborativními roboty, mobilními platformami a s koncovými efekty pro kolaborativní roboty.
- Analýza stávajícího řešení „Robobar“ – analýza zahrnující popis pracovního cyklu, analýzy výrobního procesu, analýzy řídicího systému a požadavky pro nové řešení.
- Vlastní řešení práce – skládá se z několika částí, které zahrnují výběr komponent, koncepční návrhy pracovišť, konkrétní specifikace robotického pracoviště, tvorbu simulací, programování robotů a programovatelného logického automatu (PLC) a testování.
- Závěr – v závěru je zhodnoceno splnění cílů práce, uvedeno uplatnění řešení v praxi a uvedení dalších možností řešení a návazností.

3. Požadavky pro návrh kolaborativního robotického pracoviště

Kolaborativní robotika existuje zhruba 10 let, z toho posledních 5 let byla této oblasti věnována větší pozornost ze strany výrobců průmyslových robotů. Jako u většiny průmyslových zařízení je daná problematika regulována Mezinárodní organizací pro normalizaci, která vydala řadu bezpečnostních norem.

Norma ISO 10218 pro roboty a robotická zařízení byla vytvořena na základě faktu, že průmyslové roboty a průmyslové systémy robotů představují závažná nebezpečí. Tato nebezpečí lze většinou dobře rozpoznat, ale pro jednotlivé systémy robotů jsou zdroje těchto nebezpečí odlišná. Povaha automatizačního procesu a komplexnost instalace určují počet a typ jednotlivých nebezpečí. Rizika spojená s těmito nebezpečími se poté liší podle typu robotu, způsobu instalace, programování, provozu a údržby. První část normy ISO 10218-1 se týká zajištění bezpečnosti při návrhu a konstrukci robotu. Druhá část normy ISO 10218-2 udává návody pro bezpečnostní ochranu obsluhy během integrace robotu, instalace, funkčního zkoušení, programování, provozu, údržbě a opravách. Bezpečnost při použití průmyslových robotů je ovlivněna konstrukcí a aplikací konkrétní integrace systému robotu. [1]

Tab. 1 – Přehled norem uplatňovaných při posuzování bezpečnosti pracovišť s roboty [2]

ČSN EN ISO 12100 (83 3001)	<i>Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika</i>
ČSN EN ISO 13849-1 (83 3205)	<i>Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci</i>
ČSN EN ISO 13850 (83 3311)	<i>Bezpečnost strojních zařízení – Nouzové zastavení – Zásady pro konstrukci</i>
ISO 14118	<i>Safety of machinery – Prevention of unexpected start-up (neharmonizovaná; jako ČSN nepřevzata)</i>
ČSN EN ISO 13857 (83 3212)	<i>Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami</i>
ČSN EN ISO 13855 (83 3303)	<i>Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla</i>
ČSN EN ISO 10218-1 (18 6502)	<i>Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 1: Roboty</i>
ČSN EN ISO 10218-2 (18 6502)	<i>Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 2: Systémy robotů a integrace</i>

Technická specifikace ISO TS 15066 doplňuje obě části normy ISO 10218 o provozní funkce kolaborativních robotů a jejich problematiku (opět z hlediska bezpečnosti). V komisi, která je autorem této normy, jsou zastoupeni přední výrobci průmyslových kolaborativních robotů. Konkrétně se jedná o firmy ABB, Denso, Fanuc, Kuka, Rethink Robotics, Universal Robots a Yaskawa. Výrobky uvedené v rešerši robotů této diplomové práce jsou ve shodě s touto technickou specifikací. Technická specifikace slouží jako soubor informací a doporučení pro konstruktéry robotů a robotických pracovišť. Do budoucna se počítá s tím, že se podstatné části této technické specifikace stanou součástí normy ISO 10218. [2]

3.1. Definice pojmů

Pro řešení problematiky kolaborativní a průmyslové robotiky je nutné nejprve upřesnit používané pojmy. Níže uvedené pojmy jsou z pohledu návrhu robotického pracoviště důležité:

- Automatický provoz – stav, kdy robot vykonává svůj naprogramovaný úkol podle záměru bez potřebného zásahu operátora.
- Bezpečnostní měkká mez – mez umístěná do rozsahu pohybu robotu pomocí softwaru nebo firmwaru s dostatečnou bezpečnostní vlastností.
- Buňka průmyslového robotu – jeden nebo více systémů robotu včetně přidruženého stroje, zařízení, přidruženého zabezpečeného prostoru a ochranných opatření.
- Distanční ochranný kryt – ochranný kryt zabraňující nebo účinně omezující přístup svými rozměry a vzdáleností od nebezpečné zóny.
- Kolaborativní operace – stav, ve kterém záměrně navržený robotický systém a operátor pracují v rámci pracovního prostoru spolupráce.
- Koncový efektor – zařízení speciálně navržené pro připojení k mechanickému rozhraní, které robotu umožňuje vykonávat úkol.
- Kvazistatický kontakt – kontakt mezi operátorem a částí robotického systému, kde část těla operátora může být sevřena mezi pohyblivou částí robotického systému a jinou pevnou nebo pohyblivou částí robotického systému.

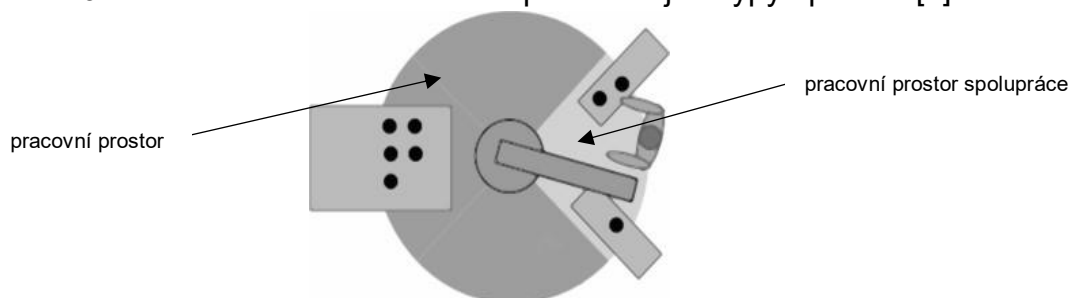
- Mezní prostor – část maximálního prostoru ohraničená limitujícími omezujícími zařízeními, které vytvářejí meze, které nebudou překročeny.
- Monitorovaná bezpečnostní rychlost – bezpečnostní funkce způsobující ochranné zastavení, pokud souřadnicová rychlost bodu vzhledem k přírubě robotu nebo rychlost jedné či více os převyší specifikovanou mez hodnoty.
- Nástrojový střed (TCP – Tool Center Point) – bod stanovený pro danou aplikaci ve vztahu k souřadnicovému systému mechanického rozhraní.
- Pracovní prostor spolupráce – pracovní prostor uvnitř zabezpečeného prostoru robotu, kde v průběhu výrobního provozu mohou robot a člověk provádět úkoly současně.
- Provozní spolupráce – stav, kdy účelově zkonstruované roboty pracují v přímé součinnosti s člověkem uvnitř stanoveného pracovního prostoru.
- Průmyslový systém robotu – skládá se z průmyslového robotu, koncového efektoru a jakéhokoliv strojního vybavení, zařízení, vnější pomocné osy nebo snímače podporující vykonávání úkolu robotu.
- Přejídný kontakt – kontakt mezi operátorem a částí robotického systému, kde část těla operátora není sevřená a může se vyprostit od pohyblivé části robotického systému.
- Singularita – nežádoucí stav robotu, kdy se spojená rychlost ve spojeném prostoru stane nekonečnou pro udržení souřadnicové rychlosti v osách, což může znamenat vysoké operátorem neočekávané rychlosti ramene robotu.
- Spolupracující (kolaborativní) robot – robot navržený pro přímou spolupráci s člověkem uvnitř uceleného pracovního prostoru spolupráce. [3] [4]

3.2. Proces navrhování kolaborativního robotického pracoviště

Každý návrh kolaborativního systému robotu potřebuje ochranná opatření k zajištění bezpečnosti operátora během celého procesu provozu kolaborativního robotu. Důležitá je tvorba analýzy rizik k identifikování nebezpečí a odhadu zbývajících rizik spojených s konkrétní aplikací použití kolaborativního

systému robotu. Klíčovou částí návrhu kolaborativního systému robotu je pak eliminace nebezpečí a snížení rizik. Při navrhování kolaborativního robotického pracoviště je doporučeno zvážit následující:

- Odhad pracovního prostoru spolupráce v trojrozměrném prostoru.
- Pracovní prostor spolupráce, přístup do něj a volný prostor:
 - Vymezení mezního a pracovního prostoru spolupráce,
 - Ostatní vlivy na pracovní prostor spolupráce,
 - Dostatek prostoru kolem přípravků, zařízení a vybavení,
 - Přístupnost pro operátora,
 - Vstupní a výstupní cesty výrobního procesu,
 - Nebezpečí spojené s pádem a uklouznutím.
- Ergonomie a kontakt operátora se systémem robotu:
 - Jasná obsluha a ovládání,
 - Nedostatek pozornosti ze strany operátora,
 - Chyba nebo nesprávné použití zařízení operátorem.
- Použití omezení:
 - Identifikace osob, které mohou mít přístup ke kolaborativnímu systému robotu,
 - Zamýšlené a potenciální nezamýšlené situace,
 - Zákaz přístupu osob kromě autorizovaných operátorů.
- Přechody:
 - Starty a konce kolaborativní operace,
 - Přechod z kolaborativních operací na jiné typy operací. [4]



Obr. 2 – Příklad kolaborativního pracoviště [4]

3.3. Identifikace nebezpečí a posouzení rizika pro kolaborativní systém robotu

Pro samotného robotu musí být provedena analýza nebezpečí, která určí a identifikuje jakákoliv nebezpečí, která se mohou vyskytovat. Proces identifikace nebezpečí by měl zahrnout alespoň tato možná nebezpečí:

- Nebezpečí spojená s robotem:
 - Zatížení, rychlost, síla, moment, výkon, geometrie, tvar povrchu a použitý materiál,
 - Vhodné nastavení podmínek kvazistatického kontaktu v robotu.
- Nebezpečí spojená se systémem robotu:
 - Nebezpečí koncového efektoru a výrobku – ostré hrany, ztráta výrobku, výčnělky a práce s výměníkem nástrojů,
 - Umístění a pohyb operátora vzhledem k umístění výrobku a identifikace nebezpečí spojených s výrobkem,
 - Určení typu kontaktu systému robotu s obsluhou (přechodný nebo kvazistatický kontakt) a určení částí těla operátora, které by mohly být zasáhnuty.
- Nebezpečí spojená s konkrétní aplikací charakterizující daný proces. [3]

Eliminace rizik je provedena vhodnou konstrukcí, bezpečnostní ochranou a dalšími doplňujícími opatřeními. Další zbytková rizika musí být snížena dalšími opatřeními, jako jsou například varování, značky nebo školení. Eliminaci rizik lze také zaručit ochrannými opatřeními, která zabraňují přístupu neoprávněných osob. Posouzení rizika musí vzít v úvahu zejména:

- Zamýšlené operace robotu,
- Neočekávané spuštění,
- Přístup osob ze všech směrů,
- Rozumně předvídatelné chybné užití robotu,
- Poruchu v ovládacím systému,
- Nebezpečí spojená se specifickou aplikací robotu. [4]

Mezi významná nebezpečí vyskytující se u robotů a systémů robotu patří mechanická nebezpečí, elektrická nebezpečí, tepelná nebezpečí, nebezpečí hluku, nebezpečí vibrací, nebezpečí materiálu či látky, ergonomická nebezpečí, nebezpečí spojená s prostředím, kde je stroj používán a samozřejmě i kombinace jednotlivých nebezpečí. [3]

Kolaborativní úlohy systému robotu jsou charakterizovány následujícími prostředky:

- Počtem a dobou trvání kontaktu operátora v pracovním prostoru spolupráce s pohybujícím se systémem robotu,
- Přechody mezi nekolaborativními a kolaborativními operacemi,
- Automatickým nebo manuálním restartem pohybu systému robotu po dokončení kolaborativní operace,
- Dalšími doplňkovými úlohami v pracovním prostoru spolupráce. [4]

3.3.1. Návrh uspořádání kolaborativního systému robotu

Návrh buňky a systému robotu je podstatná část práce, která sníží rizika a dokáže zamezit nebezpečí. Při tvorbě návrhu uspořádání lze postupovat a řídit se následujícími kroky:

- Stanovit fyzické rozměry buňky včetně jejích dalších větších částí.
- Stanovit pracovní prostory, přístup a volné prostory:
 - Definice maximálního prostoru systému robotu,
 - Určení omezených, provozních a volných prostor,
 - Přístup a bezpečný přívod podpůrných služeb, mezi které patří například elektrická energie a voda,
 - Bezpečná přístupová cesta pro obsluhu a údržbu zařízení.
- Stanovit umístění zařízení pro nouzové zastavení celé buňky nebo pouze její části.
- Stanovit umístění souhlasných povelových zařízení.

- Ruční zásah z prostoru mimo zabezpečený prostor – umístění souhlasných povelových zařízení pro celý systém robotu, jeho část i pro jiné zařízení uvnitř buňky.
- Ergonomie při práci člověka se zařízením – volba jasného označení ovládačů zařízení, předpoklad chybného použití zařízení a upřesnění provozní spolupráce. [3]

3.3.2. Posouzení rizika kolaborativního systému robotu

Posouzení rizika provádí integrátor systému, protože systém robotu je vždy integrován do zvláštní aplikace. Posouzení rizika zajišťuje systematická analýza a vyhodnocení rizika systému robotu během celého životního cyklu systému. Celý životní cyklus systému zahrnuje uvedení do provozu, seřízení, výrobu, údržbu, opravu a vyřazení systému z provozu. Proces posouzení rizika se sestává z následujících kroků:

- Určení mezí systému robotu – integrace systému se odvíjí od její kompletní podrobné specifikace zamýšleného použití a omezení.
- Identifikace nebezpečí – vyhodnocuje se dle seznamu významných nebezpečí pro systémy robotu, významná nebezpečí byla uvedena na konci úvodu kapitoly 3.3.
- Určení, vyhodnocení, eliminace a snížení rizika – vhodná konstrukce systému, bezpečnostní ochrana k zabránění kontaktu obsluhy s nebezpečím. [3]

3.4. Bezpečnostní požadavky a ochranná opatření systému robotu

Vlastnosti ovládacího systému vztahující se k bezpečnosti řeší normy: Úroveň vlastností a kategorie (PL) a Úroveň integrity bezpečnosti a požadavky na tolerování závad hardwaru (SIL). Konstruktor robotického systému si může vybrat jednu z nich či obě společně. [3]

Provozní ovladače a zařízení robotu musí být umístěny vně zabezpečeného prostoru, pokud vyžadují přístup během automatického provozu. Všechny zdroje energií pro robot a zařízení musí splňovat požadavky specifikované výrobcem robotu a zařízení. Zdroje energie musí být zajištěny proti přístupu nepovolaných osob zámkem nebo jiným zajišťovacím prostředkem v poloze, kdy není energie přítomna. Každý systém robotu by měl mít jedno označené místo, které je určené pro odpojení každého typu zdroje energie v blízkosti ovládacího prvku. Při práci s uchovanou nebezpečnou energií musí být použity prostředky pro její ovládání a řízení. [3]

Systém robotu musí mít jednu nezávislou funkci nouzového zastavení systému, které zastaví pohyby robotů a dalších nebezpečných funkcí. Když se mezní prostory dvou nebo více robotů překrývají nebo jsou dva a více robotů uvnitř společného zabezpečeného prostoru, musí být tento prostor jedním pracovním prostorem. [3]

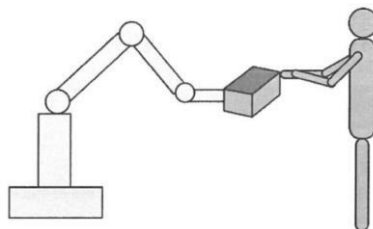
Koncové efekторы musí být navrženy a konstruovány dle konkrétních požadavků. Musí být určeny stavy výpadku energie, zohledněny síly vytvořené zatížením a koncovým efektořem, vyřešeny problémy se zajištěním a připojením vyměnitelných nástrojů a další důležité požadavky. V úvahu musí být bráno i nebezpečí spojené s konkrétní aplikací nástroje. Omezení potenciálního vystavení osob nebezpečí je zabezpečeno vhodnou instalací a integrací robotů na pracovišti. Zabezpečený prostor musí být vymezen ohrazením perimetru. Mezní prostor systému robotu je vymezen prostředky omezující pohyb robotu, koncového efektořu, přípravku a výrobku. Z těchto důvodů je mezní prostor menší než maximální prostor robotu a je uvnitř zabezpečeného prostoru. [3]

U buněk s více než jedním systémem robotu lze volit provozní režim pro každý systém zvlášť nebo dohromady pro všechny systémy. [3]

Pokud nelze pomocí konstrukce systému robotu odstranit nebezpečí nebo snížit rizika, musí být systém vybaven kryty, ochrannými zařízeními a doplňkovými ochrannými opatřeními. Je třeba také brát v úvahu nebezpečí vznikající uvnitř zabezpečeného prostoru. Příkladem tohoto nebezpečí může být nebezpečí

způsobené jiným zařízením, pádem nebo vymrštěním objektů a chybného nebo dlouhého času zastavení robotu. [3]

Speciálním druhem provozu systému robotu je spolupráce mezi člověkem a robotem při vzájemném sdílení společného pracovního prostoru. Tento druh provozu je možné použít pouze pro předem určené úkony, za podmínky použití aktivních požadovaných ochranných opatření a pouze pro roboty vybavenými speciálními prvky pro provozní spolupráci. Integrátor má na starost poskytnutí informací pro použití bezpečnostních zařízení a výběr režimu pro provozní spolupráci. Při tom musí být brán ohled na výkonové charakteristiky robotu, nebezpečí koncového efektoru a výrobku, uspořádání systému robotu, vzdálenost umístění operátora od ramene robotu a na další podstatná kritéria. Bezpečnostní ochrana musí detekovat osobu na pásmu od přiblížení se k zabezpečenému prostoru až k pracovnímu prostoru spolupráce nebo ji musí k těmto prostorům přístup zabránit. Pokud by osoba pronikla do zabezpečeného prostoru za pracovní prostor spolupráce, musí se robot zastavit. Roboty pro provozní spolupráci je vhodné označit značkou uvedenou na obr. 3. [3]



Obr. 3 – Vhodný návrh označení provozní spolupráce [3]

Pracovní prostor spolupráce musí být viditelně a jasně definován. Systém robotu by měl poskytovat volný prostor 500 mm od provozního prostoru robotu. Při změně autonomního režimu a provozní spolupráce nesmí dojít k ohrožení osob při provozní spolupráci. [3]

Existuje pět pojmových aplikací spolupracujících robotů. Typ aplikace *předávací okno* svojí charakteristikou nejvíce odpovídá konkrétnímu použití pro naše pracoviště. Tento typ aplikace umožňuje autonomní automatický provoz systému robotu uvnitř zabezpečeného prostoru a automatický provoz během přístupu osoby není přerušeno, protože pracoviště musí splňovat řadu požadavků týkajících se aktivních i pasivních bezpečnostních zařízení. Vhodným účelem

provozu je u tohoto typu pracoviště zakládání a vykládání výrobků. Mezi další pojmové aplikace spolupracujících robotů patří typ okno rozhraní, pracovní prostor spolupráce, kontrola a ručně-vedený robot. [3]

3.5. Požadavky pro kolaborativní systém robotu

Systémy robotu v kolaborativních aplikacích se musí shodovat také s požadavky, které jsou součástí norem ISO 10218-1 a ISO 10218-2. Technická specifikace ISO TS 15066 navíc rozšiřuje již uvedené požadavky z těchto norem o kapitoly 3.8.1 a 3.8.2.

3.5.1. Návrh operace kolaborativního robotu

Během kolaborativní operace musí mít operátor prostředky, které dokážou zastavit pohyb robotu v jakýkoliv čas a při jakékoliv operaci nebo mít možnost opustit pracovní prostor spolupráce. Prostředky k zastavení pohybu robotu mohou zahrnovat například:

- Aktivační zařízení,
- Zařízení nouzového zastavení,
- Možnost zastavení pohybu robotu rukou. [4]

Přechody mezi kolaborativními a nekolaborativními operacemi jsou kritické části kolaborativních aplikací. Tyto aplikace musí být navrženy tak, aby systém robotu nemohl způsobit nebezpečnou situaci pro operátora během tohoto přechodu. [4]

3.5.2. Kolaborativní operace

Kolaborativní operace mohou obsahovat jednu nebo více následujících metod:

- Monitorované bezpečnostní zastavení,
- Monitorování rychlostí a dělicí vzdálenosti,
- Omezení sil a výkonu. [4]

Funkce monitorovaného bezpečnostního zastavení (MBZ) je používána k zastavení pohybu robotu před tím, než vstoupí operátor do pracovního prostoru spolupráce a hodlá spolupracovat s robotem například tím, že mu založí do koncového efektoru díl. Pokud v pracovním prostoru spolupráce operátor není, robot se může pohybovat nekolaborativně. Když je systém robotu v pracovním prostoru spolupráce a funkce monitorovaného zastavení, je aktivní (pohyb robotu je zastaven), operátor má možnost vstoupit do pracovního prostoru spolupráce. Poté může systém robotu pokračovat bez dalších zásahů. Systém robotu může vstoupit do pracovního prostoru spolupráce pouze tehdy, když operátor není v tomto prostoru přítomen. Pracovní prostor spolupráce musí být zvolen podle vzdáleností, které určuje norma ISO 13855. Systém robotu musí být vybaven bezpečnostními zařízeními, které zjišťují přítomnost operátora v pracovním prostoru spolupráce. Zabezpečení přístupu operátora do oblastí mimo pracovní prostor spolupráce musí být zajištěno v souladu s analýzou rizik. [4]

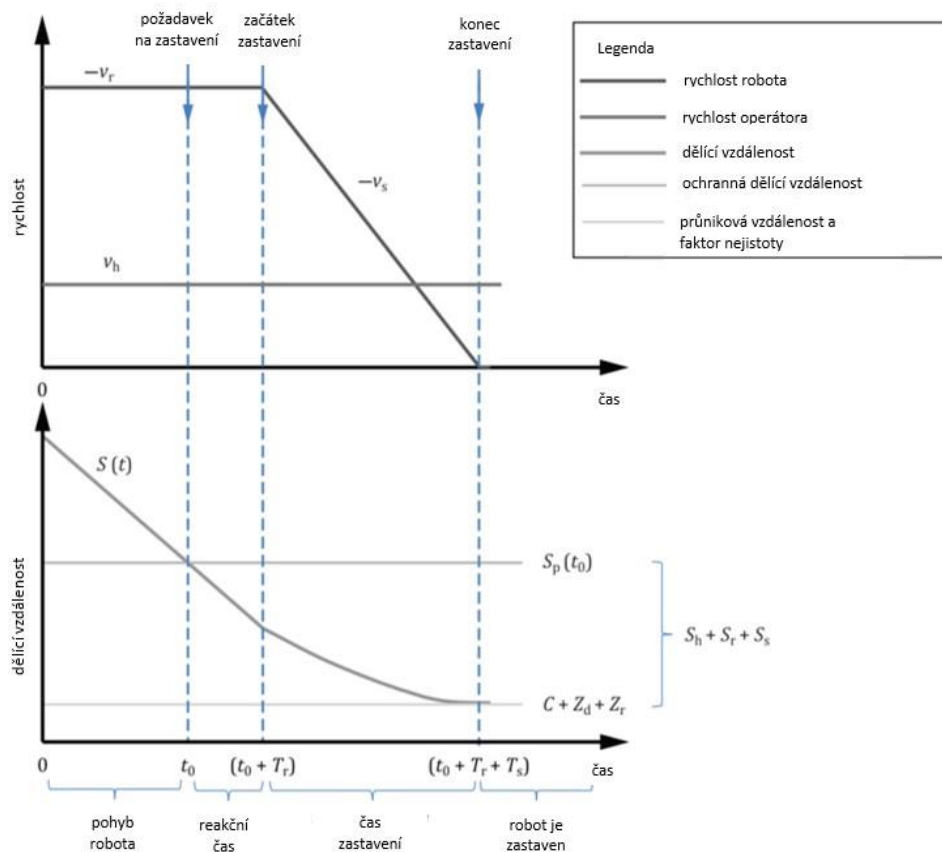
Tab. 2 – Tabulka operací s použitím monitorovaného bezpečnostního zastavení [4]

		Operátor – Kolaborativní prostor	
		Venku	Uvnitř
Robot – Kolaborativní prostor	Venku	Pokračuje	Pokračuje
	Uvnitř a v pohybu	Pokračuje	Ochranné zastavení
	Uvnitř při MBZ	Pokračuje	Pokračuje

Operátor má tak možnost vstoupit do pracovního prostoru spolupráce v těchto případech:

- Pokud systém robotu není v pracovním prostoru spolupráce,
- Pokud systém robotu je v pracovním prostoru spolupráce v aktivním režimu MBZ,
- Systém robotu je v pracovním prostoru spolupráce v ochranném zastavení. [4]

Při použití metody monitorování rychlosti a dělicí vzdálenosti systému robotu se může operátor pohybovat současně se systémem robotu v pracovním prostoru spolupráce. Snížení rizik je dosaženo dodržováním ochranné dělicí vzdálenosti mezi operátorem a robotem. Během pohybu robotu tato ochranná dělicí vzdálenost nemůže být překročena. Pokud by se dělicí vzdálenost snížila na hodnotu nižší než je ochranná dělicí vzdálenost, systém robotu musí zastavit. Po opětovném dodržení ochranné dělicí vzdálenosti může systém robotu automaticky pokračovat. Se snížením rychlosti systému robotu se sníží odpovídajícím způsobem i ochranná dělicí vzdálenost. Maximální dovolená rychlost a minimální ochranná dělicí vzdálenost může být konstantní i proměnná. Ochranná dělicí vzdálenost S_p mezi operátorem a systémem robotu se dá vypočítat dle matematického vztahu, ve kterém jsou zohledněny veškeré podstatné změny systému. Zahrnuty jsou reakční časy systému robotu, vzdálenosti zastavení pohybu systému robotu, pozice systému robotu a operátora, a další. [4]

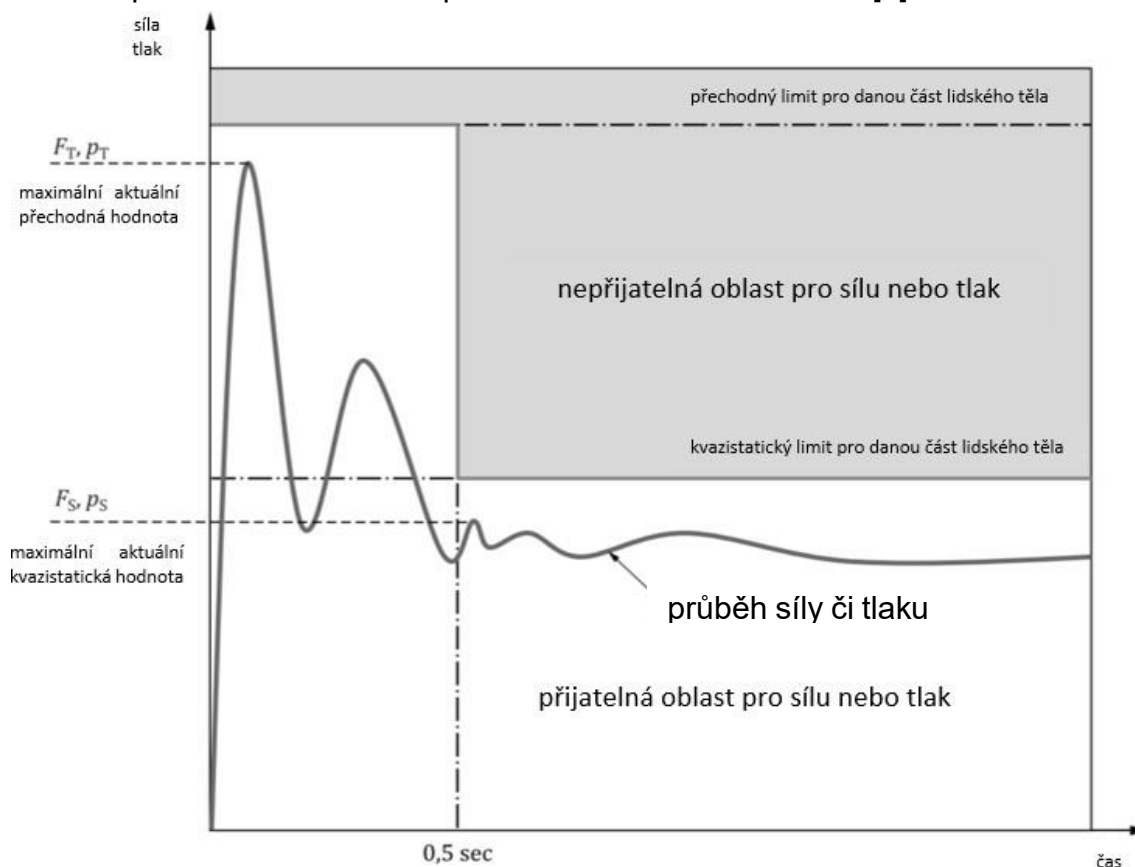


Obr. 4 – Závislost ochranné dělicí vzdálenosti mezi operátorem a robotem [4]

U metody omezení výkonu a sil může dojít k záměrnému i nechtěnému fyzickému kontaktu systému robotu (včetně výrobku) a operátora. Pro tuto metodu musí být robot speciálně navržen výrobcem. Typy kontaktů, ke kterým může dojít, jsou kvazistatický a přechodný. Kvazistatický kontakt nastane, pokud se část těla osoby zachytí mezi pohyblivou část systému robotu a pevnou nebo pohyblivou částí pracovní buňky. Přechodný kontakt (nebo také dynamický náraz) nastane tehdy, když je část těla osoby zasažena pohyblivou částí systému robotu a osoba je schopna se z této situace sama vyprostit a nedojde ke kvazistatickému kontaktu. [4]

Snížení rizik a potenciálního kontaktu mezi robotem a operátorem je dosaženo:

- Definováním podmínek, ve kterých může ke kontaktu dojít,
- Vyhodnocením potenciálu rizik u takových kontaktů,
- Návrhem systému robotu a pracovního prostoru spolupráce tak, aby k takovému kontaktu mohlo dojít zřídka a dalo se mu vyhnout,
- Uplatněním aktivních a pasivních metod snížení rizik. [4]



Obr. 5 – Příjemné a nepříjemné síly nebo tlaky [4]

Pasivní bezpečnostní návrh pracoviště zahrnuje mechanický návrh systému robotu, kdežto aktivní bezpečnostní návrh zahrnuje ovládací návrh systému robotu. Pasivní bezpečnostní metody návrhu zahrnují prvky pro:

- Zvýšení plochy kontaktu (oblé hrany, oblé rohy, hladké povrchy a poddajné povrchy),
- Absorbování energie, prodloužení času přenosu energie nebo snížení sil nárazu,
- Omezení pohybujících se hmot. [4]

Mezi aktivní bezpečnostní metody návrhu se zahrnují prvky pro omezení fyzikálních veličin systému robotu a použití doplňujících funkcí, jako například:

- Omezení sil a momentů,
- Omezení rychlostí pohybujících se částí,
- Omezení hybnosti, mechanického výkonu nebo energie,
- Použití funkcí omezujících prostor a měkkých os,
- Použití funkce monitorovaného bezpečnostního zastavení,
- Použití snímačů pro předvídání nebo detekci kontaktu. [4]

3.6. Požadavky na ověření a validace kolaborativního systému robotu

Je třeba poskytnout specifické informace pro používání kolaborativního systému robotu v dané aplikaci, informace o použitých bezpečnostních prvcích a popisu ovládacích prvků pro výběr kolaborativních operací. Navíc je nutné ještě dodat popisy a informace ohledně konkrétní aplikace použití, jednotlivých úloh robotu a operátora a omezení výkonu a sil. [4]

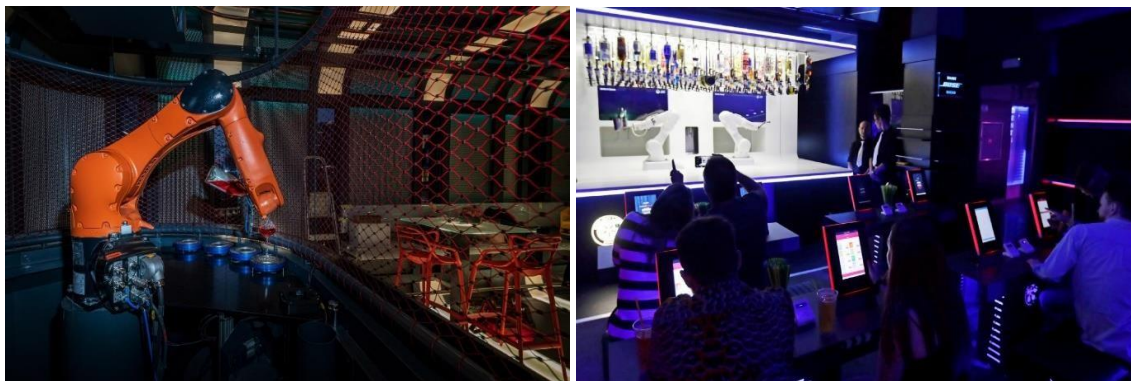
Pro pracoviště bude muset být vytvořen seznam informací a instrukcí pro použití a zajištění bezpečného a správného použití systému robotu včetně varování o zbytkových rizicích. Návod pro použití zahrne informace o fázích použití systému robotu, podmínek dopravy, montáže, instalace, uvedení do provozu, použití pro provoz a další. [3]

4. Využití robotů pro výrobu nápojů

Tato část práce se zaměřuje na zjištění stavu dané problematiky ve světě a České republice. Budou zde uvedena podobná pracoviště pro výrobu nápojů, konkrétní vybrané typy kolaborativních robotů, kolaborativních koncových efektorů a také mobilních platforem.

