

Modeliranje robotske obradne ćelije

Sever, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:393023>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-22**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering
and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Karlo Sever

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Tomislav Staroveški

Student:

Karlo Sever

Zagreb, 2024.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Tomislavu Staroveškom za svu pruženu pomoć i savjete.

Posebno se zahvaljujem svojoj djevojci Izabeli te cijeloj svojoj obitelji za podršku tijekom studiranja.

Karlo Sever



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 24 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Karlo Sever**

JMBAG: **0035226005**

Naslov rada na
hrvatskom jeziku: **Modeliranje robotske obradne ćelije**

Naslov rada na
engleskom jeziku: **Modelling of robotic machining cell**

Opis zadatka:

Na Katedri za alatne strojeve Fakulteta strojarstva i brodogradnje u tijeku je provođenje projekta ARCOPS, čiji je cilj razvoj robotskog ispitnog sustava prikladnog za izravni i posredni nadzor obradnih procesa. Ispitni postav sastoji se od dva robota, od kojih je prvi (R1) predviđen za obradu odvajanjem i posredni nadzor obradnog procesa, dok je drugi robot (R2) predviđen za izravni nadzor istog. Zavisno o konfiguraciji, R1 može biti opremljen dodatnim okretnim (OS) ili okretno nagibnim prigonom (ONS), dok R2 može biti opremljen okretnim prigonom (OS).

Primjenom dostupne programske podrške za parametriranje i programiranje robota tvrtke ABB (Robot Studio), u radu je potrebno:

1. Izraditi 3D model ćelije sa svim elementima koji uključuju oba robota (R1 i R2), oba rotacijska prigona (OS i ONS), alate i senzore za izravni i posredni nadzor procesa, te sve pasivne elemente. Kod izrade modela potrebno je koristiti prethodno izradene CAD modele elemenata ćelije.
2. Instalirati i konfigurirati virtualne kopije upravljačkih sustava oba robota (R1 i R2). Konfiguraciju je potrebno temeljiti na osnovi kopija konfiguracijskih datoteka stvarnih upravljačkih sustava R1 i R2.
3. Testirati rad virtualnog modela ćelije prethodno napisanim programima u programskom jeziku RAID.
4. Dati zaključke rada.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Tomislav Staroveški

Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.
2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.
2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Damir Godec

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. ELEMENTI ROBOTSKE ĆELIJE	2
2.1. Industrijski roboti	3
2.1.1. ABB IRB6660-205-190-01	3
2.1.2. ABB IRB4600-40-255-C-01-2.....	4
2.1.3. ABB IRB6640-235-255-04.....	7
2.1.4. Upravljački sustavi robota.....	9
2.2. Alati i senzori	10
2.2.1. Mirka AIROS 650CV	10
2.2.2. Atos 5X	10
2.2.3. Alicona IF-Sensor R25.....	11
2.3. Rotacijski prigoni	13
2.3.1. Okretno nagibni prigon ABB IRBP-A500-D1000-H700	13
2.3.2. Okretni prigon ABB MID-500-01	14
3. MODELIRANJE ROBOTSKE ĆELIJE U ROBOTSTUDIO-U	15
3.1. Fiksni elementi robotske ćelije.....	16
3.1.1. Temeljne ploče	16
3.1.2. Zaštitna ograda	17
3.1.3. Upravljačke jedinice.....	17
3.1.4. Postolja za robote i prigone	18
3.2. Roboti i rotacijski prigoni	19
3.3. Alati i senzori	20
3.3.1. Alati za robote	20
3.3.2. Oprema rotacijskih prigona.....	22
3.4. Izrada mehanizma na kućištu alata za nadzor	24
4. KONFIGURACIJA UPRAVLJAČKIH SUSTAVA.....	29
4.1. Uvoz sigurnosnih kopija postojećih konfiguracija.....	29

4.2. Konfiguracija upravljačkih sustava	30
5. TESTIRANJE RADA.....	33
5.1. Tijek simulacije	35
6. ZAKLJUČAK.....	39

POPIS SLIKA

Slika 1: Prikaz 3D modela robotske ćelije u programskom paketu <i>Solidworks</i>	2
Slika 2: Robot ABB IRB 6660-205-190-1 [2]	3
Slika 3: Dimenzije i radni prostor robota ABB IRB 6660-205-190-1 [1]	4
Slika 4: Prikaz robota ABB IRB4600-40-255-C-01-2 [3]	5
Slika 5: Dimenzije i radni prostor robota ABB IRB4600-40-255-C-01-2.....	6
Slika 6: Prikaz robota ABB IRB6640-235-255-04 [5].....	7
Slika 7: Dimenzije i radni prostor robota ABB IRB6640-235-255-04 [6]	8
Slika 8: Upravljački sustav ABB IRC5	9
Slika 9: Prigon Mirka AIROS 650CV.....	10
Slika 10: Mjerni uređaj Atos 5X [9].....	11
Slika 11: Mjerni uređaj Alicona IF-Sensor R25 [10]	12
Slika 12: ONP ABB IRBP-A500-D1000-H700 [11]	13
Slika 13: Prikaz OP-a ABB MID-500-01 [12].....	14
Slika 14: Usporedba upravljačkog sustava kao STL (lijevo) i ACIS (desno) tip datoteke	15
Slika 15: Odabir ponašanja objekta unutar RobotStudio-a	16
Slika 16: Temeljne ploče u <i>RobotStudio</i> -u.....	16
Slika 17: Prikaz zaštitne ograde u RobotStudio-u.....	17
Slika 18: Pozicioniranje upravljačkih jedinica u RobotStudio-u	17
Slika 19: Upravljačke jedinice u robotskoj ćeliji	18
Slika 20: Prikaz postolja za robote i rotacijske prigone u RobotStudio-u	18
Slika 21: Povezivanje elemenata u RobotStudio-u korištenjem opcije <i>Attach to</i>	19
Slika 22: Roboti i rotacijski prigona u <i>RobotStudio</i> -u	19
Slika 23: Kreiranje koordinatnog sustava prigona za brušenje u <i>RobotStudio</i> -u.....	20
Slika 24: Kreiranje alata u <i>RobotStudio</i> -u.....	21
Slika 25: Robot R1 s alatom.....	21
Slika 26: Robot R2 s alatom.....	22
Slika 27: Stezna naprava 1 na ONP	23
Slika 28: Stezna naprava 2 na ONP	23
Slika 29: Prikaz prirubnice na OP	24
Slika 30: Kućište prije kreiranja mehanizma	25
Slika 31: Izbornik za formiranje mehanizma	26
Slika 32: Opcija <i>Graphic Apperance</i> u <i>RobotStudio</i> -u	27

Slika 33: Promjena prozirnosti unutar opcije <i>Graphic Apperance</i>	27
Slika 34: Kućište u zatvorenom stanju	28
Slika 35: Kućište u otvorenom stanju	28
Slika 36: Izbornik za dodavanje verzija operacijskih sustava.....	29
Slika 37: Izbornik za instalaciju virtualnog upravljačkog sustava robota.....	30
Slika 38: Izbornik za dodavanje novog upravljačkog sustava	30
Slika 39: Izbornik za odabir rotacijskog prigona	31
Slika 40: Robot R2 i rotacijski prigon nakon konfiguracije upravljačkog sustava.....	31
Slika 41: Izbornik za opcije virtualnog upravljačkog sustava.....	32
Slika 42: Popis digitalnih ulaza i izlaza	33
Slika 43: Izbornik za uređivanje točaka s definiranim pozicijama	33
Slika 44: Izbornik Event Manager	34
Slika 45: Programski kod korišten za testiranje	34
Slika 46: Opcija I/O Simulator.....	35
Slika 47: Početna konfiguracija testne simulacije.....	36
Slika 48: Robot R2 u poziciji pred prilazak kućištu.....	36
Slika 49: Alat pospremljen u kućište.....	37
Slika 50: Robot R2 nakon vađenja alata iz kućišta	37
Slika 51: Završetak testne simulacije	38

POPIS TABLICA

Tablica 1: Specifikacije robota ABB IRB 6660-205-190-1 [1]	3
Tablica 2: Specifikacije robota ABB IRB4600-40-255-C-01-2	5
Tablica 3: Specifikacije robota ABB IRB6640-235-255-04 [6]	7
Tablica 4: Osnovne karakteristike uređaja Atos 5X.....	11
Tablica 5: Osnovne karakteristike uređaja Alicona IF-Sensor R25 [13]	12
Tablica 6: Specifikacije ONP-a ABB IRBP-A500-D1000-H700 [11]	13
Tablica 7: Specifikacije okretnog prigona ABB MID-500-01 [12]	14

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
CAD		Computer Aided Design

SAŽETAK

Ovaj rad prikazuje izradu i testiranje virtualne robotske ćelije iz projekta ARCOPS. Navedena robotska ćelija služi za obradu odvajanjem čestica te ima mogućnost izravnog i posrednog nadzora procesa. Virtualna robotska ćelija omogućava pokretanje simulacija kako bi se velik dio procesa programiranja robota mogao obaviti bez fizičke prisutnosti kod stvarne robotske ćelije. Robotska ćelija korištena u sklopu projekta ARCOPS koristi robote proizvođača ABB te je stoga u cilju ostvarivanja realistične simulacije u radu korišten softver istog proizvođača (ABB *RobotStudio*). U sklopu rada prikazani su i opisani roboti, rotacijski prigrani, alati, senzori i upravljačke jedinice koji su sadržani u robotskoj ćeliji. Nadalje, u radu je prikazan detaljan proces postavljanja svih elemenata robotske ćelije u okruženje *RobotStudio*-a. Prikazan je proces instalacije upravljačkog softvera s pripadajućim konfiguracijama na robote korištene u ovoj robotskoj ćeliji. Na kraju je prikazan proces izvođenja testne simulacije u kojoj robot izvršava nekoliko operacija kako bi se utvrdila funkcionalnost virtualne robotske ćelije.

