



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

**MANIPULACE S KAPALINOU S VYUŽITÍM PLATFORMY
ABB YUMI**

FLUID HANDLING USING THE ABB YUMI PLATFORM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Roman Červenka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automatizace a informatiky
Student:	Roman Červenka
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Aplikovaná informatika a řízení
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

MANIPULACE S KAPALINOU S VYUŽITÍM PLATFORMY ABB YUMI

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce bude pochopit filosofii programování robotu ABB Yumi prostřednictvím ABB RS a vyřešit definovanou úlohu laboratorní manipulace s kapalinou. Práce bude řešena v laboratoři robotiky a kybernetiky ÚAI.

Cíle bakalářské práce:

- Popis využitého robotu a rešerše kolaborativních robotů.
- Popis definované úlohy laboratorní manipulace.
- Programování robotu a simulační verifikace v ABB RS.
- Praktická realizace zvolené úlohy.
- Video prezentující dosažených výsledků a poster.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, Bruno a Oussama KHATIB, ed., [2016]. Springer handbook of robotics. 2nd edition. Berlin: Springer. ISBN 978-3-319-32550-7.

ZÁDA, Václav, 2012. Robotika: matematické aspekty analýzy a řízení. Liberec: Technická univerzita v Liberci. ISBN 978-80-7372-882-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom tejto záverečnej práce je navrhnúť a vytvoriť program pre laboratórnu manipuláciu. Robot bude manipulovať s kádinkami. Pre ďalšiu prezentáciu možností použitej platformy ABB YuMi, bol navrhnutý program na prípravu nápoja. Na programovanie robota bolo využité RobotStudio a v ňom použitý jazyk RAPID. Porozumenie filozofií programovania pomocou RobotStudio bolo taktiež cieľom tejto práce. Následne boli programy otestované v laboratóriu robotiky a výsledky práce zhodnotené v závere.

ABSTRACT

The goal of this bachelor thesis is to design and create program for laboratory manipulation. The robot will handle beakers. For further presentation of possible usage of ABB YuMi, a program for drink preparation was made. For robot programming, RobotStudio was used, in which was used RAPID programming language. To understand the philosophy of using RobotStudio to program robots, was also one of the goals of this work. At the end the created programs were tested in robotics laboratory and the results of this work were evaluated.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Kolaboratívny robot, cobot, ABB, RAPID, RobotStudio, kontrolér, robotika, 3d tlač, Inventor

KEYWORDS

Collaborative robot, cobot, ABB, RAPID, RobotStudio, controller, robotics, 3d print, Inventor





ÚSTAV AUTOMATIZACE
A INFORMATIKY



2021

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

ČERVENKA, Roman. MANIPULACE S KAPALINOU S VYUŽITÍM PLATFORMY ABB YUMI. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/135714>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Radomil Matoušek.



POĎAKOVANIE

Touto cestou by som sa chcel poďakovať doc. Ing. Radomilovi Matouškovi za vedenie práce a doktorandovi Romanovi Parákovi za pomoc s RobotStudio.

Ďalej by som sa chcel poďakovať rodine a priateľke za podporu ako pri záverečnej práci, tak pri celom štúdiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že, že tato práce je mým původním dílem, vypracoval jsem ji samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Jako autor uvedené práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona c. 121/2000 Sb., včetně možných trestně právních důsledků.

V Brně dne 22. 5. 2021

.....

Roman Červenka

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA.....	17
2.1	Kolaboratívny robot.....	17
2.1.1	ABB cobots.....	18
2.1.2	Universal Robots (UR) cobots.....	20
2.1.3	KUKA cobots.....	22
2.1.4	FANUC cobots.....	23
2.1.5	Porovnanie a zhodnotenie.....	24
2.2	ABB.....	25
2.2.1	ABB YuMi.....	25
2.2.2	ABB RobotStudio.....	28
2.3	3D Tlač.....	29
3	RIEŠENIE ÚLOHY.....	31
3.1	Manipulácia s kádinkou- programovanie v RobotStudio.....	31
3.1.1	Vytvorenie projektu a import objektov.....	31
3.1.2	Programovanie pohybu.....	33
3.1.3	Model kádinky a stojan na miešadlo.....	36
3.2	Drobná oprava tlačiarne.....	38
3.3	Príprava nápoja - programovanie v RobotStudio.....	39
3.3.1	Modelovanie a tlač prstov.....	40
3.3.2	Vytvorenie stanice.....	42
3.3.3	Programovanie robota.....	43
4	TEST RIEŠENÍ.....	45
5	ZÁVER.....	47
6	ZDROJE.....	49
7	ZOZNAM PRÍLOH.....	51

1 ÚVOD

Využitie robotov v priemysle je v dnešnej dobe častým javom, dá sa povedať, že je to štandard. Aj keď je samozrejme veľa priestoru pre zlepšenie a rozšírenie využitia robotov v priemysle, v tejto práci sa bude riešiť využitie robota v inom prostredí, v laboratóriu. V súčasnosti sú síce roboty využívané aj v laboratóriu, avšak nie je to príliš časté a rozšíriť ich pôsobenie aj v tomto odvetví by umožnilo navýšiť kapacity laboratórií. Z tohto dôvodu sa táto práca zaoberá návrhom programu pre laboratórnu manipuláciu.

V prvej časti sa rieši prehľad súčasných kolaboratívnych robotov a ich využitie. Ďalej bude popísané niečo málo o firme ABB ako výrobcovi zvoleného robota a o RobotStudio ako programovacím nástroji. A na záver teoretickej časti je zmienené využitie 3d tlače na rýchlu výrobu prototypov a výrobkov na mieru.

Časť druhá je praktická a delí sa na dve úlohy. Prvou úlohou je zadaná laboratórna manipulácia s kádinkou. Druhou úlohou je príprava nápoja, ktorá slúži na prezentáciu ďalšieho možného využitia.

V oboch úlohách sa pojednáva o použití RobotStudio, jeho funkciách a využití pri programovaní robotov, 3d tlači a návrhu objektov na tlač. V druhej úlohe je okrem toho aj postup návrhu a tlače prstov robota pre konkrétne potreby danej úlohy.

Po tom nasleduje časť ktorá opisuje test navrhnutých riešení, programov, v laboratóriu robotiky.

V závere budú zhodnotené dosiahnuté výsledky a priebeh práce.



2 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

2.1 Kolaboratívny robot

Skrátene označovaný cobot z anglického spojenia collaborative-robot. Kolaboratívny robot je druh robota ktorý sa používa v situáciach keď je potrebná spolupráca s človekom. Ich spolupráca môže byť na úrovni, kedy je robot z bezpečnostných dôvodov uzavretý v kletke až po úroveň, kedy robot priamo odpovedá na pohyby a úkony človeka (obr.1).

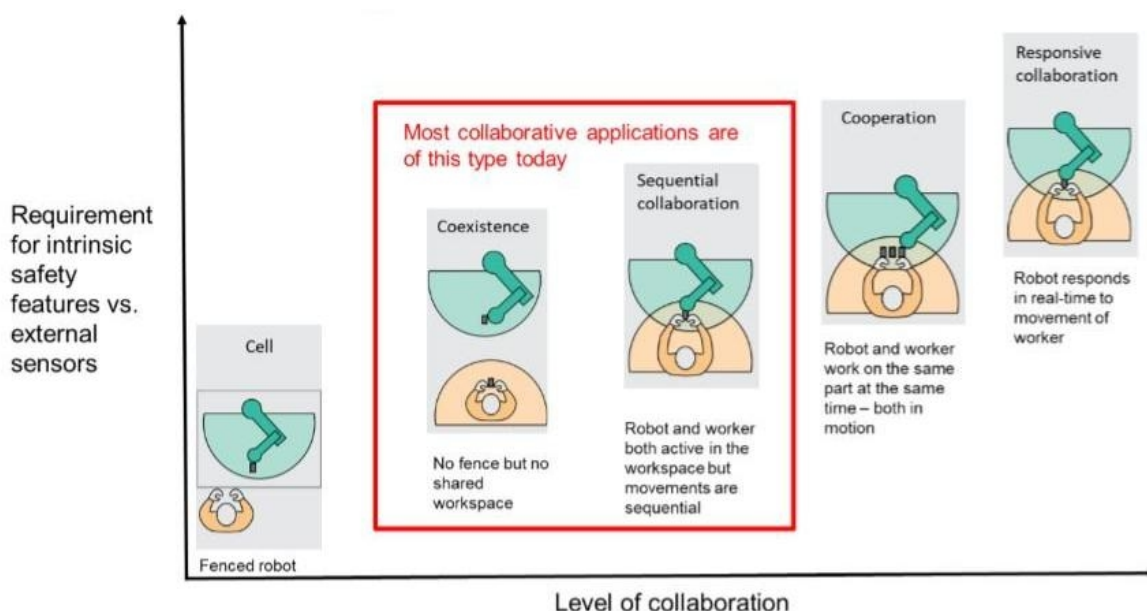
Najčastejšie však v praxi nastávajú dve situácie, koexistencia a sekvenčná kolaborácia.

Kooperácia a responzívna kolaborácia by boli technicky veľmi náročné, jednak z hľadiska programovania a taktiež by bolo potrebných viacero snímačov, aby robot vedel určiť, aký úkon jeho ľudský spolupracovník vykonáva a kde sa nachádza, nemožno vylúčiť, že v budúcnosti bude táto možnosť viac rozšírená.

V prípade koexistencie sa robot nenachádza v ochrannej kletke ale nezdieľa s ľudským pracovníkom pracovnú plochu.[1]

Pri sekvenčnej kolaborácii pracuje človek aj robot v spoločnom prostredí, pričom ich jednotlivé činnosti na seba nadväzujú, no nie sú vykonávané zároveň.

Roboty tohto druhu v posledných rokoch naberajú na popularite a objavujú sa stále nové prevedenia od rôznych výrobcov známych z prostredia priemyselných robotov.



Obr. 1: Druhy spolupráce robota a človeka [1]

Hlavnou výhodou tohto druhu robotov je napríklad rýchle zavedenie do výrobného procesu. Väčšina výrobcov pri nich ponúka možnosť rýchleho naprogramovania priamo na mieste jeho použitia. Väčšinou je to realizované ovládaním pohybov robota, ktoré robot zaznamenáva a pri následnom spustení tieto pohyby opakuje. Na takéto “programovanie” nie je nevyhnutný odborník, programátor, ale postačí vyškolený pracovník, týmto sa taktiež šetria náklady.

Ďalšou výhodou je možnosť ich nasadenia do pozícií, kde to s nekolaboratívnymi robotmi nebolo možné, keďže by to predstavovalo riziko. Nakoľko sa pri kolaboratívnych robotoch dbá na vysokú úroveň bezpečnosti, nie je problémom ich použiť priamo pri ľudských pracovníkoch. To otvára nové možnosti použitia vo výskume, priemysle alebo aj medicíne.

Samozrejme tento druh robotov má aj svoje nevýhody. Napríklad nižšia nosnosť ako ich nekolaboratívny protažok, nosnosť cobotov sa obvykle pohybuje od 0,5 kg do cca 15 kg, výnimkou je cobot od FANUC, model CR-35iA, ktorý zvládne až 35 kg, aj takáto nosnosť by však pri množstve aplikácií bola nedostatočná, napríklad obrábanie kovov, montáž veľkého nábytku či stavebný priemysel.

Kvôli vysokým nárokom na bezpečnosť pri tomto druhu robotov sa často nastavuje nižšia rýchlosť ich pohybov, aby pri prípadnej kolízii stihol robot zareagovať a aby škody, či už finančné alebo zdravotné, neboli príliš veľké, ak by zastaviť nestihol. Týmto sa znižuje ich výkonnosť, ak ich porovnáme s nekolaboratívnymi robotmi, avšak všetky coboty majú aj nekolaboratívny mód, kedy sa nedbá na bezpečnosť, ale ich rýchlosť a tým aj výkonnosť je vyššia.

2.1.1 ABB cobots

ABB v súčasnosti ponúka 3 série týchto cobotov, YuMi, GoFa a SWIFTI.

YuMi (Obr. 2) bol uvedený na trh ako prvý, už v roku 2015. Je určený na manipuláciu s predmetmi o hmotnosti do 0,5 kg. Jeho oblasti použitia sú napríklad laboratória, skladanie elektroniky, skrutkovanie alebo testovanie výrobkov, teda je vhodný tam kde je potrebný cobot malých rozmerov, prevažne na manipuláciu menších a ľahších výrobkov.

Jeho hlavnou prednosťou je bezpečnosť, ktorá je zabezpečená nízkou hmotnosťou jeho ramien, ktoré sú tiež polstrované. Nemá žiadne ostré hrany, ktoré by zvyšovali riziko zranenia.

Splňa normu PL d Cat 3. Samozrejmosťou je núdzové zastavenie. Ak robot zaznamená nečakaný náraz, napríklad zrážka so spolupracovníkom, je schopný zastaviť v priebehu niekoľkých milisekúnd. Ďalej disponuje integrovaným zdrojom stlačeného vzduchu a ethernet I/O pre komunikáciu.

YuMi je dostupný v dvoj alebo jedno-ramennej verzii. [3]



Obr. 2: ABB YuMi [2]

GoFa (Obr. 3) je cobot, ktorý má väčší dosah ako YuMi, až 950 mm, a taktiež je schopný manipulácie s ťažšími objektmi, až 5 kg. Splňa rovnaké bezpečnostné normy ako YuMi ale jeho ramenná nie sú polstrované. Je tiež rýchlejší ako YuMi, TCP (Tool Centre Point) rýchlosť dosahuje až 2,2 m/s.