4.1. Podobná robotická pracoviště

V pražském podniku Karlovy Lázně na obr. 6 (vpravo) se nachází robotické pracoviště dvou průmyslových robotů. Zákazníci mají možnost výběru z 16 míchaných nápojů. Výhodou tohoto robotického baru má být kratší doba čekání oproti objednání nápoje na klasickém baru z důvodu dlouhých řad. Výstupní kapacita pracoviště je 80 míchaných nápojů za hodinu. Vytvořené nápoje jsou roznášeny k zákazníkům pracovníky klubu. [6] Efektor prvního robotu je šejkr s pneumatickým víkem. Druhý robot má jako efektor přípravek na zvedání sklenic. Při přípravě nápoje spolu roboty spolupracují na tvorbě nápoje.

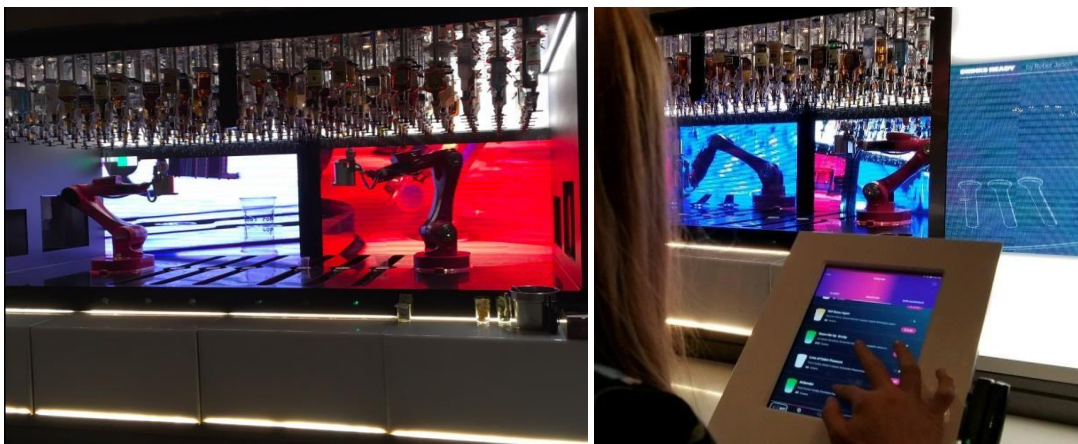


Obr. 6 – Cyberdog (vlevo) [5] a Robotický bar v Music Clubu Karlovy Lázně v Praze (vpravo) [6]

Cyberdog je projekt výtvarníka a sochaře, který je založený na myšlence pokroku 21. století. Jedná se o roboticky obsluhovanou vinárnu. Robotické pracoviště je zobrazeno na obr. 6 (vlevo). Zpracování původní vize až po samotnou realizaci centra trvalo více než rok a stálo 20 milionů Kč. U každého stolu se nachází tablet s objednávkovým systémem, kde si zákazníci vybírají z jednotlivých kategorií. Průmyslový robot vybavený pouze uchopovacím

efektorem po objednání připraví nápoj a poté je nápoj k zákazníkovi dopraven pomocí dopravníku. [5]

Mississippský robobar na obr. 7 je obsluhován dvěma průmyslovými roboty. Oba roboty jsou vybaveny efektozem, který slouží jako šejkr s pneumatickým zavíráním víka a je vybaven dvěma přísavkami na uchopování plastových kelímků. Kelímky jsou roboty umístěny na dopravník a poté jsou dopravovány k zákazníkům. Zákazníci si stěžují u tohoto řešení na dlouhou čekací dobu ve frontě, dlouhou výrobní dobu nápoje a dokonce chyby v programu, které způsobily namíchání jiných nápojů, než byly zvolené. Další stížnosti byly mířeny na omezenou nabídku nápojů. [7]



Obr. 7 – Robobar v Biloxi v Mississippi [7]

Dva roboty pracující na Bionic baru na obr. 8 umožňují vytvářet údajně téměř nekonečnou kombinaci míchaných nápojů. Objednávku lze odeslat pomocí tabletů na baru. Toto řešení je z technického hlediska téměř totožné s předchozím Robobarem v Mississippi. [8]



Obr. 8 – Bionic bar [8]

Plně autonomní robot Yanu je zobrazen na obr. 9. O jeho ovládání se stará umělá inteligence. Robot umí komunikovat s lidmi, přijímá objednávky, a dokonce říká i vtipy. Je řízen pomocí ROS (Robot Operating System) z důvodu integrace s nejnovějšími technologiemi, optimalizace pohybů a integraci s dalšími elektrickými zařízeními. [9] Robot je vybaven speciálním efektořem, který se vyznačuje pohyby podobnými lidské ruce.



Obr. 9 – Autonomní robot Barney (vlevo) [9] a autonomní robot Yanu (vpravo) [10]

Barney je plně autonomní robotický bar, který umí vyrábět koktejly, nealkoholické a další nápoje. Pro jeho provoz je nutná velmi nízká údržba. Tento bar údajně může pracovat 24 hodin 7 dní v týdnu a umožňuje digitální platbu kartou. Za hodinu dokáže vyrobit až 120 nápojů. Toto řešení je ideální pro hotely, bary, kluby, letiště, kasina a výletní lodě. [10]

Robobar na obr. 10 je vybaven průmyslovým robotem společnosti ABB s pojezdovou osou. Robot má uchopovací efektor a namíchá nápoj složený z destilátů a limonádových nápojů, který poté vydá malým okénkem. Dokáže také otevřít láhev piva. [11]



Obr. 10 – Robobar společnosti Coredon [11]

Posledním komerčně používaným pracovištěm je RoboBar od společnosti MotoMan. Ten je vybaven výrobníkem ledu, kávovarem, podavačem a dalšími komponenty. Jedná se o vysoce spolehlivé řešení při standardní konfiguraci stroje. Robot je vybaven uchopovacím efektoem. Prodejní cena tohoto pracoviště je v přepočtu více než 5 milionů Kč. [12]



Obr. 11 – Robobar společnosti Motoman (vpravo)

4.2. Výrobci kolaborativních robotů

Rešerše kolaborativních robotů, které jsou v dobu vypracování diplomové práce dostupné na trhu, byla provedena pro rozsahy parametrů, které jsou uvedeny v tab. 3. Zatížení ramene robotu bylo předběžně zvoleno v rozsahu 3–20 kg. Do spodní hranice tohoto rozsahu již byla započítána pravděpodobná hmotnost efektoru a zároveň i hmotnost sklenice s vyrobeným nápojem.

Tab. 3 – Rozsahy parametrů pro výběr kolaborativních robotů

Počet os robotu	4-7 os
Zatížení robotu	3-20 kg
Hmotnost robotu	max. 75 kg
Dosah robotu	500-1700 mm
Opakovatelnost robotu	0,01-1 mm

4.2.1. Aubo

Tab. 4 – Specifikace robotů od výrobce Aubo [13]

Robot	Počet os	Dosah	Max. zatížení	Opakovatelnost	Hmotnost	IP
i3	6	625 mm	3 kg	±0,03 mm	15,5 kg	54
i5	6	924 mm	5 kg	±0,05 mm	24 kg	54
i10	6	1350 mm	10 kg	±0,05 mm	37 kg	54



Obr. 12 – Kolaborativní roboty od výrobce Aubo [13]

4.2.2. Bosch

Tab. 5 – Specifikace robotu od výrobce Bosch [14]

Robot	Počet os	Dosah	Max. zatížení	Opakovatelnost	Hmotnost	IP
APAS	6	911 mm	5,5 kg	±0,03 mm	7 kg	30



Obr. 13 – Kolaborativní robot od výrobce Bosch [14]

4.2.3. Doosan

Tab. 6 – Specifikace robotů od výrobce Doosan [15]

Robot	Počet os	Dosah	Max. zatížení	Opakovatelnost	Hmotnost	IP
M0609	6	900 mm	6 kg	±0,1 mm	27 kg	54
M0617	6	1700 mm	6 kg	±0,1 mm	32 kg	54
M1013	6	1300 mm	10 kg	±0,1 mm	33 kg	54
M1509	6	900 mm	15 kg	±0,1 mm	34 kg	54



Obr. 14 – Kolaborativní roboty od výrobce Doosan [15]

4.2.4. Elephant Robotics

Tab. 7 – Specifikace robotů od výrobce Elephant Robotics [16]

Robot	Počet os	Dosah	Max. zatížení	Opakovatelnost	Hmotnost	IP
Elephant 5	6	850 mm	5 kg	±0,05 mm	23 kg	42
Panda 3	6	550 mm	3 kg	±0,05 mm	17 kg	54
Panda 5	6	850 mm	5 kg	±0,05 mm	24,5 kg	54
Catbot	6	600 mm	3 kg	±0,05 mm	18 kg	42



Obr. 15 – Kolaborativní roboty od výrobce Elephant Robotics [16]

4.2.5. Fanuc

Tab. 8 – Specifikace robotů od výrobce Fanuc [17]

Robot	Počet os	Dosah	Max. zatížení	Opakovatelnost	Hmotnost	IP
CR-4iA	6	550 mm	4 kg	±0,01 mm	48 kg	67
CR-7iA	6	717 mm	7 kg	±0,01 mm	53 kg	67
CR-7iA/L	6	911 mm	7 kg	±0,01 mm	55 kg	67
CR-14iA/L	6	911 mm	14 kg	±0,01 mm	55 kg	67



Obr. 16 – Kolaborativní roboty od výrobce Fanuc [17]

4.2.6. Kuka

Tab. 9 - Specifikace robotů od výrobce Kuka [18]

Robot	Počet os	Dosah	Max. zatížení	Opakovatelnost	Hmotnost	IP
LBR iisy	6	600 mm	3 kg	±0,01 mm	18,8 kg	-
LBR iiwa 7	6	800 mm	7 kg	±0,01 mm	23,9 kg	54
LBR iiwa 14	6	820 mm	14 kg	±0,01 mm	29,9 kg	54



Obr. 17 – Kolaborativní roboty od výrobce Kuka [18]

4.2.7. Mitsubishi Robotics

Tab. 10 – Specifikace robotů od výrobce Mitsubishi Robotics [19]

Robot	Počet os	Dosah	Max. zatížení	Opakovatelnost	Hmotnost	IP
RH-3FRH	4	550 mm	3 kg	±0,01 mm	29 kg	65
RH-6FRH	4	550 mm	6 kg	±0,01 mm	36 kg	65
RH-12FRH	4	850 mm	12 kg	±0,015 mm	67 kg	65
RH-20FRH	4	1000 mm	20 kg	±0,015 mm	75 kg	65
RV-2FRL	6	649 mm	3 kg	±0,02 mm	21 kg	65
RV-4FRL	6	649 mm	4 kg	±0,02 mm	41 kg	65
RV-7FRL	6	908 mm	7 kg	±0,02 mm	67 kg	65



Obr. 18 – Kolaborativní roboty od výrobce Mitsubishi Robotics [19]

4.2.8. Nachi

Tab. 11 - Specifikace robotů od výrobce Nachi [20]

Robot	Počet os	Dosah	Max. zatížení	Opakovatelnost	Hmotnost	IP
CZ10	6	1300 mm	10 kg	±0,01 mm	61 kg	54

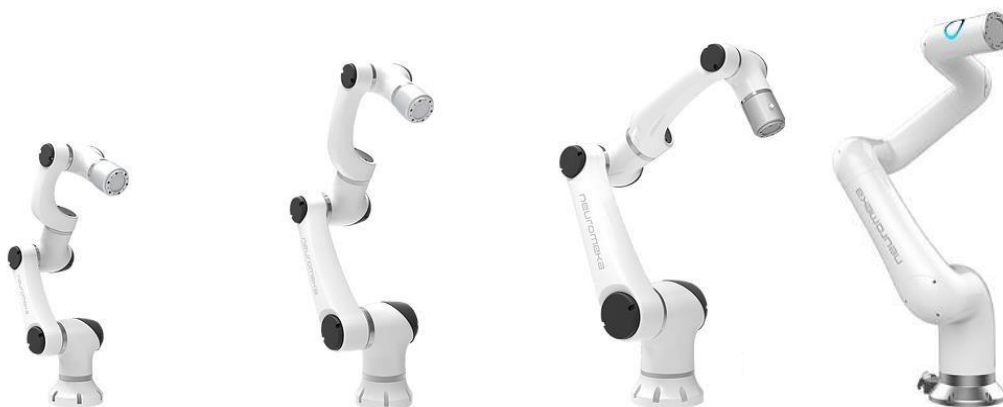


Obr. 19 – Kolaborativní robot od výrobce Nachi [20]

4.2.9. Neuromeka

Tab. 12 – Specifikace robotů od výrobce Neuromeka [21]

Robot	Počet os	Dosah	Max. zatížení	Opakovatelnost	Hmotnost	IP
Indy3	6	590 mm	3 kg	±0,1 mm	17 kg	-
Indy5	6	800 mm	5 kg	±0,1 mm	25 kg	-
Indy10	6	1000 mm	10 kg	±0,1 mm	40 kg	-
Indy7	6	800 mm	7 kg	±0,1 mm	28 kg	-
Indy12	6	1200 mm	12 kg	±0,1 mm	53 kg	-
Indy-RP2	7	800 mm	5 kg	±0,1 mm	30,5 kg	-



Obr. 20 – Kolaborativní roboty od výrobce Neuromeka [21]

4.2.10. Omron

Tab. 13 - Specifikace robotů od výrobce Omron [22]

Robot	Počet os	Dosah	Max. zatížení	Opakovatelnost	Hmotnost	IP
TM5	6	700 mm	6 kg	±0,05 mm	22,1 kg	-
TM5	6	900 mm	4 kg	±0,05 mm	22,6 kg	-
TM12	6	1300 mm	12 kg	±0,1 mm	33,3 kg	-
TM14	6	1100 mm	14 kg	±0,1 mm	32,6 kg	-



Obr. 21 – Kolaborativní roboty od výrobce Omron [22]

4.2.11. Staubli

Tab. 14 – Specifikace robotů od výrobce Staubli [23]

Robot	Počet os	Dosah	Max. zatížení	Opakovatelnost	Hmotnost	IP
TX2-60	6	670 mm	9 kg	±0,02 mm	52,2 kg	-
TX2-60L	6	920 mm	5 kg	±0,03 mm	52,5 kg	-
TX2touch-60	6	670 mm	4,5 kg	±0,02 mm	51 kg	-
TX2touch-60L	6	920 mm	3,7 kg	±0,03 mm	52 kg	-



Obr. 22 – Kolaborativní roboty od výrobce Staubli [23]

4.2.12. Universal Robots

Tab. 15 – Specifikace robotů od výrobce Universal Robots [24]

Robot	Počet os	Dosah	Max. zatížení	Opakovatelnost	Hmotnost	IP
UR3	6	500 mm	3 kg	±0,1 mm	11 kg	64
UR5	6	850 mm	5 kg	±0,1 mm	18,4 kg	54
UR10	6	1300 mm	10 kg	±0,1 mm	28,9 kg	54
UR16	6	900 mm	16 kg	±0,1 mm	33,1 kg	54



Obr. 23 – Kolaborativní roboty od výrobce Universal Robots [24]

4.2.13. Yaskawa

Tab. 16 – Specifikace robotů od výrobce Yaskawa [25]

Robot	Počet os	Dosah	Max. zatížení	Opakovatelnost	Hmotnost	IP
GP7	6	927 mm	7 kg	±0,03 mm	34 kg	-
GP8	6	727 mm	8 kg	±0,02 mm	32 kg	-
HC10DT	6	1200 mm	10 kg	±0,1 mm	48 kg	-



Obr. 24 – Kolaborativní roboty od výrobce Yaskawa [25]

4.3. Výrobci mobilních platformem

Rešerše mobilních platformem pro kolaborativní roboty uvedené v kapitole 4.3 byla vypracována bez bližších požadavků na parametry. Většinou jsou tyto platformy vyvinuty jinou firmou, ale firmy prodávající kolaborativní roboty je pak prodávají jako příslušenství k jejich robotům a často i s jejich designem. V kapitole 6.7 bude pojednáno o možném začlenění a propojení mobilní platformy s robotem a řídicím systémem pracoviště. Mobilní platforma s robotem by zde zastávala funkci tzv. robotického číšníka. Vzhledem k tomu, že se stále jedná o poměrně novou problematiku, některé níže uvedené výrobky ještě nejsou v prodeji a nelze k nim tak dohledat veškeré technické parametry. Mobilní platformy pro roboty lze rozdělit do dvou skupin. První skupina je charakterizována tím, že mobilní platforma sama o sobě nemá pohon – není vhodná pro toto konkrétní řešení práce. Lze ji pouze přemístit na jiné pracoviště úsilím člověka nebo jiného stroje. Druhý typ platformy má v sobě zabudovaný pohonný systém, baterie a je řízen pomocí programu. Z druhého hlediska lze mobilní platformy rozdělit na platformy, do kterých jsou roboty již integrovány a nelze je od nich oddělit a na platformy, které lze dokoupit k robotům jako volitelné příslušenství.

4.3.1. Aubo

Tab. 17 – Specifikace mobilní platformy s robotem Aubo [26]

Platforma	Nosnost	Rychlost	Výdrž baterie	Rozměry	Hmotnost	IP
AGV	100 kg	3 m/s	8 h	800x550x420 mm	100 kg	54



Obr. 25 – Mobilní platforma s robotem Aubo [26]

4.3.2. KUKA

Tab. 18 – Specifikace mobilní platformy s robotem KUKA [27]

Platforma	Nosnost	Rychlost	Rozměry	Hmotnost	IP
KMR iiwa	200 kg	1 m/s	700x1080x630 mm	390 kg	54



Obr. 26 – Mobilní platforma s robotem KUKA [27]

4.3.3. Staubli

Tab. 19 – Specifikace mobilní platformy s robotem Staubli [28]

Platforma	Nosnost	Rychlost	Rozměry	Hmotnost	IP
HelMo	-	0,6 m/s	890x1120x1000 mm	710 kg	20



Obr. 27 – Mobilní platforma s robotem Staubli [28]

4.3.4. Yaskawa

Tab. 20 – Specifikace mobilní platformy s robotem Yaskawa [29]

Platforma	Nosnost	Rychlost	Výdrž baterie	Rozměry	Hmotnost
YMR12	12 kg	2 m/s	6 h	1805x658x1186 mm	980 kg



Obr. 28 – Mobilní platforma s robotem Yaskawa [29]

4.4. Výrobci efektorů pro kolaborativní roboty

Rešerše efektorů je zaměřena vyloženě na efekty určené pro kolaborativní roboty. To ušetří dost práce při procesu schvalování robotického systému jako kolaborativního, jelikož jsou tyto efekty vyrobeny v souladu s platnými normami. Budou uvedeny hmotnosti jednotlivých efektorů, jelikož při součtu s hmotností sklenice plné kapaliny hmotnost nemůže překročit povolenou nosnost ramene robotu.

Tab. 21 – Rozsahy parametrů pro výběr efektorů pro kolaborativní roboty

Zdvih efektoru	80-215 mm
Zatížení efektoru	1-10 kg
Síla sevření efektoru	40-450 N
Hmotnost efektoru	< 2,5 kg

4.4.1. Pneumatické efektory Festo

Společnost FESTO představila efektor TentacleGripper, jehož princip funkce je odvozen od chapadla chobotnice. Celý efektor je vyroben ze silikonu a lze ho ovládat pneumaticky. Pokud se zvýší tlak, tak se chapadlo začne svírat a dokáže uchopovat kulaté předměty kolem dokola. Jako u chobotnice je navíc chapadlo z vnitřní strany vybaveno dvěma řadami přísavek. Menší přísavky umístěné na konci chapadla pracují pouze pasivně, ale větší přísavky jsou připojeny k pneumatice a lze je ovládat. Vzhledem k silikonové struktuře efektoru je velmi bezpečný při použití s kolaborativními roboty. [30]

Dalším výrobkem této firmy jsou adaptivní prsty AdaptiveGripper DHA, které byly použity na původním řešení kolaborativního robotického pracoviště spolu s pneumatickým efektozem – paralelním chapadlem HGPL-14-60-A-B. To bylo ovládáno pneumaticky, a proto nebylo možné regulovat konkrétní polohu ani sílu. [30]



Obr. 29 – Adaptivní efektory od společnosti Festo

Výhodou pneumatických efektorů je zejména to, že jsou levnější a jednodušší na výrobu. Pro řadu aplikací jsou přínosem v podobě rychlé realizace operací. Přinášejí ale i řadu nevýhod. Pneumatické efektory lze dostat pouze do dvou stavů, kdy první z nich je stav čelisti otevřeno a druhý je stav

čelisti zavřeno. Nevýhodou je i těžká realizace ovládní síly sevření. U pneumatických efektorů ji lze realizovat ovládním tlaku vzduchu. Vlastností těchto efektorů je také skutečnost, že se při nízkém tlaku čelisti vůbec nepohnou. Nelze také regulovat rychlost svírajících se čelistí, které tak vždy narazí do předmětu v plné rychlosti.

Pneumatické efekторы nenabízejí funkci, pomocí které můžeme sledovat, zda robot uchopil předmět či ne. Pokud zákazník tuto funkci vyžaduje, je nutné ji realizovat pomocí dalších senzorů. Elektrické efekторы mají tuto funkci již zabudovanou v systému. Proto bych se přiklonil k výběru elektrických efektorů nebo ke kombinaci elektrického efektoru a adaptivních prstů od společnosti FESTO či prstů nebo čelistí vlastní výroby v souladu s platnými normami. [30]

4.4.2. Elektrické efekторы ONROBOT

Elektrický RG2 efektor pro operace typu uchoop a polož může být použit na široké spektrum operací. Jedná se o flexibilní kolaborativní efektor s funkcí rychlé výměny. Na efektoru není vnějškem veden žádný kabel a vše je implementováno ve výměnném systému. Efektor má poměrně velký zdvih, ukazuje stavy uchopení a pokládání, nabízí různé výměnné prsty, umožňuje přesně nastavit sílu uchopení a zdvih a dokonce dokáže jeho systém sám vyhodnocovat zatížení na efektoru. Efektor RG6 disponuje všemi uvedenými funkcemi jako RG2. Navíc je však vybaven silnějším motorem, nabízí větší zdvihový rozsah a disponuje robustnější konstrukcí.

Tab. 22 – Specifikace efektorů ONROBOT [31] [32]

Název	Hmotnost	Zdvih	Síla sevření	Zatížení
RG2	0,65 kg	110 mm	3-40 N	2 kg
RG6	1 kg	160 mm	25-120 N	6 kg



Obr. 30 – Elektrické efektory ONROBOT [31] [32]

4.4.3. Elektrický efektor ROBOTIQ

Tříprstý adaptivní efektor je nejlepším řešením tam, kde je žádána maximální všestrannost a flexibilita. Tento druh efektoru dokáže uchopit téměř každý tvar a pracuje ve 4 různých režimech. Výhodou je, že každý prst poskytuje silovou odezvu. [33]

Tab. 23 – Specifikace efektoru ROBOTIQ [33]

Název	Hmotnost	Zdvih	Síla sevření	Zatížení
3 FINGER ADAPTIVE GRIPPER	2,3 kg	155 mm	30-70 N	2,5 (10) kg



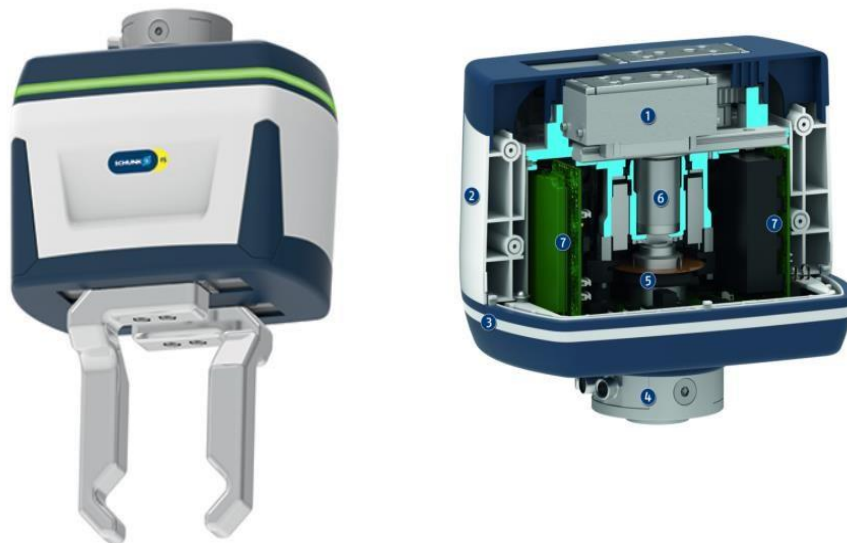
Obr. 31 – Elektrický efektor ROBOTIQ [33]

4.4.4. Elektrický efektor SCHUNK

Jedná se o elektrické dvourstvé paralelní chapadlo, které je certifikované pro kolaborativní provoz s 24 V ovládáním. Je vhodné na uchopování a přemísťování středně velkých obrobků flexibilní silou ve spolupracující operaci v oblastech montáže elektroniky a vkládání nástrojů. Výhodou je zejména to, že se jedná o certifikovanou uchopovací jednotku, která dokáže ušetřit práci při posuzování bezpečnosti konkrétní oblasti použití. Uvnitř efektoru je integrované měření síly a vzdálenosti. Na obr. 32 lze pozorovat, že je efektor vybaven osvětlovacím LED proužkem, který indikuje stav efektoru. [34]

Tab. 24 – Specifikace efektoru SCHUNK [34]

Název	Hmotnost	Zdvih	Síla sevření	Zatížení
CO-ACT EGL-C	2 kg	85 mm	50-450 N	2,25 (8) kg



Obr. 32 – Elektrický efektor SCHUNK [34]

4.4.5. Elektrický efektor WEISS

CRG série byla speciálně vyvinuta pro kolaboraci robotů s člověkem. Výrobky této řady mají oblé hrany a bezpečnostní monitorování síly efektoru. Výrobky splňují DGUV doporučení pro kolaborativní robotiku i ISO/TS 15066 normové požadavky. Systém monitorování síly umožňuje manipulaci i s velmi křehkými součástkami. Parametrizace a ovládání CRG efektoru je řešeno pomocí široce používaného průmyslového standardu IO-Link. Tento výrobek je

opět vybaven osvětlovacím LED proužkem s indikací aktuálního stavu efektoru. [35]

Tab. 25 – Specifikace efektoru WEISS [35]

Název	Hmotnost	Zdvih	Síla sevření	Zatížení
CRG 200-085	1,3 kg	85 mm	75-200 N	4,3 kg



Obr. 33 – Elektrický efektor WEISS [35]

4.4.6. Elektrický efektor ZIMMER

Dvouprsté HRC efektor od společnosti Zimmer jsou vytvořeny pro spolupráci s lidmi. Jejich použití je však omezeno pouze na roboty značky Universal Robots. Tento efektor nabízí velmi podobné vlastnosti, které byly uvedeny i u jiných výrobců. Tyto společné prvky pravděpodobně budou požadavky na certifikování těchto efektorů podle normy pro kolaborativní operace a použití. Propojení s robotem zajišťuje standard IO-Link. [36]

Tab. 26 – Specifikace efektoru ZIMMER [36]

Název	Hmotnost	Zdvih	Síla sevření	Zatížení
HRC-01	2 kg	120 mm	120 N	-



Obr. 34 – Elektrický efektor ZIMMER [36]

5. Analýza stávajícího řešení „Robobar“

Projekt robotický bar neboli „Robobar“ původně vznikl jako projekt několika studentů ČVUT. Dlouhodobý provoz tohoto pracoviště odhalil autorům i provozovatelům řadu provozních zkušeností, které budou rozebrány v následujících odstavcích.



Obr. 35 – Původní řešení „Robobar“

5.1. Popis pracovního cyklu

Zákazník si na tabletu vybere nejprve jazyk a následně se mu zobrazí nabídka nápojů. Lze si vybrat z nabídky alkoholických či nealkoholických nápojů a dalších podrobnějších kritérií. Po volbě vybraného nápoje je zobrazen jeho popis, složení a tlačítko objednat. Hned po zvolení tlačítka objednat je požadavek odeslán do objednávkového systému. Při volbě alkoholického koktejlu si nejprve robot vezme z odkapávače spodní část šejkru a umístí ji na pneumatickou přísavku. Poté se přesune, uchopí lahev destilátu s 50 ml dávkovačem, její obsah

nalije do šejkru a vrátí lahev zpět na místo. V další části procesu robot uchopí vrchní část šejkru a narazí ji na spodní část šejkru. Nápoj ve vzduchu zamíchá a po položení šejkru na přísavku sejme jeho vrchní část a vrátí ji zpět na odkapávač. Následně je uchopena sklenice ze zásobníku. Zásobník u tohoto řešení představují dvě desky s otvory na sklenice. Kapacita zásobníku je 20 sklenic. Sklenice je přesunuta na protiskluzovou podložku do levé části stolu, kde je z bezpečnostních důvodů plexisklo, protože se tu robot pohybuje vyšší rychlostí, než je dovoleno v kolaborativním režimu. Robot pak opět uchopí šejkr, dá do něj led a obsah šejkru přelije do sklenice. Předposledním úkonem procesu výroby nápoje je předání sklenice s hotovým nápojem zákazníkovi. Posledním krokem je ostřík vodou a odložení šejkru na odkapávač.