Ključne riječi: industrijski robot, virtualna robotska obradna ćelija, ABB *RobotStudio*, digitalni blizanci, simulacija, brušenje, kontrola

SUMMARY

This paper shows the creation and testing of a virtual robotic cell from the ARCOPS project. The aforementioned robotic cell is used for machining applications, with possibilities of both direct and indirect process monitoring. A digital twin enables simulations to be run so that a large part of the robot commissioning and programming process can be done without the physical presence of a real robot cell. The robot cell used as part of the ARCOPS project uses robots manufactured by ABB. Hence, ABB *RobotStudio* was the software used for building the simulation model. As part of the work, the robots, rotary workpiece positioners, tools, sensors and controllers contained in the robotic cell are presented and described. Furthermore, this thesis also presents a detailed process of setting up all the elements of the robot cell in the *RobotStudio* environment. The process of installing copies of the robot configurations used in this robot cell is shown. Finally, the process of performing a test simulation in which the robot performs several operations to determine the functionality of the virtual robot cell is presented.

Key words: industrial robot, virtual robotic machining cell, ABB RobotStudio, digital twins simulation, grinding, control

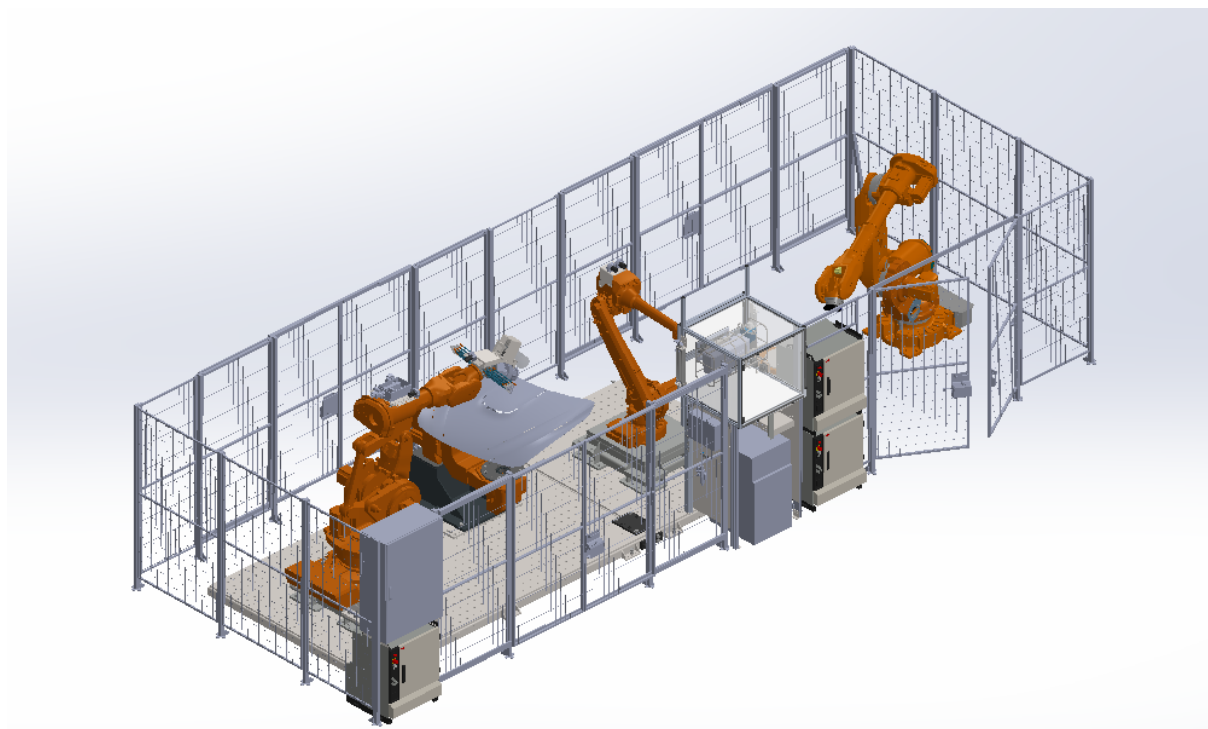
1. UVOD

Poanta ovog rada bila je izrada i testiranje virtualnog “blizanca” stvarne robotske ćelije za obradu odvajanjem čestica s mogućnošću nadzora procesa, a koja je realizirana u sklopu projekta ARCOPS. Robotska se ćelija sastoji od tri industrijske robotske ruke (uz njihova postolja, senzore, alate i upravljačke sklopove), okretno-nagibnog prigona, okretnog prigona, prihvatnice alata za nadzor opremljene senzorima za posrednu kontrolu procesa, temeljnih ploča i ograde s vratima. Virtualna ćelija napravljena je u programskom paketu ABB *RobotStudio* kako bi provedene simulacije bile čim točnije, a za izradu su korišteni dobiveni CAD modeli kompletne robotske ćelije. Obzirom na veliku količinu CAD modela, proces izrade robotske ćelije započet je grupiranjem CAD modela u nekoliko podskupina kako bi se olakšao prijenos u *RobotStudio* te rad u istome, a uz to se postigla i veća preglednost ćelije u *RobotStudio*-u.

U prvom poglavlju ovog rada opisani su industrijski roboti, prigoni za pozicioniranje obradaka, senzori i alati koji su korišteni u robotskoj ćeliji te su navedene njihove karakteristike. Iduće poglavlje bavi se procesom postavljanja elemenata u *RobotStudio* i njihovim pozicioniranjem unutar virtualne ćelije. U istom se poglavlju također prikazuju procesi kreiranja alata i mehanizama te uređivanja grafičkih postavki elemenata ćelije. Sljedeće poglavlje prikazuje konfiguriranje upravljačkih softvera za robote i rotacijske prigone koji su dobiveni kao kopija stvarnih upravljačkih softvera. Prezadnje poglavlje prikazuje testiranje rada virtualnog blizanca. Naime, modificiranjem prethodno napisanog programskog koda i postavljanjem novih pozicija robota, napravljen je program kojime se simuliraju kretnje robota, alata te mehanizma. Naposljetku su doneseni zaključci ovog rada.

2. ELEMENTI ROBOTSKE ČELIJE

U robotskoj ćeliji nalaze se tri industrijska robota proizvođača ABB: IRB6660-205-190-01 (nadalje u tekstu: R1), IRB4600-40-255-C-01-2 (nadalje u tekstu: R2) i IRB6640-235-255-04. Robot koji služi za obradu odvajanjem te posredni nazor je R1 na kojeg je postavljen alat koji se sastoji od PRS (prigon za regulaciju aksijalne sile), faznog slijeda mikrofona, senzora vibracija i akustične emisije te termografske kamere kao elemenata za nadzor te glavni prigon za brušenje MIRKA AIROS 650CV. Na robot R2 postavljeni su alat i senzori koji su predviđeni za izravni nadzor procesa, a to su digitalizator ATOS 5X i senzor hrapavosti ALICONA IF-Sensor R25. Nadalje, u robotskoj se ćeliji nalaze dva prigona proizvođača ABB: IRBP-A500-D1000-H700 (okretno nagibni prigon, ONP) i MID-500-01 (okretni prigon, OP). Na okretno nagibnom prigonu nalazi se tro-komponentni senzor sila KISTLER 9257B. Osim gore navedenih elemenata, u ćeliji se nalaze i elementi čije su pozicije fiksne – kućište alata za izravni nadzor, upravljački sustavi robota, temeljne ploče, postolja robota i prigona (zajedno s vijcima i ostalim elementima) te zaštitna ograda. Slika 1 prikazuje kompletnu robotsku ćeliju.