Využitie nájde napríklad vo výrobe, pickovaní a balení tovaru alebo napríklad obsluhu obrábacích strojov.[9]



Obr. 3: ABB GoFa [8]

SWIFTI (Obr. 4) je najrýchlejší cobot od ABB, TCP rýchlosť až 5m/s. Aj pri tejto rýchlosti sa však dbá na bezpečnosť a ako predošlé modely spĺňa normu PL d Cat 3. Oproti predošlým modelom je však na vrchnej časti tohto robota led indikátor, ktorý slúži na signalizáciu stavu interakcie. Napríklad keď sa v jeho pracovnom prostredí nachádza človek, možno takto indikovať, že jeho prítomnosť je zaznamenaná a robot môže napríklad spomaliť svoje pohyby a osoba vie že môže bezpečne pracovať v blízkosti robota.[10]

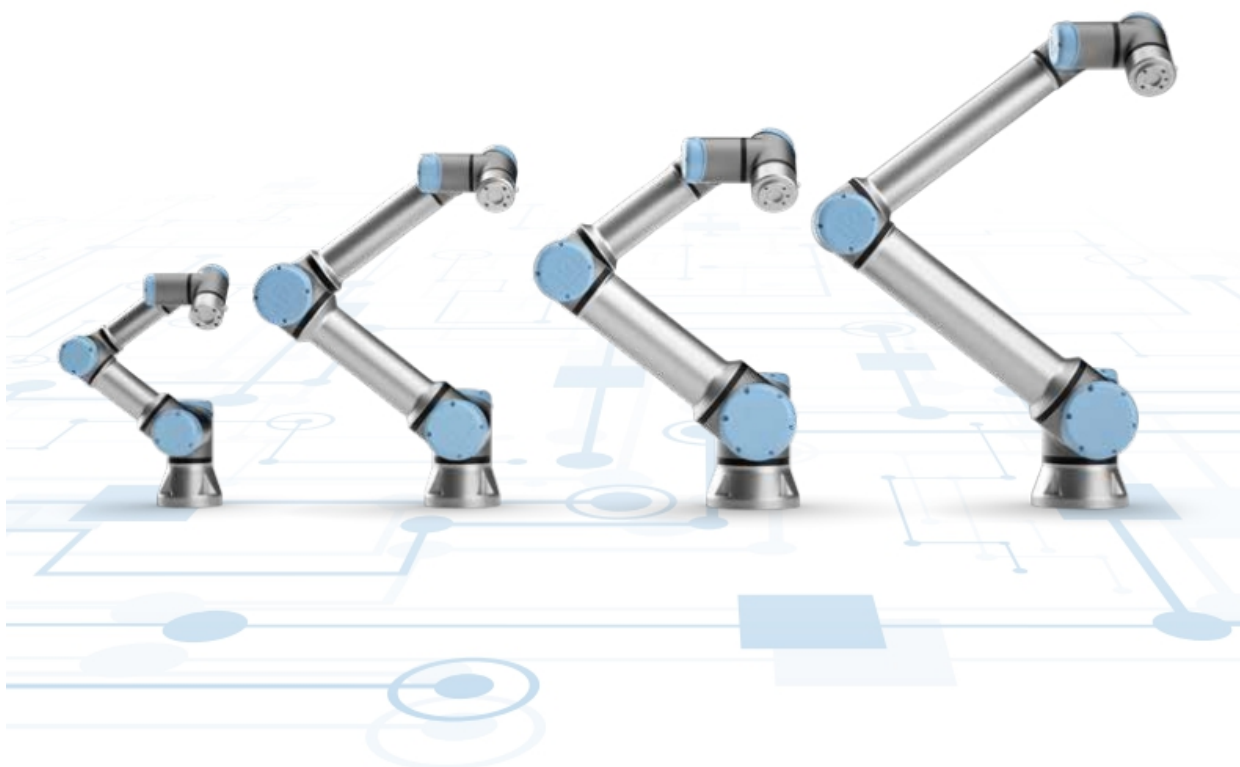


Obr. 4: ABB SWIFTI [11]

2.1.2 Universal Robots (UR) cobots

Výrobca Universal Robots ponúka 4 rôzne modely cobotov, UR3e, UR5e, UR10e, UR16e. UR v názve značí výrobcu Universal Robots, číslo je rovné nosnosti daného modelu a „e” znamená, že patria do série cobotov e-series.

Všetky 4 modely zdieľajú rovnaké funkcie. Vstavaný senzor krútiaceho momentu/sily, intuitívne programovanie, dotykový panel, nastaviteľné časovanie a vzdialenosť pri zastavení.



Obr. 5: Zľava doprava: UR3e, UR5e, UR16e, UR10e [12]

O bezpečnosť sa stará 17 bezpečnostných funkcií, ktoré všetky podliehajú EN ISO 13849-1, PL d Cat3 a celé zariadenie je v súlade s normou EN ISO 10218-1 v oboch prípadoch certifikované TÜV NORD. Tieto funkcie sú napríklad, núdzové zastavenie, zastavenie pri kontakte, ohraničenie pohybu, obmedzenie rýchlosti pohybu, obmedzenie maximálnej sily. Všetky modely majú ochranu IP54.

Kĺby robota sú ľahko vymeniteľné v prípade poruchy. Presnosť opakovaného pohybu je pri modeloch UR3e a UR5e $\pm 0,03$ mm a pri modeloch UR10e, UR16e $\pm 0,05$ mm.

TCP rýchlosť bežne dosahuje hodnoty 1m/s pri všetkých 4 modeloch, čo je menej než pri cobotoch od ABB. Avšak ABB uvádza maximálnu TCP rýchlosť, zatiaľ čo UR uvádza bežnú TCP rýchlosť.

Pre komunikáciu robot disponuje Ethernet/IP, USB 2.0, USB 3.0, PROFINET, Modbus TCP.

UR coboti nájdu využitie v laboratóriách, pri balení, zostavovaní, kontrole kvality, lepení, vstrekovacom lisovaní a ďalších rôznych oblastiach priemyslu. Podľa použitia je možné vybrať model s vhodnou silou a dosahom.[12]

2.1.3 KUKA cobots

Výrobca KUKA ponúka cobotov s názvom LBR iiwa. LBR je skratka nemeckého slova „Leichtbauroboter“, v preklade „ľahký robot“ a iiwa znamená intelligent industrial work assistant, čo značí, že sa jedná o cobota.

Kuka ponúka dva modely LBR iiwa. LBR iiwa 7 R800 s maximálnym dosahom 800 mm a nosnosťou 7 kg a LBR iiwa 14 R820 s maximálnym dosahom 820 mm a nosnosťou 14 kg. Obe tieto verzie sú dostupné aj vo verzii CR, CleanRoom, ktoré sú vhodné do čistých, bez prachových miestností, obvykle sú to špecializované miestnosti či už na montáž elektroniky, výskum, farmácia, laboratória a iné.

Oba modely spĺňajú ochrannú triedu IP54, presnosť opakovaného pohybu je $\pm 0,1$ mm pre model LBR iiwa 7 R800 a $\pm 0,15$ mm pre model LBR iiwa 14 R820.

Vďaka úplne oblému dizajnu, robot nemá žiadne ostré hrany, čo prispieva k bezpečnosti a ak príde ku kolízií, tak je robot schopný spomaliť, prípadne úplne zastaviť takmer okamžite.



Obr. 6: LBR iiwa 14 R820 [13]

Robot disponuje snímačmi momentu v kĺboch a taktiež sa snímače nachádzajú v čelustiach, vďaka čomu je robot schopný uchopiť aj nepresne umiestnené objekty.

Na komunikáciu slúžia USB, EtherNet a DVI-I, ktoré sa nachádzajú na KUKA Sunrise Cabinet, ktorý ovláda robota. K tomuto controlleru náleží KUKA sunrise, workbench, ktorý slúži na programovanie, nastavenie aj debug. LBR iiwa controller používa Java technológiu. Prípadne je programovanie možné aj pomocou ručného navádzania.

Použitie LBR iiwa nájde v rôznych oblastiach, ako napríklad balenie, kontrola kvality, montáž a vo verzii CleanRoom aj v laboratóriach alebo pri skladaní citlivej elektroniky.[14]

2.1.4 FANUC cobots

FANUC má zo všetkých spomínaných výrobcov najrozsiahljšiu ponuku cobotov. Ponúkajú nosnosť od 4 až do 35 kg. V ponuke sú modely CR-4iA, CR-7iA, CR-7iA/L, CR-14iA/L, CR-15iA, CR-35iA zo série CR (collaborative robots) (obr. 7) a CRX-10iA a CRX10iA/L zo série CRX (obr. 8).



Obr. 7: CR-14iA/L [15]



Obr. 8: CRX-10iAL[16]

Modely od FANUC majú maximálnu rýchlosť až 1,5 m/s v ne-kolaboratívnom režime. Oproti predošlým výrobcom je najväčší model schopný niesť ťažšie objekty, až 35 kg. Aj napriek takejto sile je zachovaná bezpečnosť a podobne ako modely od ABB spĺňa normu PL d Cat 3. Cobot pri kontakte s cudzím predmetom alebo človekom okamžite zastaví. Ďalej títo coboti disponujú systémom DCS, dual check safety, ktorý monitoruje pohyb robota a prípadne ďalších pripojených zariadení. Týmto je schopný predísť kolíziám. Všetky nastavenia rýchlosti aj bezpečnosti môžu byť upravené aby vyhovovali danému použitiu.

Programovanie je možné pomocou ručného navádzania alebo iHMI užívateľského prostredia na kontrolnom paneli daného robota. K týmto cobotom je dostupný aj simulačný software ROBOGUIDE.

Na ovládanie robota je dostupný R-30iB Plus controller alebo jeho verzia R-30iB Mini Plus, obe dostupné v rôznych uloženiach.

Presnosť opakovania pohybu je od $\pm 0,01$ mm po $\pm 0,03$ v závislosti od modelu pri sérii CR, a $\pm 0,05$ mm pre sériu CRX. Všetky uvedené modely CR aj CRX spĺňajú triedu ochrany IP67, čo je v niektorých použitíach značná výhoda oproti ostatným výrobcam, keďže táto trieda zaručuje úplnú ochranu voči prachu aj pred ponorením do vody do hĺbky 1 m na dobu 30 min.

CRX séria má oproti CR sérii hlavnú výhodu v nižšej hmotnosti, iba 39 kg a väčšom dosahu až 1,4 m. Zároveň je dizajn CRX série viac uhladený a jeho rameno je užšie. Pre tieto vlastnosti je jeho využitie vhodnejšie skôr v laboratóriách alebo vo výskume, kde by séria CR mohla pôsobiť ťažkopádne a nebezpečne.

2.1.5 Porovnanie a zhodnotenie

Pre účely laboratórnej manipulácie bol na porovnanie zvolený vhodný model od každého zo spomínaných výrobcov, konkrétne najmenší cobot z ponuky výrobcu t.j.: ABB YuMi, UniversalRobots UR3e, LBR iiwa 7 R800 a FANUC CR-4iA.

	ABB YuMi	UR3e	LBR iiwa 7R800	FANUC CR-4iA
Nosnosť [kg]	0,5	3,0	7,0	4,0
Dosah [m]	0,559	0,500	0,800	0,550
Presnosť opak. Pohybu [mm]	0,02	0,03	0,10	0,01
MaxTCP rýchlosť [m/s]	1,5	1,0*	—	1,0

Tab 1) Porovnanie špecifikácií cobotov

*výrobca uvádza typickú, nie maximálnu rýchlosť

Na základe údajov poskytovaných výrobcami jednotlivých cobotov (tab. 1) bol pre laboratórnu manipuláciu zvolený model ABB YuMi. Tento model má síce z porovnávaných najmenšiu nosnosť, avšak pre potreby tejto práce je postačujúca. Dosah je podobný ako pri ostatných porovnávaných modeloch, takže tento parameter nebol rozhodujúci.

Značnú výhodu má však YuMi v bezpečnosti. Bezpečnostné normy spĺňajú všetky modely, ale YuMi má ako jediný polstrované ramená. Ak by teda prišlo ku kolíziám s

ľudským pracovníkom, alebo ak by bolo do cesty robota umiestnené laboratórne sklo, je menšie riziko vzniku zranenia, čo je samozrejme pozitívum. TCP rýchlosť je podobná s ostatnými modelmi.

Ďalšou výhodou YuMi je dostupnosť modelu s dvoma ramenami. Bolo by možné zvoliť iný model a použiť dve jednotky, ale vopred hotový model s dvoma ramenami je vhodnejším a úhľadnejším riešením.

2.2 ABB

ABB je medzinárodná technologická firma, ktorá vznikla v roku 1988 spojením firiem ASEA a BBC, ktoré bolo predtým známe ako Brown Boveri.