5.2. Analýza výrobního procesu

Jedna z potíží nastává, když si po delší době provozu robot odloží čistou sklenici na protiskluzovou podložku. Při přelévání nápoje z šejkru do sklenice docházelo ke stékání nápoje po vnější straně sklenice a k zalepení protiskluzové podložky a efektoru. To ztěžovalo robotu předání hotového nápoje na místě výdeje. Hotový nápoj robot položil do jednoho z šesti vyznačených míst na stole. V těchto místech jsou umístěny optické senzory a LED světla. Po umístění nápoje na určené místo se toto místo barevně rozsvítí a robot ví, že sem nemůže nic pokládat, dokud si nápoj daný člověk neodebere. V novém řešení bude opět zapotřebí lokalizovat jednotlivé pozice, kam odkládat nápoje. Může totiž dojít ke stavu, že v objednávkovém systému bude více objednávek, než je volných míst.

Nevýhodou současného konceptu je zejména dlouhá doba čekání na hotový nápoj, která se pohybuje mezi 3 až 4 minutami v závislosti na náročnosti tvorby nápoje. Při 30 objednávkách je tak čekací doba na poslední objednávku až 2 hodiny.

Lidé si poté hotový nápoj odnesou a vypijí. Následně jsou ručně sesbírány a umyty použité sklenice, které jsou vráceny na dané pozice. Program je koncipován tak, že po doplnění kompletních dvou plat sklenic a stisknutí tlačítka reset v aplikaci na počítači robot začne sklenice brát dle předem stanoveného

pořadí. Když by byly sklenice vráceny pouze do jednoho plata, robot by mohl omylem shodit sklenice z druhého plata, protože o nich v programu nevěděl.

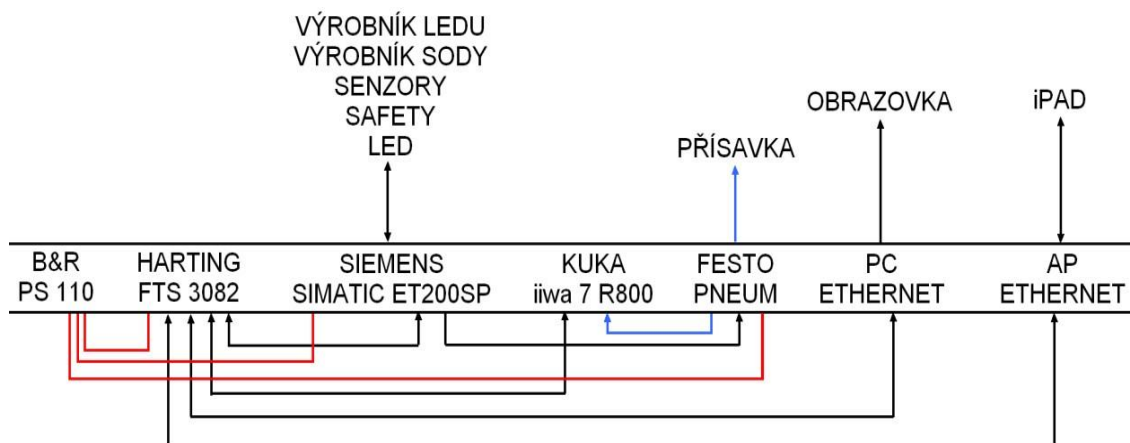
Prvek, který je nutné použít v novém řešení, je odkapní miska s integrovaným ostřikem vodou, určená k mytí šejkru po namíchání nápoje. Problém zde však nastal v okamžiku, kdy byl šejkr umístěn na plochu aktivace ostřiku s velkou polohovou odchylkou a nedošlo tak k vypláchnutí. To bylo způsobeno dvěma důvody. Prvním z nich byl případ, kdy došlo k zalepení stykových ploch šejkru a efektoru robotu a šejkr tak zůstal přilepen na efektoru a vypadl z něj na jiném místě. Druhý případ nastal tehdy, když byl efektor naopak kluzký a šejkr z něj vypadl ještě před tím, než na místo aktivace robot stihl dorazit. Příčinou těchto problémů byl fakt, že robot střídal v jednom a tom samém efektoru lahve s destilátem, na kterých se usazovaly zbylé kapky destilátu a sirupů, a zároveň v něm uchopoval šejkr. V původním řešení byl používán k míchání nápojů dvoudílný šejkr.

Došlo také k situaci, kdy se lahve s destilátem vlivem usazených zbytků destilátu na lahvi přilepily k podkladu na baru a robot tak lahev nemohl uchopit, protože mu vyklouzla z efektoru. Když klesla hladina lahví s destilátem na minimum, bylo za potřebí je vyměnit. To se realizovalo otevřením okna s elektronickým zámkem v čele baru a co nejrychlejší výměnou lahve, aby nedošlo k časovým prostojům. Z bezpečnostních důvodů záleželo na aktuální pozici a pokynech robotu. Nastaly situace, kdy musel být robot zpomalen nebo dokonce i vypnut. Tento problém lze řešit v novém baru umístěním dvou stejných lahví destilátu s automatickým dávkovačem. V programu robotu by byl zaveden čítač, který by počítal z daného objemu lahve počet jednotlivých dávek. Po dosažení dané hodnoty dávek by byl robot automaticky přesměrován na záložní druhou lahev. Cyklus by se pak analogicky opakoval. V novém řešení se robot samotné lahve efektorom dotýkat nebude, a tak bude i výměna lahví s destilátem bezpečnější. Na levé straně pracoviště bylo umístěno plexisklo z důvodu vyšší bezpečnosti. Robot totiž v tomto a zadním úseku pracuje svojí plnou rychlostí. Jakmile se robot přiblíží na přední část pracoviště, zpomalí a přepne se do kolaborativního režimu. Kolaborativním režimem je zde myšlen kontakt

s člověkem. Robot má v každém svém motoru odměřování sil. Pokud je vyhodnoceno, že došlo k náhlému nečekanému nárůstu síly v jednom z kloubů z důvodu nárazu do překážky, robot zastaví pohyb.

5.3. Analýza řídicího systému

Na stávajícím řešení byla provedena analýza zapojení a funkčnosti řídicího systému. Schéma řídicího systému je zobrazeno na obr. 35. Červenou barvou je znázorněno napájení ze zdroje napájení od firmy B&R model PS110. Zdroj pracuje se vstupním napětím 230 V a výstupním napětím 24 V.



Obr. 36 – Schéma zapojení řídicího systému

Černá barva znázorňuje přenosy dat, které mezi jednotlivými zařízeními zprostředkovává Ethernet přepínač Ha-VIS FTS 3082-ASFP od firmy HARTING. Tento přepínač disponuje funkcí „Fast Track Switching“. „Fast Track“ je technologie, která umožňuje sestavit deterministicky se chovající síť kompatibilní s rozhraním Ethernet na průmyslové úrovni sběrnic. Požadavky na „real-time“ přenosy jsou řešeny softwarem, který při požadavku potlačí přenosy dat s nižší prioritou. Do sítě je pak dále připojen PC s externí obrazovkou, Wi-Fi přístupový bod a tablet.

Siemens SIMATIC ET 200SP je jednotka vzdálených vstupů a výstupů s komplexním spektrem modulů. V praxi se používá k decentrálnímu řešení systémů. Toto řešení má výhodu v tom, že není nutné vést vodiče od senzorů, resp. akčních členů na dlouhé vzdálenosti k PLC, ale lze je zapojit do této jednotky, která je umístěna co nejbližší k těmto prvkům. Od této jednotky je pak

komunikace řešena pomocí PROFINET sběrnice. K jednotce je připojeno bezpečnostní relé SICK typ UE10-3OS.

Robot KUKA iiwa 7 R800 je kolaborativní robot s nosností ramene 7 kg, maximálním dosahem 800 mm a stupněm krytí IP54. Tento robot má výměnné příruby, které umožňují využití elektrických i pneumatických efektorů. Na robot je připojen přes proporcionální redukční ventil Festo VPPM zdroj stlačeného vzduchu. Pneumaticky je také ovládaná přísavka na stole sloužící k přísátí dna šejkru. Pneumatické zapojení je ve schématu znázorněno modrou barvou.

Aktuální řešení zapojení řídicího systému je zobrazeno na obr. 36. V novém řešení bude dbáno zejména na zjednodušení zapojení a zvýšení bezpečnosti. Na stole je totiž velké množství vodičů, které vedou do výrobníku ledu, výrobníku sody atd. Spojení vodičů pomocí spojek není bezpečné, vzhledem k tomu, že se na pracovišti pracuje s kapalinami. Blíže budou popsány jednotlivé požadavky v následující kapitole.

5.4. Požadavky na nový návrh

Pozornost si zaslouží zejména změna uspořádání a koncepce samotného baru. Koncepce pracoviště bude vybrána s ohledem na co nejkratší cyklus přípravy nápoje. Lahve s destiláty budou umístěny hrdlem dolů a budou vybaveny automatickým dávkovačem. Je třeba zvážit, jestli se vyplatí rozdělit činnosti mezi roboty, či je lepší variantou, aby každý robot pracoval sám. U pracoviště bude vyřešena problematika zásobování lahví a sklenic, bezpečnosti a podávání hotových nápojů. Oproti původnímu řešení bude nové řešení obsahovat systém sledování stavu zařízení. Důraz bude také kladen na vyšší modularitu řídicího systému, která zaručí jednoduché přidání nebo odebrání komponent. Do budoucna se také zvažuje integrovat do tohoto systému plánovací algoritmus, a tak i na něj musí být systém předem připraven.

Konstrukce pracoviště by měla být snadno rozebíratelná, aby bylo možné pracoviště občasně přemístit mimo stálé stanoviště. Zároveň je však nutné myslet na dostatečnou tuhost konstrukce a dynamické účinky od robotů.

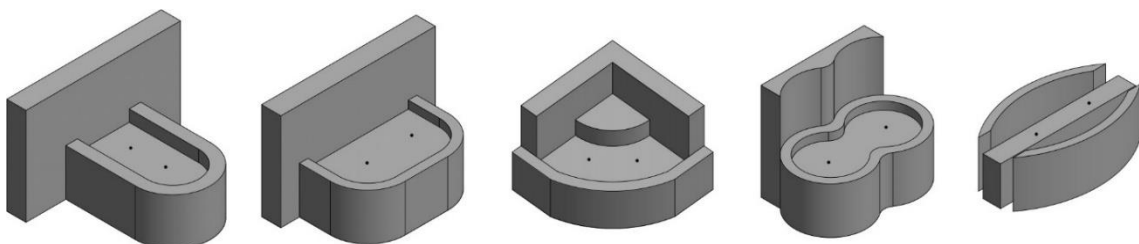
6. Návrh nového pracoviště

Vlastní řešení práce v sobě zahrnuje základní koncepční návrhy rozložení pracoviště a v dalších podkapitolách jsou podrobně popsány simulace výrobních postupů, programování robotů, programování PLC řídicího systému a testování pracoviště v laboratorních podmínkách.

6.1. Koncepční návrhy

Všechny níže uvedené varianty na obr. 37 byly navrženy s ohledem na rozměry pracovních prostorů robotů bez efektoru. Přidáním efektoru a přípravku na robot se jeho dosah navíc zvýší o cca 200 mm.

První dvě varianty byly inspirovány designem klasických barů. Lze u nich udělat buď zakulacené nebo ostré rohy. I když se jedná o funkční varianty, vzhledově nejsou tolik atraktivní jako zbytek variant. Další možnost úpravy prvních dvou variant by bylo „umělé“ prodloužení délky nebo šířky. Zde by ale byla pouze místa na sezení, kde by robot kvůli omezenému dosahu již obsluhovat nemohl. Třetí varianta je vzhledově zajímavější. Problém by zde mohl nastat hlavně při přepravě a montáži baru, protože toto není nejúspěšnější řešení z hlediska hmotnosti. Čtvrtá varianta téměř dokonale svojí plochou pokrývá a využívá pracovní prostor obou robotů, avšak opět se zde objevuje problém s obtížnou přepravou pracoviště a jeho vyšší hmotností. Poslední varianta byla nakonec vybrána jako finální. Je snadno transportovatelná a vzhledově poměrně moderní. Bar se skládá ze tří částí. Prostřední díl, uvnitř jehož konstrukce budou uloženy kontroléry robotů a na této konstrukci budou dva roboty. Na zadním dílu budou připevněny ostatní komponenty. Přední díl bude sloužit jako výdejní místo pro nápoje.



Obr. 37 – Možné varianty umístění robotů (černé body)

6.2. Specifikace robotického pracoviště

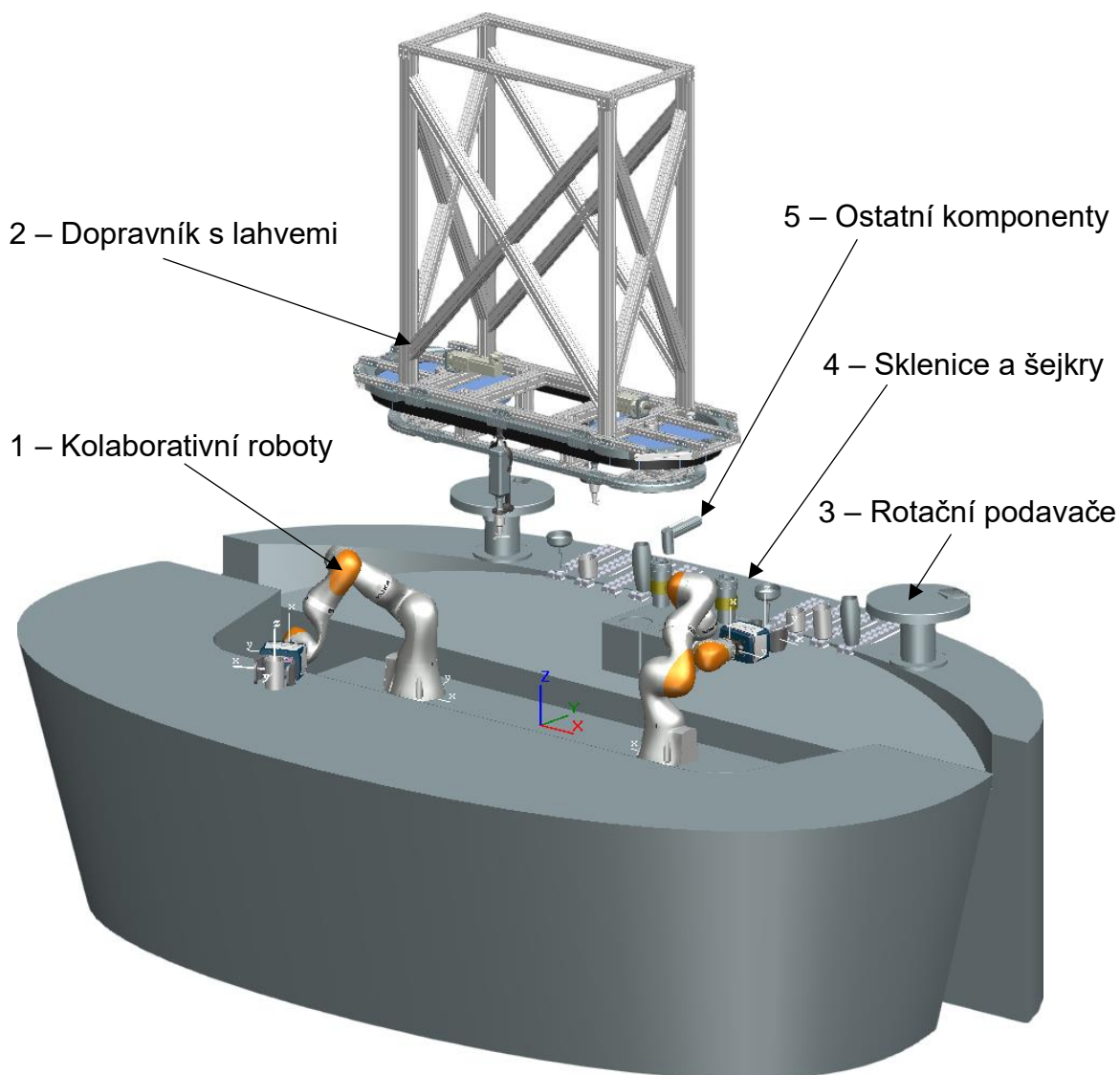
Výsledná specifikace robotického pracoviště je zobrazena na obr. 38. Mezi hlavní části pracoviště patří:

- Dva kolaborativní roboty Kuka LBR iiwa 14 R820 vybavené kolaborativními koncovými efekty Schunk CO-ACT EGL-C,
- Mobilní platforma sloužící jako robotický číšník Kuka KMR iiwa 14 R820 vybavená koncovým efektem Schunk EGI 80.

Tyto hlavní komponenty budou podrobně technicky popsány v následující kapitole. Je však nutné ještě zmínit další komponenty, bez kterých by nebylo možno pracoviště provozovat se zamýšlenou vysokou bezpečností a spolehlivostí:

- PLC řídicí systém pro externí řízení robotů a motorů, který dále také zabezpečuje bezpečnostní funkce pracoviště a ovládání dalších komponent. Topologie zapojení PLC řídicího systému a popis jednotlivých prvků bude popsán v kapitole 6.6.2.
- Počítač s aplikací pro objednávkový a plánovací systém, který bude tyto systémy provozovat na OPC UA serveru. Objednávkový systém se skládá z databázové části, kde jsou potřebná data pro výrobu nápojů a z plánovacího systému, který bude do budoucna optimalizovat výrobní procesy v závislosti na konkrétním vytížení pracoviště.
- Dopravník se synchronním servomotorem, který bude zároveň sloužit jako zásobník a dávkovač pro destiláty a sirupy. Dopravník bude vybaven držáky na lahve s mechanickými dávkovači o objemu 40 ml.
- Dva rotační podavače s krokovým motorem sloužící pro dávkování několika druhů ovoce.
- Krokové motory pro ovládání ventilů výčepu piva, které budou připojeny přímo na kulové ventily výčepního zařízení.
- Doplnkový bezpečnostní prvek v podobě laserového skeneru zajišťující prostor, kde se robot bude pohybovat v nekolaborativním režimu,

- Mezi ostatní komponenty, se kterými budou roboty a PLC systém spolupracovat, lze zahrnout zařízení sloužící k výrobě limonád, dávkovač ledu, kávovar a výčep piva a limonád.

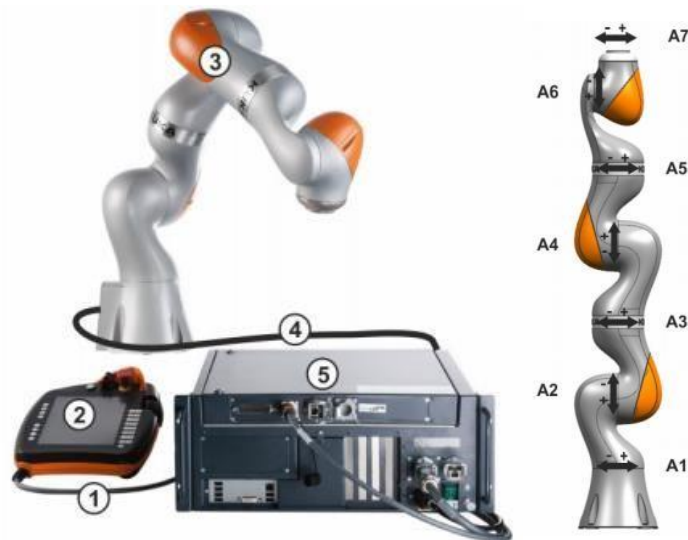


Obr. 38 – Výsledný návrh nového řešení

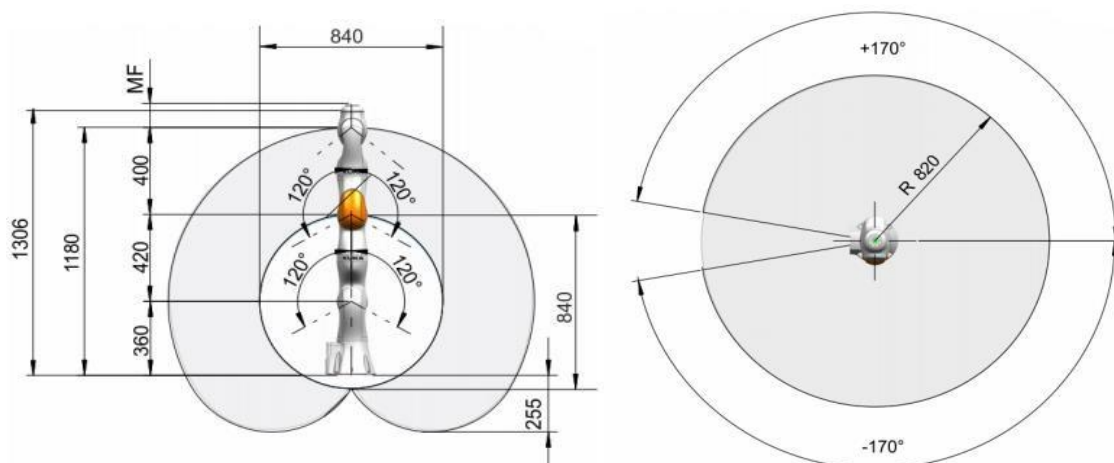
6.2.1. Kolaborativní roboty Kuka LBR iiwa 14 R820

Dva kolaborativní roboty KUKA LBR iiwa 14 R820 byly vybrány do nového řešení hned z několika důvodů. Jsou to velice lehké roboty a mají 7 řízených os, což zajišťuje zlepšené podmínky pro manipulování s objekty v malém prostoru. Všechny pohony a elektrické vodiče jsou uloženy ve vnitřku robotu, díky čemuž je robot schopen bezpečně pracovat i s nápoji. Každá osa robotu má několik senzorů, které poskytují zpětnou odezvu pro polohu, moment i teplotu. Právě

díky těmto senzorům je také možno řadit tyto roboty do skupiny kolaborativních. Základní technické parametry a rozměry jsou na obr. 40.



Obr. 39 – Robot s kontrolérem a pohybové osy robotu [37]

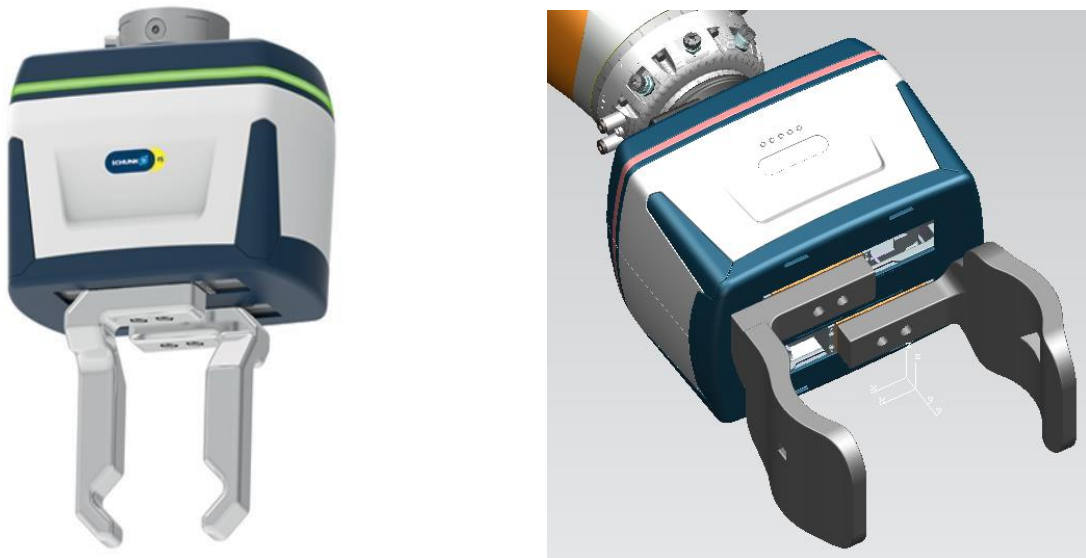


Obr. 40 – Pracovní prostor robotu bez efektoru [37]

6.2.2. Koncové kolaborativní efekty Schunk CO-ACT EGL-C

Dva kolaborativní efekty pro bezpečné uchopování s uchopovací silou až 450 N byly vybrány pro roboty KUKA LBR iiwa 14 R820. Jedná se o elektrická dvouprstá paralelní chapadla certifikovaná pro kolaborativní provoz s 24 V ovládáním. Jsou vhodná pro uchopování a přemisťování středně velkých objektů. Efekty mají integrované odměřování sil a vzdálenosti. Tyto uchopovací jednotky jsou připravené pro snadnou a rychlou integraci s robotickým rozhraním. Navíc disponují vizuálním LED indikátorem aplikačního stavu. Přípravky pro koncové efekty budou vyrobeny pomocí 3D tisku na tiskárně HP

Multijet Fusion z materiálu nylon 12. Na jejich vnitřní plochy se poté nanese vrstva silikonu, který zabrání vyklouznutí sklenice při manipulaci. Zakončení těchto přípravků byla navržena tak, aby s nimi bylo možné uchopit přípravek pro šejkr. Díky tomu nebudou silikonové vrstvy přímo vystaveny odkapávajícím zbytkům destilátů ze šejkru, což řeší problém z původního řešení „Robobar“.



Obr. 41 – Kolaborativní koncový efektor [34]

6.2.3. Mobilní platforma Kuka KMR iiwa 14 R820

Mobilní platforma Kuka KMR iiwa 14 R820 byla zvolena pro manipulaci s hotovými nápoji. Zamýšlená aplikace je taková, že pokud bude do objednávkového systému zadána objednávka s požadavkem doručení na jiné místo, než je přední část robotického baru, mobilní platforma se aktivuje a přijede pro hotový nápoj a předá ho na určenou lokaci. Výhodou bude použití stejného programovacího prostředí jako je tomu u robotů, jelikož výrobce Kuka si platformu vyrábí sám a programovací prostředí je tak stejné jak pro samotného robotu, tak i pro platformu. Platforma je autonomní kolaborativní zařízení a bude vybavena koncovým efektem Schunk EGI 80. Tento efektor sice není zařazován do třídy kolaborativních, ale disponuje podobnými funkcemi. Konkrétně se jedná o řízení a omezení uchopovací síly a sledování či omezení zdvihu efektoru.



Obr. 42 – Mobilní platforma Kuka KMR iiwa s koncovým efektoem Schunk EGI 80

6.3. Uspořádání kolaborativního pracoviště

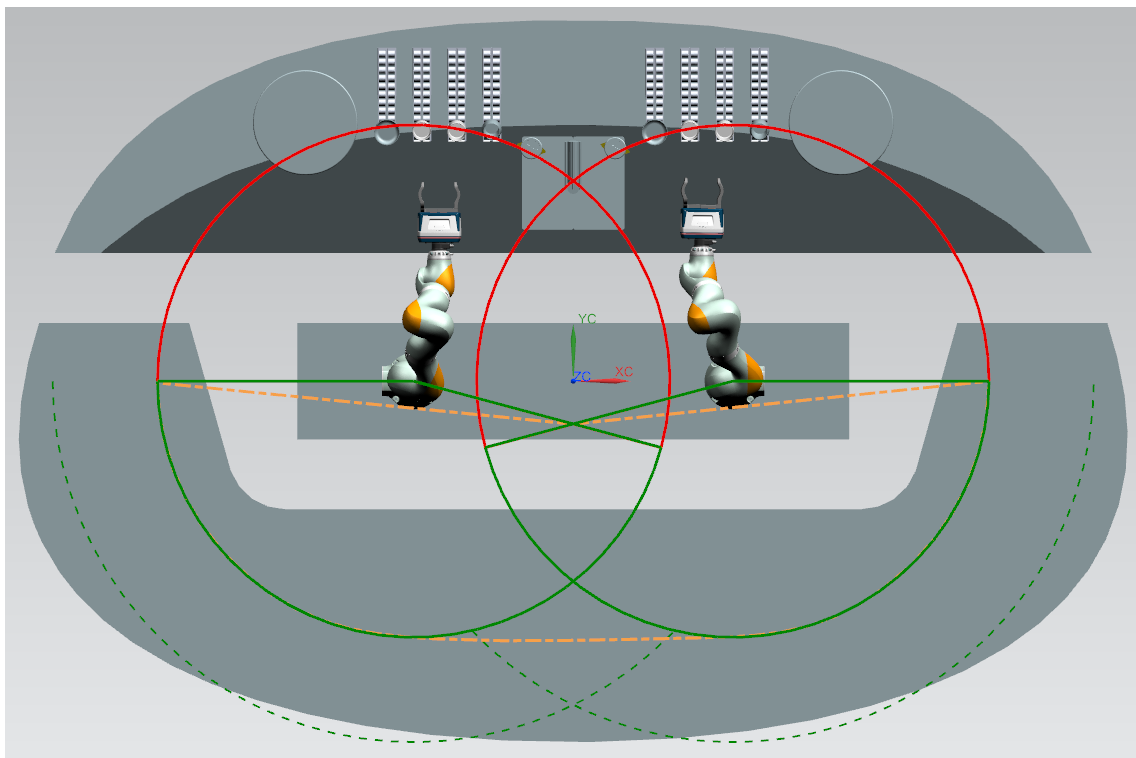
Z kapitoly 3.2 vyplývají podmínky a doporučení pro navrhování kolaborativního robotického pracoviště. Pomocí těchto požadavků pro zajištění bezpečnosti operátora během celého procesu provozu kolaborativního robotu byly navrženy jednotlivé pracovní prostory na obr. 43.

Červenou barvou jsou na obr. 43 znázorněny prostory, v kterých se roboty budou moci pohybovat v automatickém provozu (automatickém režimu). Automatický režim se vyznačuje maximální rychlostí a dynamikou robotu, což ale samozřejmě záleží na nastavení v konkrétním programu. Tyto prostory jsou označovány jako tzv. prostory pracovního prostoru robotu.

Zelenou barvou jsou na obr. 43 vyznačeny pracovní prostory spolupráce. V těchto oblastech bude docházet k provozní spolupráci s člověkem. Dle doporučení byl ještě zelenou čárkovanou čarou vyznačen volný prostor 500 mm od pracovního prostoru robotu pro vyšší bezpečnost. Bezpečnost bude zajištěna v podobě bariéry přední části pracoviště, která bude sloužit jako místo předání hotových nápojů.

Oranžovou čerchovanou čarou je znázorněn prostor, který bude monitorován laserovým skenerem, který bude ustaven uprostřed střední části pracoviště pod úhlem tak, aby byl nakloněn a skenoval přední stůl. To bylo

zvoleno kvůli situaci, pokud by došlo k narušení pracovního prostoru robotu v situaci, kdy je robot v automatickém režimu v oblasti znázorněné červenou čarou. Vzhledem k tomu, že toto konkrétní pracoviště bude ze zadní části zakryto, není zde potřeba monitorovat tento prostor.