Slika 1: Prikaz 3D modela robotske ćelije u programskom paketu *Solidworks*

2.1. Industrijski roboti

2.1.1. ABB IRB6660-205-190-01

Ovaj industrijski robot je primarno namijenjen za obradu odvajanjem čestica [1], a u sklopu ove ćelije služi za brušenje izradataka. Karakteriziraju ga visoke vrijednosti okretnog momenta i krutost [1]. Na slici 2 prikazan je robot R1 .



Slika 2: Robot ABB IRB 6660-205-190-1 [2]

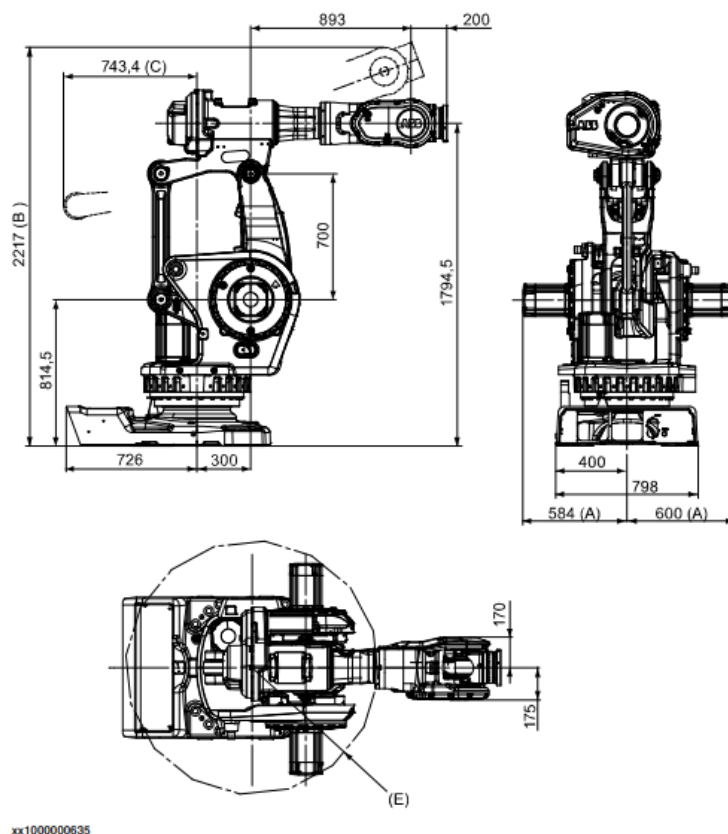
Važnije karakteristike robota R1 su prikazane u tablici 1.

Tablica 1: Specifikacije robota ABB IRB 6660-205-190-1 [1]

Nosivost	205 kg
Doseg	1,9 m
Masa	1730 kg
Ponovljivost	0,07 mm
Stupnjevi slobode gibanja	6

Nadalje, na slici 3 prikazane su dimenzije i radni prostor robota R1 .

Dimensions IRB 6660-205/1.9



Slika 3: Dimenzije i radni prostor robota ABB IRB 6660-205-190-1 [1]

2.1.2. ABB IRB4600-40-255-C-01-2

Navedeni robot pogodan je za široki raspon primjena u industriji, a glavne su primjene varenje, sklapanje, rukovanje materijalom, mjerenje itd.[4]. U ovoj robotskoj ćeliji služi kao robot koji vrši mjerenja, odnosno kontrolu obrađenih dijelova. Karakterizira ga relativno mala masa te brzi ciklusi. Na slici 4 prikazan je navedeni robot R2.



Slika 4: Prikaz robota ABB IRB4600-40-255-C-01-2 [3]

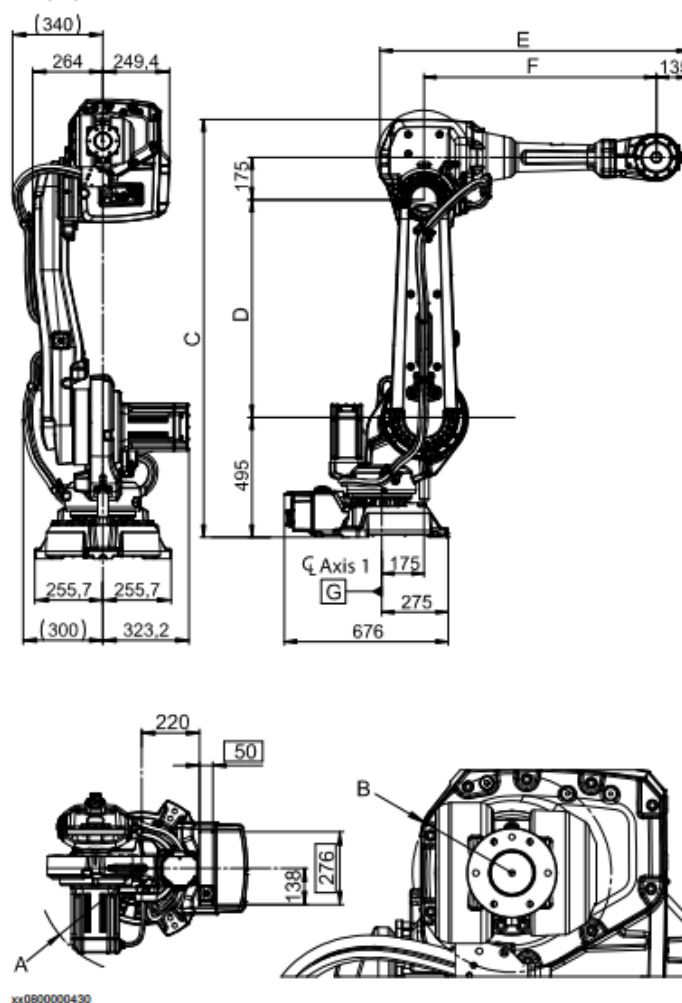
Važnije karakteristike su prikazane u tablici 2.

Tablica 2: Specifikacije robota ABB IRB4600-40-255-C-01-2

Nosivost	40 kg
Doseg	2,55 m
Masa	465 kg
Ponovljivost	0,06 mm
Stupnjevi slobode gibanja	6

Nadalje, na slici 5 prikazane su dimenzije i radni prostor robota R2.

Dimensions IRB 4600-60(45)/2.05 and IRB 4600-40/2.55



Slika 5: Dimenzije i radni prostor robota ABB IRB4600-40-255-C-01-2

2.1.3. ABB IRB6640-235-255-04

Primjena ovog robota uglavnom je u područjima točkastog zavarivanja i rukovanja materijalom [6]. Trenutno se ovaj robot ne koristi, međutim ideja je da se u budućnosti koristi kako bi se istovremeno mogla obrađivati dva izratka. Na slici 6 prikazan je navedeni robot.



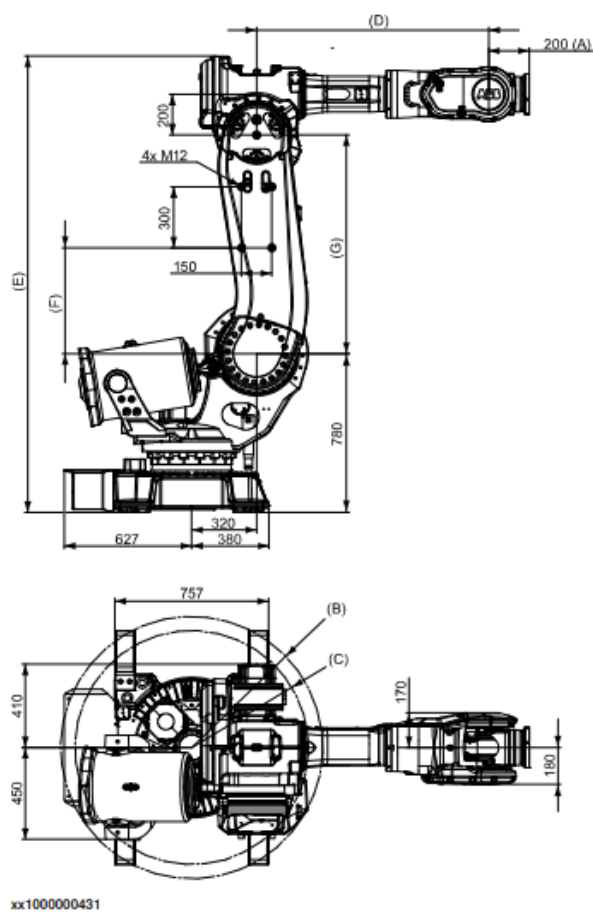
Slika 6: Prikaz robota ABB IRB6640-235-255-04 [5]

Važnije karakteristike robota su prikazane u tablici 3.

Tablica 3: Specifikacije robota ABB IRB6640-235-255-04 [6]

Nosivost	235 kg
Doseg	2,55 m
Masa	1310 kg
Ponovljivost	0,05 mm
Stupnjevi slobode gibanja	6

Nadalje, na slici 7 prikazane su dimenzije i radni prostor robota.