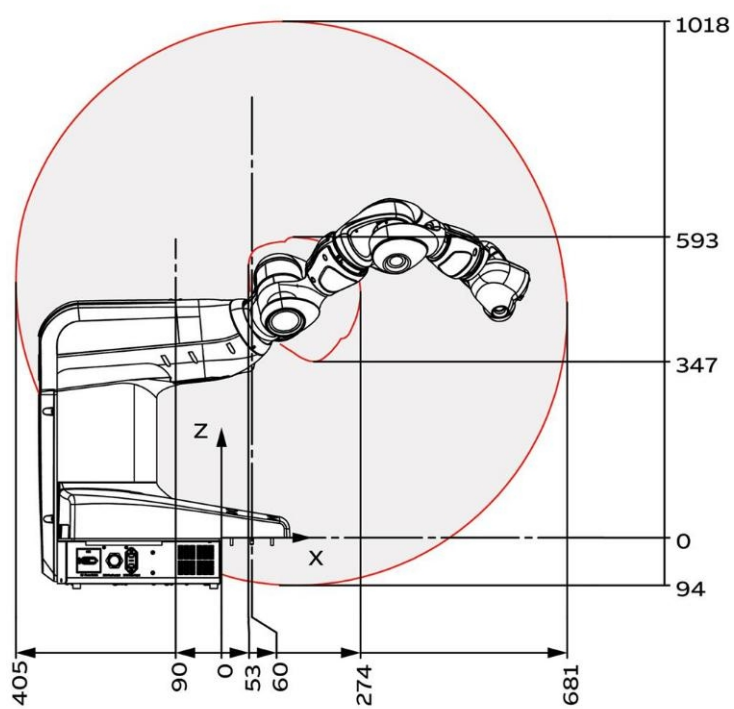
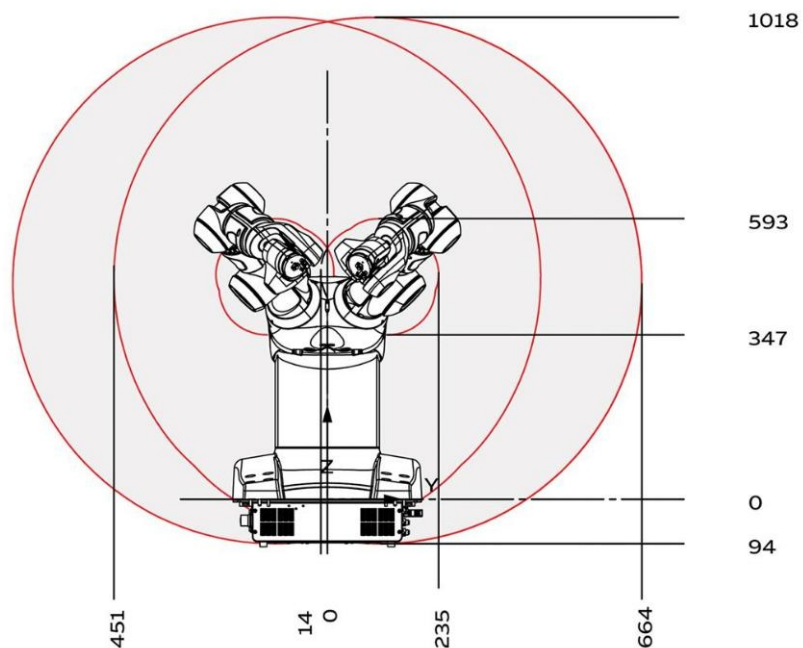
Pôsobenie ABB na trhu sa dá rozdeliť na tri oblasti. Elektrifikácia, kde spadajú rôzne vypínače, ističe, solárne invertory, zásuvky a podobné.

Ďalšou oblasťou je priemyselná automatizácia, v ktorej ABB distribuuje produkty, systémy a služby zamerané na maximalizáciu produktivity v odvetviach priemyslu a to napríklad ropný, petrochemický alebo ťažobný priemysel, ale aj kovovýroba alebo výroba cementu.

Okrem robotov a iných zariadení sa ABB zaoberá aj vývojom software pre tieto zariadenia, napríklad RobotStudio ktoré je jedným z najpoužívanejších nástrojov pre robotiku v priemysle.[5]

2.2.1 ABB YuMi

ABB YuMi (IRB 14000) je, ako už bolo spomínané pri porovnávaní cobotov, malý cobot, určený predovšetkým na manipuláciu s predmetmi menších rozmerov a nízkej hmotnosti. Nosnosť má 0,5 kg do čoho treba však zaradiť aj gripper a dosah je 559 mm, detailný pracovný rozsah je znázornený na obrázku 8.



Obr. 8: Dosah pri pohľade spredu a z boku [17]

Na trh bol uvedený v roku 2015 a išlo o prvého kolaboratívneho robota na svete. Je dostupný v dvoj a jednoramennom prevedení, potreby tejto práce bola zvolená dvojramenná verzia.

Z cobotov dostupných od ABB je tento uvádzaný ako najbezpečnejší, je však z nich aj najpomalší, čo prispieva k vysokej bezpečnosti. Splňa normu PL b Cat B.

YuMi je určený na upevnenie na stôl, má ochranu IP30 a spĺňa aj štandard pre použitie v bez prachovej miestnosti.

Disponuje integrovaným zdrojom stlačeného vzduchu pre použitie nástrojov na stlačený vzduch. Ako nástroj je použitá ruka (obr. 9), gripper, ktorá je dostupná napríklad s kamerou alebo aj prísavkou, poháňanou práve integrovaným stlačeným vzduchom.



Obr. 9: YuMi gripper dostupný v 4 verziách [3]

Robot váži 38 kg a jeho základňa má veľkosť 399×496 mm, jeho hlučnosť dosahuje maximálne hodnoty 70 db, čo je podobná hodnota ako napríklad hluk v kancelárií. Je schopný pracovať pri teplotách +5 až +40 °C, čiže bežné teploty v ktorých pracuje človek.

Pre komunikáciu je dostupný Ethernet IP, Profibus, USB porty, DeviceNet. YuMi je tiež kompatibilný s rôznymi Human-Machine Interface (HMI) zariadeniami, čo sú napríklad rôzne priemyselné displeje a tablety.

Robot v reálnom čase spracúva pohyby svojich ramien a predchádza ich vzájomnej kolízii. Controller IRC5 je zabudovaný v tejto verzii.[3]

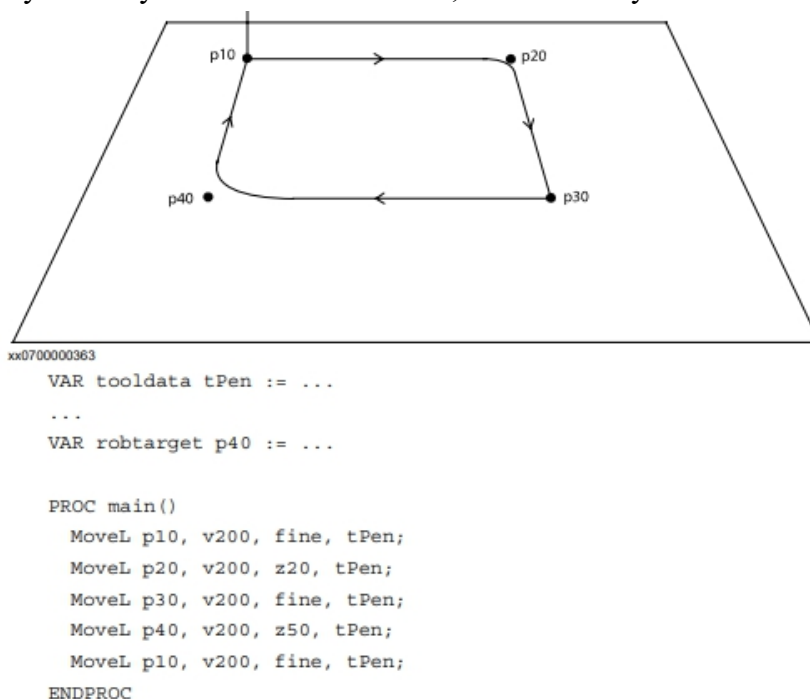
2.2.2 ABB RobotStudio

RobotStudio je offline software na programovanie, simuláciu a optimalizáciu pri programovaní robotov. Software je postavený na ABB Virtual Controller, čo je kópia software ktorý sa nachádza v reálnom robotovi od ABB. Táto skutočnosť umožňuje realistickú simuláciu programovaného riešenia.[4]

Ďalej RobotStudio podporuje headset pre virtuálnu realitu, prípadne viacero naraz a užívatelia môžu byť spolu vo virtuálnej miestnosti pre potreby prezentácie pri predaji alebo návrhu projektu.

Samozrejmosťou pre Priemysel 4.0 je digitálne dvojča, kedy je možné robiť zmeny a upravovať program bez zastavenia alebo obmedzovania výroby, čo šetrí náklady, respektíve nevytvára straty. Ako ďalší prostriedok pre vizualizáciu projektu je upravená realita (Augmented Reality), pomocou mobilného zariadenia sníma užívateľ povrch, napríklad stôl a na displeji zariadenia vidí daný projekt ako hologram.

Na samotné programovanie pohybu robota je využívaný jazyk RAPID. Jazyk patrí medzi vysoko-úrovňové, čo značí vysokú abstrakciu od počítača. Vďaka tomu je jazyk bližší písanej angličtine čo značne urýchľuje jeho použitie. Bol vyvinutý v roku 1994 firmou ABB a nahradil jazyk ARLA, ktorým bol ovplyvnený rovnako ako jazykom C.[6] Príklad jazyka možno vidieť na obrázku 10, premenné p10,p20... sú body a označujú polohy do ktorých sa chce robot dostať, nemusia to byť konečné body.



Obr. 10: Príklad kódu v jazyku RAPID

Výhoda jazyka RAPID je, okrem toho, že ako vysoko úrovňový jazyk je ľahko čitateľný, aj fakt, že bol navrhnutý práve na ovládanie robotov a obsahuje príkazy práve na toto využitie, ako napríklad MoveL je lineárny pohyb. MoveJ slúži na rýchly, nemusí

byť lineárny, pohyb robota pri presune na konkrétne miesto nejakého úkonu a MoveC je pohyb po kružnici, teda circular. Ako vidieť, príkazy sú formované logicky, aby boli čo najviac samozrejmé. Vďaka tomu sa dá s jazykom RAPID začať celkom rýchlo a jeho pochopenie a používanie by nemalo byť príliš náročné.

2.3 3D Tlač

3d tlač patrí medzi technológie aditívnej výroby, teda oproti klasickým metódam výroby ako napríklad sústruženie či frézovanie, sa materiál neodoberá ale pridáva a vrstvu po vrstvu tvorí daný výrobok.

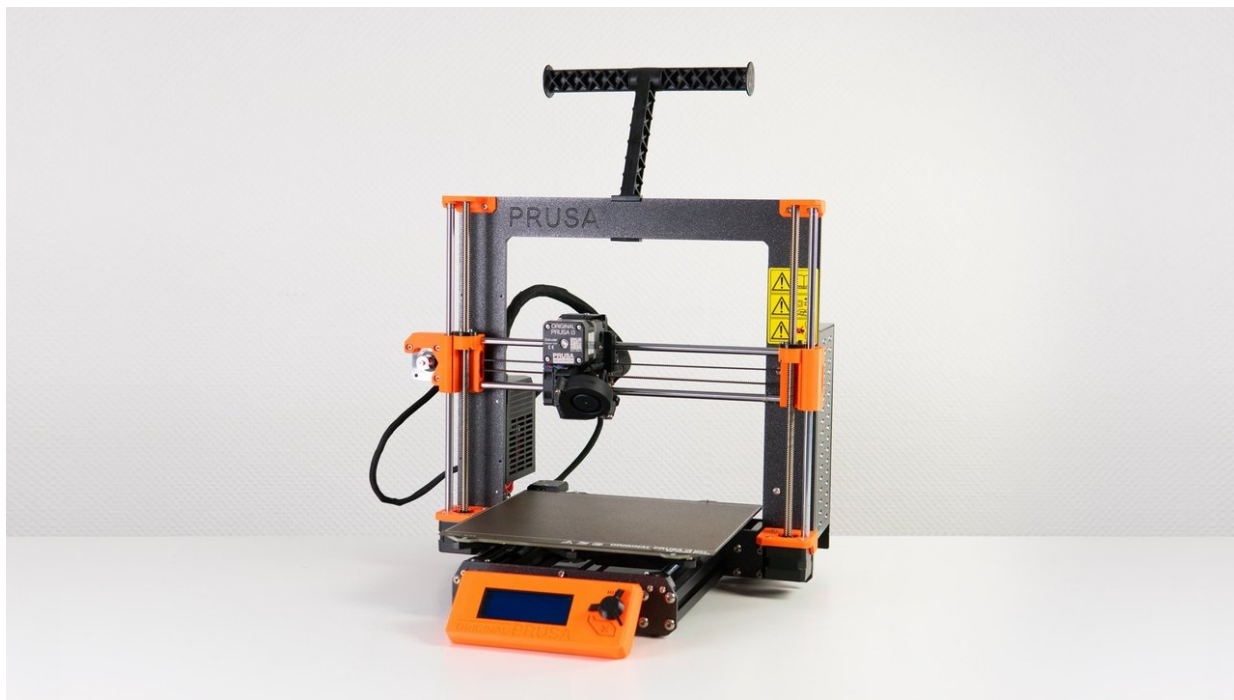
Asi najbežnejšou technológiou 3d tlače je FDM, Fused Deposition Modeling, tiež známe ako FFF, Fused Filament Fabrication. FDM bolo vynájdené v 80-tych rokoch pánom Scottom Grumpom, ktorý neskôr založil firmu Stratasys, ktorá si patentovala označenie FDM. Preto sa začalo používať označenie FFF ktoré označuje rovnakú technológiu avšak jeho použitie nie je legálne obmedzené.[7]

Pri tejto technológii sa materiál, rôzne druhy plastov, vo forme filamentu taví a tryska následne vytvára vrstvu po vrstve požadovaný tvar.