Obr. 43 – Návrh pracovních prostorů

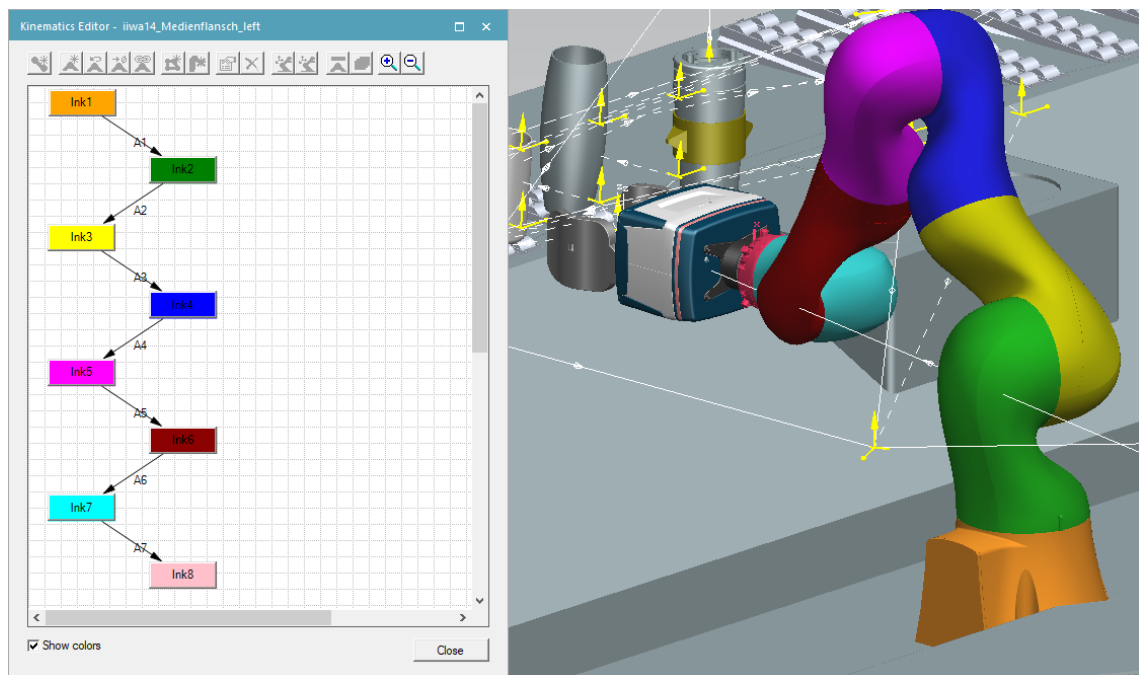
6.4. Simulace výrobních procesů

Simulace robotického pracoviště je realizována v softwaru Siemens Tecnomatix Process Simulate 15.1, konkrétně ve specifikaci Robotics. Ta slouží k navrhování, simulaci a offline programování robotických operací a pracovišť. Výhodou simulace je virtuální ověření jak prostorových dispozic, tak i funkčních dispozic pracoviště. Dalším důležitým výstupem ze simulační studie jsou získané pracovní, resp. výrobní časy operací, které poté lze případně i optimalizovat. V následujících odstavcích budou popsány nejdůležitější procesy potřebné pro tvorbu simulací výrobních operací. Výstupem simulační studie budou jednotlivé „frame“ neboli pozice v prostoru zachycující kartézské souřadnice polohy a natočení vůči nástrojovému středu (TCP). Tyto pozice se následně vloží do softwaru pro programování kolaborativních robotů Kuka.

6.4.1. Modelování pracoviště

Prvním krokem tvorby simulační studie je import 3D modelů částí pracoviště. Modely pracoviště byly vytvořeny pomocí softwaru Siemens NX. Poté byly exportovány ve formátu „jt“ (*Jupiter Tessellation*) do softwaru Siemens Tecnomatix Process Simulate 15.1. Každý importovaný 3D model je nutno zařadit do kategorie, kterou tento simulační software nabízí. Používané kategorie v této práci jsou díly (sklenice, šejkry) a zdroje (roboty, koncové efekторы, pracovní stoly a zásobníky).

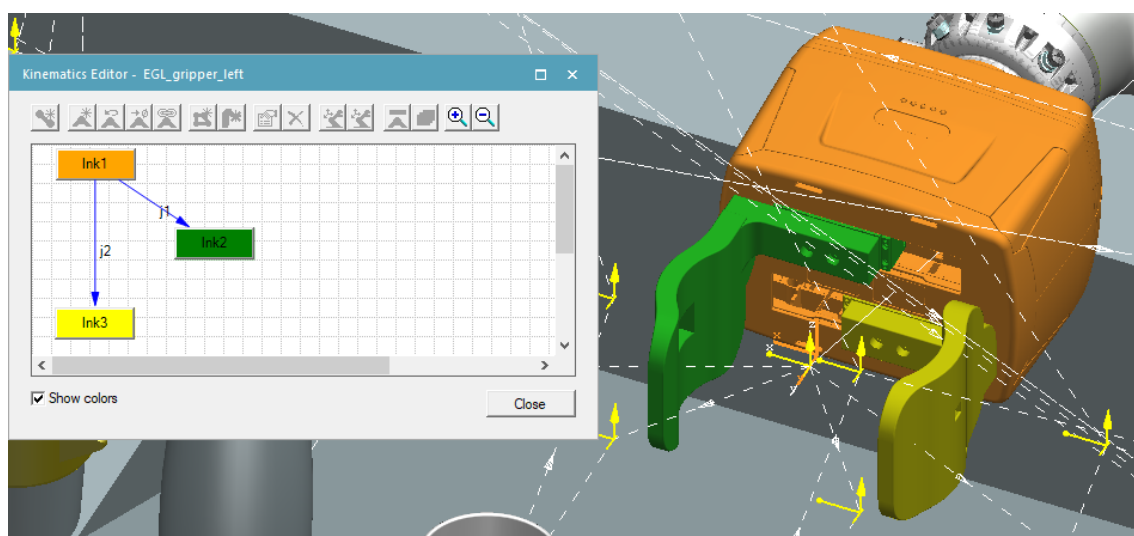
Další krok je importování modelů robotů Kuka LBR iiwa 14 R820 a modelů koncových efektorů s vymodelovanými přípravky pro uchopování sklenic. Pro roboty byly na internetových stránkách jejich výrobce poskytnuty i soubory popisující kinematickou strukturu robotu, jež je zobrazena na obr. 44. Na tomto obrázku lze pozorovat 7 barevně rozlišených řízených os robotu. Pro každou vazbu je možné nastavit konkrétní parametry charakterizující klouby robotu. Aby bylo možné s robotem v simulačním softwaru pohybovat, je nutno navíc doinstalovat soubor obsahující 7osou inverzní kinematiku pro konkrétní typ těchto robotů. Pokud tak není učiněno, není možné pokračovat v dalších krocích. Soubor se 7osou inverzní kinematikou byl poskytnut dodatečně výrobcem Kuka.



Obr. 44 – Kinematika robotu

U koncových efektorů s přípravky však bylo nutné vytvořit kinematickou charakteristiku dle funkčních možností koncového efektoru. Nejprve je nutno v dialogovém okně vybrat typ koncového efektoru, který je v našem případě typu úchopná hlavice. Dále se definuje 3D geometrie modelu koncového efektoru a jeho nástrojový střed (TCP).

Tvorba kinematických vazeb a vlastností efektoru je demonstrována na obr. 45. Na rozdíl od kinematiky robotu se zde dvě kinematické vazby *Ink2* a *Ink3* vztahují na jeden stacionární prvek.



Obr. 45 – Kinematika koncového efektoru s přípravky

Pro „offline“ programování pak byly vytvořeny pozice koncového efektoru, mezi které byly zařazeny pozice otevřít a zavřít. Na reálném pracovišti bude zahrnuta navíc i funkce pro inicializaci.

Vzhledem k tomu, že výrobci koncových efektorů používají různé komunikační protokoly a funkce, nelze použít téměř žádná data ze simulace pro „online“ programování koncového efektoru. Jediné usnadnění v budoucích krocích nastane u přiřazování metod pro uchopení a uvolnění předmětů pro jednotlivé operace, resp. pozice v prostoru.

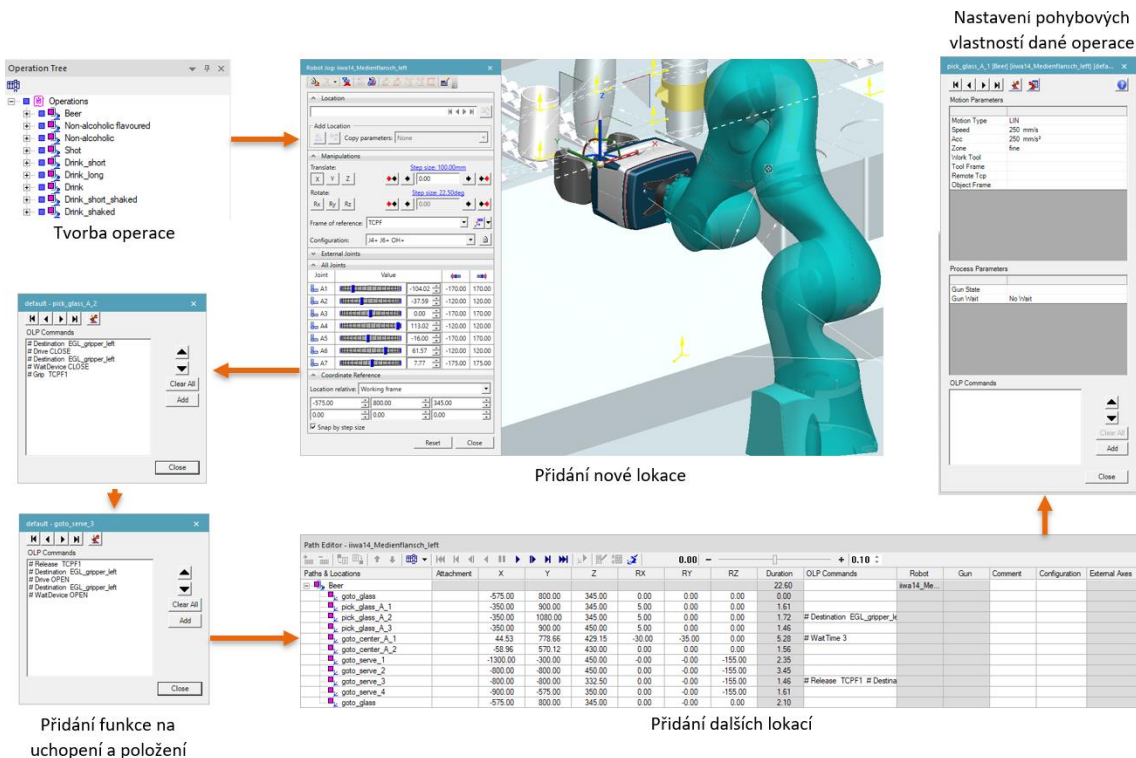
Tento simulační software umožňuje i tvorbu dalších prvků jako například bezpečnostní prvky robotů, kamery nebo elektrické signály a senzory. U simulace tohoto pracoviště by však přínos použití těchto prvků nebyl velký, jelikož by se podstatná část prvků u skutečného pracoviště musela upravovat.

6.4.2. Tvorba operací

Prvním krokem je tvorba nové operace typu „pick and place“ neboli uchop a polož. Existuje několik možností, jak následně přistoupit k tvorbě pozic:

- Zadání souřadnic polohy a natočení TCP v dialogovém okně
- Zadání poloh natočení jednotlivých kloubů robotu v dialogovém okně
- Zadání polohy TCP v simulaci tažením souřadného systému
- Zadání polohy TCP v dialogovém okně skupiny operací.

Po vytvoření a optimalizaci parametrů skupiny pozic je vhodné přiřadit jednotlivým pozicím funkce pro uchopení či položení předmětů. Proces tvorby operací se takto analogicky opakuje u každé operace typu uchop a polož. Poslední částí tvorby operace je nastavení pohybových vlastností dané operace. Mezi parametry pohybových vlastností lze zařadit typ pohybu, rychlost, zrychlení a další dodatečné informace. Pomocí těchto veličin se dá optimalizovat výrobní cyklus robotu a zároveň se v simulačním prostředí ověří schopnost realizace zamýšlených úloh s daným výrobním taktem. Jako nejprospěšnější konfigurace kloubů robotu se pro tento typ aplikace ověřila konfigurace *J4+ J6+ OH+*.



Tvorba operace

Přidání nové lokace

Nastavení pohybových vlastností dané operace

Přidání funkce na uchopení a položení

Přidání dalších lokací

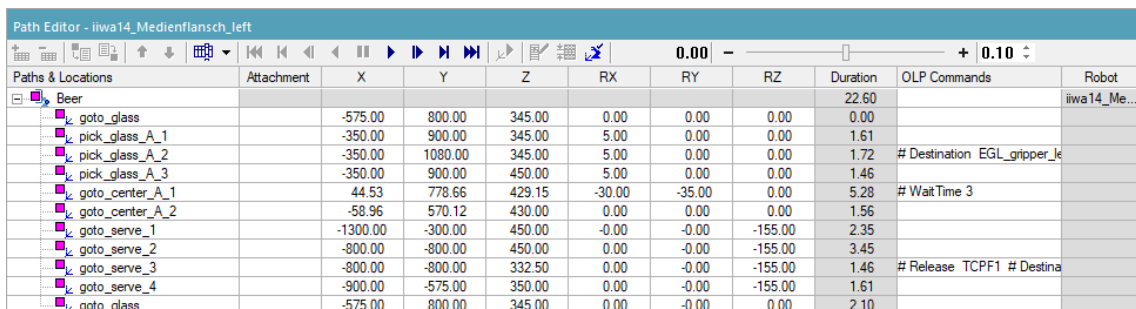
Path & Locations	Attachment	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz	Duration	OLP Commands	Robot	Gun	Comment	Configuration	External Axes
Beer								22.60		Iwa14_Me				
goto_glass		-575.00	800.00	345.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
pick_glass_A_1		-350.00	900.00	345.00	5.00	0.00	0.00	1.61						
pick_glass_A_2		-350.00	1000.00	345.00	5.00	0.00	0.00	1.72				# Destination: ESL_gripper_left		
pick_glass_A_3		-350.00	900.00	450.00	5.00	0.00	0.00	1.46						
goto_center_A_1		44.53	778.66	429.15	-30.00	-35.00	0.00	5.28				# WaitTime 3		
goto_center_A_2		-68.96	570.12	430.00	0.00	0.00	0.00	1.65						
goto_serve_1		-1300.00	-300.00	450.00	-0.00	-0.00	-155.00	2.35						
goto_serve_2		-800.00	-800.00	450.00	0.00	-0.00	-155.00	3.45						
goto_serve_3		-800.00	-800.00	320.50	0.00	-0.00	-155.00	1.46				# Release TCPF1 # Destina		
goto_serve_4		-900.00	-575.00	350.00	0.00	-0.00	-155.00	1.61						
goto_glass		-575.00	800.00	345.00	0.00	0.00	0.00	2.10						

Obr. 46 – Postup při tvorbě operací

6.4.3. Výstup simulace

Jak bylo již zmíněno, účelem simulace bylo ověření prostorových a funkčních dispozic pracoviště. Polohy manipulovaných předmětů byly v průběhu tvorby simulace optimalizovány tak, aby nedocházelo ke kolizím a omezení rychlosti pohybů robotu. U reálného pracoviště tak bude vhodné, pokud budou tyto polohy zachovány, aby nedocházelo k větším zásahům do výrobních procesů.

Na obr. 47 je uveden seznam pozic potřebných k tvorbě jedné operace. Data ve sloupcích X, Y, Z, RX, RY a RZ budou použita jako vstupy do softwaru pro programování robotů. Souhrn času přejezdů z jednotlivých pozic byla řídicí veličina pro rozhodování hlavního výrobního režimu pracoviště. Rozhodování se odehrávalo mezi režimem, kdy spolu roboty mají na výrobě spolupracovat a mezi režimem, kdy každý robot pracoval na výrobě nápoje sám. Simulační časy však ukázaly, že režim spolupráce robotů je zhruba o 25 % méně produktivní než režim výroby, kdy každý robot pracuje na přípravě sám. Složitější by také byla následná integrace režimu spolupráce robotů do plánovacího systému sloužícího pro optimalizaci chodu pracoviště. Výsledným rozhodnutím je ale fakt, že režim spolupráce robotů bude do pracoviště integrován alespoň pro prezentační účely pracoviště.



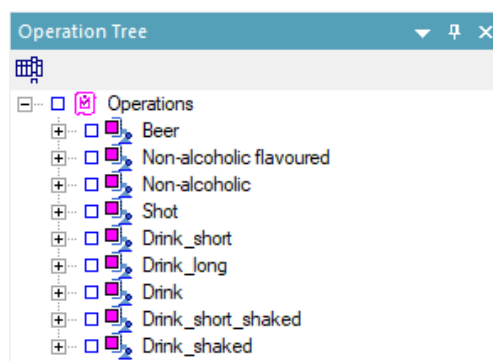
Attachment	X	Y	Z	RX	RY	RZ	Duration	OLP Commands	Robot
							22.60		iiwa14_Me...
↳ goto_glass	-575.00	800.00	345.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
↳ pick_glass_A_1	-350.00	900.00	345.00	5.00	0.00	0.00	1.61		
↳ pick_glass_A_2	-350.00	1080.00	345.00	5.00	0.00	0.00	1.72	# Destination EGL_gripper_je	
↳ pick_glass_A_3	-350.00	900.00	450.00	5.00	0.00	0.00	1.46		
↳ goto_center_A_1	44.53	778.66	429.15	-30.00	-35.00	0.00	5.28	# WaitTime 3	
↳ goto_center_A_2	-58.96	570.12	430.00	0.00	0.00	0.00	1.56		
↳ goto_serve_1	-1300.00	-300.00	450.00	-0.00	-0.00	-155.00	2.35		
↳ goto_serve_2	-800.00	-800.00	450.00	0.00	-0.00	-155.00	3.45		
↳ goto_serve_3	-800.00	-800.00	332.50	0.00	-0.00	-155.00	1.46	# Release TCPF1 # Destina	
↳ goto_serve_4	-900.00	-575.00	350.00	0.00	-0.00	-155.00	1.61		
↳ goto_glass	-575.00	800.00	345.00	0.00	-0.00	0.00	2.10		

Obr. 47 – Příklad kompletní operace

Simulační programy, resp. videa simulací jsou součástí přílohy této práce. Celkem bylo v simulaci vytvořeno 9 druhů hlavních výrobních operací. Operace využívají mezi sebou více stejných pozic – například pokyny pro uchopení sklenic a pro výdej sklenic jsou stejné téměř ve všech operacích a liší se v závislosti na obtížnosti, počtu ingrediencí a typu receptu. To vede k redukci

počtu operací, které jsou zasílány pomocí externího řízení robotu PLC systémem. Vedlejším efektem je také lepší přehlednost programu v robotu. Na obr. 48 je již předem zmíněných 9 druhů hlavních výrobních operací:

- Příprava piva a limonád
- Příprava nealkoholických neochucených a ochucených nápojů
- Příprava destilátu
- Příprava alkoholického nápoje do tří typů sklenic
- Příprava alkoholického míchaného nápoje do dvou typů sklenic



Obr. 48 – Hlavní výrobní operace

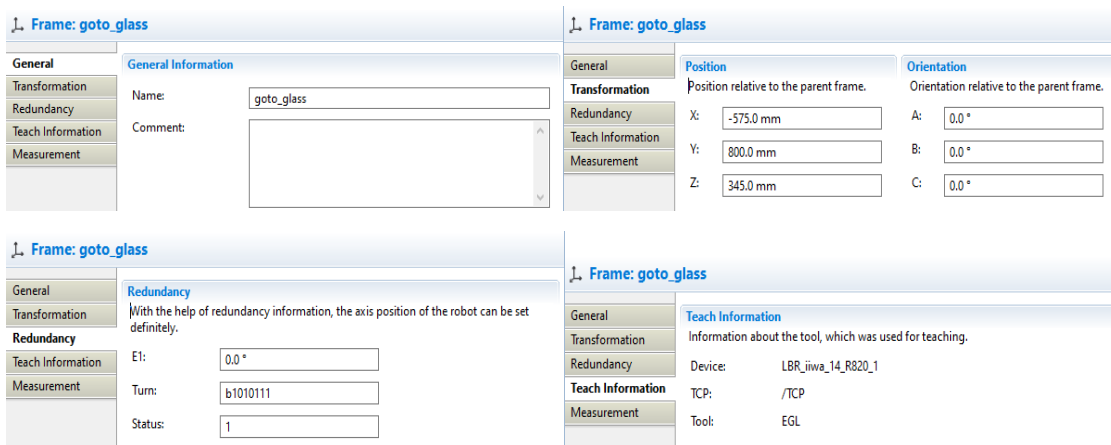
6.5. Programování robotů

Roboty Kuka iiwa se programují v softwarech Kuka WorkVisual (dále jen KW) a Kuka Sunrise Workbench (dále jen KSW). KW slouží k nastavení interního PLC zařízení robotu. Ten má na starost ovládání vstupů a výstupů kontroléru robotu. Zde se také přiřazuje a nastavuje robotu příruba, jelikož existuje několik typů přírub pro tyto roboty. Existují 3 základní druhy přírub – s pneumatickými výstupy, s elektrickými vstupy a výstupy a jejich kombinace. Do softwaru KSW se zadávají pozice ze simulace, což bude nyní demonstrováno.

6.5.1. Importování pozic ze simulace do robotu

Jednotlivé pozice ze simulace jsou postupně zadávány do dialogového okna v programu KSW. Jako první je vytvořena pozice báze systému, která se projeví jen posunutím robotu o 685 mm doleva či doprava od středu prostředního dílu pracoviště. Souřadný systém je zobrazen v předchozí kapitole na obr. 38. Následně je zadána transformace TCP vůči bázi. V dalších krocích už se pak

zadávají pozice ze simulace. Postup zadání takovéto pozice je popsán na obr. 49. Bylo zadáno všech šest parametrů, které byly zmíněny v druhém odstavci kapitoly 6.4.3. Výstup ze simulace. Další doplňující parametr, který lze zadat, je parametr E1, který se však na kontroléru robotu zobrazuje jako parametr R. R parametr ovlivňuje redundanci robotu. Ta se u tohoto typu robotu objevuje kvůli tomu, že má robot 7 řízených os a teoreticky tak může dosáhnout žádané polohy téměř neomezenou kombinací poloh jednotlivých os, na rozdíl od 6 osých robotů. Úhel redundance se řídí podle hodnoty úhlu třetí osy.



Obr. 49 – Postup zadání pozic ze simulace do programu robotu

6.5.2. Nastavení hardwarové konfigurace robotů

Na obr. 50 je uvedena konfigurace proměnných, které slouží pro komunikaci s PLC systémem robotického pracoviště přes Profinet. Na tyto proměnné lze po takovéto konfiguraci přistupovat přes programovací rozhraní KSW, což je hlavním účelem. Celkem byly vytvořeny tři proměnné, které ovládají aktivaci externího řízení robotu, zadávají do robotu číslo programu a spouštějí daný program. Poslední proměnná dává zpětnou vazbu do PLC v tu dobu, kdy je zvolený program již vykonán a robot je připraven na další pokyn.

Další vytvořené proměnné slouží k ovládání koncového efektoru, který komunikuje také přes PLC systém, ale je vhodné ovládací pokyny posílat z robotu. Bohužel není možné tento typ koncového efektoru připojit na Profinet síť robotu, jelikož se zde objevil problém při přiřazování proměnných. Výrobce koncového efektoru definoval řídicí parametry v proměnných typu *Real (32 bitů)*, ale KSW a KW tento typ proměnné používá pouze pro čtení hodnot, nikoliv však

pro zapisování do těchto hodnot. Byla snaha o modifikaci způsobu ukládání dat, která však fungovala pouze pro čtení těchto dat. Další problém se vyskytl při definování proměnných také v tom, že výrobce Kuka používá rozdílnou endianitu neboli pořadí bajtů, resp. uložení čísel v operační paměti, než je tomu u PLC systému. Bylo tak nutné v softwaru KW změnit způsob uložení bajtů všech číselných datových typů.

Name	Type	I/O	I/O	Name	Type	Description	Address
EGLDone	BOOL	←	←	02:01:0003 Input	BOOL		18.2
EGLError	BOOL	←	←	02:01:0004 Input	BOOL		18.3
ExternalAppStart	BOOL	←	←	02:01:0002 Input	BOOL		18.1
ProgramNumber	UINT	←	←	02:01:0009 Input.0.0.0	UINT		20
Start	BOOL	←	←	02:01:0001 Input	BOOL		18.0

Obr. 50 – Přiřazování vstupů a výstupů


Zvláštní částí je pak identifikace potřebných vstupů robotu, které ovládají bezpečnostní funkce opět přes sběrnici Profinet. Na sběrnici mají bezpečnostní bity zvlášť vyhrazené místo o velikosti 64 bitů na rozdíl od běžných vstupů a výstupů o velikosti 2032 bitů. Základní a nejdůležitější první dva bajty jsou zobrazeny na obr. 51. Na starost mají nouzové zastavení robotu a další pokročilejší bezpečnostní funkce. Reservované bity je pak dle výrobce potřeba přes PLC systém přepnout na hodnotu *True*, což bude souviset s konvencí bezpečnostních vstupů, kdy stav *True* znamená, že je zařízení v pořádku.

I/O	Name	Type	Description	Address
←	01:01:0001 Input	BOOL	Reserved	4.0
←	01:01:0002 Input	BOOL	NHE - Emergency stop external	4.1
←	01:01:0003 Input	BOOL	BS - Operator safety	4.2
←	01:01:0004 Input	BOOL	QBS - Acknowledgment of operator sa...	4.3
←	01:01:0005 Input	BOOL	SHS1 - Safety stop 1	4.4
←	01:01:0006 Input	BOOL	SHS2 - Safety stop 2	4.5
←	01:01:0007 Input	BOOL	E2 - E2 keyswitch (customer-specific si...	4.6
←	01:01:0008 Input	BOOL	E7 - E7 keyswitch (customer-specific si...	4.7
←	01:01:0009 Input	BOOL	US2 - Periphery contactor	5.0
←	01:01:0010 Input	BOOL	SBH - Safe operational stop (all axes)	5.1
←	01:01:0011 Input	BOOL	Reserved	5.2
←	01:01:0012 Input	BOOL	Reserved	5.3
←	01:01:0013 Input	BOOL	Reserved	5.4
←	01:01:0014 Input	BOOL	Reserved	5.5
←	01:01:0015 Input	BOOL	Reserved	5.6
←	01:01:0016 Input	BOOL	SPA - System Powerdown Acknowledge	5.7

Obr. 51 – Základní bezpečnostní vstupy robotu

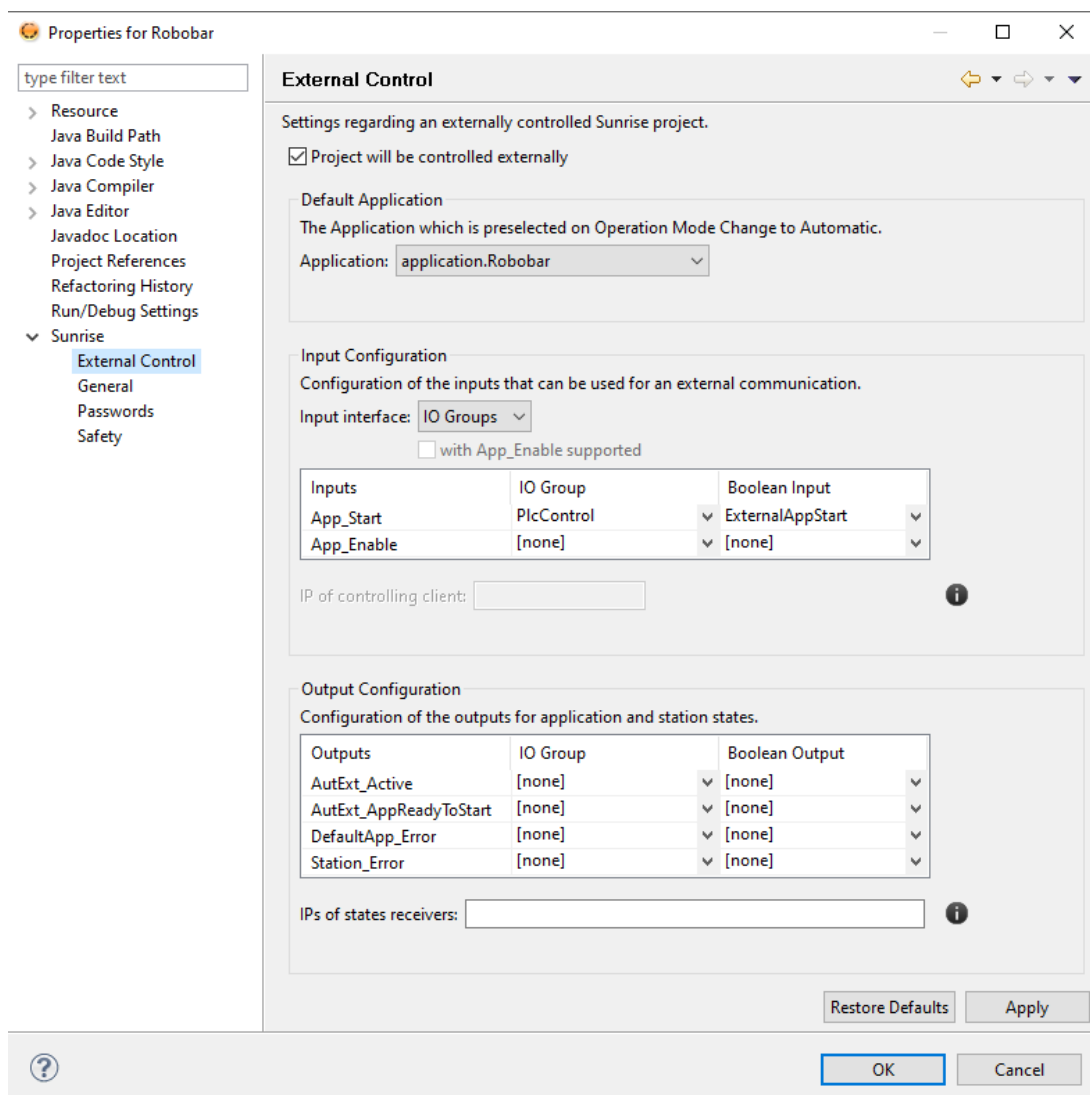
Hardwarovou konfiguraci robotu v KW je pak zapotřebí uložit a exportovat do softwaru KSW, kde se propíšou určité parametry. Nastavení bezpečnostních vstupů je pak ještě nutno přepsat do souboru bezpečnostní konfigurace v KSW na obr. 52, kde lze aktivovat i další bezpečnostní funkce. Mezi ně se řadí i široká řada kolaborativních funkcí pro sledování a omezování sil, momentů, rychlostí

atd. Tyto funkce by však byly aktivované po celý proces chodu robotu, což není pro aplikaci tohoto robotického pracoviště žádoucí. Kolaborativní funkce budou vytvořeny v samotném programu robotu.

Configurable customer safety configuration				
Row	Active	Category	AMF 1	AMF 2
1	<input checked="" type="checkbox"/>	 Emergency stop external	Input signal (1) Input PROFIsafe Byte 0/1	-

Obr. 52 – Nastavení bezpečnostního vstupu robotu v KSW

Velice podstatnou částí hardwarové konfigurace je ještě aktivace externího řízení robotu v softwaru KSW na obr. 53, bez kterého lze zapnout určenou robotickou aplikaci bez dalšího nutného zásahu operátora. To se projeví hlavně v „*smartpad teach pendant*“ ovládacím HMI prvku robotu.



Obr. 53 – Aktivace externího řízení robotu

6.5.3. Programování robotů

Samotné programování robotů Kuka iiwa lze provést z prostředí KSW. Sem se zadají jednotlivé pozice ze simulace, se kterými se následně pracuje v programovacím jazyce JAVA. S těmi se poté pracuje tak, jak uzná programátor za vhodné pro konkrétní typ aplikace.

```
public enum ProgramNumber {
    UNKNOWN(0),
    GOTO_GLASS(10),
    PICK_GLASS_A(20),
    PICK_GLASS_B(30),
    PICK_GLASS_C(40),
    PICK_GLASS_D(50),
    PLACE_GLASS(60),
    PICK_SHAKER(70),
    GOTO_CONVEYOR_B(80),
    GOTO_CENTER_A(90),
    GOTO_CENTER_B(100),
    GOTO_FEEDER(110),
    CLOSE_SHAKER(120),
    OPEN_SHAKER(130),
    EMPTY_SHAKER(140),
    CLEAN_SHAKER(150),
    PLACE_SHAKER(160),
    PICK_GLASS(170),
    GOTO_SERVE(180),
    SHAKE(190);

    private int value;

    private ProgramNumber(int value) {
        this.value = value;
    }

    public int getValue() {
        return this.value;
    }

    public static ProgramNumber fromInt(int value) {
        for(ProgramNumber pn : ProgramNumber.values()) {
            if(pn.value == value) {
                return pn;
            }
        }
        return UNKNOWN;
    }
}
```

Obr. 54 – Aplikace pro identifikaci programů do PLC

Jako první krok bylo zapotřebí vytvořit aplikaci, která dokáže vyhodnotit číslo programu přicházející z PLC, resp. objednávkového a plánovacího systému. Příklad takovéto aplikace je uveden na obr. 54. Princip spočívá v tom, že z PLC bude posláno po sběrnici číslo typu *UInt*, které program v robotu přečte a přiřadí mu metodu obsahující sérii po sobě jdoucích pozic, která se nachází

v hlavním programu. Pokud tedy bude z PLC posláno číslo programu 10, hlavní program robotu to vyhodnotí jako přiřazení typu programu *GOTO_GLASS* neboli dojed' na pozici, kde se uchopují sklenice.