Slika 7: Dimenzije i radni prostor robota ABB IRB6640-235-255-04 [6]

2.1.4. Upravljački sustavi robota

Sva tri industrijska robota koriste upravljački sustav tipa ABB IRC5. Slika 8 prikazuje upravljački sustav ABB IRC5.



Slika 8: Upravljački sustav ABB IRC5

2.2. Alati i senzori

2.2.1. Mirka AIROS 650CV

Mirka AIROS 650CV je prigon za orbitalno brušenje namijenjen primjeni kod industrijskih robota[8]. Slika 9 prikazuje navedeni prigon.



Slika 9: Prigon Mirka AIROS 650CV

2.2.2. Atos 5X

Atos 5X je optički mjerni uređaj za digitalizaciju (odnosno 3D skeniranje) visoke rezolucije [9]. Ovaj mjerni uređaj služi za digitalizaciju i beskontaktno mjerenje predmeta koji se obrađuje kako bi se dobili podaci o odstupanjima od zadanih mjera nakon obrade odvajanjem čestica. Također služi za dobivanje podataka o odstupanjima u položaju i orijentaciji kod stezanja te odstupanjima oblika i položaja razmatranog izratka. Uređaj je prikazan na slici 10.



Slika 10: Mjerni uređaj Atos 5X [9]

Na tablici 4 prikazane su važnije karakteristike uređaja [9].

Tablica 4: Osnovne karakteristike uređaja Atos 5X

Izvor svjetla	LED
Klasa lasera	2/3B
Površina za mjerenje [mm ²]	320×250 – 1000×800
Udaljenost u radu [mm]	880
Izmjerene točke u jednom skeniranju	12 milijuna
Dimenzije [mm]	550×320×200
Raspon temperatura [°C]	+5 do +35

2.2.3. Alicona IF-Sensor R25

Alicona IF-Sensor R25 je mjerni optički uređaj koji se koristi za automatska mjerenja oblika i hrapavosti površine [10]. Ovaj se uređaj nalazi u sklopu zajedno s mjernim uređajem Atos 5X. Slika 11 prikazuje navedeni uređaj.



Slika 11: Mjerni uređaj Alicona IF-Sensor R25 [10]

Tablica 5 prikazuje važnije karakteristike uređaja [13].

Tablica 5: Osnovne karakteristike uređaja Alicona IF-Sensor R25 [13]

Povećanje objektiva		10x	20x	50x	2xSX	4xAX	5xAX	10xAX	20xAX	50xSX
Radna udaljenost	mm	17.5	16	10.1	34	30	34	33.5	20	13
Bočno područje mjerjenja (X,Y) (X x Y)	mm	2	1	0.4	10	4.87	3.6	2	1	0.4
	mm ²	4	1	0.16	100	23.72	13.03	4	1	0.16
Udaljenost mjerne točke	μm	1	0.5	0.2	5	2.44	2	1	0.5	0.2
Najpreciznija bočna topografska rezolucija	μm	2	1	0.64	10	4.88	4	2	1	0.64
Šum mjerenja	nm	40	20	10	1240	220	165	45	25	15
Vertikalna rezolucija	nm	100	50	20	3500	620	460	130	70	45
Okomito mjerno područje	mm	16	15	9	25	25	25	25	19	12
Brzina mjerenja		otprilike 1,7 milijuna mjernih točaka u sekundi.								
Pristupačnost	°	31	29	19	40	48	51	51	39	26

2.3. Rotacijski prigoni

2.3.1. Okretno nagibni prigon ABB IRBP-A500-D1000-H700

Ovaj ONP služi za pozicioniranje obratka u svrhu obrade odvajanjem čestica. Prigon je integriran s robotom R1 u ovoj robotskoj ćeliji te su osi prigona sinkronizirane s navedenim robotom. Slika 12 prikazuje navedeni prigon.



Slika 12: ONP ABB IRBP-A500-D1000-H700 [11]

Tehnička specifikacija prigona nalazi se u tablici 4.

Tablica 6: Specifikacije ONP-a ABB IRBP-A500-D1000-H700 [11]

Nosivost	250 kg
Maksimalni kontinuirani okretni moment	350 Nm
Ponovljivost	0,05°
Maksimalna brzina rotacije osi 1	150°/s
Maksimalna brzina rotacije osi 2	180°/s

2.3.2. Okretni prigon ABB MID-500-01

MID-500 je automatizirani OP koji se može koristiti zajedno s ABB robotima. Ovaj OP trenutno se ne koristi, međutim moguće ga je koristiti kao dodatni prigon koji bi omogućio obradu i kontrolu još jednog izratka. Slika 13 prikazuje navedeni OP.



Slika 13: Prikaz OP-a ABB MID-500-01 [12]

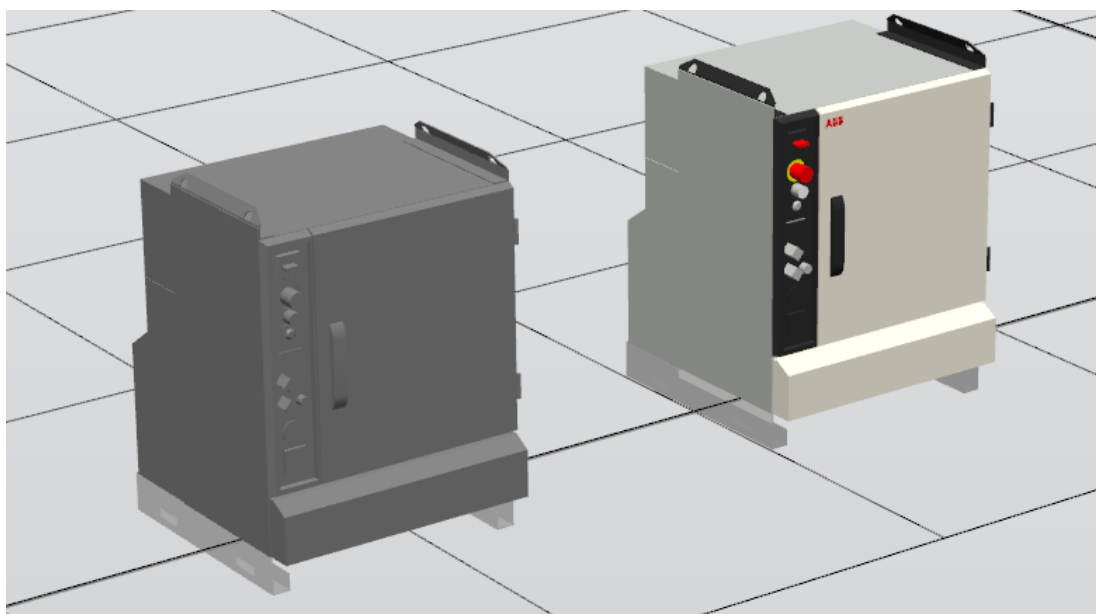
U tablici 5 nalaze se tehničke specifikacije OP-a.

Tablica 7: Specifikacije okretnog prigona ABB MID-500-01 [12]

Nosivost	1300 kg
Maksimalni kontinuirani okretni moment	1400 Nm
Maksimalni moment savijanja	5000 Nm
Masa	170 kg
Razina zaštite	IP 42

3. MODELIRANJE ROBOTSKE ČELIJE U ROBOTSTUDIO-U

Dobiveni CAD modeli bili su izrađeni u programskom paketu Solidworks. Obzirom da s akademskom licencom za RobotStudio nije moguće direktno uvesti datoteke iz Solidworks, potrebno je bilo pronaći pogodan tip datoteke za prijenos CAD modela iz Solidworks u RobotStudio. Pregledom opcija za unos geometrije (opcija "Import Geometry") u RobotStudio-u i usporedbom mogućnosti spremanja datoteka u Solidworks-u vidljivo je da se samo dva tipa datoteka poklapaju: ACIS (.sat) i STL (.stl). Slika 14 prikazuje usporedbu izgleda upravljačkog sustava robota koji je uveden iz Solidworks u RobotStudio, lijevo se nalazi kao STL datoteka, a desno kao ACIS.