Najbežnejšie používanými materiálmi sú napríklad PLA (vyrábané z prírodných cukrov a škrobov), PETg (PET upravené pre 3d tlač) alebo ASA (alternatíva k ABS).

Technológia 3d tlače je vhodná práve na tzv. rapid-prototyping, čiže je možné prejsť v pomerne krátkej dobe od nápadu k výrobku. Okrem prototypov je to tiež výhodné pri málo-kusovej výrobe alebo výrobkoch na mieru.

Na tlač pre potreby tejto práce bola použitá Prusa i3 MK3S (obr.11), jedná sa o zariadenie kartézskeho typu, t.j. má tri na seba kolmé osi x, y, z. Podložka je pohyblivá v smere osi y. Táto tlačiareň bola zvolená na základe dobrého prístupu k zariadeniu a množstva osobných skúseností pri práci s týmto modelom. Taktiež sa jedná o kvalitné a spoľahlivé zariadenie z kategórie hobby tlačiarňí, čo je kategória tlačiarňí do cca 1500€, v skutočnosti to však nie je presne stanovené ale myslia sa tým tlačiarne, ktoré si môže dovoliť bežný užívateľ do domácej dielne.



Obr. 11: Prusa i3 MK3S[18]

Ako materiál pre tlač bolo zvolené PLA. Hlavným dôvodom pre voľbu tohto materiálu bola jeho tvrdosť v porovnaní s napríklad PETg, a veľmi jednoduchá tlač. Ďalšia výhoda je jeho ekologickosť, keďže sa vyrába z prírodných zdrojov a je biologicky rozložiteľný.

Treba spomenúť však, že pri uvedení do prevádzky v skutočnom laboratóriu, prípadne inej aplikácii s požiadavkami na Food-Safe nástroje, by bolo nutné vymeniť PLA za iný materiál vhodný pre toto použitie. Taktiež by bola potrebná úprava povrchu výrobkov, nakoľko pri tlači vznikajú vrstvy a mikro-praskliny v ktorých sa môžu usádzať a množiť baktérie, ktoré by kontaminovali laboratórium. Ako materiál v tomto prípade by mohlo byť použité ABS ktoré možno vyhladiť acetónom, pri jeho tlači však vznikajú toxické výpary, prípadne je dostupné antibakteriálne PLA, ktoré obsahuje antibakteriálne zložky. Je samozrejme možné, že sa v najbližšej dobe objaví na trhu filament špeciálne určený pre laboratória, nakoľko každý rok pribúda množstvo nových filamentov s rôznymi prídavnými zložkami.

3 RIEŠENIE ÚLOHY

Riešenie úlohy sa bude deliť na dve časti. Obe sú riešené pomocou ABB YuMi a RobotStudio.

V prvej je úlohou laboratórna manipulácia s kádinkou a prelievaním a miešaním kvapaliny. Sú dve kádinky, A a B v ktorých sú rozdielne kvapaliny A a B, a tieto kvapaliny je potrebné zmiešať. Kvapalina z kádinky A sa preleje do kádinky B, kádinka A sa odloží naspäť na východziu pozíciu, robot následne do volnej ruky vezme sklenenú tyčinku, ktorá slúži ako miešadlo a premieša výslednú kvapalinu v kádinke B. Následne vráti sklenenú tyčinku do stojana a kádinku B so zmiešanou kvapalinou vráti na východziu pozíciu.

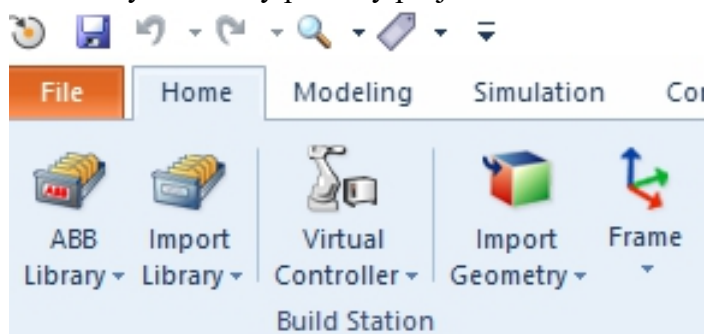
V ďalšej úlohe bude robot pripravovať drink, konkrétne Gin-Tonic. Táto úloha slúži na prezentáciu možného ďalšieho využitia YuMi. Postup je jednoduchý, robot vezme pohár z východzieho miesta, zatlačením pohára na čapovacie zariadenie načapuje Gin, následne Tonic. Druhé rameno medzi tým vezme plátok citróna a vo vhodnej chvíli ho hodí do pohára, ktorý drží druhé rameno. Po dokončení je pohár s hotovým drinkom položený naspäť na stôl.

3.1 Manipulácia s kádinkou- programovanie v RobotStudio

RobotStudio od ABB nám bude slúžiť na realizáciu projektu, pomocou neho bude naprogramovaný pohyb robota. Konkrétne pomocou programovacieho jazyka RAPID ktorý sa v tomto programe používa.

3.1.1 Vytvorenie projektu a import objektov

Projekt vytvoríme v záložke *New*, zvolením možnosti *Solution with Empty Station*, čím sa vytvorí nový prázdny projekt.

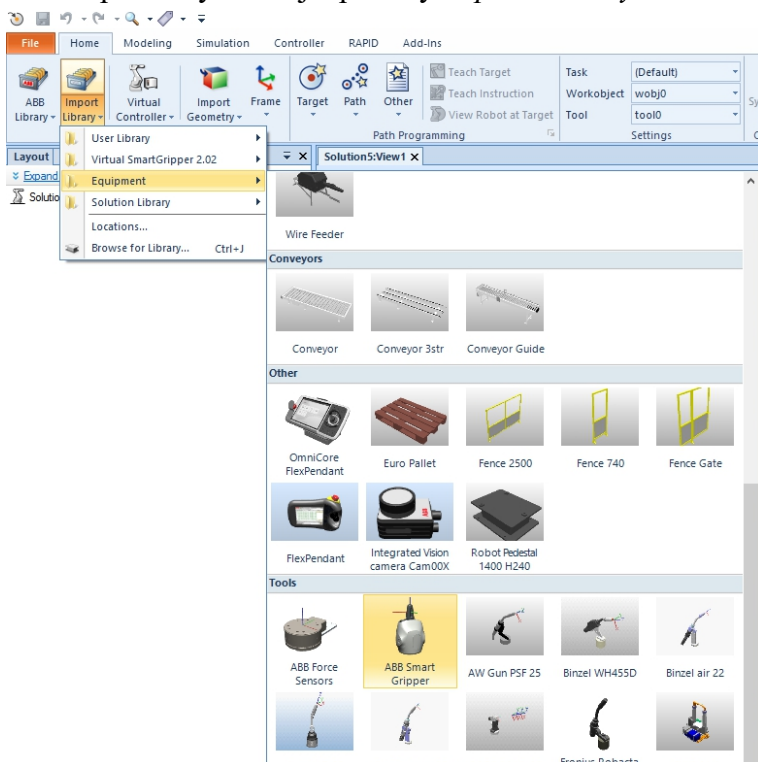


Obr. 12: Home - RobotStudio

Následne v záložke *Home* vložíme do projektu požadovaného robota z *ABB Library* (obr.12), v našom prípade IRB 14000 YuMi. Ďalej je potrebné vložiť kontrolér. Ten nájdeme tiež v záložke *Home* označený *Virtual Controller*. Tu zvolíme možnosť *From*

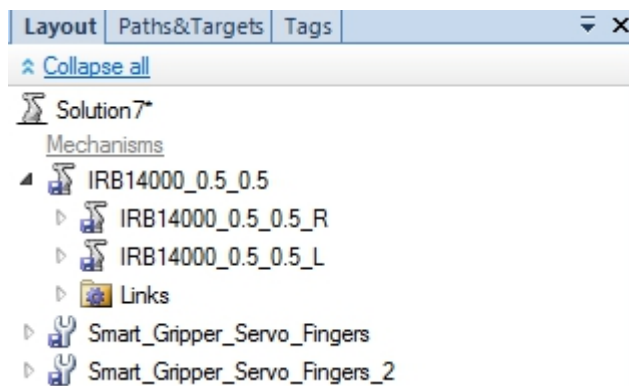
Layout..., ktorý nám ponúkne vhodný kontrolér podľa použitého modelu, následne zvolíme verziu RobotWare 6.11.

Ďalej vložíme potrebný nástroj z ponuky *Import Library*.



Obr. 13: Import nástroja

Tu vyberieme *ABB Smart Gripper* (obr 13). V ďalšom okne, ktoré sa objaví zvolíme variantu *Servo, Fingers*. Ak import prebehol správne, mal by sa Gripper objaviť v projekte ako model a rovnako aj v záložke *Layout*. V tejto záložke nástroj priradíme ramenu robota, keďže je dvoj ramenný. Stačí pretiahnuť ikonu gripperu na ikonu robota (obr.14). Následne pri dotaze či chceme aktualizovať pozíciu zvolíme áno a nástroj sa priradí zvolenému ramenu. Import nástroja je potrebné vykonať pre každé rameno zvlášť.



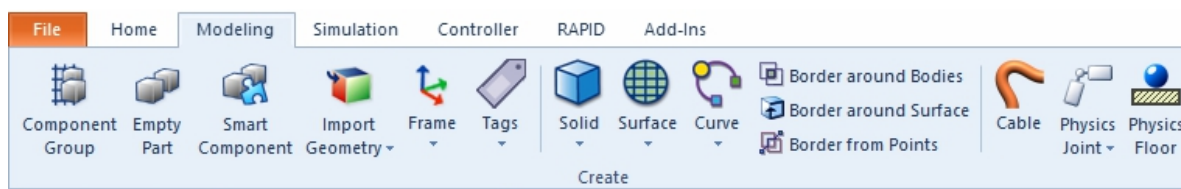
Obr. 14: *Layout*

Ďalej je potrebné importovať všetky objekty, ktoré chceme použiť v projekte. V tomto prípade dve kádinky, tyčinku na miešanie a stojan na ňu. Toto vykonáme cez ikonu *Import Geometry* (obr.12). V tomto okne následne vyberieme 3d objekt na import. Objekt musí byť v podporovanom type súboru. RobotStudio podporuje väčšinu bežných 3d formátov ako STL, SAT, OBJ, 3DS a ďalšie.

V tejto úlohe importujeme dve kádinky a stojan na tyčinku. Obe boli modelované v programe Autodesk Inventor, samozrejme bolo možné použiť aj napríklad SolidWorks alebo iný CAD, Inventor bol zvolený na základe osobných preferencií a skúseností s týmto programom.

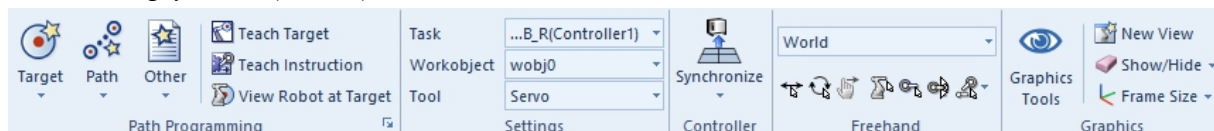
Rozmery kádinky boli dané štandardnými rozmermi kádinky ako laboratórneho skla. A pre stojan na tyčinku bolo potrebné dodržať, priemer ktorý bol daný priemerom tyčinky, ktorá je tiež štandardné laboratórne sklo.

Jednoduché objekty je v RobotStudio možné vložiť skrz záložku *Modeling*, ikona *Solid* (obr.15). Týmto spôsobom bola vložená sklenená tyčinka, nakoľko sa jedná o objekt valcovitého tvaru.

Obr. 15: *Modeling*

3.1.2 Programovanie pohybu

Po importovaní všetkých potrebných objektov a súčastí je možné začať programovať samotnú činnosť robota. V záložke *Paths&Targets* sa uistíme či je aktívne rameno ktoré chceme programovať. Ak to tak je tak vložíme prázdnu cestu cez ikonu *Path* → *Empty Path* (obr.16).



Obr. 16: Nástroje pre cestu

Ďalej pomocou nástrojov pre voľný pohyb (Freehand obr.16) posunieme rameno robota a ikonou *Teach Instruction* vytvoríme inštrukciu, východia inštrukcia je MoveL, t.j. lineárny pohyb.

Alternatívou tohto prístupu je programovanie priamo v jazyku RAPID. Podľa osobného názoru je však najlepšia možnosť, týmito jednoduchými krokmi najprv navoliť všetky pohyby skrz nástroje pre cestu a následne zvoliť *Synchronize* →

Synchronize to RAPID, čo celý program synchronizuje do RAPID a tu následne upraviť precízne požadované pozície a príkazy, prípadne pridať cykly ako napríklad WHILE.