Zjednodušená ukázka pro hlavní program robotu je uvedena na obr. 55. Skládá se z několika částí, počínaje definicí objektů, se kterými se bude v programu pracovat. Byly provedeny definice knihoven pro robotiku, samotného robotu, jeho koncový efektor a PLC systém.

V další části jsem se zaměřil na tvorbu definicí metod. Metoda se skládá z jednotlivých pokynů pro robotu. V konkrétním případě na obr. 55 se jedná o:

- *goto_glass ()* – dojed' na pozici *goto_glass*, otevři koncový efektor
- *pick_glass_D()* – dojed' na pozici *pick_glass_D_1*, dojed' na pozici *pick_glass_D_2*, uchop koncovým efektozem předmět určitou silou, čekej na místě, dokud nepřijde od koncového efektoru zpráva o dokončení uchopení, dojed' na pozici *pick_glass_D_3*
- tři tečky znázorňují, že je zde ve skutečnosti mnohem více metod, které jsou uvedeny v příloze práce, nikoliv však v této ukázce a jsou ovlivněny konkrétním receptem pro zvolený nápoj
- *goto_serve()* – analogie k *pick_glass_D()* metodě, ale robot se otočí na druhou stranu, vydává nápoj a položí hotový nápoj

Předposlední částí hlavního programu je stavový automat robotu, který způsobuje právě volání metod na základě zvoleného čísla programu zasláního PLC systémem. Metody a stavy mají shodné pojmenování, pouze metody jsou psány malými písmeny a stavy velkými písmeny. Stavový automat umožňuje velice jednoduchou změnu či doplnění dalších částí v programu robotu, bez zásahu do ostatních metod programu.

Poslední částí je pouze nekonečná smyčka a spuštění hlavního programu v robotu, která čeká, až se změní náběžná hrana proměnné pro start daného čísla programu v PLC. Pokud robotický program tuto změnu ze stavu 0 na stav 1 vyhodnotí, spustí číslo programu, které má zrovna ve svojí dočasné paměti. Následně pošle robot PLC informaci o dokončení programu.



```
package application;

import javax.inject.Inject;

//definice_objektu
public class Robobar extends RoboticsAPIApplication {
    @Inject
    private LBR lbr;

    @Inject
    @Named("EGL")
    private Tool tool;

    @Inject
    private PlcControlIOGroup io;

    @Override
    public void initialize() {
        tool.attachTo(lbr.getFlange());
        io.setFinished(true);
    }

    //definice_metod_pro_program
    private void goto_glass() {
        getLogger().info("Do goto_glass");
        tool.move(ptp(getApplicationData().getFrame("/Base/goto_glass")));
        io.setEGLCommand(3);
    }

    private void pick_glass_D() {
        getLogger().info("Do pick_glass_D");
        tool.move(lin(getApplicationData().getFrame("/Base/pick_glass_D_1")));
        tool.move(lin(getApplicationData().getFrame("/Base/pick_glass_D_2")));

        //otevreni_koncoveho_efektoru
        io.setEGLForceParameter(10001);
        io.setEGLCommand(2);

        ThreadUtil.milliSleep(100);
        while (io.getEGLDone() == false){
        }

        tool.move(lin(getApplicationData().getFrame("/Base/pick_glass_D_3")));
    }

    //...

    private void goto_serve() {
        getLogger().info("Do goto_serve");
        tool.move(ptp(getApplicationData().getFrame("/Base/goto_serve_prepare")));
        tool.move(lin(getApplicationData().getFrame("/Base/goto_serve_1")));
        tool.move(lin(getApplicationData().getFrame("/Base/goto_serve_2")));
        tool.move(lin(getApplicationData().getFrame("/Base/goto_serve_3")));

        //zavreni_koncoveho_efektoru
        io.setEGLCommand(3);

        ThreadUtil.milliSleep(100);
        while (io.getEGLDone() == false){
        }

        tool.move(lin(getApplicationData().getFrame("/Base/goto_serve_4")));
        tool.move(ptp(getApplicationData().getFrame("/Base/goto_serve_prepare")));
    }
}
```

```

//stavovy_automat_programu
private void startProgram() {
    int programNumberRaw = io.getProgramNumber();
    ProgramNumber programNumber = ProgramNumber.fromInt(programNumberRaw);

    io.setFinished(false);

    switch(programNumber) {
        case UNKNOWN:
            getLogger().warn("Program number " + programNumberRaw + " unknown.");
            break;
        case GOTO_GLASS:
            goto_glass();
            break;
        case PICK_GLASS_D:
            pick_glass_D();
            break;
        //...
        case GOTO_SERVE:
            goto_serve();
            break;
        default:
            getLogger().warn("Behaviour for program number " + programNumber + " not set");
            break;
    }
    io.setFinished(true);
}

//spusteni_programu_robota
@Override
public void run() {

    while(true) {
        while(io.getStart());
        while(!io.getStart());
        startProgram();
    }
}
}

```

Obr. 55 – Ukázka hlavního programu robotu

V následující kapitole bude objasněna konfigurace a princip funkce PLC systému, který je u tohoto pracoviště nejpodstatnějším komponentou, jelikož zprostředkovává řízení všech ostatních zařízení, včetně robotů a koncových efektorů.

V grafické příloze této práce jsou uvedeny diagramy různých výrobních procesů pracoviště. Byly vytvořeny dva hlavní režimy pracoviště:

- Režim spolupráce robotů na tvorbě jednoho nebo více nápojů,
- Režim, kdy každý robot pracuje na tvorbě nápoje sám.

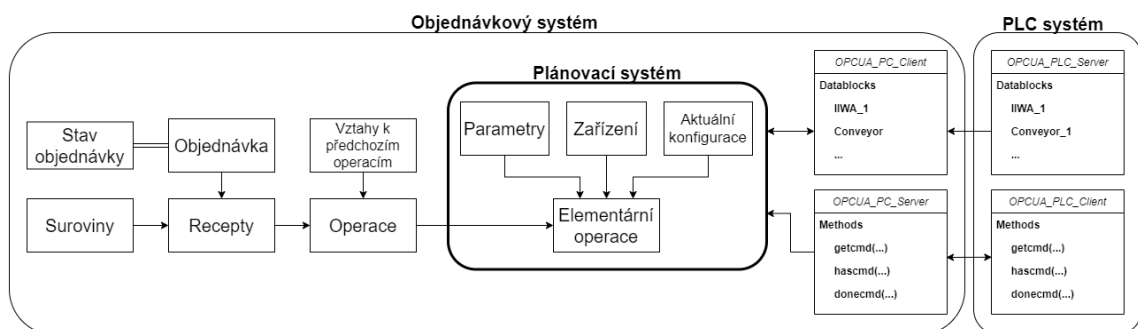
Výhodou je zde fakt, že většina „framů“ ze simulace může být použita pro oba režimy robota. Nicméně režim spolupráce robotů nebyl v této práci popsán podrobně, jelikož se bude programovat až na finální konstrukci pracoviště, protože pro testovací účely byl zatím poskytnut jen jeden robot.

6.6. Řídicí systém

Řídicí systém celého pracoviště se skládá ze dvou hlavních částí, objednávkového systému a PLC systému. Schéma řídicího systému je naznačeno na obr. 56, ale ve skutečnosti je poměrně složitější. Skládá se totiž z databází, které mezi sebou sdílí různé druhy dat, jež poté zpracovává plánovací systém a ten odesílá elementární operace do PLC systému.

Objednávkový systém v sobě obsahuje databáze aktuálních objednávek, receptů, surovin, operací potřebných k tvorbě daného nápoje a plánovacího systému rozdávajícího skupiny operací na elementární operace. Objednávkový systém je reprezentován v podobě OPC UA serveru v počítači. V této aplikaci bude také zahrnut OPC UA klient, který bude sloužit k čtení aktuálního stavu jednotlivých komponent z PLC systému. Tvorba celého tohoto systému není součástí práce. Návrh a funkčnost komunikace bude ověřena v kapitole 6.5. testováním pomocí zjednodušeného testovacího OPC UA serveru.

PLC systém slouží k řízení jednotlivých komponent a chodu celého robotického pracoviště včetně zabezpečení bezpečnostních funkcí. Právě tomuto systému bude věnována v následujících kapitolách větší pozornost, jelikož PLC systém externě řídí i programy robotů. Ve schématu níže je naznačena komunikace PLC systému s objednávkovým systémem.

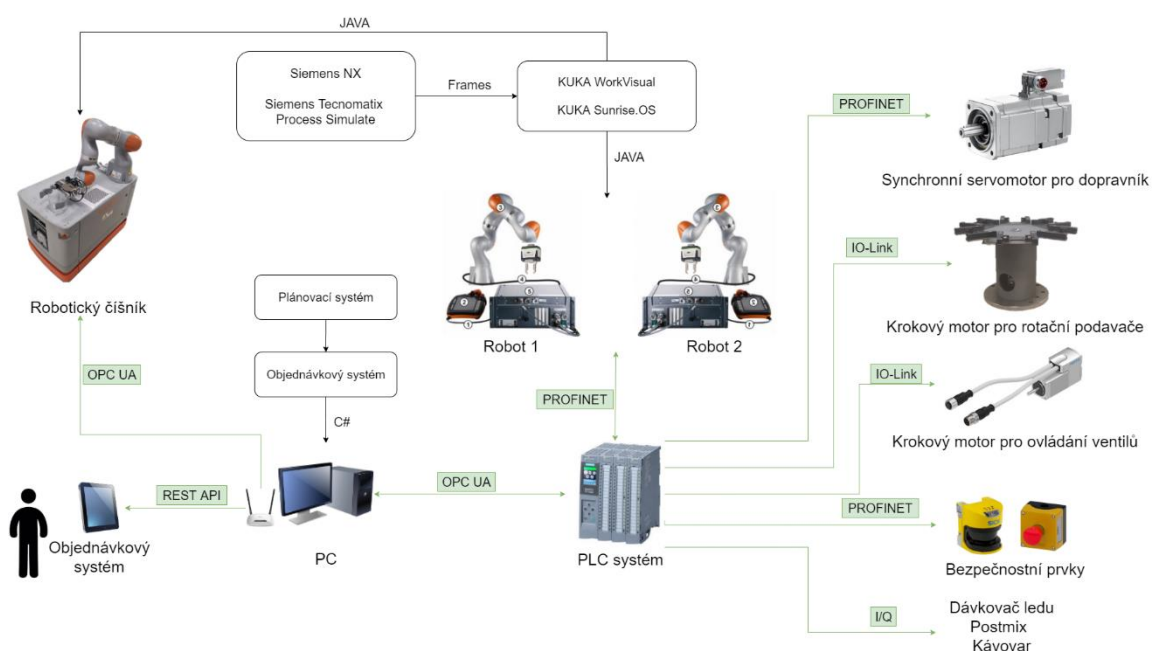


Obr. 56 – Vývojový diagram funkce pracoviště

Komunikace probíhá pomocí třech metod. Metoda *hascmd()* cyklicky v PLC systému zjišťuje, zda má pro ni objednávkový systém připravenou novou elementární operaci. Pokud pro ni objednávkový systém operaci má, aktivuje se metoda *getcmd()*, která má za úkol zjistit informace o elementární operaci. Mezi

tyto informace patří například identifikační číslo a název zařízení, kterého se daný úkol týká a řada parametrů ovlivňující různý chod daného zařízení. Metoda *donecmd()* pak vrací hodnotu, která je nositelem informace o dokončení určité elementární operace.

Schéma řídicího systému znázorňuje obr. 57. Lze si na první pohled všimnout, že jsou všechna zařízení propojena s PLC systémem, který je pak přes komunikaci OPC UA propojen s objednávkovým systémem a robotickým číšníkem v podobě mobilní platformy.



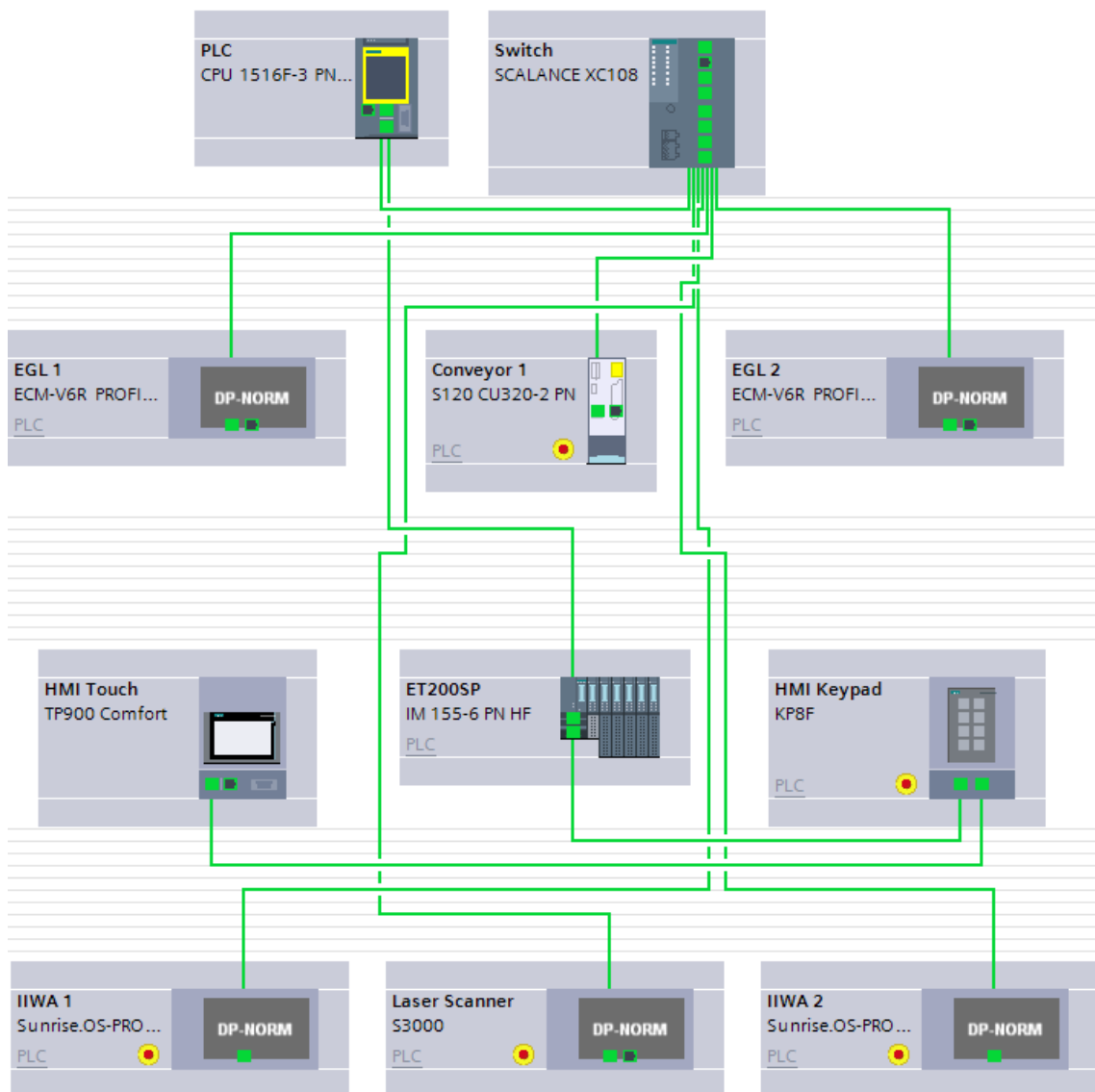
Obr. 57 – Schéma řídicího systému

PLC systém

Při navrhování PLC systému byly využity primárně komponenty od značky Siemens, které byly konfigurovány a programovány v softwaru TIA Portal V16. Hardwarová konfigurace topologie PLC systému je uvedena na obr. 58. Zde bylo třeba dbát na správné řazení komponent po řádcích, jelikož zařízení na druhém řádku jsou v interní komunikaci PLC upřednostněna díky tzv. IRT komunikaci.

IRT (Isochronous Real-Time) komunikace poskytuje deterministické chování sítě, což znamená, že data jsou odesílána a přijímána v daném pořadí a v určeném časovém intervalu. Další výhodou této komunikace je nejkratší cyklus přenosu dat až 250 μ s, při použití rozšíření sítě na Profinet V2.3 je to

dokonce 31.25 μ s. U standardní *RT (Real-Time)* komunikace se pohybují cykly přenosu dat kolem 1 ms. IRT komunikace v PLC systému robotického pracoviště nalezne uplatnění u řízení pohybu motorů v uzavřené smyčce. To vyžaduje nejen krátkou dobu cyklu, ale také i deterministické chování sítě. [38] Konkrétně v této topologii se pomocí IRT komunikace bude řídit synchronní servomotor na dopravníku a také oba koncové efekty robotů.



Obr. 58 – Topologie PLC systému

U všech zařízení uvedených na obr. 58 bylo nutné nastavit názvy, bezpečnostní funkce, konfiguraci Profinet sítě a další parametry. U hlavního zařízení PLC CPU 1516F-3 PN bylo nastavení rozšířeno o aktivaci OPC UA

serveru a OPC UA klienta, které je potřeba aktivovat kvůli komunikaci s objednávkovým systémem. V následujících odstavcích bude popsána tvorba konfigurace pro roboty a koncové efektory, bezpečnostní programy a prvky, HMI obrazovky a bude uveden výčet dalších zařízení v topologii. Zařízení, která nejsou obsažena v knihovně softwaru pro programování PLC systému, lze dodatečně přidat do konfigurace pomocí tzv. *GSDML (General Station Description Markup Language)* souborů. Tyto soubory jsou vytvořené v XML formátu a popisují konkrétní typ zařízení v Profinet síti. Soubory jsou poskytovány výrobcem, který je přiloží na CD disk k zakoupenému zařízení. Tohoto postupu bylo využito u robotů, koncových efektorů a laserového skeneru.

6.6.1. Konfigurace robotů a koncových efektorů

Po tom, co byly u robotů nastaveny konfigurace Profinet sítě, bylo nutné konfigurovat vstupní a výstupní adresy. Jak lze z obr. 59 pozorovat, vstupní adresy pro bezpečnostní vstupy začínají pro prvního robotu na adrese I286 a pro klasické vstupy na I298. Číslo zde znamená, na jakém bajtu se začíná vyhrazovat paměť. Výstupní bezpečnostní adresy začínají na Q286 a klasické adresy začínají na Q298. Analogicky se tak tvořily adresy i pro druhého robotu. Pro porovnání s obr. 49 a 50, kde se nastavovaly adresy Profinet v robotu, je třeba zmínit, že tyto adresy nejsou číslem bajtů shodné. Každé zařízení totiž pracuje se svojí pamětí. Pro uvedení příkladu, bezpečnostní adresy v robotu začínají v jeho paměti na I4.0, čemuž v PLC systému odpovídá adresa Q286.0.

...	Module	Rack	Slot	I address	Q address	Type	Article no.	Firmware
	IIWA 1	0	0			Sunrise.OS-PROFIN...	0x400	V1.3
	▶ iiwa-left	0	0 X1			Sunrise		
	64 safe digital in- and output...	0	1	286...297	286...297	64 safe digital in- a...	KUKA Device FIO64	
	2032 digital in- and outputs...	0	2	298...551	298...551	2032 digital in- an...	KUKA Device IO2032	

Obr. 59 – Konfigurace modulů vstupů a výstupů u robotu

Obdobným způsobem pak bylo nutné vytvořit konfiguraci pro koncové efektory na obr. 60. Zajímavostí zde je fakt, že koncové efekторы Schunk EGL nebylo možno připojit přes Profinet ke kontroléru robotu, jelikož se zde vyskytl problém při přiřazování proměnných. Výrobce koncového efektoru definoval řídicí parametry v proměnných typu *Real (32 bitů)*, ale softwaru výrobce Kuka tento typ proměnné dokáže pouze číst. GSDML soubory pro koncové efekторы

tak byly vloženy do softwaru TIA Portal V16, kde proběhla konfigurace vstupů a výstupů. Zde jsem se opět potýkal s problémem rozdílné endianity u výrobce koncového efektoru a PLC systému. Problém byl vyřešen pomocí funkčního bloku, který mění pořadí bajtů.

Module	Rack	Slot	I address	Q address	Type
▼ EGL 1	0	0			ECM-V6R PROFINET IRT
▶ Interface	0	0 X1			ECM-V6R-PIRT-2Port
EGL Configuration_1	0	1			EGL Configuration
Input frame_1	0	2	42...59		Input frame
Output frame_1	0	3		41...64	Output frame

Obr. 60 – Konfigurace modulů vstupů a výstupů pro koncový efektor

Po dokončení předchozích konfigurací už poté jen zbývalo vytvořit proměnné, se kterými se bude pracovat v PLC programu, přes které bude realizována komunikace do robotu. Proměnné, které byly v PLC systému vytvořeny pro robotu a koncový efektor, jsou uvedené na obr. 61.

IIWA_1			
	Name	Data type	Address
1	IIWA_1_Done	Bool	%I298.0
2	IIWA_1_Execute	Bool	%Q298.0
3	IIWA_1_External_Start	Bool	%Q298.1
4	IIWA_1_Reserved_Byte0_Bit0	Bool	%Q286.0
5	IIWA_1_Estop_External	Bool	%Q286.1
6	IIWA_1_Operator_Safety	Bool	%Q286.2
7	IIWA_1_Operator_Acknowledge	Bool	%Q286.3
8	IIWA_1_Safety_Stop1	Bool	%Q286.4
9	IIWA_1_Safety_Stop2	Bool	%Q286.5
10	IIWA_1_Safe_Operational_Stop...	Bool	%Q287.1
11	IIWA_1_Reserved_Byte1_Bit2	Bool	%Q287.2
12	IIWA_1_Reserved_Byte1_Bit3	Bool	%Q287.3
13	IIWA_1_Reserved_Byte1_Bit4	Bool	%Q287.4
14	IIWA_1_Reserved_Byte1_Bit5	Bool	%Q287.5
15	IIWA_1_Reserved_Byte1_Bit6	Bool	%Q287.6
16	IIWA_1_Program_Number	UInt	%QW299
17	IIWA_1_EGL_Command	UInt	%IW299
18	IIWA_1_EGL_Force_parameter	DInt	%ID301
19	IIWA_1_EGL_Done	Bool	%Q298.2
20	IIWA_1_EGL_Error	Bool	%Q298.3
21	IIWA_1_EGL_Position_parameter	DInt	%ID305
22	IIWA_1_EGL_Command_swap	UInt	%MW10

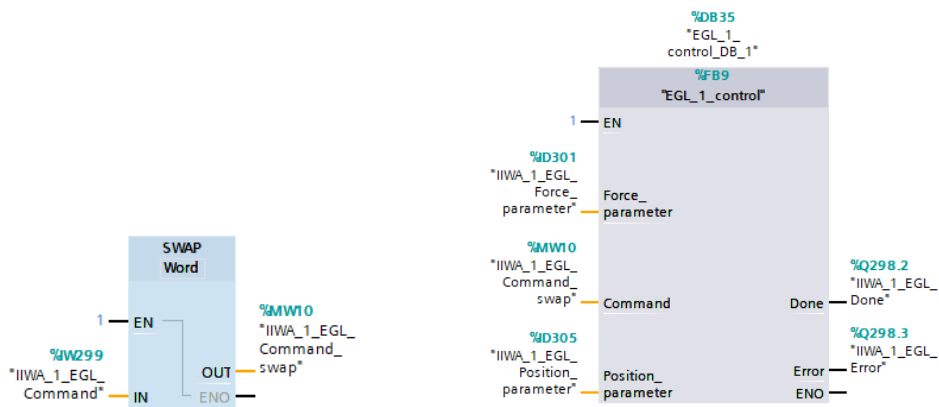
EGL_1			
	Name	Data type	Address
1	EGL_1_Command_Release_A	Bool	%Q41.0
2	EGL_1_Command_Release_B	Bool	%Q41.1
3	EGL_1_Jerk_Activated	Bool	%Q41.2
4	EGL_1_Acceleration_Active	Bool	%Q41.3
5	EGL_1_Current_Active	Bool	%Q41.4
6	EGL_1_Speed_Active	Bool	%Q41.5
7	EGL_1_Position_Active	Bool	%Q41.6
8	EGL_1_RelPosition_Active	Bool	%Q41.7
9	EGL_1_Referencing	Bool	%Q42.1
10	EGL_1_Restart_Module	Bool	%Q42.4
11	EGL_1_Acknowledge_Error	Bool	%Q42.5
12	EGL_1_Stop	Bool	%Q42.6
13	EGL_1_Quick_Stop	Bool	%Q42.7
14	EGL_1_Command_Released_A	Bool	%42.0
15	EGL_1_Command_Released_B	Bool	%42.1
16	EGL_1_Module_Ready	Bool	%42.6
17	EGL_1_Module_Moves	Bool	%43.0
18	EGL_1_Target_Reached	Bool	%43.1
19	EGL_1_Momevent_Blocked	Bool	%43.2
20	EGL_1_Break_Applied	Bool	%43.3
21	EGL_1_Module_Referenced	Bool	%43.4
22	EGL_1_Info_Message	Bool	%43.5
23	EGL_1_Warning	Bool	%43.6
24	EGL_1_Error	Bool	%43.7
25	EGL_1_Actual_Position	Real	%ID46
26	EGL_1_Actual_Speed	Real	%ID50
27	EGL_1_Actual_Current	Real	%ID54
28	EGL_1_Desired_Position	Real	%QD45
29	EGL_1_Desired_Speed	Real	%QD49
30	EGL_1_Desired_Electricity	Real	%QD53
31	EGL_1_Desired_Acceleration	Real	%QD57
32	EGL_1_Desired_Jerk	Real	%QD61
33	EGL_1_Error_code	Word	%W58

Obr. 61 – Tvorba proměnných pro robotu (vlevo) a pro koncový efektor (vpravo)

Pro lepší přehlednost, a hlavně kvůli faktu, že se v PLC aktivovala funkce OPC UA server, byly tyto proměnné přiřazeny do data bloků těchto zařízení. Záměrem je totiž vytvořit pro každé zařízení data blok, přes který lze toto zařízení

řídít a monitorovat. Monitorování stavu proměnných bude sloužit pro objednávkový systém.

U koncového efektoru bylo ještě zapotřebí vytvořit řídicí algoritmus, jelikož výrobce neposkytuje žádné předem vytvořené ovládací funkční bloky. Funkční blok *SWAP Word* vlevo na obr. 62 slouží k již několikrát zmíněné rozdílné endiannessi a mění způsob uložení a pořadí bajtů pro číselné datové typy. V pravé části obrázku je ovládací blok pro koncový efektor, za kterým stojí 200 řádkový kód, psaný v programovacím jazyku SCL. V kódu je realizován stavový automat, který přepíná zařízení mezi stavy reset, reference, uchop, uvolní a zároveň kontroluje splnění těchto stavů a případný výskyt chyb. Kód pro řízení bude v příloze práce. K funkčnímu bloku byly nastaveny vstupní ovládací parametry uchopovací síly, čísla příkazu ve stavovém automatu a parametr žádané pozice. Číslo zadávané pro uchopovací sílu je zadáváno jako hodnota elektrického proudu v ampérech, které jsou podle převodní tabulky poté přepočítány na odpovídající sílu uchopení.



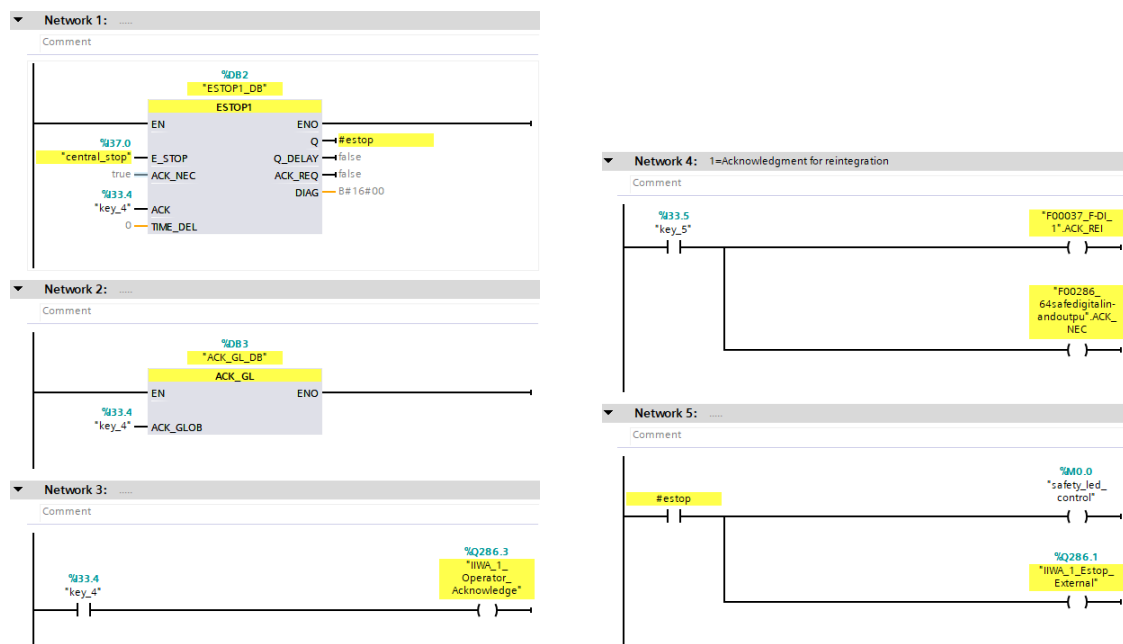
Obr. 62 – Tvorba funkčních bloků pro ovládání koncového efektoru

Zbývá ještě objasnit, jak tedy probíhá komunikace koncového efektoru a robotu. Hlavní řídicí bloky pro koncový efektor jsou v PLC systému a hlavní řídicí bloky pro robotu jsou v kontroléru robotu. Do PLC systému tedy přijde přes OPC UA komunikaci požadavek na operaci robotu z objednávkového systému a PLC následně ihned přepoše tyto požadavky do robotu, kde jsou jeho hlavním programem odbaveny. Pokud požadavek obsahuje i řídicí informace pro koncový efektor, je bohužel řídicí povel odeslán zpět do PLC systému. Vzhledem

k tomu, že je ale koncový efektor implementován v IRT režimu, nedochází zde k téměř žádné časové prodlevě. Teoreticky by bylo možné řídit koncový efektor jako samostatné zařízení v PLC systému, to ale nekoresponduje se zavedenými konvencemi pro řízení robotů.

6.6.2. Konfigurace bezpečnostních programů

V tomto případě bylo použito CPU zařízení, které podporuje funkci Fail-safe. Tato funkce byla výrobcem do některých řad CPU zařízení implementována podle mezinárodních norem týkajících se bezpečnosti a spolehlivosti. Když je Fail-safe funkce aktivována, tak je automaticky vytvořen hlavní bezpečnostní program. Do tohoto programu byly následně přidány bezpečnostní funkční bloky, které řídí bezpečnostní stavy zařízení. Na obr. 63 je uveden v síti 1 bezpečnostní blok *ESTOP1*, který má na starost nouzové zastavení celého pracoviště. Pokud je tak mechanickým tlačítkem nouzového zastavení učiněno, systém vyhodnotí do pomocné lokální proměnné *#estop* stav, který zastaví všechna zařízení. Pro demonstraci bylo schéma zjednodušeno a tato proměnná ovlivní pouze stav barev na HMI tlačítkovém panelu a zastaví pohyb robotu. Ve skutečnosti však zastaví všechna potřebná zařízení.