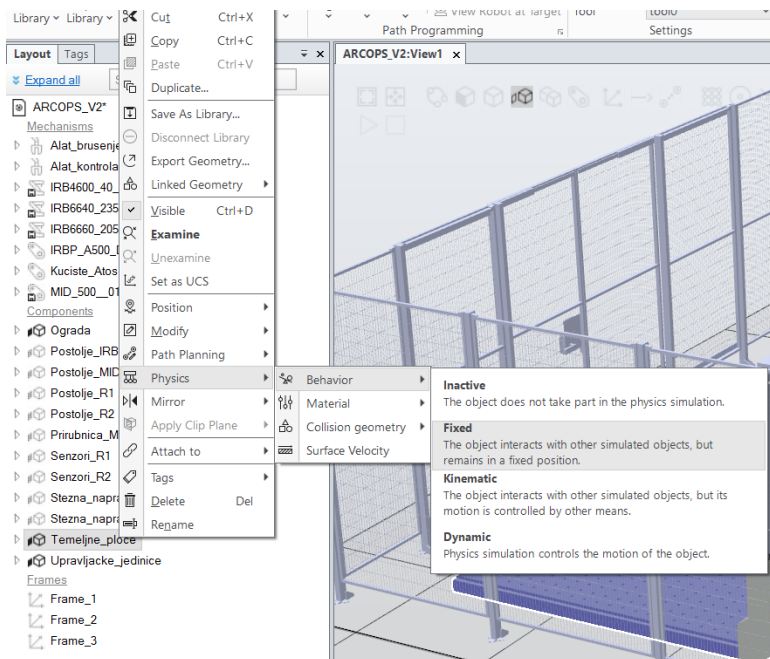
Slika 14: Usporedba upravljačkog sustava kao STL (lijevo) i ACIS (desno) tip datoteke

Obzirom da je ideja napraviti čim precizniju virtualnu kopiju robotske ćelije, odabran je ACIS tip datoteke zbog točnijeg prikazivanja izgleda CAD modela u odnosu na STL tip datoteke.

Idući korak bio je grupiranje CAD modela u podsklopove kako bi se omogućila fleksibilnost postavljanja i promjene u RobotStudio-u, a i preglednost same ćelije. Idući dio ovog rada bavi se postavljanjem CAD modela u RobotStudio te je prikazana podjela na podsklopove.

3.1. Fiksni elementi robotske ćelije

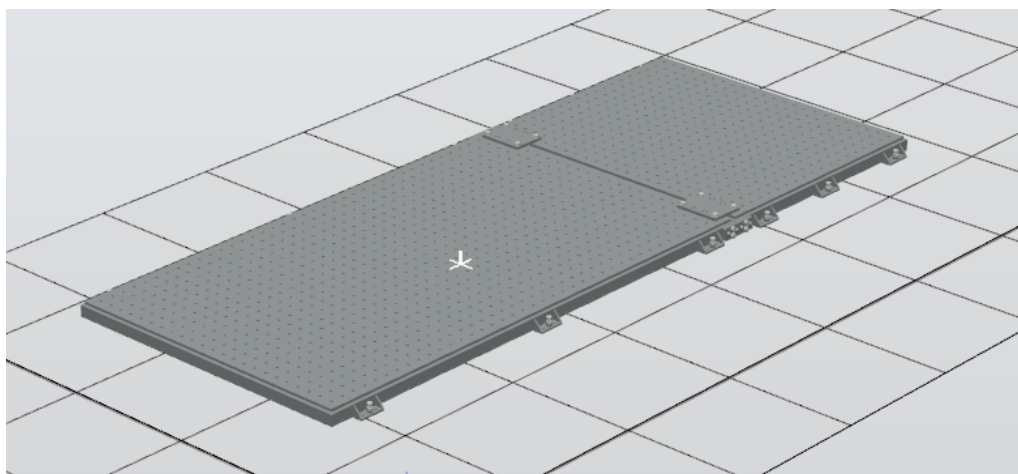
Fiksnim elementima smatrane su sve pozicije koje tijekom simulacije ostaju nepomične te je njihovo ponašanje unutar simulacije postavljeno kao takvo korištenjem izbornika *Physics* i *Behavior* te odabirom opcije *Fixed* što je prikazano na slici 15.



Slika 15: Odabir ponašanja objekta unutar RobotStudio-a

3.1.1. Temeljne ploče

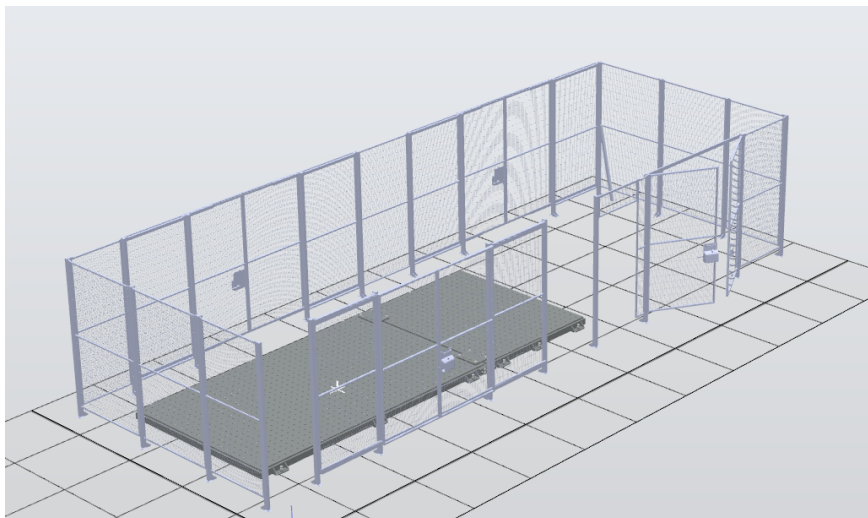
Kao osnova za postavljanje drugih elemenata ćelije uvezana je datoteka koja sadrži temeljne ploče te je ona uvezana prva u *RobotStudio*, a prikaz navedenog nalazi se na slici 16.



Slika 16: Temeljne ploče u RobotStudio-u

3.1.2. Zaštitna ograda

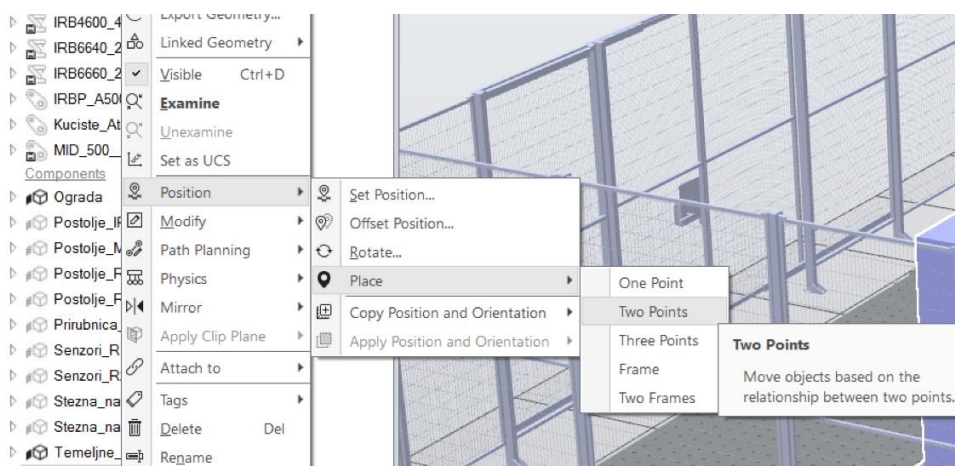
Iduća fiksna komponenta bila je zaštitna ograda koja je postavljena na način da omeđuje sve preostale elemente ćelije (osim upravljačkih jedinica koje su postavljene u sklopu ograde – vidi slika 19). Obzirom na razmjerno složene geometrijske značajke 3D modela ograde čija je vizualizacija računski intenzivna, pogodno je da je ona postavljena kao jedan element jer to dopušta njezino skrivanje. Na većini idućih slika koje prikazuju robotsku ćeliju, ograda neće biti prikazana upravo zbog preglednosti. Slika 17 prikazuje postavljenu zaštitnu ogradu.



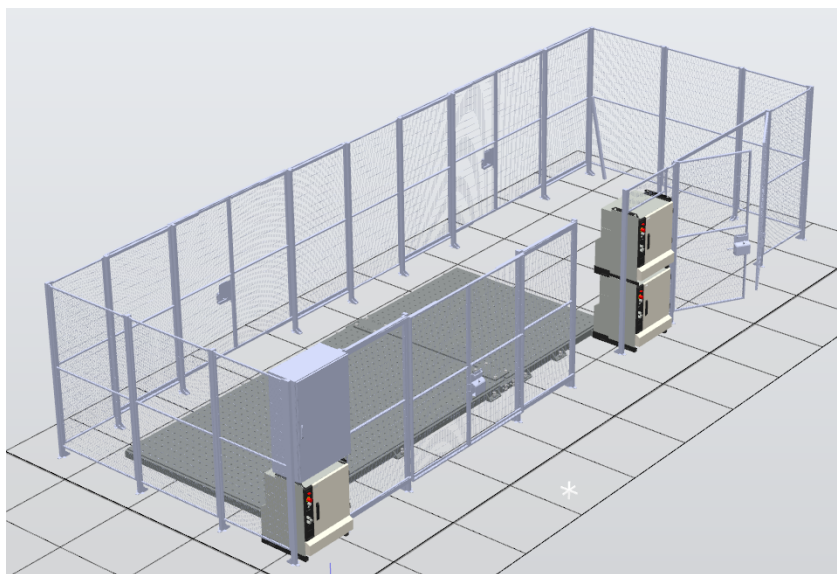
Slika 17: Prikaz zaštitne ograde u RobotStudio-u

3.1.3. Upravljačke jedinice

Upravljačke su jedinice postavljene kao još jedan fiksni sklop. Ovaj je sklop uvezen u *RobotStudio* te je korištenjem izbornika *Position, Place* i opcije *Two Points* postavljen na točnu poziciju u odnosu na zaštitnu ogradu, što je prikazano na slikama 18 i 19.