The screenshot displays the ABB RAPID editor interface. On the left, the 'Paths & Targets' tree shows a hierarchy: Solution7 > Station Elements > Controller1 > T_ROB_R > Workobjects & Targets > wobj0 > wobj0_of > Target_10 through Target_90. Below this, the 'main' entry point contains a 'Path_10' procedure. The main procedure includes PulseDO custom_DO_0, ROpen, MoveL to various targets, WaitTime InPos, RClose, attach_obj1, LOpen, MoveL to more targets, detach_obj1, and ROpen. The 'Path_10' procedure starts with PulseDO custom_DO_0, ROpen, and MoveL to Target_10. It then moves to Target_20, Target_30, Target_32, Target_40, Target_50, Target_60, Target_80, and Target_90. A WHILE loop follows, where 'i' starts at 0 and increments by 1 until it reaches 'mixCount' (10). Inside the loop, MoveC moves to Target_50 and Target_60, and another MoveC moves to Target_80 and Target_90. After the loop, MoveL moves to Target_40, Target_32, Target_25, Target_20, and Target_10. The procedure ends with ROpen, detach_obj1, and MoveL to Target_10. The right pane shows the corresponding RAPID code, which is a direct translation of the Paths & Targets tree structure.

```

1  MODULE Module1
2  [
3  CONST robtarget Target_10:=[[276.358732828,-482.34585664,193.210744997],[
4  CONST robtarget Target_20:=[[380.005907187,-344.688921257,193.210654535],
5  CONST robtarget Target_30:=[[486.959761832,-261.137249689,314.555197728],
6  CONST robtarget Target_40:=[[486.959010659,-156.536692761,193.210788019],
7  CONST robtarget Target_50:=[[499.237494553,-144.201834658,193.21060927],[
8  CONST robtarget Target_60:=[[515.096246362,-158.734972672,193.210385088],
9  CONST robtarget Target_32:=[[486.959330379,-156.537017336,296.68921979],[
10 CONST robtarget Target_80:=[[498.312841193,-175.205771083,193.209994909],
11 CONST robtarget Target_90:=[[480.415400877,-159.09694761,193.209699026],[
12 VAR byte i := 0; VAR byte mixCount := 10;
13 CONST robtarget Target_25:=[[380.006279933,-344.689440996,294.043485603],
14 ]
15 PROC main()
16 Path_10;
17 ENDPROC
18 PROC Path_10()
19 PulseDO custom_DO_0;
20 PulseDO ROpen;
21 MoveL Target_10,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
22 MoveL Target_20,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
23 WaitTime\InPos,0.5;
24 PulseDO RClose;
25 PulseDO attach_obj1;
26 WaitDO LOpen, 1;
27 MoveL Target_25,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
28 MoveL Target_30,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
29 MoveL Target_32,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
30 MoveL Target_40,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
31 ]
32 WHILE i <= mixCount DO
33 i := i + 1;
34 MoveC Target_50,Target_60,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
35 MoveC Target_80,Target_90,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
36 ENDWHILE
37 MoveL Target_40,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
38 MoveL Target_32,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
39 MoveL Target_25,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
40 MoveL Target_20,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
41 WaitTime\InPos,0.5;
42 PulseDO ROpen;
43 PulseDO detach_obj1;
44 MoveL Target_10,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
45 ENDPROC
46 ENDMODULE

```

Obr. 17: Program v Paths&Target a RAPID

Na obrázku 17 možno vidieť porovnanie týchto dvoch prístupov. Sú vzájomne synchronizované, takže vykonajú rovnaké pohyby ale napríklad cyklus WHILE sa zobrazuje iba v RAPID.

Ďalej prejdeme na popis samotného programu v RAPID (obr.18). Sú dva, pre každé rameno jeden. Na začiatku je PulseDO custom_DO_0, pulz na digitálnom výstupe, tento slúži na vrátenie všetkých objektov simulácií do východzej pozície. Obe ramená pracujú súčasne, taktiež aj ich programy. Rameno R presunie nástroj k miešadlu, RClose zavrie čeluste a attach_obj1 upevní miešadlo k nástroju v simulácií. Následne čaká kým prijme signál LOpen od ramena L.

Rameno L zatiaľ vzalo kádinku, podobne ako pri miešadle, a prelialo kvapalinu do druhej kádinky. Následne vráti kádinku na pôvodnú pozíciu a vyšle signál LOpen, ktorý otvorí čeluste a zároveň dá vedieť ramenu R že dokončilo svoju činnosť.

Rameno R stále drží miešadlo, ktoré presunie do kádinky v ktorej už sú obe kvapaliny. Obsah tejto kádinky premieša 10-timi kruhovými pohybmi, je to dané číslom vo VAR byte mixCount.

```

Controller1 (Station) - T_ROB_L/Module1
1  MODULE Module1
2
3  CONST robtarget Target_10:=[[475.643689469,113.936
4  CONST robtarget Target_20:=[[475.643784703,113.9366
5  CONST robtarget Target_30:=[[387.793950238,122.0619
6  CONST robtarget Target_40:=[[503.742547599,-87.3063
7  CONST robtarget Target_50:=[[503.742638918,-134.967
8  CONST robtarget Target_60:=[[503.742664452,-72.9204
9  CONST robtarget Target_70:=[[475.643957806,113.9370
10 CONST robtarget Target_80:=[[245.395489228,239.5068
11 CONST robtarget Target_40_2:=[[503.742547599,-87.30
12 PROC main()
13   ENDPROC
14 PROC Path_10()
15   PulseDO custom_DO_0;
16   MoveL Target_10,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
17   PulseDO LOpen;
18   MoveL Target_20,v100,z100,Servo\WObj:=wobj0;
19   WaitTime\InPos,0.5;
20   PulseDO attach_kadinka;
21   PulseDO LClose;
22   MoveL Target_30,v100,z100,Servo\WObj:=wobj0;
23   MoveL Target_40,v100,z100,Servo\WObj:=wobj0;
24   MoveL Target_50,v10,z100,Servo\WObj:=wobj0;
25   WaitTime\InPos,1;
26   MoveL Target_40_2,v100,z100,Servo\WObj:=wobj0;
27   MoveL Target_10,v100,z100,Servo\WObj:=wobj0;
28   MoveL Target_20,v100,z100,Servo\WObj:=wobj0;
29   WaitTime\InPos,0.5;
30   PulseDO detach_kadinka;
31   PulseDO LOpen;
32   MoveL Target_70,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
33   MoveL Target_80,v300,z100,Servo\WObj:=wobj0;
34   ENDPROC
35
36 ENDMODULE

Controller1 (Station) - T_ROB_R/Module1
1  MODULE Module1
2  CONST robtarget Target_10:=[[276.358732828,-482.34585664,193.2107
3  CONST robtarget Target_20:=[[380.005907187,-344.688921257,193.216
4  CONST robtarget Target_30:=[[486.959761832,-261.137249689,314.555
5  CONST robtarget Target_40:=[[486.959010659,-156.536692761,193.216
6  CONST robtarget Target_50:=[[499.237494553,-144.201834658,193.216
7  CONST robtarget Target_60:=[[515.096246362,-158.734972672,193.216
8  CONST robtarget Target_32:=[[486.959330379,-156.537017336,296.688
9  CONST robtarget Target_80:=[[498.312841193,-175.205771083,193.208
10 CONST robtarget Target_90:=[[480.415400877,-159.09694761,193.2096
11 VAR byte i := 0; VAR byte mixCount := 10;
12 CONST robtarget Target_25:=[[380.006279933,-344.689440996,294.043
13
14 PROC main()
15   Path_10;
16   ENDPROC
17
18 PROC Path_10()
19   PulseDO custom_DO_0;
20   PulseDO ROpen;
21   MoveL Target_10,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
22   MoveL Target_20,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
23   WaitTime\InPos,0.5;
24   PulseDO RClose;
25   PulseDO attach_obj1;
26   WaitDO LOpen, 1;
27   MoveL Target_25,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
28   MoveL Target_30,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
29   MoveL Target_32,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
30   MoveL Target_40,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
31
32   WHILE i <= mixCount DO
33     i := i + 1;
34     MoveC Target_50,Target_60,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
35     MoveC Target_80,Target_90,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
36   ENDMETHOD
37   MoveL Target_40,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
38   MoveL Target_32,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
39   MoveL Target_25,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
40   MoveL Target_20,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
41   WaitTime\InPos,0.5;
42   PulseDO ROpen;
43   PulseDO detach_obj1;
44   MoveL Target_10,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
45   ENDPROC
46 ENDMODULE

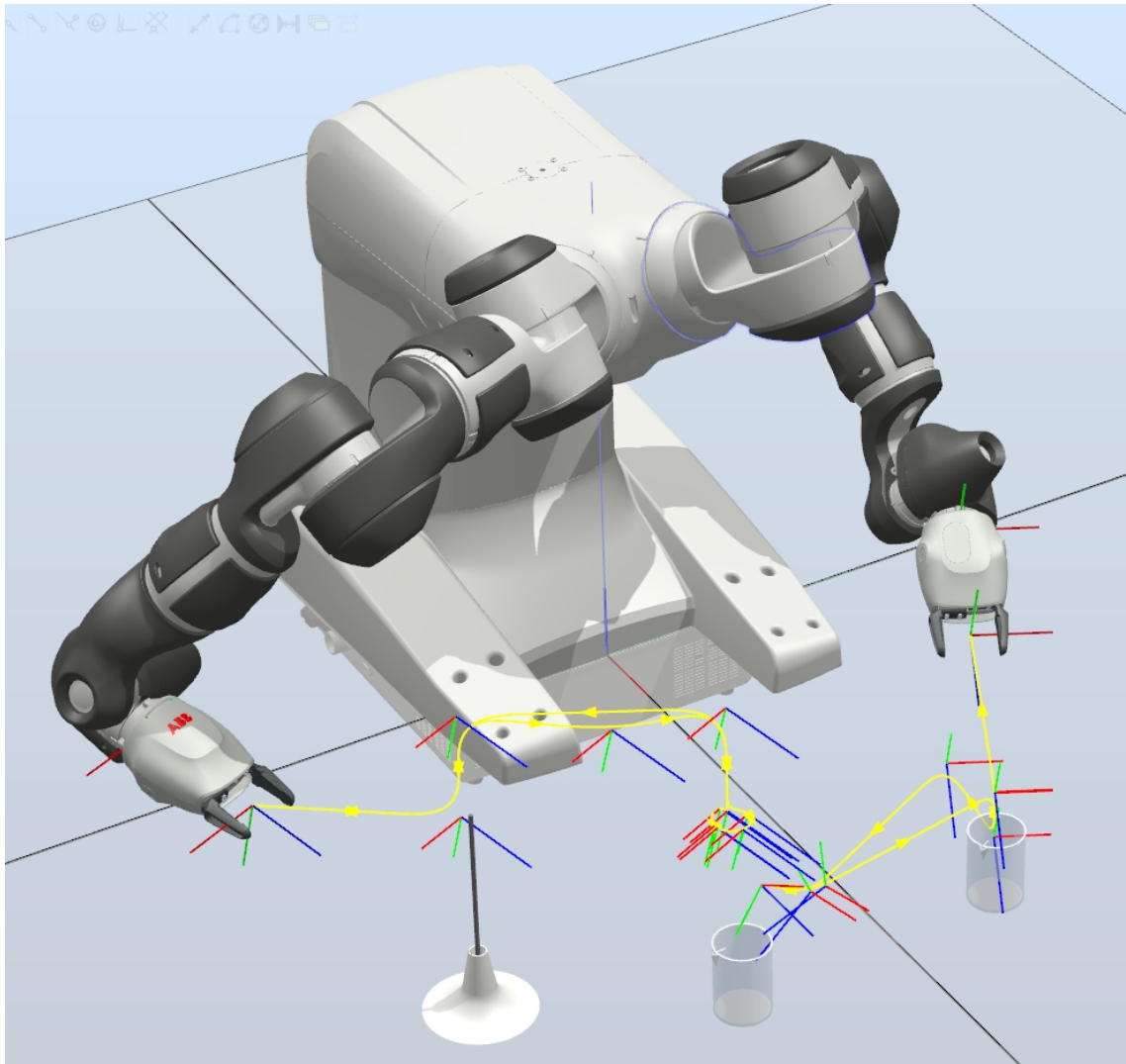
```

Obr. 18: Program pre rameno R a L

Na kruhový pohyb bol použitý príkaz MoveC (circular), ktorý vykonáva pohyb do oblúka, pre plný kruh sa teda použil dva krát a následne uzavrel do cyklu WHILE.

Následne rameno R vráti miešadlo do stojana a kvapaliny sú premiešané, čím je proces manipulácie hotový.

Pri tomto programe je možné si všimnúť dobrú čitateľnosť programu aj bez dodatočných komentárov.



Obr. 19: Stanica so zobrazením naprogramovaných pohybov

3.1.3 Model kádinky a stojan na miešadlo

Model kádinky bolo potrebné vymodelovať pre potreby simulácie, rozmery zodpovedajú bežne dostupnej kádinke s objemom 100 ml, priemer je 50 mm a výška 70 mm.

Stojan na miešadlo bol modelovaný podľa rozmeru miešadla, teda priemeru aby otvor naň bol vhodného rozmeru, to znamená priemer miešadla a k tomu pridaná značná tolerancia, pre zjednodušenie manipulácie. Miešadlo, sklenená tyčinka, je bežne dostupná o priemere 4 - 9 mm, pre naše potreby uvažujeme 4 - 7 mm. K tomu treba ešte prirátavať nepresnosť pri 3d tlači, nakoľko metóda FDM/FFF nedosahuje presnosti, s akou sa stretávame v priemysle. Samozrejme táto presnosť závisí aj na použitej tlačiarňi a schopnostiach používateľa ju vhodne nastaviť. Z osobnej skúsenosti sa presnosť pohybuje obvykle $\pm 0,1$ mm.