Obr. 63 – Hlavní části bezpečnostního programu

Pokud je tlačítko nouzového zastavení uvedeno opět do logického stavu 1, pracoviště je stále zastaveno a čeká na potvrzení, které ho uvede zpět do chodu. K tomu slouží tlačítko číslo 4 na HMI tlačítkovém panelu, které ovládá funkční blok potvrzování, který je uveden v síti 2. Stavů jsou na tlačítkovém panelu navíc doprovázeny barevnou indikací, kdy:

- svítí červená – je stlačeno tlačítko nouzového zastavení pracoviště
- svítí červená a bílá – bylo stlačeno tlačítko nouzového zastavení pracoviště a systém čeká na potvrzení k pokračování chodu
- svítí zelená – systém je v chodu.

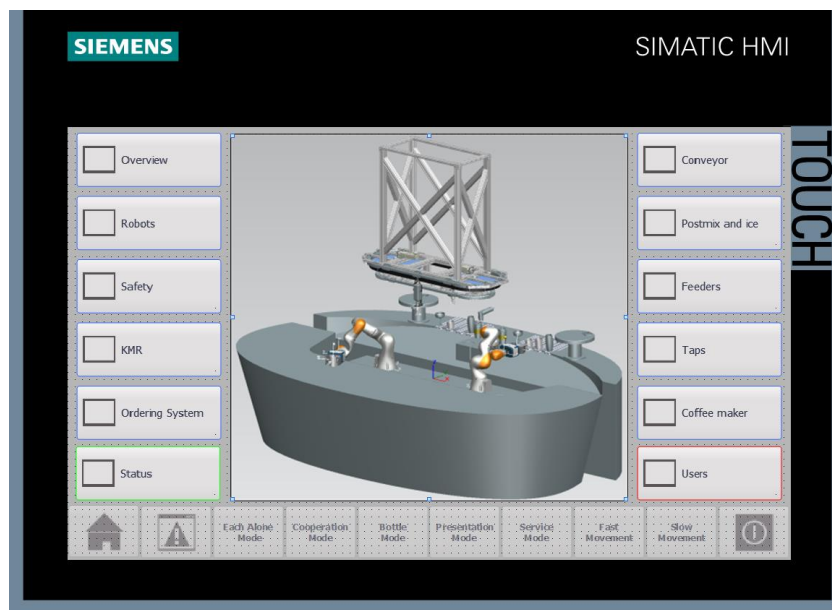
Pokud je potvrzovací tlačítko stlačeno, potvrzení se propíše nejen do hlavního bloku pro potvrzení opuštění nouzového stavu, ale i do robotu a dalších zařízení. Tato zařízení totiž také vyžadují potvrzení o opuštění z nouzového stavu. HMI tlačítkový panel byl pro tuto aplikaci použit z toho důvodu, že má v sobě integrované vstupní bezpečnostní konektory pro připojení právě například tlačítka nouzového stavu. Není tak nutné pořizovat digitální vstupní kartu typu Fail-safe. Propojení panelu je zprostředkováno přes Profinet síť, kde má panel vyhrazené bezpečnostní bity podobně jako robot. V další síti je pak navíc ještě vytvořen blok starající se o potvrzení o reintegraci zařízení.

6.6.3. Konfigurace panelů HMI

V předchozí kapitole byla již zmíněna funkce tlačítkového HMI panelu, která souvisí hlavně s bezpečnostní funkcí. Princip jeho funkce se dá shrnout tak, že slouží obecně jako vstupní a výstupní zařízení. Vstupy jsou aktivovány stlačením jednoho z osmi tlačítek a výstupy jsou aktivovány pomocí bloku funkce v programu PLC systému, kde si lze každému tlačítku přiřadit jednu z 5 barev. Tlačítko svítí dle toho, jak jsou napsány podmínky jeho řídicího programu.

Pracoviště však bylo ještě doplněno dotykovou HMI obrazovkou, která má na starosti monitorování celého stavu pracoviště. Na obr. 64 je zobrazena hlavní obrazovka pracoviště. Pokud chce některý z uživatelů přistoupit k obrazovce, nejprve se musí přihlásit. Přihlašovací práva byla rozdělena do třech úrovní. Všechna práva na změny má administrátor. Pro aktivaci či deaktivaci případných

modulů pracoviště má přístupová práva technik, který také může monitorovat stavy všech zařízení a provádět inicializace zařízení společně se spuštěním celého pracoviště. Poslední přístupové právo má operátor. Ten však může sledovat pouze stav zásob jednotlivých zařízení, protože se bude starat o doplňování lahví se sirupy a destiláty v dopravníku a doplňování ovoce do rotačního podavače. K těmto situacím byly vytvořeny speciální funkce pro ovládání zařízení v režimu doplnění zásob.

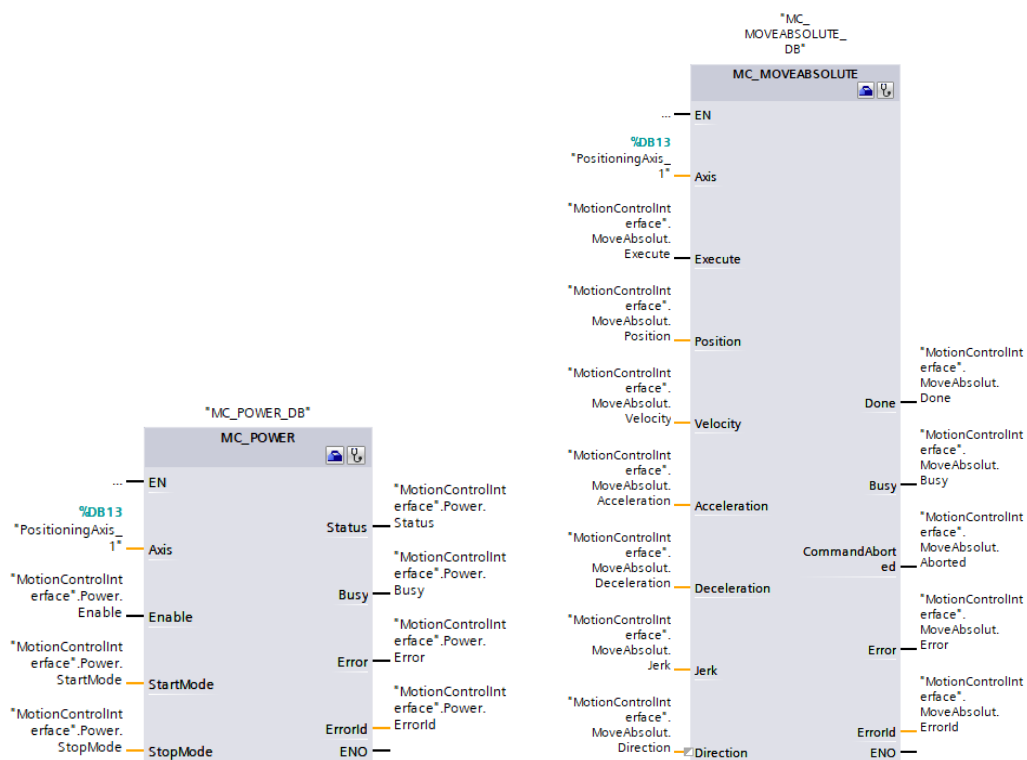


Obr. 64 – Úvodní obrazovka HMI dotykového panelu

6.6.4. Konfigurace synchronního servomotoru

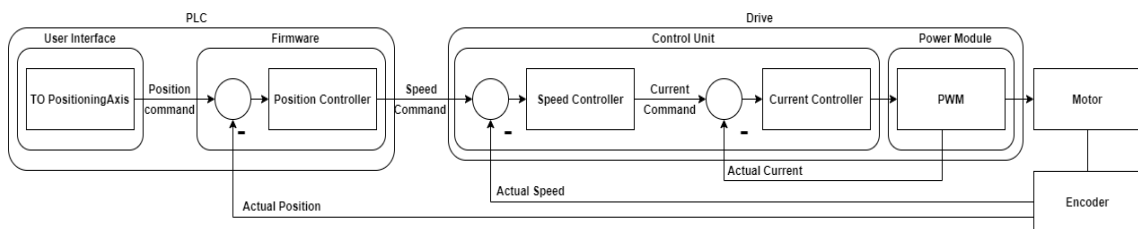
Funkce dopravníku spočívá v tom, že bude každé lahvi na dopravníku přiřazena jedna poloha z enkodéru. Pokud tedy přijde z objednávkového systému požadavek na určitý typ lahve, motor dopravníku dojde na určenou pozici, kde bude robotem odebrán daný objem destilátu nebo sirupu z lahve. Dopravník je poháněn synchronním servomotorem od společnosti Siemens, který je připojen do PLC přes logickou a výkonostní jednotku řady S120 CU320-2 PN. Tato jednotka slouží jako frekvenční měnič. Jednotlivé části jednotky S120 jsou k ní připojovány přes rozhraní Drive-CliQ. Díky této funkci stačí k jednotce připojit zvolené komponenty a následně použít funkci ke zjištění hardwarové konfigurace jednotky. Dále je nutno upravit nastavení základní konfigurace zařízení a Profinet sítě v IRT režimu. Po těchto úpravách bylo možno k jednotce

přístupovat přes speciální rozšíření *Startdrive Advanced*, které bylo nainstalováno do softwaru TIA Portal V16. Komunikace PLC systému a jednotky S120 probíhá pomocí tzv. telegramů. V tomto případě byl použit pro komunikaci odesílání a přijímání dat pro řízení motoru telegram 105 a pro bezpečnostní komunikaci byl zvolen telegram 30. V rozhraní *Startdrive* je poté možné nakonfigurovat širokou řadu parametrů motoru. Řízení motoru lze provést třemi způsoby. Prvním z nich je přímé ovládání motoru na online rozhraní jednotky S120. Druhou možností je ovládání jednotky přes technologický objekt, což je prvek pro řízení pohybů osy. Pro účely dopravníku byl zvolen prvek *PositioningAxis*, který slouží k uzavření polohové vazby. Třetí možností je přístup k již vytvořenému technologickému objektu přes funkční bloky v samotném programu PLC systému. Právě tato forma řízení byla využita. Na obr. 65 jsou uvedeny funkční bloky pro ovládání jednotky S120. Funkční blok *MC_POWER* aktivuje technologický objekt i jednotku S120. Následně je motor řízen pomocí příkazů, které jsou zasílány na vstup bloku pro absolutní polohování. V režimu absolutního polohování se samozřejmě musí nejprve provést inicializace, kterou zprostředkovává funkční blok *MC_Home*.



Obr. 65 – Použití funkčních bloků pro ovládání motoru

Pro upřesnění kaskádního řízení motoru byl vytvořen diagram na obr. 66. Pokud není využito modulu *DSC (Dynamic Servo Control)*, tak je polohová vazba uzavřena na straně PLC jako v tomto případě. Požadavek polohy je zadáván přes již zmíněný funkční blok *MC_MOVEABSOLUTE*. Následně je polohovým regulátorem zpracován a vyhodnocen jako požadavek rychlosti pro rychlostní regulátor. Regulace rychlosti a proudu se již děje na straně jednotky S120. Regulátor rychlosti tedy zpracuje požadavek rychlosti a určí hodnotu proudu, který bude pro její dosáhnutí nutný. Následně je požadavek zpracován regulátorem proudu a jeho výstupem je napětí, které určuje délku sepnutí pulzní šířkové modulace (PWM). Z obr. 66 je zřejmé, že bylo využito nepřímého odměřování enkodérem na hřídeli motoru. Rychlost získaná z enkodéru je pak zpracována pomocí numerické integrace a výstupem je aktuální poloha hřídele motoru, která vstupuje zpět do regulátoru polohy.



Obr. 66 – Schéma použití technologického objektu *PositioningAxis*

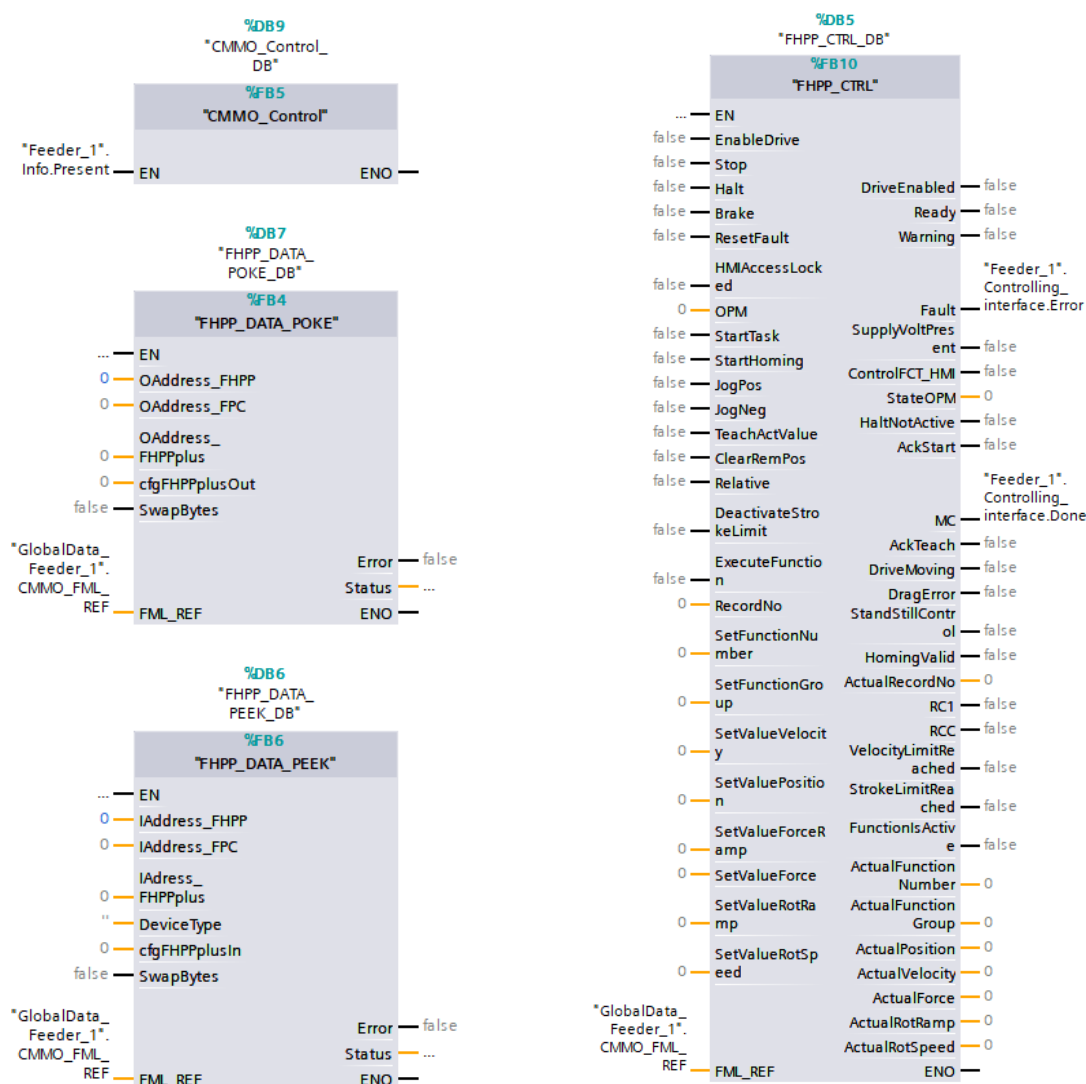
6.6.5. Konfigurace krokových motorů

U konfigurace všech krokových motorů byl proces poměrně složitý. V řešení byly použity krokové motory Festo EMMS-ST společně s kontroléry řady CMMO. Komunikace PLC systému s kontroléry probíhá pomocí průmyslového rozhraní IO-Link. Proto byla do distribuované jednotky vstupů a výstupů ET200SP vložena karta typu IO-Link. Komunikace probíhá pomocí tří vodičů pro každý kontrolér. Rozlišuje se vodič pro logické napětí 24 V, vodič pro uzemnění a vodič pro IO-Link signál.

V TIA Portal V16 se nejprve vložila do konfigurace zařízení ET200SP karta pro IO-Link komunikaci až pro 4 zařízení, což bude v tomto případě dostačující. Následně bylo nutné otevřít rozšiřující rozhraní S7-PCT (Port Configuration Tool), což je nástroj pro konfiguraci portů u komunikace typu IO-

Link. V něm byly importovány *IODD (Input Output Device Description)* soubory, které poskytl výrobce motorů. Tyto soubory jsou obdobou k již předem zmíněným GSDML souborům. Jako poslední krok v softwaru S7-PCT bylo zapotřebí určit počáteční adresy vstupních a výstupních bajtů. Po dokončení těchto nastavení stačilo nahrát konfiguraci zpět do softwaru TIA Portal V16.

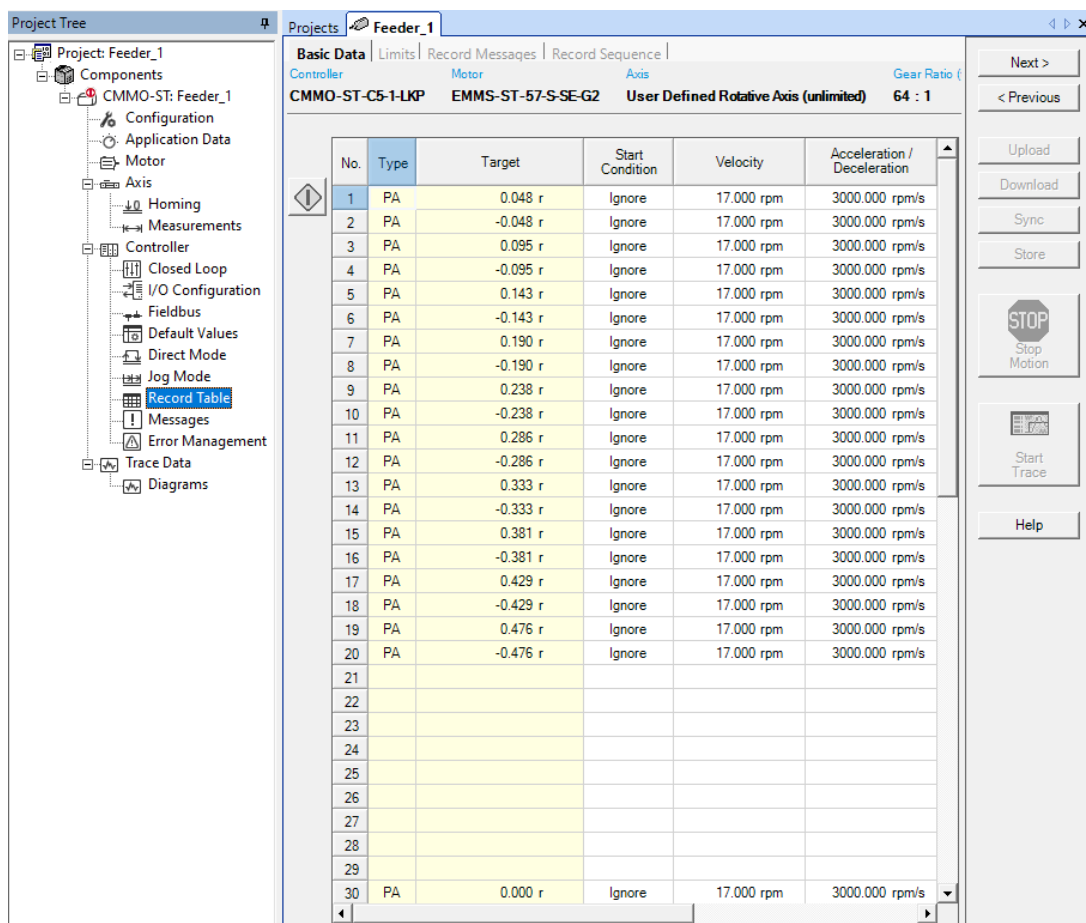
Dalším krokem bylo přidání funkčních bloků zajišťujících odesílání a přijímání dat do kontrolérů motorů, které jsou vlevo na obr. 67. Ty poté byly navíc doplněny o funkční blok zprostředkující překládání dat na samotné proměnné, který je zobrazen na obr. 67 vpravo. Ovládání motorů pak zajišťuje blok *CMMO_Control*, který byl vytvořen v programovacím jazyku SCL a obsahuje 50-ti řádkový kód se stavovým automatem.



Obr. 67 – Použití funkčních bloků pro komunikaci s kontrolérem motoru

Ovládání motorů blokem CMMO_Control se provádí tak, že je vždy zasláno číslo reprezentující číslo záznamu v tabulce na obr. 68 spolu s pokynem pro zahájení pohybu. Tabulka byla vytvořena v softwaru Festo Configuration Tool. Záznamy byly vytvořeny podle úhlu, který odpovídá počtu míst pro ovoce v zásobníku. Lichá čísla reprezentují absolutní polohování motoru po směru hodinových ručiček a u sudých čísel je to naopak. Záznam č. 30 složí k najetí do nulové polohy, když jsou do zásobníku doplňovány zásoby. Inicializace zařízení probíhá pomocí externího snímače a je zakomponovaná v ovládacím bloku při spuštění zařízení.

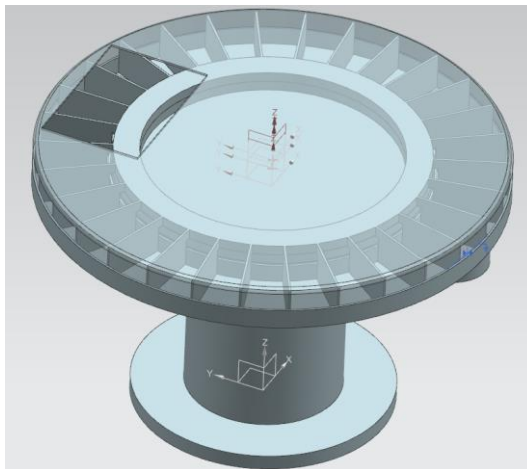
Princip podavače je zobrazen na obr. 69. Spodní konstrukce stojanu, kde je upevněn motor s převodovkou a kulatou deskou, byla původně používána jako výměník nástrojů pro roboty. Jelikož pro něj již nebylo toto využití aktuální, byla na něj dodělána nadstavba a je použit u tohoto pracoviště. V zadní části je otvor pro doplňování zásob a v přední části je výdejní otvor.



The screenshot shows the 'Record Table' configuration in the Festo Configuration Tool. The table lists 30 records for a 'User Defined Rotative Axis'. Each record specifies a target angle, start condition, velocity, and acceleration/deceleration. Records 1-29 are for specific positions, while record 30 is for the zero position.

No.	Type	Target	Start Condition	Velocity	Acceleration / Deceleration
1	PA	0.048 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
2	PA	-0.048 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
3	PA	0.095 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
4	PA	-0.095 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
5	PA	0.143 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
6	PA	-0.143 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
7	PA	0.190 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
8	PA	-0.190 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
9	PA	0.238 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
10	PA	-0.238 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
11	PA	0.286 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
12	PA	-0.286 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
13	PA	0.333 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
14	PA	-0.333 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
15	PA	0.381 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
16	PA	-0.381 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
17	PA	0.429 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
18	PA	-0.429 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
19	PA	0.476 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
20	PA	-0.476 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30	PA	0.000 r	Ignore	17.000 rpm	3000.000 rpm/s

Obr. 68 – Tvorba tabulky záznamů



Obr. 69 – Podavač s krokovým motorem

6.6.6. Konfigurace laserového skeneru

Jako doplňkové bezpečnostní zařízení byl zvolen laserový skener od společnosti Sick S3000. Ten byl připojen pomocí Profinet komunikace do PLC systému. Opět zde bylo nutné nejprve vložit do TIA Portal V16 soubor popisující vstupy a výstupy tohoto zařízení. Poté byly nakonfigurovány vstupy a výstupy tak, jak je zobrazeno na obr. 70. Vstupní signály PLC systému signalizují několik stavů. První dva vstupní signály indikují narušení ochranného a varovného pole. Další dva vstupní signály dávají PLC systému informaci o tom, jestli je vyžadován restart senzoru na ochranném nebo varovném poli. Z kombinací těchto vstupů pak lze usoudit, zda v poli někdo skutečně je nebo je už prostor volný a čeká pouze na signál restartování. Výstupní signály umožňují vyslat z PLC informaci o požadavku na restartování snímače. Pokud se v oblasti stále nachází předmět nebo osoba, vyslání takovéto informace nebude mít vliv na změnu stavu skeneru.

Laser_Scanner			
	Name	Data type	Address
1	I_Protective_Field_OF2_free	Bool	%I423.0
2	I_Warning_Field_free	Bool	%I423.1
3	I_RestartRequired_ProtField_OF2	Bool	%I423.4
4	I_RestartRequired_SimProtField	Bool	%I423.6
5	I_Monitoring_case_valid	Bool	%I424.1
6	O_Restart_Protective_Field_OF2	Bool	%Q424.0
7	O_Restart_Simultaneous_Prote..	Bool	%Q424.2

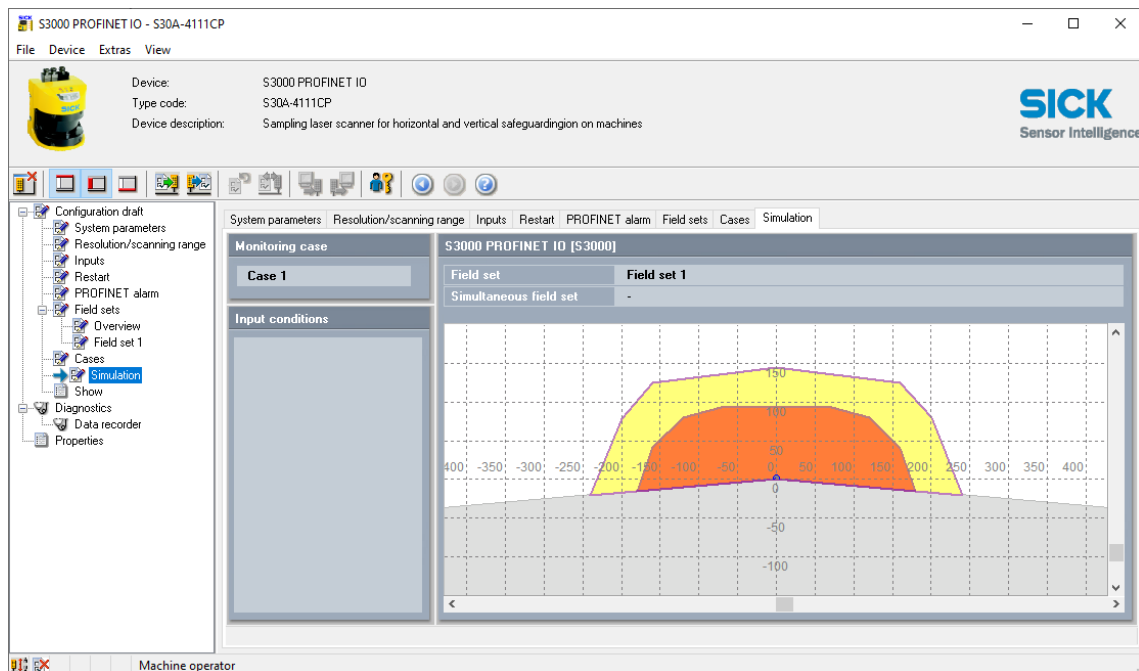
Obr. 70 – Tvorba proměnných pro ovládání laserového skeneru

Na obr. 71 je zobrazen návrh bezpečnostních polí v softwaru Sick CDS. Bezpečnostní pole byla vytvořena s ohledem na předchozí návrh v kapitole 6.3

a obr. 43. Červené pole zde znázorňuje ochranné pole a žluté pole představuje varovné pole. U klasického použití skeneru se používá běžně ochranné pole pro zastavení systému a varovné pole pouze pro spuštění varovného signálu. Při takovémto rozvržení ale nastává problém, pokud by jeden robot pracoval na přípravě nápoje a druhý robot by vydával hotový nápoj. Laserový skener by totiž vyhodnotil narušení bezpečnostního pole a zastavil by tak chod pracoviště.

Funkce skeneru se tedy bude aktivovat pouze v případě, kdy se budou oba roboty pohybovat vyšší rychlostí, než je povoleno v kolaborativním režimu. Skener bude sloužit k zastavení chodu pracoviště, pokud by došlo k narušení tohoto prostoru. Pro aktivaci skeneru bude sloužit funkce monitorování úhlu první osy robotů a také aktuální nastavená rychlost TCP robotů.

U finálního pracoviště budou pravděpodobně pole skeneru ještě mírně přenastavena s ohledem na velikost výdejní plochy a bude použit jiný druh skeneru, který dokáže snímat více polí. Ideální variantou by bylo rozdělení bezpečnostních zón v polovině. Každý robot by tak měl svoji indikaci narušení prostoru a nemuselo by docházet ke zpomalování pohybu robotu i v nežádoucích situacích, kdy druhý robot vydává nápoj.



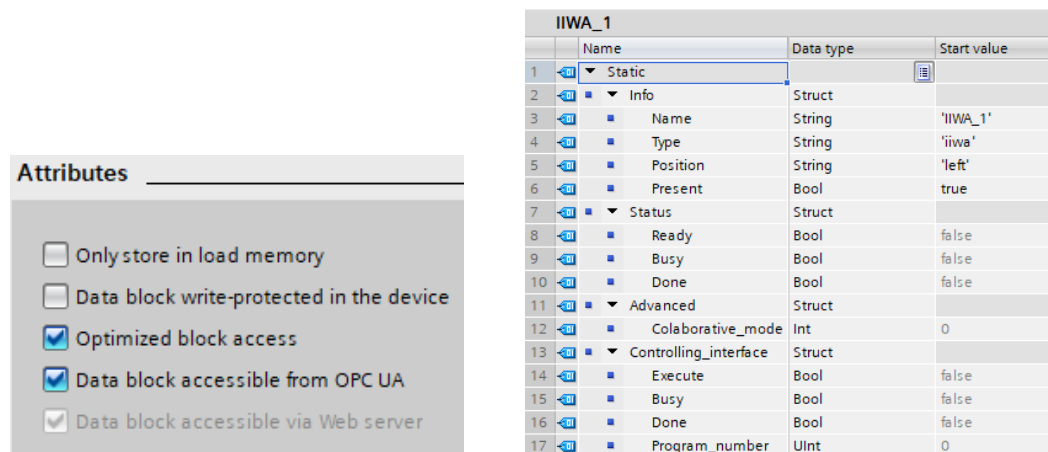
Obr. 71 – Návrh ochranného pásma a pásma pro varování

6.6.7. Konfigurace ostatních zařízení

Mezi další zařízení pracující s řídicím systémem lze zahrnout zařízení sloužící k výrobě limonád, dávkovač ledu, kávovar a výčep piva a limonád. Tato zařízení budou připojena do PLC systému pomocí standardních karet pro vstupy a výstupy na jednotce distribuovaných vstupů a výstupů ET200SP. Funkčnost volby této metody je ověřena již z předchozího návrhu robotického pracoviště s jedním kolaborativním robotem.