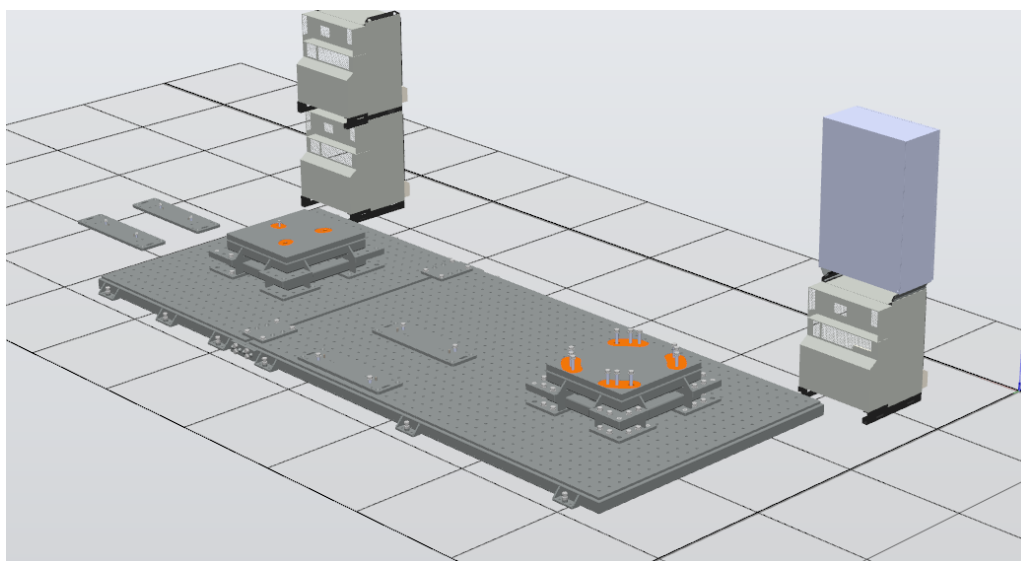
Slika 18: Pozicioniranje upravljačkih jedinica u RobotStudio-u



Slika 19: Upravljačke jedinice u robotskoj ćeliji

3.1.4. Postolja za robote i prigone

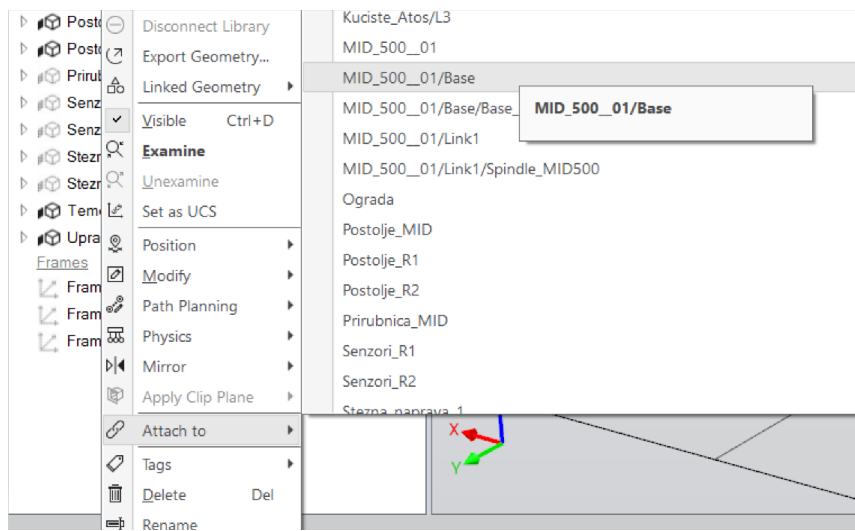
Roboti R1 i R2 te ONP i NP postavljeni su na postolja koja služe za njihovo pozicioniranje na temeljnu ploču. Svako postolje postavljeno je kao zasebni CAD model te se roboti i prigoni spajaju na odgovarajuća postolja što omogućava istovremeni pomak postolja i elementa kod eventualnih promjena pozicije. Na slici 20 nalaze se postolja koja su postavljena na temeljne ploče.



Slika 20: Prikaz postolja za robote i rotacijske prigone u RobotStudio-u

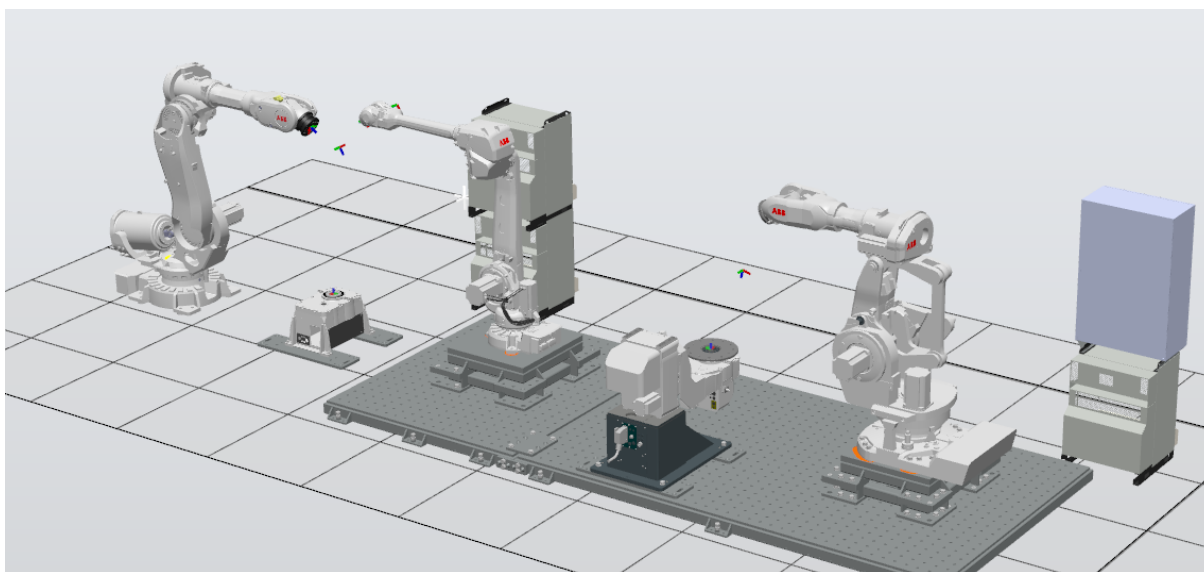
3.2. Roboti i rotacijski prigoni

Položaji robota i pripadajućih prigona prethodno su umjereni, a podaci o njihovim pozicijama uvršteni su u konfiguracijske datoteke upravljačkih sustava. Stoga su relativni položaji rotacijskih prigona postavljeni automatski u prostoru ćelije kod uvoza kopija konfiguracijskih datoteka. Postolja su korištenjem opcije *Attach to* povezana svako sa svojim robotom ili rotacijskim prigonom, a postupak se nalazi na slici 21.



Slika 21: Povezivanje elemenata u RobotStudio-u korištenjem opcije *Attach to*

Postavljeni roboti i rotacijski prigoni prikazani su na slici 22.