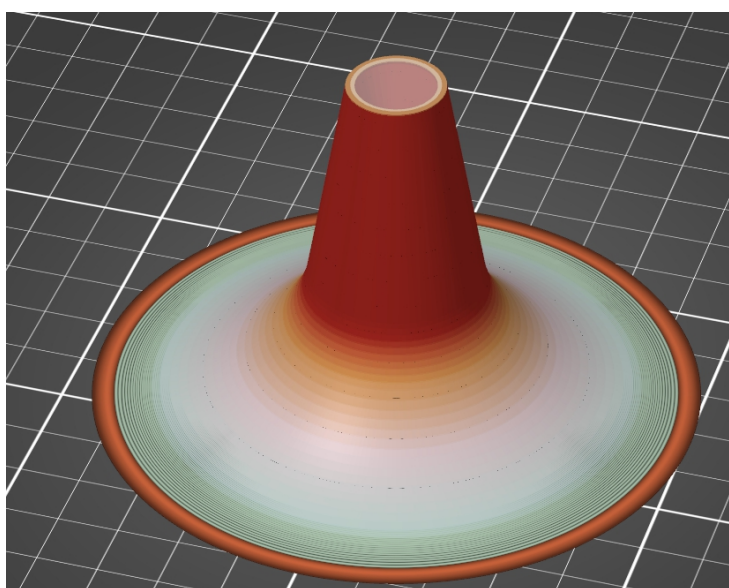


Obr. 20: Kádinka a stojan na miešadlo v programe Inventor

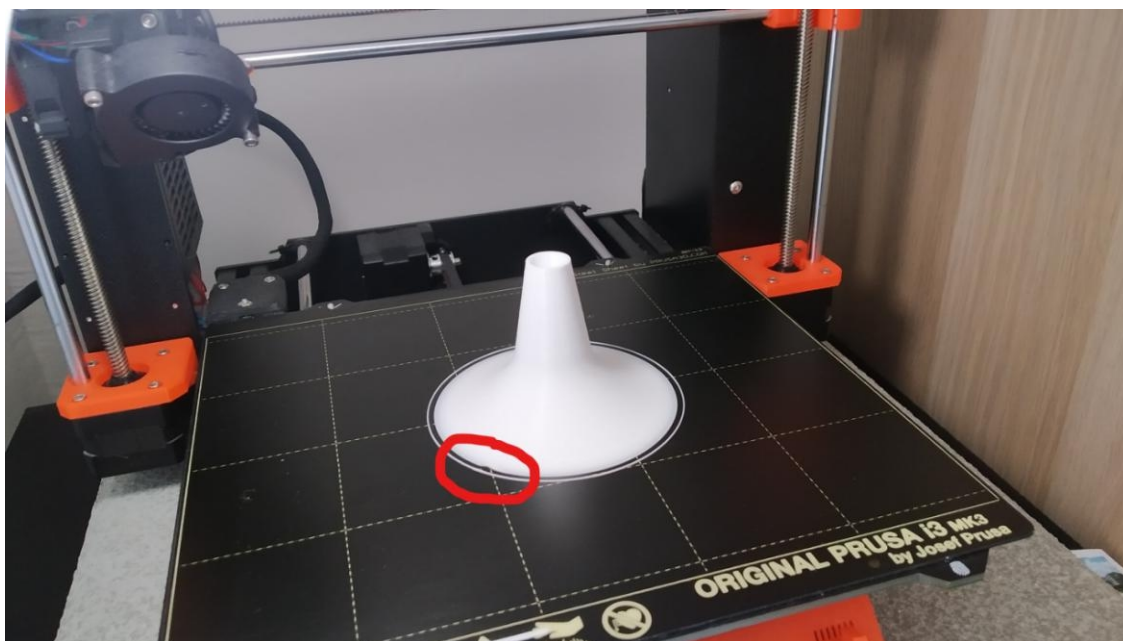
Stojan na miešadlo sa vo vrchnej časti zužuje aby sa uľahčilo umiestnenie miešadla naspäť na miesto. Široký podstavec zabráni prevráteniu (obr. 20).

Stojan bol následne exportovaný do STL a pripravený na tlač, vytvorením Gcode, pomocou programu PrusaSlicer.

Bola použitá premenlivá výška vrstvy, čo je funkcia, ktorá výšku vrstvy nastaví podľa geometrie v danej vrstve. Napríklad na jednoduchý valec by bola použitá výška 0,3 mm, naopak ak by sa cez vrstvu prechádzali zaoblenia, výška by bola 0,1 mm. Táto funkcia teda zvýši výšku vrstvy tam kde sa to „stratí“ a zníži tam, kde je nutný väčší detail (obr.21).



Obr. 21: Výška vrstvy je reprezentovaná farbou (PrusaSlicer)



Obr. 22: Vytlačený stojan s chybným miestom

Na obrázku vyššie (obr.22) je vidieť vytlačený stojan, avšak s menšou chybou, ktorá však nemá vplyv na funkčnosť, je však nutné nájsť zdroj problému na tlačiarni.

3.2 Drobná oprava tlačiarnie

Po preskúmaní tlačiarnie bol nájdený zdroj problému. Časť extrudéru zadierala o tlačенú vrstvu v danom bode, čím vznikla nerovnosť. Konkrétne sa jednalo o časť ktorá smeruje vzduch z ventilátora na ku tryske a tým chladí tlačенú vrstvu.

Táto porucha bola spôsobená časom a tým, že je tento diel z materiálu PETg, pričom sa v jeho blízkosti nachádza tryska ktorá bežne dosahuje teploty 200 °C a viac. Nešlo však o roztavenie, nakoľko tento diel je v priamom kontakte s tryskou, aj napriek tomu však na ňom vznikajú teploty, ktoré spôsobujú mäknutie a následnú deformáciu v dlhšom časovom horizonte, tzv. sagging. Je to častý problém tohto modelu tlačiarnie.



Obr. 23: Pôvodný deformovaný diel napravo, nový vytlačený diel na ľavo

Tento diel je však upevnený len na jednej skrutke, čiže jeho výmena bola rýchla a jednoduchá. Výhodou je tiež fakt, že diel samotný je vyrobený pomocou 3d tlačiarne, čiže je možné si ho hneď vytlačiť (obr.23). Po oprave je teda možné pokračovať ďalšou úlohou, kde bude tlačiareň opäť použitá.

3.3 Príprava nápoja - programovanie v RobotStudio

Ako už bolo spomenuté, v tejto úlohe bude robot pripravovať Gin-Tonic a úloha slúži predovšetkým na prezentáciu, že YuMi je vhodný nielen do laboratória.

Robot vezme pohár do ruky s pôvodnými prstami a načapuje gin a následne tonic. Na čapovanie bude použité zariadenie podobné tomu na obrázku 24.

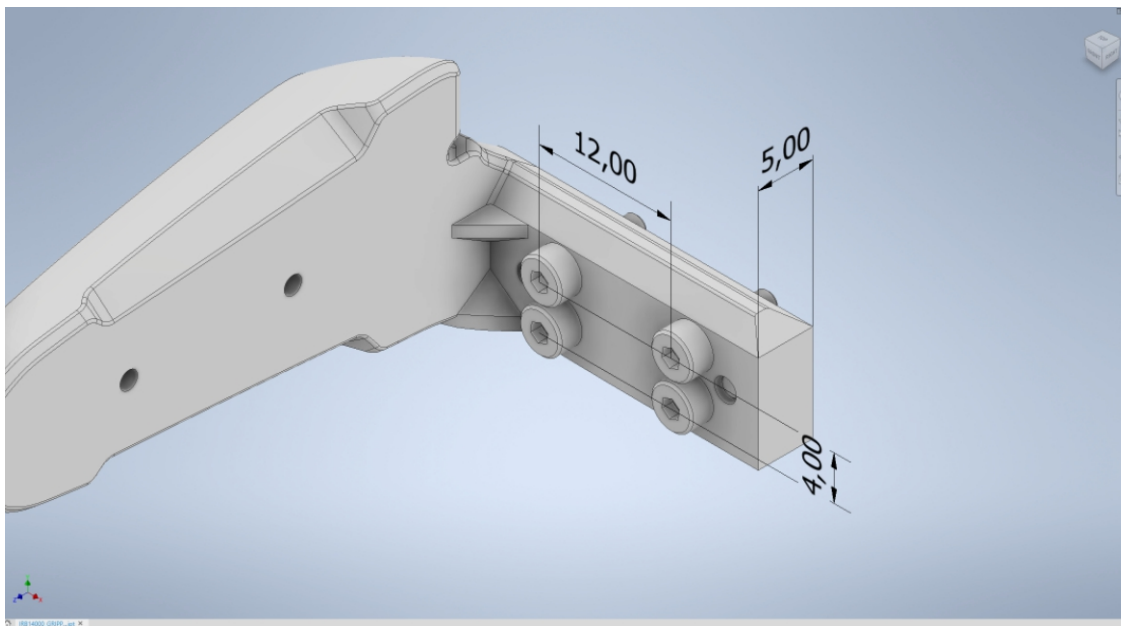


Obr. 24: Zariadenie na čapovanie

Preto stačí na čapovanie jedna ruka ktorá zároveň drží pohár, druhá ruka medzitým vezme plátok citróna a hodí ho do pripraveného nápoja. Na tento účel je potrebné navrhnúť prsty na mieru.

3.3.1 Modelovanie a tlač prstov

Prsty boli nakreslené opäť v programe Inventor. Prsty na YuMi sú ľahko vymeniteľné, každý je upevnený na servo pomocou 4 skrutiek, je teda potrebné dodržať pôvodné rozostupy medzi skrutkami (obr. 25) aby bolo možné ich upevniť. Ďalej sú na každom prste dve diery ktoré slúžia na umiestnenie pri montáži.



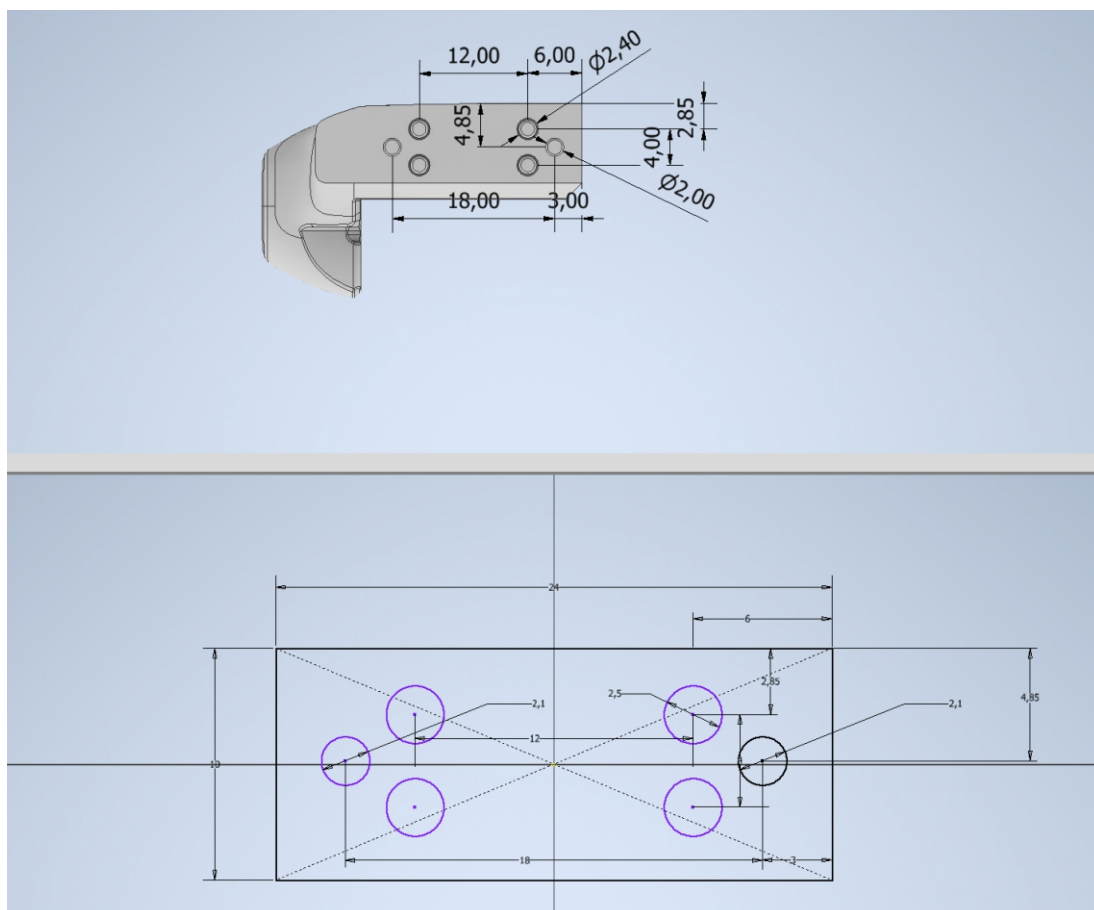
Obr. 25: Model prstu od ABB (Inventor)

Pri modelovaní bolo nutné brať do úvahy aj dĺžku pohybu serva, čo je 25 mm na každom, čiže maximálny rozstup prstov robota je 50 mm.