6.6.8. OPC UA komunikace

V PLC systému byl aktivován OPC UA server. Jeho aktivace je potřebná zejména z důvodu, že objednávkový a plánovací systém potřebuje znát aktuální stav jednotlivých zařízení, aby mohl připravovat s předstihem elementární operace. Proto byl pro každé zařízení vytvořen jeden data blok, jejichž seznam je zobrazen na obr. 74 vlevo. U každého data bloku je možnost zaškrtnutí okna umožňující zpřístupnit daný data blok z OPC UA, jak je ukázáno na obr. 72 vlevo. Demonstrace samotného data bloku, v tomto případě pro prvního robotu, je na obr. 72 vpravo. První část data bloku souvisí s požadavkem na vyšší modularitu řídicího systému a celého nového pracoviště. Lze si zde totiž zvolit pro každé zařízení jeho unikátní název, typ, pozici na pracovišti a stav, jestli je zařízení aktivní či nikoliv. Další část slouží právě jako indikátor stavu pro objednávkový a plánovací systém. Rozlišují se stavy, kdy je dané zařízení připravené konat, zaneprázdněné a kdy dokončilo operaci. Data blok byl navíc doplněn o pokročilé řídicí parametry vztahující se vždy k danému zařízení. Poslední částí data bloku je ještě ovládací rozhraní, kam budou přicházet pokyny pro řízení, v tomto případě číslo programu a aktivační proměnná. Rozdíl mezi proměnnými *Busy* a *Done* u částí *Status* a *Controlling_interface* je v tom, že proměnné u části *Status* jsou vytvořené proměnné monitorující stavy programů, kdežto u části *Controlling_interface* jsou proměnné propojené přímo s robotem.

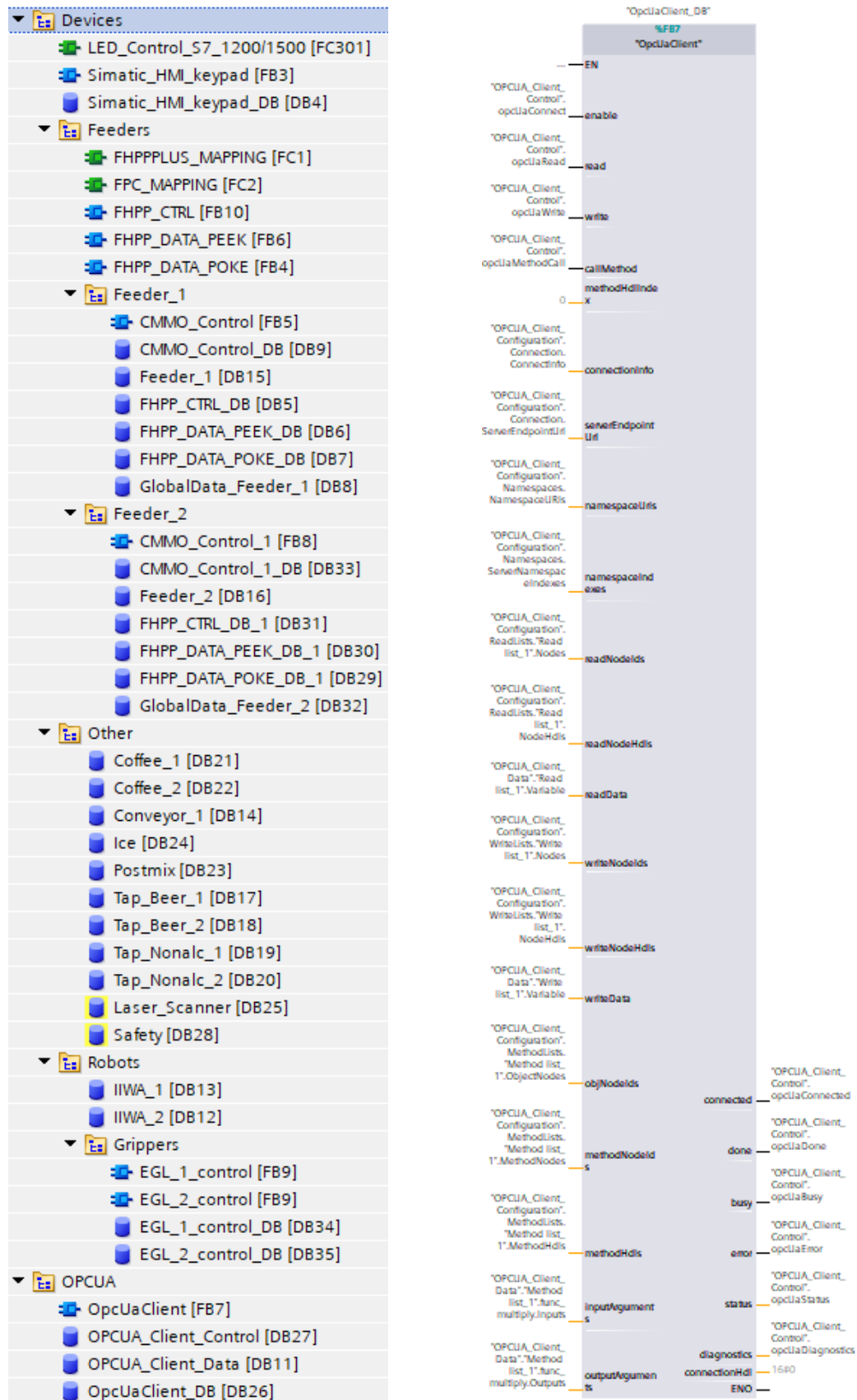


Obr. 72 – Aktivace přístupu data bloků z OPC UA (vlevo) a data blok pro robotu (vpravo)

Tvorba OPC UA klienta v PLC systému je poměrně nová funkce. V tomto řešení bude sloužit ke komunikaci s metodami, které jsou vytvořeny v objednávkovém a plánovacím systému. Jak již bylo zmíněno, komunikace bude probíhat pomocí třech metod.

Prvním krokem je tvorba rozhraní pro OPC UA klienta, která zahrnuje vytvoření tzv. *read, write a method listů*. Do těchto listů se naimportují tzv. *nodes*, které si lze představit jako základní stavební prvky na serveru. Každá entita má k sobě přiřazené číslo uzlu. Uzly jsou uloženy na serveru s objednávkovým a plánovacím systémem, který je potřeba nakonfigurovat. Jelikož náplní této práce není tvorba celého objednávkového systému, bude pouze vytvořen testovací server, který ověří funkčnost komunikace. Podrobnější informace k tvorbě serveru budou uvedeny v kapitole 6.8. V konfiguraci je třeba vyplnit IP adresu serveru, port a konkrétní adresář.

Jakmile je konfigurace rozhraní hotová, tak stačí už jen stisknout tlačítko kontroly online přístupu k serveru. Tím se také načtou všechny uzly tohoto serveru. Pak už stačí jen vyhledat metody, které se týkají komunikace, a naimportovat je do *method listů* PLC systému. Posledním krokem je použití předdefinovaného funkčního bloku pro OPC UA klienta, který je zobrazen na obr. 73 vpravo. Do tohoto funkčního bloku jsou přiřazeny jednotlivé listy. Komunikace probíhá ovládáním tohoto bloku.



Obr. 73 – Seznam zařízení (vlevo) a použití funkčního bloku pro OPC UA klienta (vpravo)

6.7. Propojení s mobilní platformou

Samotné propojení řídicího systému robotu s mobilní platformou lze provést pomocí virtuálního navigačního serveru s komunikací OPC UA. Programování mobilní platformy se odehrává ve stejném prostředí KSW, jakož je tomu u programování robotů. Je zapotřebí rozlišit dva případy použití mobilní platformy, od kterých se následně odvíjí umístění virtuálního navigačního serveru.

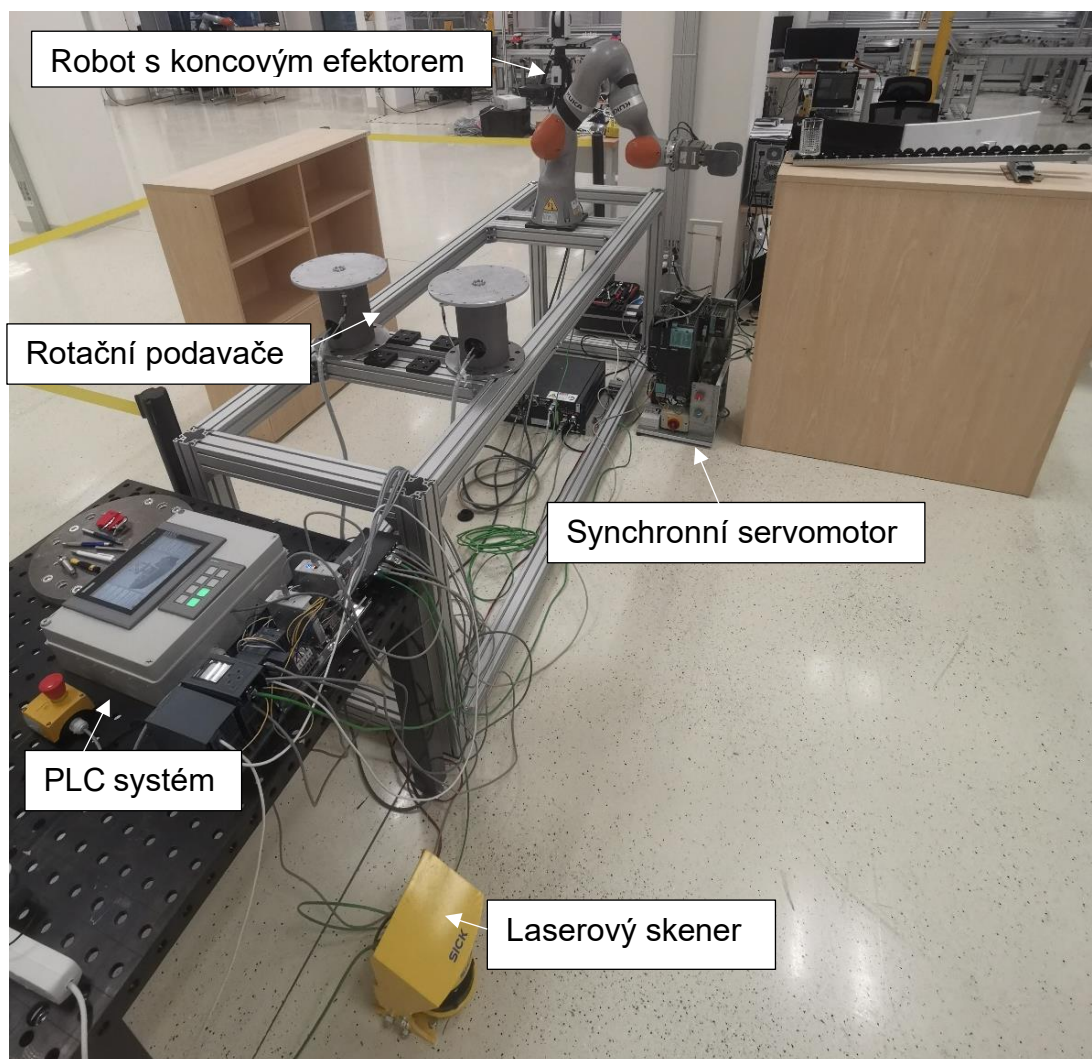
Prvním případ by byl splněn, pokud by se kolem robotického pracoviště pohybovala pouze jedna mobilní platforma Kuka KMR. Pak by bylo možné vytvořit virtuální navigační server přímo na této mobilní platformě. Vzhledem k tomu, že mobilní platforma má vlastní Wi-Fi modul, komunikace by probíhala přes něj, pomocí OPC UA.

Druhý případ by nastal, když by kolem pracoviště fungovalo více než jedna mobilní platforma. V tom případě by byl navigační server vytvořen mimo konkrétní platformu. Důvodem je fakt, že pokud se pohybuje současně vedle sebe více mobilních platform, musí se určit jeden systém, který bude řídit všechny platformy, aby nedošlo ke kolizím a byla zachována správná funkčnost. Virtuální navigační server pak bude organizovat chod a trasy jednotlivých platform. Do navigačního serveru se musí naskenovat a určit oblast, v které chceme, aby se mobilní platformy pohybovaly.

Virtuální navigační server lze doprogramovat například v programovacím jazyce JAVA nebo C#. Mobilní platforma bude v řešení práce použita jako robotický číšník. Pokud bude z tabletu provedena objednávka indikující stav objednávky pro doručení mobilní platformou, mobilní platforma se tímto příkazem aktivuje a dojde k robotickému pracovišti. Jednotka se dokáže sama autonomně pohybovat v prostoru. Dokáže také vyhodnocovat přítomnost lidí, objektů a přizpůsobovat tomu svoji rychlost. Až mobilní platforma dorazí k robotickému pracovišti, převezme si nápoj na určené pozici a následně jej zpátky zaveze tam, kde byla provedena objednávka.

6.8. Testování

Testovací pracoviště je zobrazeno na obr. 74. Pro testovací účely byl na robotu prozatím použit koncový efektor Schunk EGL, což je bohužel verze s nekolaborativními funkcemi a designem. Kolaborativní efektor se nepodařilo získat v časovém úseku tvorby práce, jelikož ještě nebyl výrobcem uveden na trh. Nicméně většina funkcí tohoto koncového efektoru a princip řízení je shodný s jeho kolaborativní variantou. Testování programů na robotu probíhalo za použití provizorní konstrukce, na níž je pod úhlem 5° umístěna válečková lišta, která představuje zásobník sklenic. Na jejím konci je umístěna zarážka, odkud robot uchopuje sklenici a následně ji vydává na druhé straně pracoviště. Během testování chodu robotu nenastaly téměř žádné problémy.



Obr. 74 – Testovací pracoviště

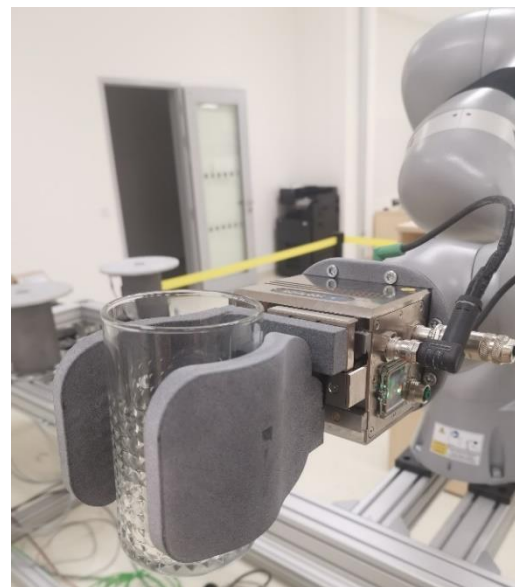
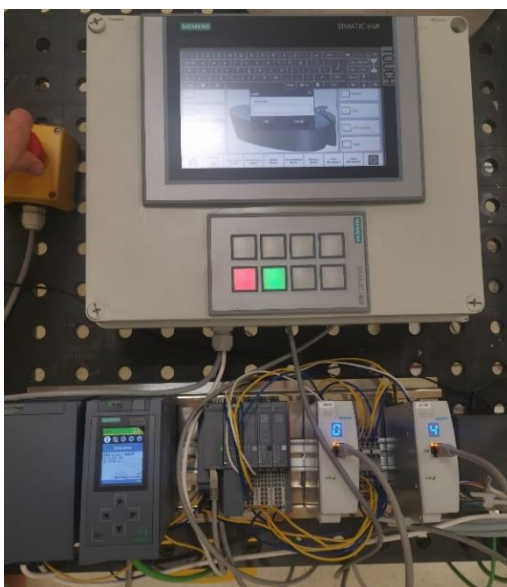
Pro rotační podavače byly vytvořeny a otestovány řídicí funkce. Zde se vyskytl problém s inicializací jednoho z motorů. Důvodem byla velká vzdálenost kapacitního senzoru zprostředkujícího inicializaci od šroubu, který má vytvářet impuls pro inicializaci.

Vzhledem k tomu, že ještě nebyl vybrán vhodný motor pro dopravník lahví, bylo pro testování a programování použito zařízení SINAMICS S120 Demo and training case, jež se skládá z frekvenčního měniče a synchronního servomotoru. Na něm byly otestovány programy pro absolutní polohování dopravníku, kde určité hodnotě enkodéru odpovídá pozice lahve na dopravníku.

Laserový skener byl prozatím testován na podlaze, jelikož ještě není vytvořena konečná konstrukce robotického pracoviště. Jak bylo již zmíněno, do budoucna bude navíc použit skener, který dokáže skenovat více polí najednou.

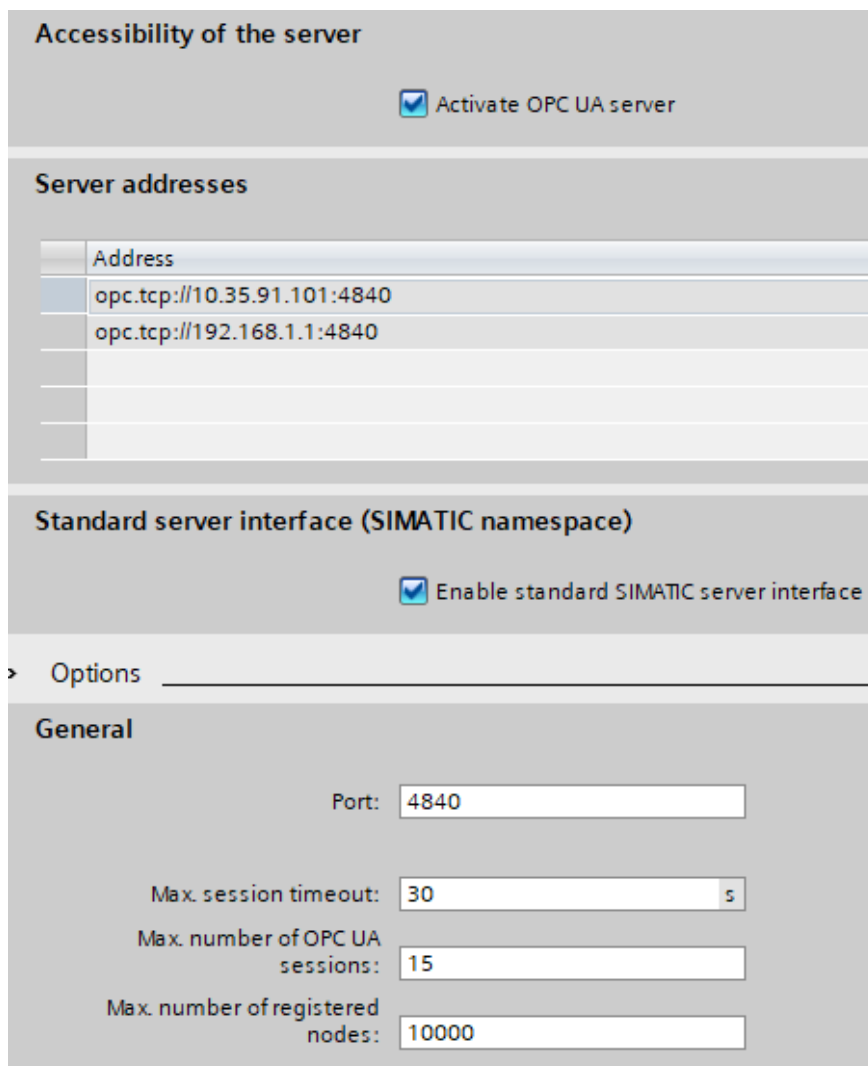
Na obr. 75 vlevo je zobrazen PLC systém skládající se ze zdroje napětí, CPU jednotky, jednotky distribuovaných vstupů a výstupů a kontrolérů krokových motorů. V horní části obrázku je ještě plastový box, do kterého byly zasazeny HMI prvky pracoviště – dotyková obrazovka a tlačítkový panel s bezpečnostním vstupem pro tlačítko nouzového zastavení pracoviště.

Vpravo na obr. 75 je detail přípravku pro uchopování sklenic, který je upevněn na koncový efektor Schunk EGL, pro který byl navíc vytvořen adaptér na přírubu robotu. Adaptér je připraven na záměnu za kolaborativní efektor.



Obr. 75 – Záběr detailů testovacího pracoviště

Pro testování komunikace OPC UA byl použit software UaExpert, což je program, který slouží právě i pro ověření funkčnosti komunikace. V PLC systému byl aktivován OPC UA server, jak je vidět na obr. 76. Zde bylo potřeba nakonfigurovat IP adresu serveru s portem. Po nahrání hardwarové a softwarové konfigurace do PLC systému se server aktivuje a lze do něj přistupovat ze softwaru UaExpert, jež simuluje přístup OPC UA klienta v PC. V grafické příloze na konci této práce je uveden snímek z tohoto softwaru. V záložce *DataBlocksGlobal* je možno přistupovat k jednotlivým data blokům zařízení a dalším informacím. Vzhledem k tomu, že se data bloky a jejich parametry zobrazily, lze považovat komunikaci za funkční.



Accessibility of the server

Activate OPC UA server

Server addresses

Address
opc.tcp://10.35.91.101:4840
opc.tcp://192.168.1.1:4840

Standard server interface (SIMATIC namespace)

Enable standard SIMATIC server interface

> Options

General

Port:

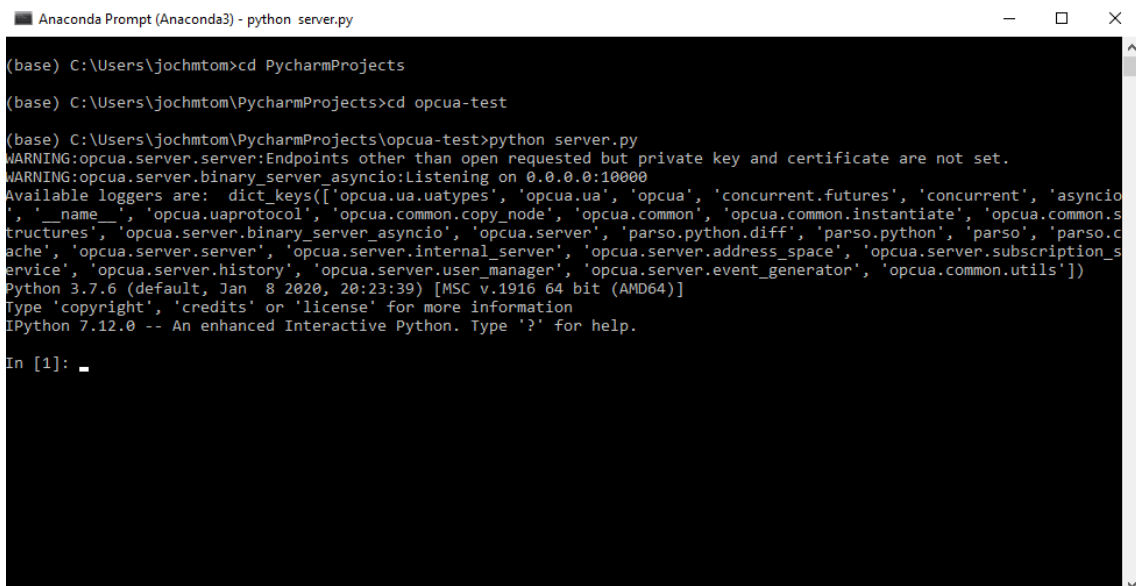
Max. session timeout: s

Max. number of OPC UA sessions:

Max. number of registered nodes:

Obr. 76 – Aktivace a konfigurace OPC UA serveru na PLC

Pro testování OPC UA klienta v PLC systému byl proces tvorby testovacího prostředí složitější. Nejprve bylo nutno vytvořit a modifikovat aplikaci pro OPC UA server v programovacím jazyce Python. Prostředí v tomto programovacím jazyce považuji za přívětivé, jelikož je poměrně jednoduché takovýto server vytvořit a modifikovat. Není zde však zaručena plná funkčnost serveru oproti jeho tvorbě v programovacích jazycích C# nebo JAVA. Server byl poté spuštěn v příkazovém řádku, jak je vidět na obr. 77. K tomuto serveru se následně bude připojovat OPC UA klient v PLC systému, což zaručí funkčnost komunikace.



```

Anaconda Prompt (Anaconda3) - python server.py
(base) C:\Users\jochmtom>cd PycharmProjects
(base) C:\Users\jochmtom\PycharmProjects>cd opcua-test
(base) C:\Users\jochmtom\PycharmProjects\opcua-test>python server.py
WARNING:opcua.server.server:Endpoints other than open requested but private key and certificate are not set.
WARNING:opcua.server.binary_server_asyncio:Listening on 0.0.0.0:10000
Available loggers are: dict_keys(['opcua.ua.uatypes', 'opcua.ua', 'opcua', 'concurrent.futures', 'concurrent', 'asyncio', '__name__', 'opcua.uaprotocol', 'opcua.common.copy_node', 'opcua.common', 'opcua.common.instantiate', 'opcua.common.structures', 'opcua.server.binary_server_asyncio', 'opcua.server', 'parso.python.diff', 'parso.python', 'parso', 'parso.cache', 'opcua.server.server', 'opcua.server.internal_server', 'opcua.server.address_space', 'opcua.server.subscription_service', 'opcua.server.history', 'opcua.server.user_manager', 'opcua.server.event_generator', 'opcua.common.utils'])
Python 3.7.6 (default, Jan 8 2020, 20:23:39) [MSC v.1916 64 bit (AMD64)]
Type 'copyright', 'credits' or 'license' for more information
IPython 7.12.0 -- An enhanced Interactive Python. Type '?' for help.



In [1]: _
    
```

Obr. 77 – Příkazový řádek se spuštěným testovacím OPC UA serverem

Samotná tvorba OPC UA klienta v PLC systému je zobrazena na obr. 78. Opět bylo nutné v konfiguraci vyplnit IP adresu zařízení, na kterém je spuštěn testovací server. Zde byla použita IP adresa zařízení, z kterého byla tvořena i konfigurace komunikace v TIA Portalu. Dále bylo ještě nutné doplnit cestu do adresáře, kde byly uloženy proměnné pro ověření komunikace. Po těchto krocích už jen stačilo použít software UaExpert, který duplicitně ověřil funkčnost komunikace, jelikož funkce byla ověřena i softwarem TIA Portal, který umožňuje online přístup na server. Snímek ze softwaru UaExpert je také uveden v grafické příloze na konci této práce.

Na rozdíl od PLC serveru, kde není zapotřebí dodatečně přidávat žádné funkční bloky pro komunikaci, je u klienta nutno tyto bloky vytvořit. Funkční bloky pro tuto komunikaci byly zmíněny již na obr. 73. Komunikace v tomto řešení bude probíhat hlavně pomocí *method listů*. V zařízení *Device0001* byla vytvořena metoda, která měla ověřit funkčnost komunikace. Vstup do metody byla 2 čísla ve formátu *Int*, která následně byla vrácena v jejich součinu. To dostatečně ověřilo funkčnost OPC UA klienta v PLC systému.

Connection parameter

	Client	Server
Session name:	OPC UA Connection_1	
Device:	PLC [CPU 1516F-3 PN/DP]	Unspecified device
		
Address:		10.35.91.104
Port:		10000
Path (optional):		/freeopcua/server/
Server address:		opc.tcp://10.35.91.104:10000/fre
Session timeout:	30	s
Monitoring time:	5	s

Obr. 78 – Konfigurace OPC UA klienta na PLC

7. Závěr

Cílem této diplomové práce byl návrh, tvorba a testování kolaborativního robotického pracoviště. Pro tento proces bylo nejprve velice důležité se seznámit s problematikou kolaborativní robotiky, která je v současné době popsána jak pomocí norem, tak pomocí odborných článků od výrobců robotů. V úvodní části práce byly také definovány pojmy, které se v této práci používaly. Vzhledem k tomu, že z požadavků na nový návrh pracoviště vyplynula potřeba zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti, byla teoretická část práce zaměřena zejména na tyto oblasti.

Další částí práce bylo zjištění aktuálního stavu dané problematiky v České republice a ve světě. Ve většině pracovišť byly použity pouze klasické průmyslové roboty a v menším počtu pak byla nalezena pracoviště s jedním kolaborativním robotem. Poté byla provedena analýza trhu, kde byly nalezeny vhodné kolaborativní roboty, mobilní platformy a kolaborativní koncové efekty. Z této analýzy byla následně vybrána finální zařízení, mezi která lze zařadit dva kolaborativní roboty Kuka LBR iiwa 14 R820, dva koncové efekty Schunk CO-ACT EGL-C a mobilní platformu Kuka KMR iiwa 14 R820 s koncovým efektem Schunk EGI 80.

Následně byla provedena analýza stávajícího pracoviště „Robobar“, kde byl použit kolaborativní robot Kuka iiwa 7 R800. Ten se liší od současného řešení menším dosahem a nižší nosností. Robot navíc používal pneumatický koncový efektor s adaptivními přípravky, které se ukázaly jako nevhodné pro tuto aplikaci. Problém u původního pracoviště byl objeven také ve špatném připevnění robotu k pracovnímu stolu, protože byla použita pod robot dřevotřísková deska, která se provozem robotu zdeformovala. To vedlo ke snížení přesnosti robotu, jelikož měl vůli v uložení. Analýza řešení „Robobar“ byla dále zaměřena na popis pracovního cyklu, výrobního procesu a řídicího systému. Z těchto faktů a nalezených problémů následně vznikly požadavky na nový návrh řešení.

Prvním krokem při samotném návrhu nového pracoviště byla tvorba několika variant koncepčních návrhů. Z těchto variant bylo vybráno nejvhodnější

řešení, z něhož vznikla konkrétní specifikace pracoviště. Mezi hlavní části pracoviště patří dva kolaborativní roboty, dva kolaborativní koncové efektory a mobilní platforma vybavená standardním koncovým efektozem. Další podstatnou částí pracoviště je PLC řídicí systém, dopravník lahví, rotační podavače na ovoce, krokové motory pro ovládání ventilů výčepu piva a limonád a bezpečnostní prvky. Mezi další komponenty lze dále zařadit výčepy piv a limonád, kávovar, dávkovač ledu a zařízení určené k výrobě limonád.

Poté byla věnována pozornost uspořádání kolaborativního pracoviště, kde byly vymezeny pracovní prostory robotu, pracovní prostory spolupráce a prostory monitorované laserovým skenerem. Pracoviště navržené v této práci je unikátní svou koncepcí, protože zahrnuje dva kolaborativní roboty. Dále je unikátnost řešení podpořena také využitím kolaborativních koncových efektorů, které jsou v současné době novinkou na trhu a dosud nebyly v takovéto aplikaci použity.

Pro simulaci tohoto pracoviště byly vytvořeny 3D modely všech podstatných součástí, se kterými se pracovalo. Většina těchto modelů, kromě konstrukce pracoviště, byla poté vytištěna na 3D tiskárně. V simulaci pak byly ověřeny prostorové a funkční dispozice pracoviště. Bylo zjištěno, že pro efektivnější využití pracoviště je lepší provozovat roboty v režimu „každý robot vyrábí sám“. Produktivita pracoviště se tím podstatně zvýší.

Programování robotů proběhlo na základě dat ze simulací. Tato data byla vložena do softwarů, kde se roboty programují a následně byly vytvořeny hlavní a vedlejší řídicí programy. Tyto programy jsou externě řízeny PLC systémem, který je robotům nadřazen. PLC systém a jeho části, včetně bezpečnostních prvků, byly nakonfigurovány a naprogramovány. Posledním krokem tvorby řídicího systému byla tvorba OPC UA komunikace mezi jednotlivými zařízeními. PLC systém je řízen objednávkovým systémem, resp. plánovacím systémem, na jehož tvorbě se v současné době stále pracuje. Plánovací systém v budoucnu přinese výhodu v úspoře výrobních časů a optimalizaci výrobních procesů.

Propojení robotického pracoviště s mobilní platformou bude zprostředkováno také pomocí OPC UA komunikace. Podle počtu mobilních

platformem bude rozhodnuto o umístění navigačního serveru, který bude umístěn buď na jedné platformě nebo při použití více platformem na aplikaci v počítači.