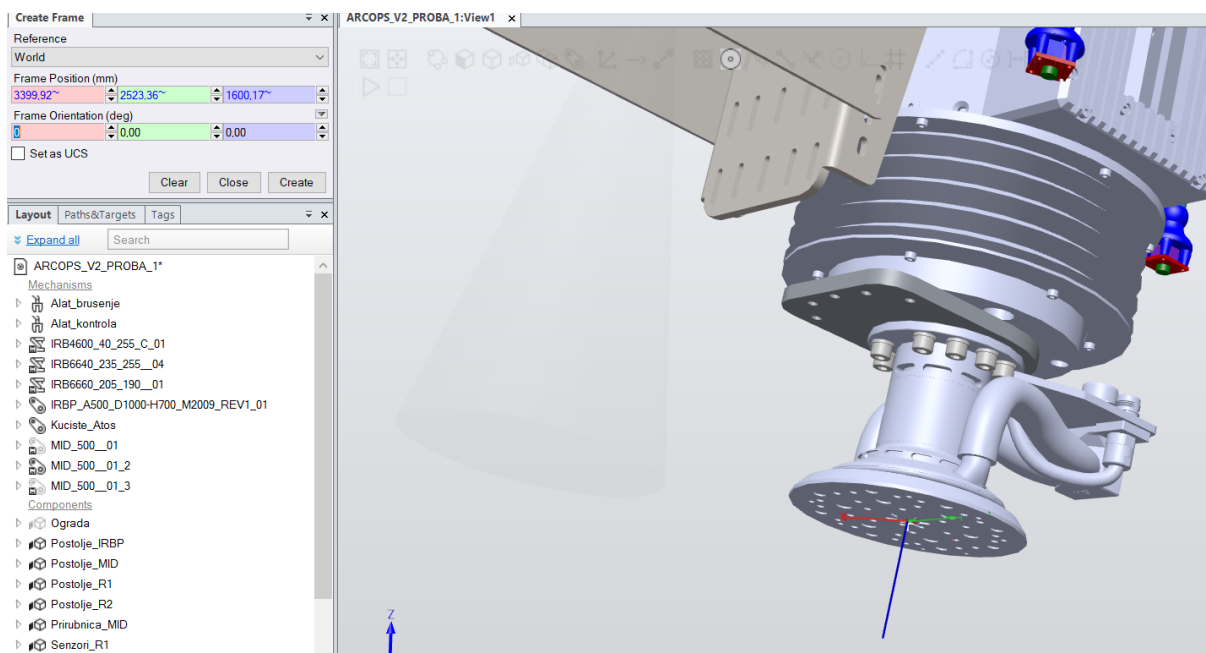


Slika 22: Roboti i rotacijski prigona u *RobotStudio*-u

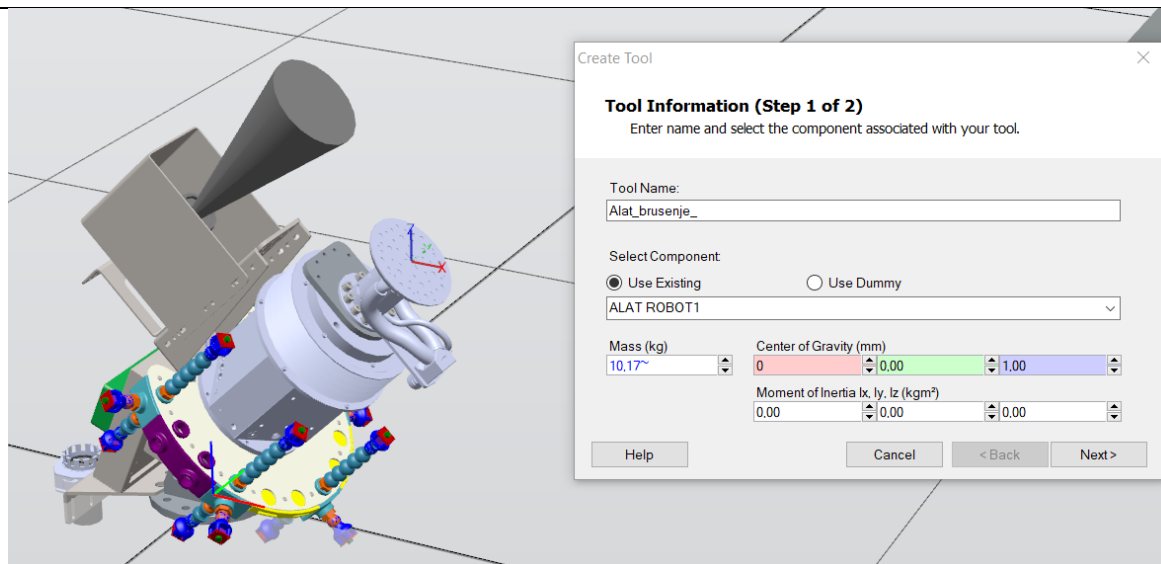
3.3. Alati i senzori

3.3.1. Alati za robote

Roboti R1 i R2 opremljeni su prigonima i senzorima koji su opisani prethodno u radu. Kako bi se prigoni i senzori mogli postaviti na robote i sudjelovati u simulaciji, potrebno je nakon uvoza CAD datoteka stvoriti alat koristeći opciju *Create Tool* unutar *RobotStudio*-a. TCP (eng. Tool Center Point) je točka koja je središte koordinatnog sustava alata. Prije pokretanja gore navedene opcije, potrebno je koristeći opciju *Create Frame* izraditi koordinatni sustav koji će služiti kao TCP za određeni alat. Nakon što je pokrenuta opcija *Create Tool*, odabire se konkretna CAD datoteka, upisuje se masa alata te se pronalazi centar gravitacije alata. Cijeli proces (za alat na robotu R1) prikazan je na slikama 23 i 24.

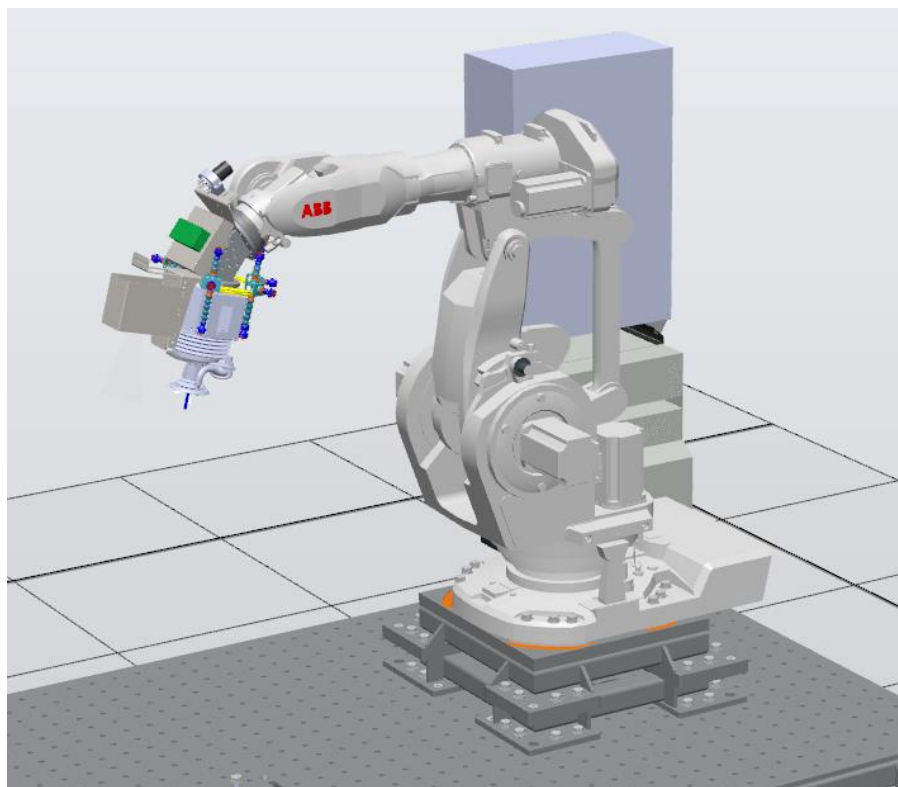


Slika 23: Kreiranje koordinatnog sustava prigona za brušenje u *RobotStudio*-u

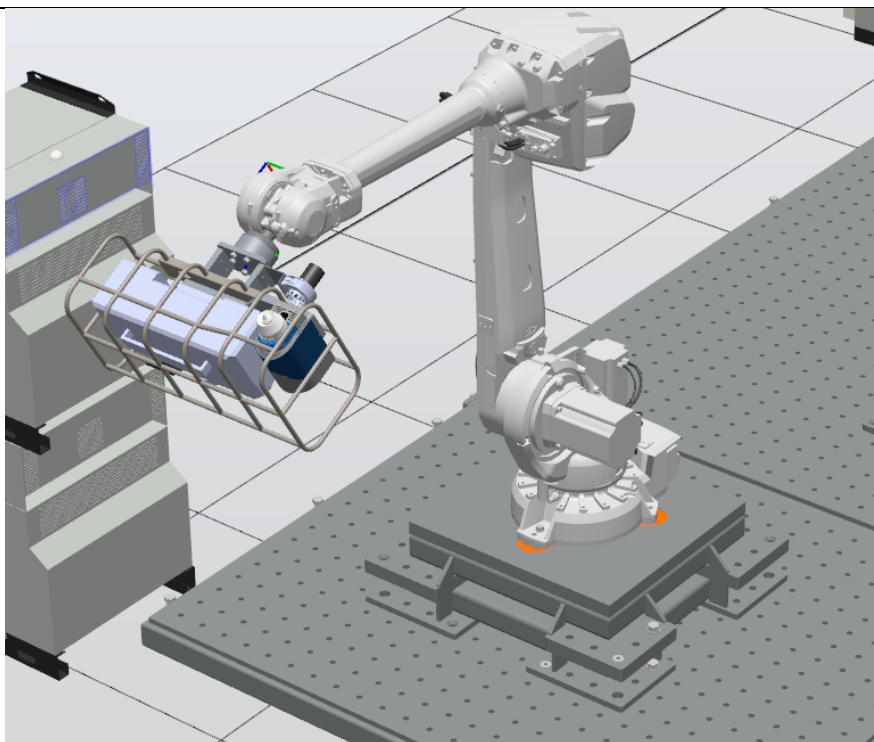


Slika 24: Kreiranje alata u RobotStudio-u

Nakon što je izrađen 3D model alata, koristeći opcije prikazane na slici 21, povezuje se s robotom. Na slikama 25 i 26 nalaze se roboti s priključenim alatima.