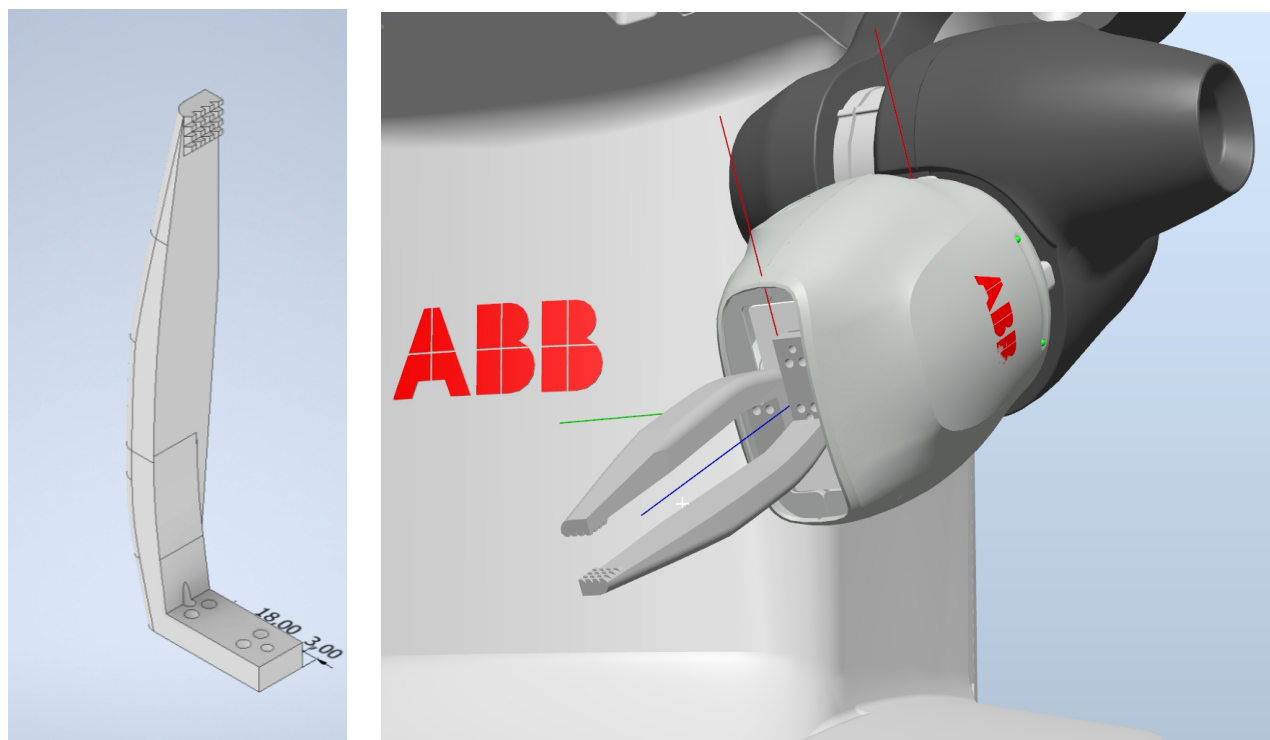
Začiatok modelovania, zachovanie rozmerov pre montáž na základe modelu od ABB je na obrázku 26. Ako bolo spomenuté funkčné rozmery, diery, sú zväčšené práve kvôli použitiu 3d tlače. Z osobnej skúsenosti zväčšením o 0,1 mm sa dosiahne pôvodný rozmer diery, t.j. diera o priemere 2,4 mm bude mať priemer 2,5 mm. Nakoľko budú prsty manipulovať s citrónom, čiže klzký mäkký objekt, je potrebné na stykovej ploche vytvoriť vhodný povrch.

Po zohľadnení všetkých faktorov, bol model prstov vložený do RobotStudio. Nakoľko prvý model nesedel vhodne s krytom YuMi v simulácii, model bol upravený a opäť vložený do RobotStudio. Po niekoľkých simuláciách a úpravách vznikol výsledný model, ktorý možno vidieť na obrázku 27 v prostredí Inventor naľavo a napravo už nasadený na ruke v RobotStudio.

Všetky potrebné modely boli exportované z Inventor do formátu SAT pre vloženie do RobotStudio a vo formáte STL pre 3d tlač.



Obr. 26: Zachovanie rozmerov pre montáž

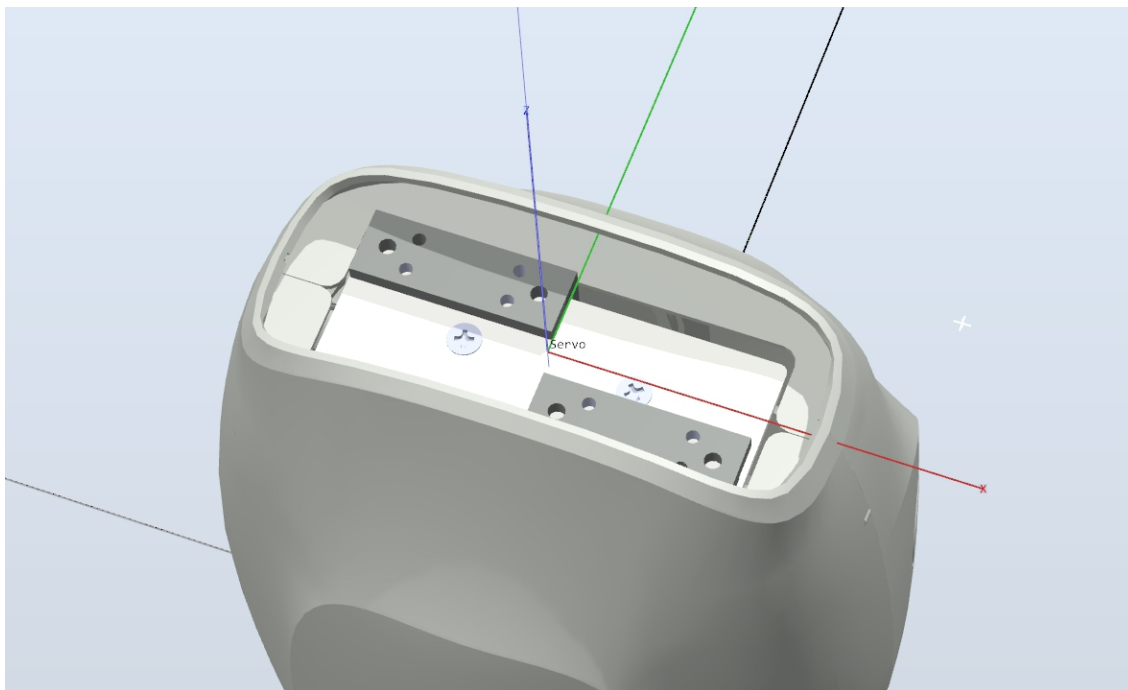


Obr. 27: Modelované prsty (Inventor a RobotStudio)

Prsty boli následne vytlačené na 3d tlačiarňi. Pri návrhu sa bral ohľad na túto metódu výroby, to znamená, že bolo nutné, aby model pri orientácii na tlač, zvislo (obr.27 vľavo), nemal žiadne výrazné previsy a zrazenia musia byť viac než 45° voči vodorovnej podložke tlačiarne. Na spodnej časti prstu je rovná plocha ktorá zaistila pevný kontakt aby model počas tlače nezišiel z tlačiarne, nakoľko táto plocha je malá a model vysoký, bol po zvážení pridaný brim 3 mm, čo je rozšírenie okraja prvej vrstvy aby sa zaistil pevnejší kontakt s podložkou. Jeho použitie nebolo nutné ale preventívne na zabránení vzniku chýb.

3.3.2 Vytvorenie stanice

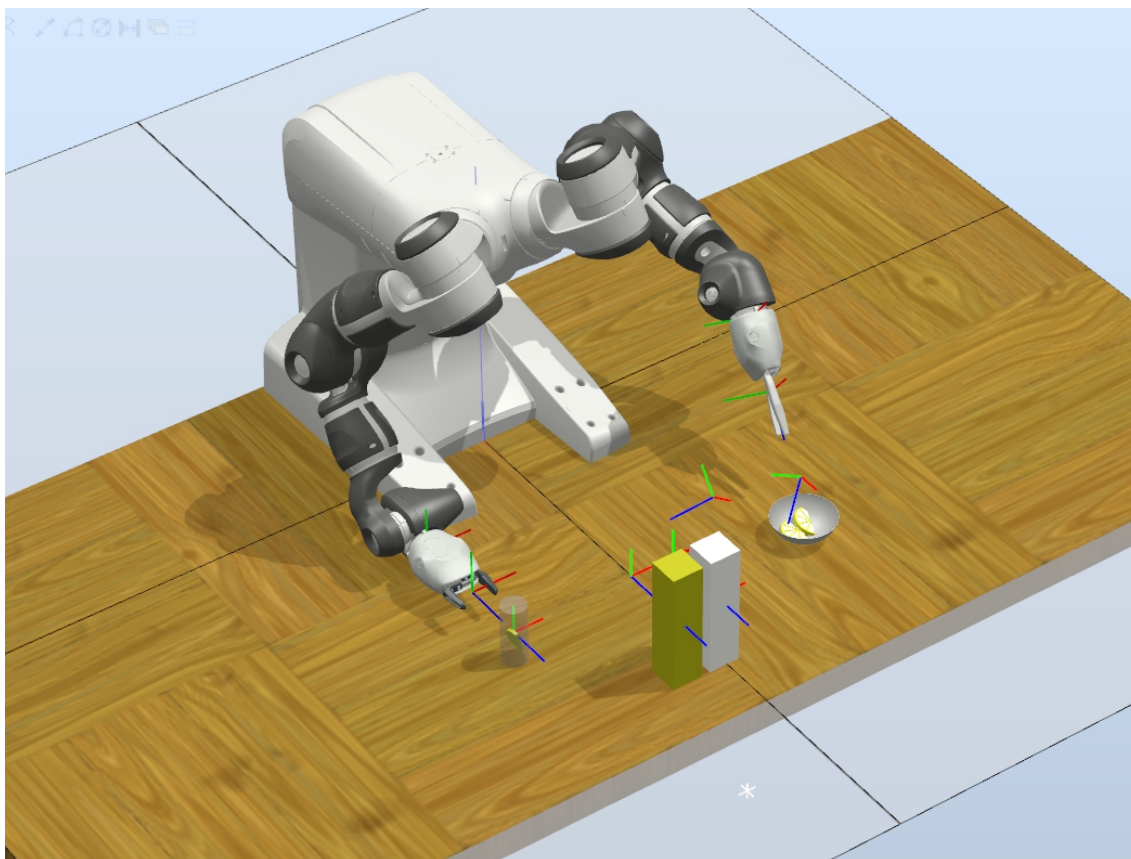
Stanica bola vytvorená podobne ako v predošlej úlohe s kádinkami. Vložené boli opäť dve ruky pre YuMi, jedna v rovnakej verzii s prstami ako v predošlej úlohe. Druhá ruka bola vložená bez prstov, iba so servom. Na tejto ruke sa nachádzajú dve plochy (obr.28) na ktoré sa namontuje dvojica prstov, ktoré boli popísané a navrhnuté v predošlej podkapitole. Na týchto plochách vidieť diery pre skrutky, slúžiace na upevnenie prstov.



Obr. 28: Gripper, Servo bez prstov

Ako ďalšie objekty boli vložené pohár (valec), miska na citróny s plátkami citrónov, respektíve polkruhy ktoré ich predstavujú nakoľko RobotStudio neponúka možnosť simulovať plátok citróna, čo sa samozrejme ani neočakávalo.

Ako posledné boli vložené dva kvádre, ktoré predstavujú zariadenia na čapovanie. Všetky potrebné objekty boli vložené a umiestnené na žiadané pozície (obr.29) a je možné prejsť k samotnému programovaniu činnosti robota.



Obr. 29: Pripravená stanica

3.3.3 Programovanie robota

Pohyb robota v tejto úlohe je jednoduchý, pravá ruka uchopí pohár, následne zatlačí pípu, čím načapuje gin, takisto načapuje tonic. Následne sa presunie ruka s pohárom do stredu, pred robota. Vyšle signál ľavej ruke. Na tomto mieste počká kým druhá ruka vhodí do pohára citrón. Ľavá ruka sa na začiatku simulácie presunula do misky s citrónmi a uchopila citrón. Následne čakala kým príde signál od pravej ruky, že je na pozícii a čaká na citrón. Keď prišiel signál, presunula sa s citrónom nad pohár a pustila citrón. Následne sa ľavá ruka vracia na počiatočnú pozíciu. Pravá ruka vráti pohár na pôvodnú pozíciu a následne sa tiež vráti na svoju pôvodnú pozíciu.

Programovanie tohoto pohybu bolo uskutočnené podobne ako v predošlej úlohe a teda predovšetkým pomocou funkcie *Teach Instruction*, následne synchronizované do RAPID (obr.30).