Testování chodu pracoviště proběhlo za použití téměř všech komponent pracoviště ve zjednodušeném režimu. Část konstrukce pracoviště byla vytvořena z hliníkových profilů a dřevěné konstrukce nahradily přední a zadní části pracoviště. Koncové efekty byly prozatím nahrazeny nekolaborativními variantami. Podstatnou částí testování byl také test komunikace OPC UA. Testování robotického pracoviště proběhlo za použití jednoho robotu, jelikož se nepodařilo doručit druhý robot v době tvorby této práce. Uchopovací přípravky pro koncové efekty byly několikrát optimalizovány kvůli lepší funkčnosti. Funkčnost robotu byla ověřena ve zjednodušeném režimu pro uchopení sklenice a její výdej.

Bezpečnost nového robotického pracoviště byla zvýšena vhodným návrhem tvaru a konstrukce pracoviště s ohledem na požadavky z norem kolaborativní robotiky. Při výdeji bude robot pracovat v kolaborativním režimu, který bude realizován jak nízkou rychlostí, tak režimem poddajnosti jednotlivých kloubů robotu. Kolaborativní režim však bude ještě diskutován s pracovníkem bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Doplňkovým ochranným prostředkem je pak ještě laserový skener monitorující oblast výdeje nápoje.

Vývojem tohoto pracoviště budou do budoucna zjištěny další nedostatky a nové poznatky z oblasti kolaborativní robotiky. Aplikaci tohoto pracoviště pro výrobu nápojů lze však do budoucna použít i na jiné průmyslové aplikace, mezi které lze zařadit například montáž výrobku nebo svařování výrobku ve spolupráci s člověkem.

O použití pracoviště pro výrobu nápojů již projevilo zájem několik firem, které by chtěly pracoviště testovat na společenských akcích s účastí stovek lidí. Pracoviště bude možno pro takovéto akce rozložit a transportovat. Výhodou je také modulárnost pracoviště, protože lze jednotlivé komponenty deaktivovat.

Plánovací systém, na jehož tvorbě se stále pracuje, bude možno použít i pro jiné robotické aplikace, jelikož bude při jeho tvorbě dbáno na univerzálnost použití.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN ISO 10218-1 (18 6502). *Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 1: Roboty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] Průmyslové a servisní roboty: Bezpečnost kolaborativních robotů. *Automa* [online]. 2017, **2017**(8), 3 [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: https://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/11040.pdf
- [3] ČSN ISO 10218-2 (18 6502). *Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 2: Systémy robotů a integrace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] ISO/TS 15066. *Robots and robotic devices – Collaborative robots*. Switzerland: ISO copyright office, 2016.
- [5] Fotogalerie Cyberdog. *Cyberdog* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://www.cyber-dog.cz/fotogalerie>
- [6] Unusual but true: Want to know how your plants feel?: A robotic bartender in Prague. CHINADAILY: World [online]. 2019, 1 [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: http://www.chinadaily.com.cn/a/201907/26/WS5d3a7460a310d830564012d7_3.html
- [7] *Tripadvisor: Robobar* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: https://www.tripadvisor.cz/Attraction_Review-g43686-d13778659-Reviews-Robobar-Biloxi_Mississippi.html
- [8] *RoyalCaribbean International: Bionic Bar* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://www.royalcaribbean.com/cruise-dining/bionic-bar>
- [9] *Baronics: Barney Bar* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://www.baronics.com/>
- [10] *DAOX Network: Yanu bartender* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://daox.network/yanu>
- [11] *Voyago: ROBO BAR KNOEKIE SERVEERT TOERISTEN OP CURAÇAO* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://www.voyago.nl/robo-bar-serveert-toeristen-op-curacao/>
- [12] *Trendhunter: MotoMan RoboBar* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://www.trendhunter.com/trends/motoman-robobar-robotic-bartender>



- [13] *Aubo: Produkty* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://www.aubo.cz/produkty/>
- [14] *Bosch: APAS assistant* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: http://robotforum.ru/assets/files/Bosch_pdf/boasch_apasassistant.pdf
- [15] *Doosan Robotics: Products* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://www.doosanrobotics.com/en/Index>
- [16] *Elephant Robotics: Products* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: http://www.elephantrobotics.cn/wp-content/uploads/2019/04/Elephant-Robotics_Products_Manual.pdf
- [17] *Fanuc: Spolupracující roboty* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/spolupracuj%C3%ADc%C3%AD-roboty>
- [18] *KUKA: Industrial Robots* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots>
- [19] *Mitsubishi Robotics: Industrial Robots* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://us.mitsubishielectric.com/fa/en/products/industrial-robots-melfa>
- [20] *Nachi: Slim Collaborative Robot* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.nachirobotics.com/wp-content/uploads/2018/06/NRS-CZ10-Brochure-18.pdf>
- [21] *Neuromeka: Cobot* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.neuromeka.com/cobot>
- [22] *Omron: Collaborative Robot* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://industrial.omron.eu/en/products/collaborative-robots>
- [23] *Staubli: Robotics* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.coboticsworld.com/wp-content/uploads/2019/05/TX2touch-product-leaflet-D18178104-EN-LR.pdf>
- [24] *Universal Robots: Budoucnost je kolaborativní* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: https://www.universal-robots.com/media/1801267/cz_199915_ur_main-product-brochure_web_1.pdf
- [25] *Yaskawa: Industrial robots* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: https://smart.motoman.com/en-us?_ga=2.32665342.1549067647.1593723796-2079069858.1593723796
- [26] *Aubo: AGV mobilní jednotka* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.aubo.cz/produkty/agv-mobilni-jednotka/>

-
- [27] *KUKA: KMR iiwa* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/mobilita/mobiln%C3%AD-roboty/kmr%C2%A0iiwa>
- [28] *Staubli: Mobile Robot System* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/en-us/file/20790.show>
- [29] *Yaskawa: Mobile Robot* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://docplayer.net/41900892-Ymr12-demonstration-for-industry-4-0-fs100-controlled-by.html>
- [30] *Festo: Tentacle gripper* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/630182/Festo_TentacleGripper_en.pdf
- [31] *Cobotics World: Onrobot RG2* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.coboticsworld.com/portfolio-items/onrobot-rg2/>
- [32] *Cobotics World: Onrobot RG6* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.coboticsworld.com/portfolio-items/onrobot-rg6/>
- [33] *Cobotics World: Robotiq 3 fingers adaptive gripper* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.coboticsworld.com/portfolio-items/robotiq-3-fingers-adaptive-gripper/>
- [34] *Cobotics World: Schunk Co-Act Egl-C* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.coboticsworld.com/portfolio-items/schunk-co-act-egl-c/>
- [35] *Cobotics World: Weiss Robotics Gripskit CR2* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.coboticsworld.com/portfolio-items/weiss-robotics-gripskit-cr2/>
- [36] *Cobotics World: Zimmer HRC01* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.coboticsworld.com/portfolio-items/zimmer-hrc-01/>
- [37] KUKA Roboter GmbH. *Media Flange: For Product Family LBR iiwa*. V7. 2016. Dostupné také z: firemní dokumentace
- [38] *Profinet University: Isochronous Real-Time Communication* [online]. [cit. 2020-07-05]. Dostupné z: <https://profinetuniversity.com/profinet-basics/isochronous-real-time-irt-communication/>
-

Seznam použitých softwarů

Siemens NX 1855

Siemens Tecnomatix Process Simulate 15.1

Kuka WorkVisual 5.0

Kuka SunriseWorkbench 1.16

TIA Portal V16

Motion Tool Schunk 2.3.3.0

Siemens SIMATIC S7-PCT 3.5

Festo Configuration Tool

Sick CDS

UaExpert

PyCharm

Seznam obrázků

- Obr. 1 – Původní řešení „Robobar“
- Obr. 2 – Příklad kolaborativního pracoviště [4]
- Obr. 3 – Vhodný návrh označení provozní spolupráce [3]
- Obr. 4 – Závislost ochranné dělicí vzdálenosti mezi operátorem a robotem [4]
- Obr. 5 – Přijatelné a nepřijatelné síly nebo tlaky [4]
- Obr. 6 – Cyberdog (vlevo) [5] a Robotický bar v Music Clubu Karlovy Lázně v Praze (vpravo) [6]
- Obr. 7 – Robobar v Biloxi v Mississippi [7]
- Obr. 8 – Bionic bar [8]
- Obr. 9 – Autonomní robot Barney (vlevo) [9] a autonomní robot Yanu (vpravo) [10]
- Obr. 10 – Robobar společnosti Coredon [11]
- Obr. 11 – Robobar společnosti Motoman (vpravo)
- Obr. 12 – Kolaborativní roboty od výrobce Aubo [13]
- Obr. 13 – Kolaborativní robot od výrobce Bosch [14]
- Obr. 14 – Kolaborativní roboty od výrobce Doosan [15]
- Obr. 15 – Kolaborativní roboty od výrobce Elephant Robotics [16]
- Obr. 16 – Kolaborativní roboty od výrobce Fanuc [17]
- Obr. 17 – Kolaborativní roboty od výrobce Kuka [18]
- Obr. 18 – Kolaborativní roboty od výrobce Mistubishi Robotics [19]
- Obr. 19 – Kolaborativní robot od výrobce Nachi [20]
- Obr. 20 – Kolaborativní roboty od výrobce Neuromeka [21]
- Obr. 21 – Kolaborativní roboty od výrobce Omron [22]
- Obr. 22 – Kolaborativní roboty od výrobce Staubli [23]
- Obr. 23 – Kolaborativní roboty od výrobce Universal Robots [24]
- Obr. 24 – Kolaborativní roboty od výrobce Yaskawa [25]
- Obr. 25 – Mobilní platforma s robotem Aubo [26]
- Obr. 26 – Mobilní platforma s robotem KUKA [27]
- Obr. 27 – Mobilní platforma s robotem Staubli [28]
- Obr. 28 – Mobilní platforma s robotem Yaskawa [29]
- Obr. 29 – Adaptivní efektory od společnosti Festo
- Obr. 30 – Elektrické efektory ONROBOT [31] [32]
- Obr. 31 – Elektrický efektor ROBOTIQ [33]
- Obr. 32 – Elektrický efektor SCHUNK [34]
- Obr. 33 – Elektrický efektor WEISS [35]
- Obr. 34 – Elektrický efektor ZIMMER [36]
- Obr. 35 – Původní řešení „Robobar“
- Obr. 36 – Schéma zapojení řídicího systému
- Obr. 37 – Možné varianty umístění robotů (černé body)
- Obr. 38 – Výsledný návrh nového řešení
- Obr. 39 – Robot s kontrolérem a pohybové osy robotu [37]
-

- Obr. 40 – Pracovní prostor robotu bez efektoru [37]
- Obr. 41 – Kolaborativní koncový efektor [34]
- Obr. 42 – Mobilní platforma Kuka KMR iiwa s koncovým efektořem Schunk EGI 80
- Obr. 43 – Návrh pracovních prostorů
- Obr. 44 – Kinematika robotu
- Obr. 45 – Kinematika koncového efektoru s přípravky
- Obr. 46 – Postup při tvorbě operací
- Obr. 47 – Příklad kompletní operace
- Obr. 48 – Hlavní výrobní operace
- Obr. 49 – Postup zadání pozic ze simulace do programu robotu
- Obr. 50 – Přirázování vstupů a výstupů
- Obr. 51 – Základní bezpečnostní vstupy robotu
- Obr. 52 – Nastavení bezpečnostního vstupu robotu v KSW
- Obr. 53 – Aktivace externího řízení robotu
- Obr. 54 – Aplikace pro identifikaci programů do PLC
- Obr. 55 – Ukázka hlavního programu robotu
- Obr. 56 – Vývojový diagram funkce pracoviště
- Obr. 57 – Schéma řídicího systému
- Obr. 58 – Topologie PLC systému
- Obr. 59 – Konfigurace modulů vstupů a výstupů u robotu
- Obr. 60 – Konfigurace modulů vstupů a výstupů pro koncový efektor
- Obr. 61 – Tvorba proměnných pro robotu (vlevo) a pro koncový efektor (vpravo)
- Obr. 62 – Tvorba funkčních bloků pro ovládání koncového efektoru
- Obr. 63 – Hlavní části bezpečnostního programu
- Obr. 64 – Úvodní obrazovka HMI dotykového panelu
- Obr. 65 – Použití funkčních bloků pro ovládání motoru
- Obr. 66 – Schéma použití technologického objektu PositioningAxis
- Obr. 67 – Použití funkčních bloků pro komunikaci s kontroléřem motoru
- Obr. 68 – Tvorba tabulky záznamů
- Obr. 69 – Podavač s krokovým motorem
- Obr. 70 – Tvorba proměnných pro ovládání laserového skeneru
- Obr. 71 – Návrh ochranného pásma a pásma pro varování
- Obr. 72 – Aktivace přístupu data bloků z OPC UA (vlevo) a data blok pro robotu (vpravo)
- Obr. 73 – Seznam zařízení (vlevo) a použití funkčního bloku pro OPC UA klienta (vpravo)
- Obr. 74 – Testovací pracoviště
- Obr. 75 – Záběr detailů testovacího pracoviště
- Obr. 76 – Aktivace a konfigurace OPC UA serveru na PLC
- Obr. 77 – Příkazový řádek se spuštěným testovacím OPC UA serverem
- Obr. 78 – Konfigurace OPC UA klienta na PLC

Seznam tabulek

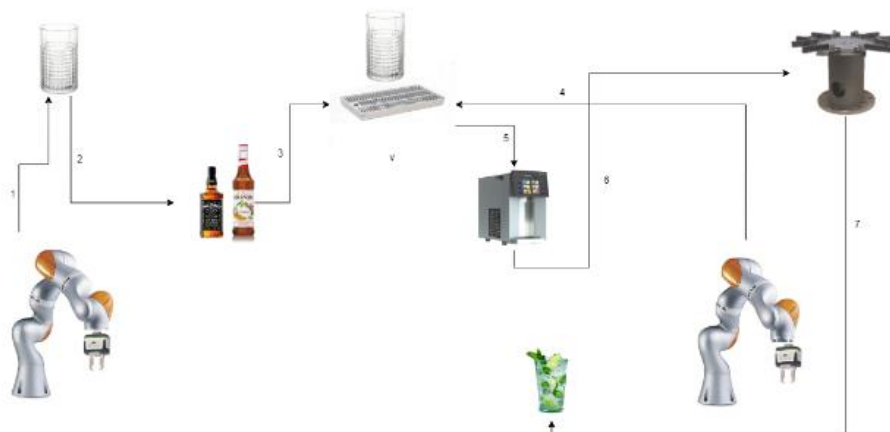
- Tab. 1 – Přehled norem uplatňovaných při posuzování bezpečnosti pracovišť s roboty [2]
Tab. 2 – Tabulka operací s použitím monitorovaného bezpečnostního zastavení [4]
Tab. 3 – Rozsahy parametrů pro výběr kolaborativních robotů
Tab. 4 – Specifikace robotů od výrobce Aubo [13]
Tab. 5 – Specifikace robotu od výrobce Bosch [14]
Tab. 6 – Specifikace robotů od výrobce Doosan [15]
Tab. 7 – Specifikace robotů od výrobce Elephant Robotics [16]
Tab. 8 – Specifikace robotů od výrobce Fanuc [17]
Tab. 9 – Specifikace robotů od výrobce Kuka [18]
Tab. 10 – Specifikace robotů od výrobce Mistubishi Robotics [19]
Tab. 11 – Specifikace robotů od výrobce Nachi [20]
Tab. 12 – Specifikace robotů od výrobce Neuromeka [21]
Tab. 13 – Specifikace robotů od výrobce Omron [22]
Tab. 14 – Specifikace robotů od výrobce Staubli [23]
Tab. 15 – Specifikace robotů od výrobce Universal Robots [24]
Tab. 16 – Specifikace robotů od výrobce Yaskawa [25]
Tab. 17 – Specifikace mobilní platformy s robotem Aubo [26]
Tab. 18 – Specifikace mobilní platformy s robotem KUKA [27]
Tab. 19 – Specifikace mobilní platformy s robotem Staubli [28]
Tab. 20 – Specifikace mobilní platformy s robotem Yaskawa [29]
Tab. 21 – Rozsahy parametrů pro výběr efektorů pro kolaborativní roboty
Tab. 22 – Specifikace efektorů ONROBOT [31] [32]
Tab. 23 – Specifikace efektoru ROBOTIQ [33]
Tab. 24 – Specifikace efektoru SCHUNK [34]
Tab. 25 – Specifikace efektoru WEISS [35]
Tab. 26 – Specifikace efektoru ZIMMER [36]

Seznam příloh

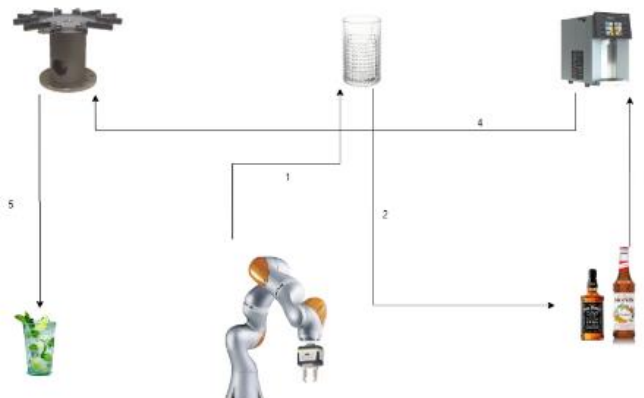
Grafické přílohy

Příloha č. 1 – Výrobní procesy pro různé režimy pracoviště

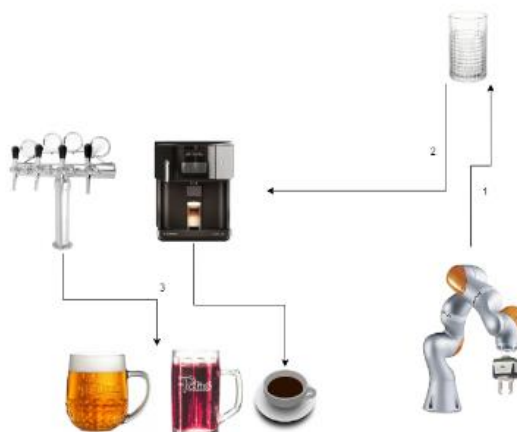
Režim spolupráce (různé míchané nápoje)



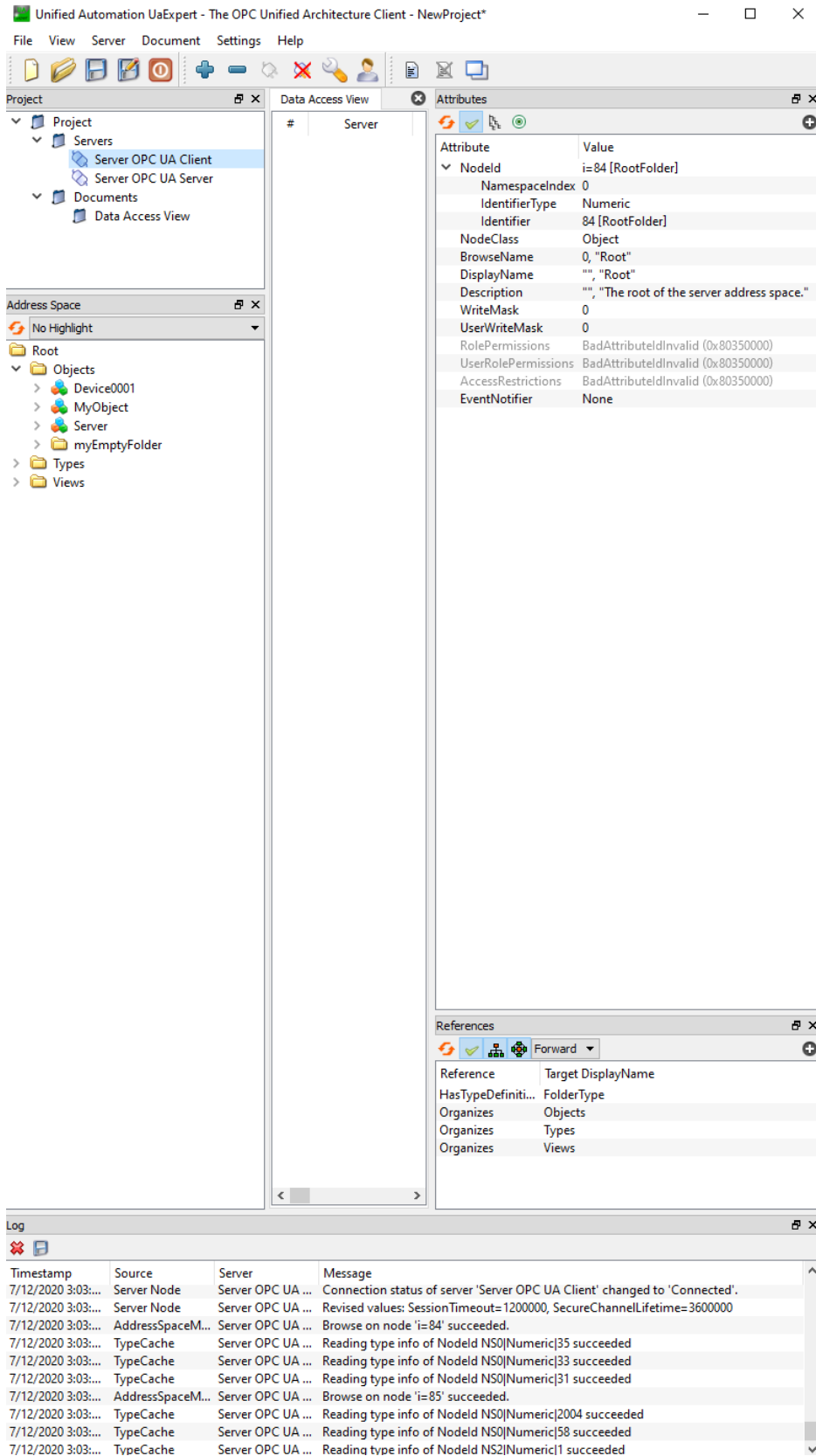
Režim každý robot vyrábí sám (různé míchané nápoje)



Režim každý robot vyrábí sám (pivo, limonáda a káva)



Příloha č. 2 – Test OPC UA klienta pro PLC



The screenshot displays the Unified Automation UaExpert interface. The main window is titled "Unified Automation UaExpert - The OPC Unified Architecture Client - NewProject*". The interface includes a menu bar (File, View, Server, Document, Settings, Help), a toolbar, and several panes:

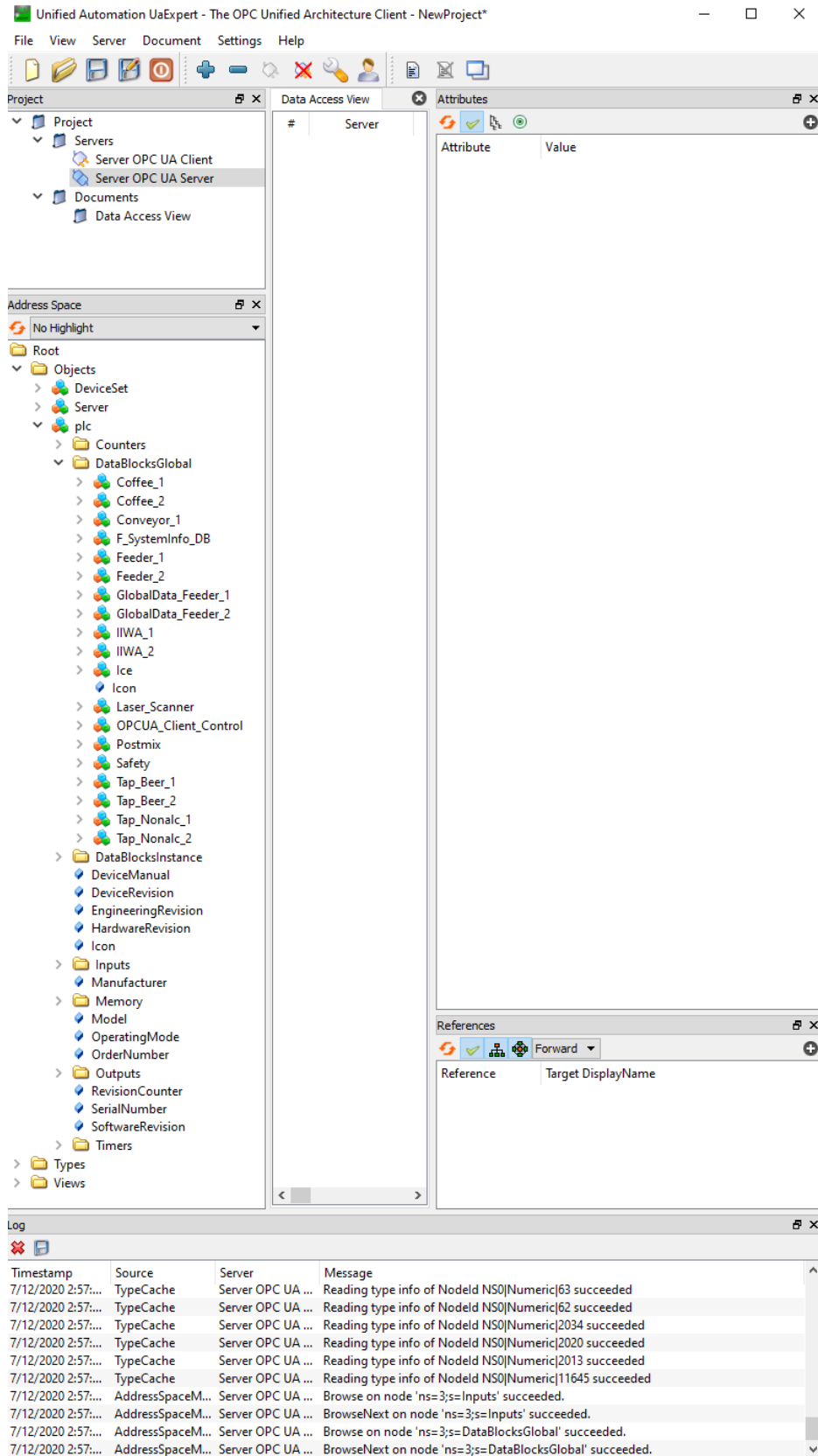
- Project:** Shows a tree view with "Servers" containing "Server OPC UA Client" and "Server OPC UA Server", and "Documents" containing "Data Access View".
- Address Space:** Shows a tree view with "Root" containing "Objects" (Device0001, MyObject, Server, myEmptyFolder), "Types", and "Views".
- Data Access View:** A table with columns "#", "Server", and "Value".
- Attributes:** A table listing attributes for the selected node:

Attribute	Value
NodeId	i=84 [RootFolder]
NamespaceIndex	0
IdentifierType	Numeric
Identifier	84 [RootFolder]
NodeClass	Object
BrowseName	0, "Root"
DisplayName	""
Description	""
WriteMask	0
UserWriteMask	0
RolePermissions	BadAttributeValue (0x80350000)
UserRolePermissions	BadAttributeValue (0x80350000)
AccessRestrictions	BadAttributeValue (0x80350000)
EventNotifier	None
- References:** A table showing references:

Reference	Target Display Name
HasTypeDefiniti...	FolderType
Organizes	Objects
Organizes	Types
Organizes	Views
- Log:** A table showing system messages:

Timestamp	Source	Server	Message
7/12/2020 3:03:...	Server Node	Server OPC UA ...	Connection status of server 'Server OPC UA Client' changed to 'Connected'.
7/12/2020 3:03:...	Server Node	Server OPC UA ...	Revised values: SessionTimeout=1200000, SecureChannelLifetime=3600000
7/12/2020 3:03:...	AddressSpaceM...	Server OPC UA ...	Browse on node 'i=84' succeeded.
7/12/2020 3:03:...	TypeCache	Server OPC UA ...	Reading type info of NodeId NS0 Numeric 35 succeeded
7/12/2020 3:03:...	TypeCache	Server OPC UA ...	Reading type info of NodeId NS0 Numeric 33 succeeded
7/12/2020 3:03:...	TypeCache	Server OPC UA ...	Reading type info of NodeId NS0 Numeric 31 succeeded
7/12/2020 3:03:...	AddressSpaceM...	Server OPC UA ...	Browse on node 'i=85' succeeded.
7/12/2020 3:03:...	TypeCache	Server OPC UA ...	Reading type info of NodeId NS0 Numeric 2004 succeeded
7/12/2020 3:03:...	TypeCache	Server OPC UA ...	Reading type info of NodeId NS0 Numeric 58 succeeded
7/12/2020 3:03:...	TypeCache	Server OPC UA ...	Reading type info of NodeId NS2 Numeric 1 succeeded

Příloha č. 3 – Test OPC UA serveru PLC



The screenshot displays the Unified Automation UaExpert interface. The main window is titled "Unified Automation UaExpert - The OPC Unified Architecture Client - NewProject*". The interface includes a menu bar (File, View, Server, Document, Settings, Help), a toolbar, and several panes:

- Project:** Shows a tree view with "Servers" containing "Server OPC UA Client" and "Server OPC UA Server", and "Documents" containing "Data Access View".
- Address Space:** Shows a hierarchical tree view starting with "Root" and "Objects". Under "Objects", there is a "Server" folder containing a "plc" folder. The "plc" folder contains several sub-folders, including "Counters" and "DataBlocksGlobal". The "DataBlocksGlobal" folder contains numerous objects such as "Coffee_1", "Coffee_2", "Conveyor_1", "F_SystemInfo_DB", "Feeder_1", "Feeder_2", "GlobalData_Feeder_1", "GlobalData_Feeder_2", "IIWA_1", "IIWA_2", "Ice", "Icon", "Laser_Scanner", "OPCUA_Client_Control", "Postmix", "Safety", "Tap_Beer_1", "Tap_Beer_2", "Tap_Nonalc_1", "Tap_Nonalc_2", "DataBlocksInstance", "DeviceManual", "DeviceRevision", "EngineeringRevision", "HardwareRevision", "Icon", "Inputs", "Manufacturer", "Memory", "Model", "OperatingMode", "OrderNumber", "Outputs", "RevisionCounter", "SerialNumber", "SoftwareRevision", "Timers", "Types", and "Views".
- Data Access View:** A table with columns "#", "Server", and "Attributes".
- Attributes:** A table with columns "Attribute" and "Value".
- References:** A table with columns "Reference" and "Target DisplayName".
- Log:** A table showing system messages.

The Log pane contains the following entries:

Timestamp	Source	Server	Message
7/12/2020 2:57:...	TypeCache	Server OPC UA ...	Reading type info of NodeId NS0 Numeric 63 succeeded
7/12/2020 2:57:...	TypeCache	Server OPC UA ...	Reading type info of NodeId NS0 Numeric 62 succeeded
7/12/2020 2:57:...	TypeCache	Server OPC UA ...	Reading type info of NodeId NS0 Numeric 2034 succeeded
7/12/2020 2:57:...	TypeCache	Server OPC UA ...	Reading type info of NodeId NS0 Numeric 2020 succeeded
7/12/2020 2:57:...	TypeCache	Server OPC UA ...	Reading type info of NodeId NS0 Numeric 2013 succeeded
7/12/2020 2:57:...	TypeCache	Server OPC UA ...	Reading type info of NodeId NS0 Numeric 11645 succeeded
7/12/2020 2:57:...	AddressSpaceM...	Server OPC UA ...	Browse on node 'ns=3;s=Inputs' succeeded.
7/12/2020 2:57:...	AddressSpaceM...	Server OPC UA ...	BrowseNext on node 'ns=3;s=Inputs' succeeded.
7/12/2020 2:57:...	AddressSpaceM...	Server OPC UA ...	Browse on node 'ns=3;s=DataBlocksGlobal' succeeded.
7/12/2020 2:57:...	AddressSpaceM...	Server OPC UA ...	BrowseNext on node 'ns=3;s=DataBlocksGlobal' succeeded.

Elektronické přílohy

Příloha č. 1 – Simulační videa

Příloha č. 2 – Program pro řízení robotu

Příloha č. 3 – Program pro řízení koncového efektoru