Simuláciou bolo overené, že robot skutočne vykonáva požadované úkony. Doba, kedy robot drží stlačené čapovanie, teda nalieva nápoj, bola stanovená na 1 a 2 sekundy, vid'. premenné *ginTime* a *tonicTime*. Tento čas bude upravený počas testovania, aby sa dosiahol potrebný objem nápoja.

```

1  MODULE Module1
2  CONST robtarget Target_10:=[[319.569576149,-233.89419443,49.1
3  CONST robtarget Target_20:=[[423.515692865,-233.893803963,49.1159
4  CONST robtarget Target_30:=[[478.182886258,-72.416716052,109.2900
5  CONST robtarget Target_40:=[[581.890661784,-72.41683747,109.28906
6  CONST robtarget Target_50:=[[478.183165301,-0.592649881,109.28967
7  CONST robtarget Target_60:=[[581.668077672,-0.592879801,109.28934
8  CONST robtarget Target_70:=[[480.298887597,-0.593320754,109.28907
9  VAR byte ginTime := 1;
10 VAR byte tonicTime :=2;
11 !
12 !
13 ! Module: Module1
14 !
15 ! Description:
16 ! <Insert description here>
17 !
18 ! Author: suiti
19 !
20 ! Version: 1.0
21 !
22 !
23 !
24 !
25 !
26 !
27 ! Procedure main
28 !
29 ! This is the entry point of your program
30 !
31 !
32 PROC main()
33   Path_10;
34 ENDPROC
35 PROC Path_10()
36   PulseDO ResetPos;
37   MoveL Target_10,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
38   PulseDO ROpen;
39   MoveL Target_20,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
40   WaitTime\InPos,0.2;
41   PulseDO RClose;
42   MoveL Target_30,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
43   MoveL Target_40,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
44   WaitTime\InPos,ginTime;
45   MoveL Target_30,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
46   MoveL Target_50,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
47   MoveL Target_60,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
48   WaitTime\InPos,tonicTime;
49   MoveL Target_70,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
50   PulseDO GiveLemon;
51   WaitTime\InPos,2;
52   MoveL Target_20,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
53   WaitTime\InPos,0.5;
54   PulseDO ROpen;
55   MoveL Target_10,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
56 ENDPROC
57 ENDMODULE

```

```

1  MODULE Module1
2  CONST robtarget Target_10:=[[295.208919287,307.8172104,142.7404;
3  CONST robtarget Target_20:=[[420.809164921,268.339477341,86.120;
4  CONST robtarget Target_30:=[[478.862882189,68.547076383,184.891;
5  !
6  !
7  ! Module: Module1
8  !
9  ! Description:
10 ! <Insert description here>
11 !
12 ! Author: suiti
13 !
14 ! Version: 1.0
15 !
16 !
17 !
18 !
19 !
20 !
21 ! Procedure main
22 !
23 ! This is the entry point of your program
24 !
25 !
26 PROC main()
27   Path_10;
28 ENDPROC
29 PROC Path_10()
30   PulseDO LOpen;
31   MoveL Target_10,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
32   MoveL Target_20,v1000,z100,Servo\WObj:=wobj0;
33   WaitTime\InPos,1;
34   PulseDO LClose;
35   WaitDO GiveLemon,1;
36   MoveL Target_30,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
37   WaitTime\InPos,0.5;
38   PulseDO LOpen;
39   MoveL Target_10,v200,z100,Servo\WObj:=wobj0;
40 ENDPROC
41 ENDMODULE

```

Obr. 30: Program v jazyku RAPID

Podobne ako v predošlej úlohe, aj tu bolo použitých viacero MoveL príkazov, spolu s ich cieľmi, target_xx. ResetPos resetuje pozície všetkých objektov na určené miesta. RClose, LClose, ROpen a LOpen sú jednoznačné, zatvárajú a otvárajú, pravé a ľavé čeluste. V porovnaní s predošlou úlohou však už nebol využitý signál pre upevnenie objektu k ruke. Pre tento účel boli použité signály RClose a LClose, tento prístup bol možný keďže každá ruka uchopovala len jeden objekt. Signál GiveLemon bol použitý na už vyššie spomenutú signalizáciu, že rameno s pohárom čaká v pozícii na prídanie citrónu.

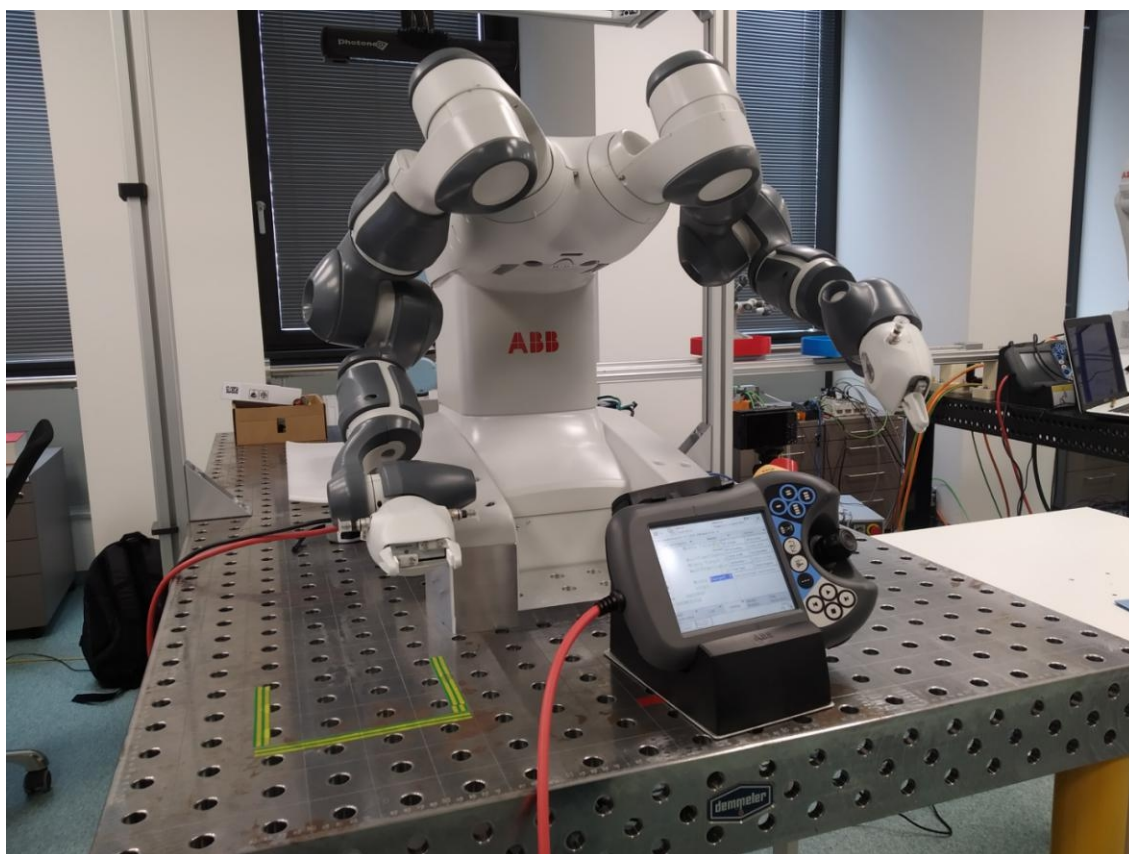
4 TEST RIEŠENÍ

Testovanie prebehlo v laboratóriu robotiky a kybernetiky ÚAI, kde sa nachádza ABB YuMi (obr.31). Cieľom testovania bolo verifikovať pohyby robota, ktoré boli predtým overené simuláciou.

Nahratie programov na robota prebehlo za pomoci počítača v laboratóriu pomocou sieťového pripojenia.

Následne boli programy otestované. Nastala však chyba kedy konfigurácia nástroja nebola totožná s realitou. Zdroj tejto chyby sa nepodarilo odhaliť, vznikla však pravdepodobne pri vytváraní programu. Simulácia v tomto prípade nebola totožná s realitou. Chybu sa však podarilo opraviť a program ďalej pracoval ako mal. Debug pri nasadení riešenia je aj v praxi bežný, nakoľko množstvo problémov je nepredikovateľných.

Zvyšok testovania prebehol bez ďalších problémov a testovanie tak možno považovať za úspešné. Videá z testovania sa nachádzajú v prílohe práce.



Obr. 31: YuMi v lab. robotiky a kybernetiky

5 ZÁVER

Táto práca sa v teoretickej časti venovala rešerši kolaboratívnych robotov a ich použitiu v praxi. Krátky úsek bol venovaný aj 3d tlači, ktorá bola pri riešení tejto práce využitá.

Následne v praktickej časti bolo navrhnuté riešenie ako dosiahnuť stanovených cieľov. Toto riešenie bolo následne naprogramované v ABB RobotStudio. Ďalej bolo potrebné vytvoriť prsty pre ABB YuMi pre daný problém. Na tento návrh 3d modelu bol použitý Autodesk Inventor a na následnú tlač Prusa i3 Mk3S.

Po vytvorení všetkých objektov a programov sa pristúpilo k testovaniu v laboratóriu robotiky a kybernetiky ÚAI. Testovanie sa samozrejme nevyhlo potrebe debugovania, ale to bolo očakávané a v priebehu pár hodín sa problém podarilo vyriešiť a úspešne otestovať program.

Veľkou časťou tejto práce bolo poznanie a pochopenie programovania robotov ABB v RobotStudio. Samozrejme RobotStudio ponúka množstvo možností a funkcií, takže nemožno hovoriť o úplnom pochopení celého programu, ale na základné použitie to postačuje.

V budúcnosti by som rád rozšíril svoje znalosti RobotStudio a taktiež by som rád vyskúšal iný prístup k programovaniu robotov ABB, a to pomocou jazyka C#. V tom prípade by bolo zaujímavé vytvorenie vlastného GUI (Graphical User Interface) a prípadne preskúmanie možnosti zakomponovania videnia pre robota.

6 ZDROJE

- [1] International Federation of Robotics, *Demystifying Collaborative Industrial Robots*. [online dokument] 2019 [cit. 18.3.2021].
Dostupné z: <https://www.ppma.co.uk/uploads/assets/5e46c1b9-cd23-423e-a59650c216e54a0f/ifrdemystifyingcollaborativerobotsupdate2019.pdf>
- [2] obr. ABB YuMi ,
Dostupné z: https://resources.news.e.abb.com/images/2017/2/2/0/YuMi-684_2.jpg
- [3] ABB, *YuMi Data sheet*, [online dokument]2019[cit. 18.3.2021] Dostupné z: https://assets.ctfassets.net/gt89r1895hgs/URMEgb0pvcmgnmTnr6txo/2e93f9169ac79957cd5657e5d293e04d/YuMi_DualArm-datasheet.pdf
- [4] ABB, *RobotStudio*, [info web][cit.20.3.2021]
Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio>
- [5] ABB, *About ABB*, [info web][cit.20.3.2021]
Dostupné z: <https://global.abb/group/en/about>
- [6] *RAPID*, Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/RAPID>
- [7] 3dprinting.com, *What is 3D Printing?*, [info web][cit.20.3.2021], Dostupné z: <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/#fdm>
- [8] ABB GoFa obr., Dostupné z: <https://www.zakazka.cz/abb-uvadi-na-trh-kolaborativni-robot-gofa-s-nosnosti-do-5-kg/>
- [9] ABB, *GoFa Data sheet*, [online dokument]2021 [cit. 24.3.2021] Dostupné z: https://assets.ctfassets.net/gt89r1895hgs/1MBowsjHDvAEykEwKKBWwl/e2d1a0446a0b0ab046c5b8a510730121/GoFa_CRB15000-datasheet.pdf
- [10] ABB, *SWIFTI Data sheet*, [online dokument]2021 [cit. 24.3.2021] Dostupné z: https://assets.ctfassets.net/gt89r1895hgs/7lxW2lwo38EpADo8WYr0ja/0f36e51c736ccd9800b2efa59bcb17a3/SWIFTI_CRB1100-datasheet.pdf
- [11] ABB SWIFTI obr., Dostupné z : <https://new.abb.com/news/detail/74322/prsrl-abbs-new-swifti-cobot-enables-collaborative-working-at-industrial-speeds>
- [12] Universal Robots, *en_e-series-brochure*, [online dokument]2019 [cit. 24.3.2021],
Dostupné na dotaz na: <https://www.universal-robots.com/products/ur3-robot/>
- [13] LBR iiwa 14 obr., Dostupné z: <https://www.orobotice.cz/robot/lbr-iiwa-14/>
- [14] KUKA, *LBR iiwa* , [info web] [cit. 25.3.2021], Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eacafe542d3b736af377562ecaa/db_lbr_iiwa_en.pdf?rev=345eae49080e42f8a6db71560389e512&hash=7D620372E19F752E930B459EF31641F4
- [15] FANUC, *CR-14iA/L*, [info web] [cit. 27.3.2021], Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/spolupracuj%C3%ADc%C3%AD-roboty/collaborative-cr-14ial>
- [16] FANUC, *CRX-10iA/L*, [info web] [cit. 27.3.2021], Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/spolupracuj%C3%ADc%C3%AD-roboty/crx-10ial>
- [17] ABB YuMi obr. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/collaborative-robots/irb-14000-yumi/irb-14000-yumi-data>
- [18] Prusa i3MK3S obr., Dostupné z: <https://all3dp.com/1/original-prusa-i3-mk3s-plus-review-3d-printer-specs/>

7 ZOZNAM PRÍLOH

Prílohy:

RobotStudio Pack&Go - manipulácia s kádinkou

- príprava nápoja, drink

Video simulácie v RobotStudio - manipulácia s kádinkou

- príprava nápoja, drink

Video testovania v laboratóriu - manipulácia s kádinkou

- príprava nápoja, drink

Poster k bakalárskej práci

3d modely (.stl, .sat) - stojan na miešadlo

- YuMi prsty