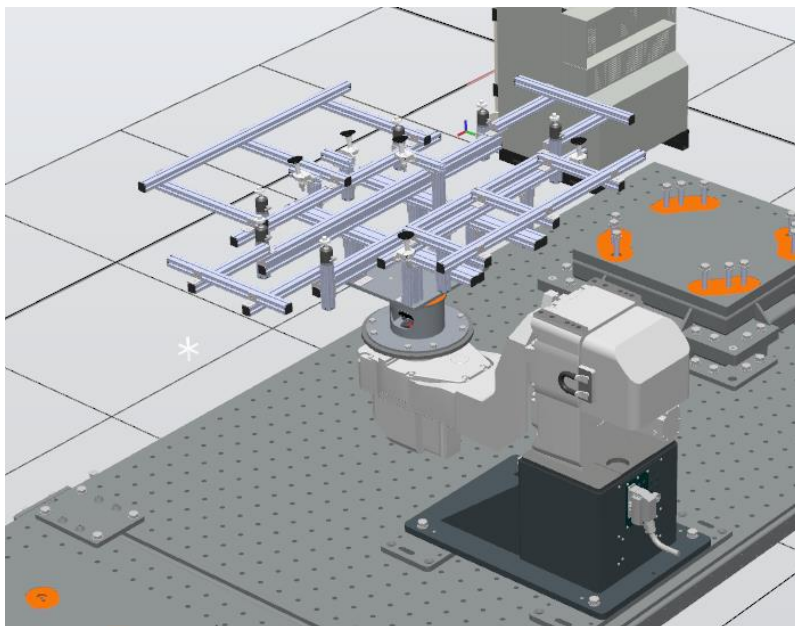
Slika 25: Robot R1 s alatom



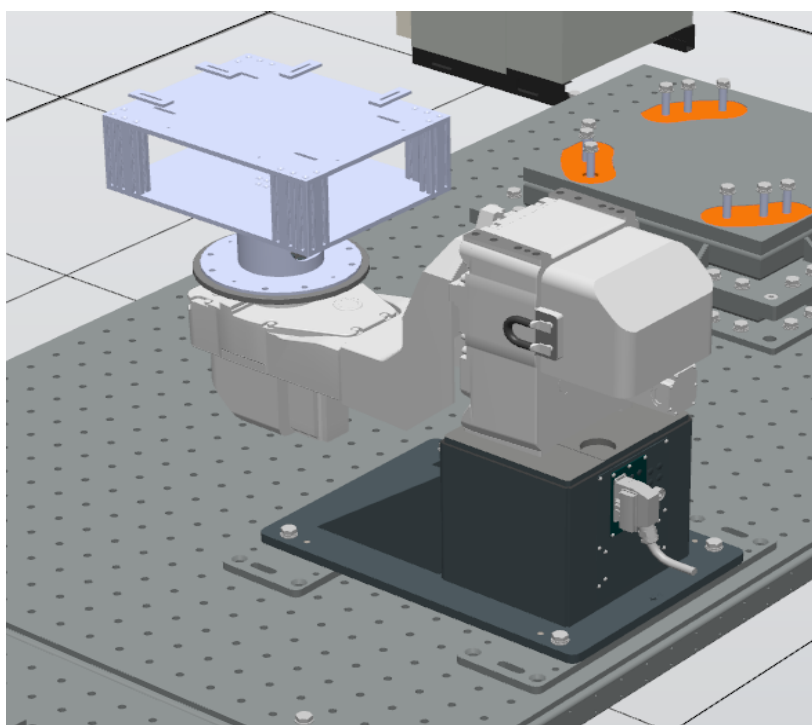
Slika 26: Robot R2 s alatom

3.3.2. Oprema rotacijskih prigona

ONP može biti opremljen različitim steznim napravama. Unutar *RobotStudio*-a stezne su naprave pozicionirane i povezane s rotacijskim prigonom procesom prema slikama 16, 18 i 21. Prikaz dvije različite stezne naprave na ovome prigonu mogu se vidjeti na slikama 27 i 28.

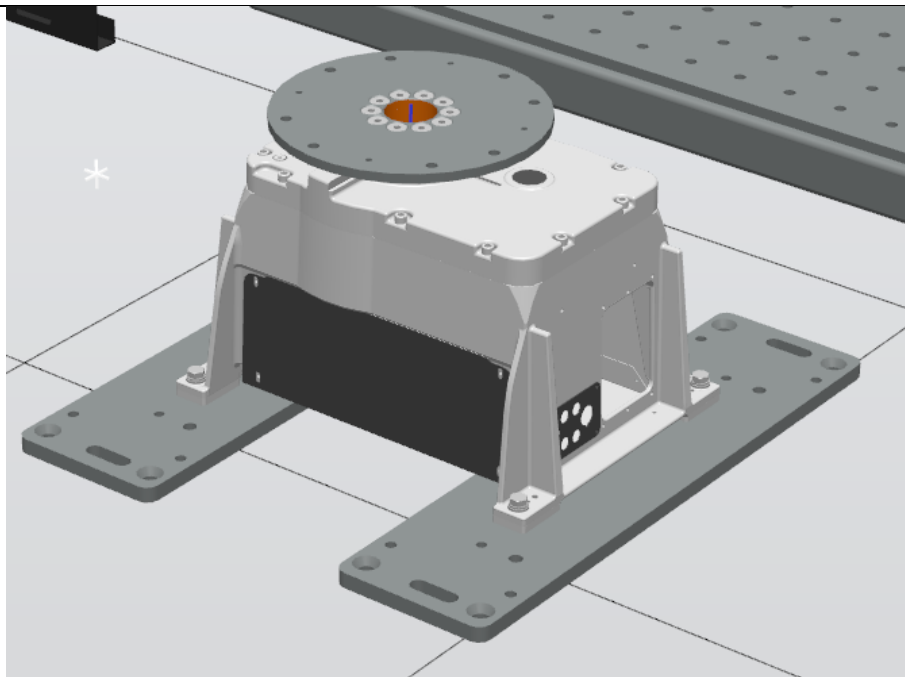


Slika 27: Stezna naprava 1 na ONP



Slika 28: Stezna naprava 2 na ONP

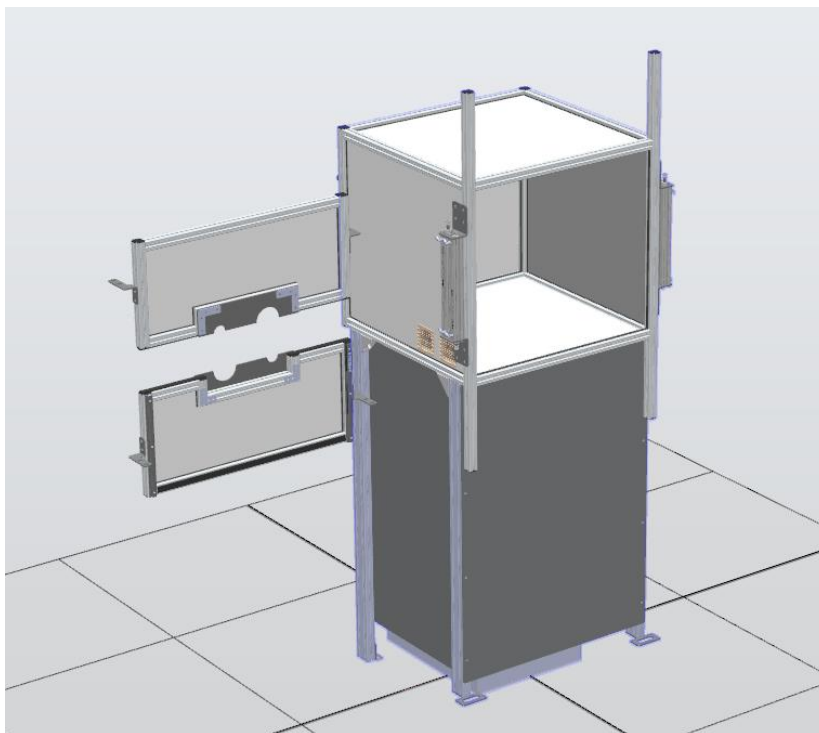
Na OP postavljena je odgovarajuća priрубnica što je vidljivo na slici 29.



Slika 29: Prikaz prirubnice na OP

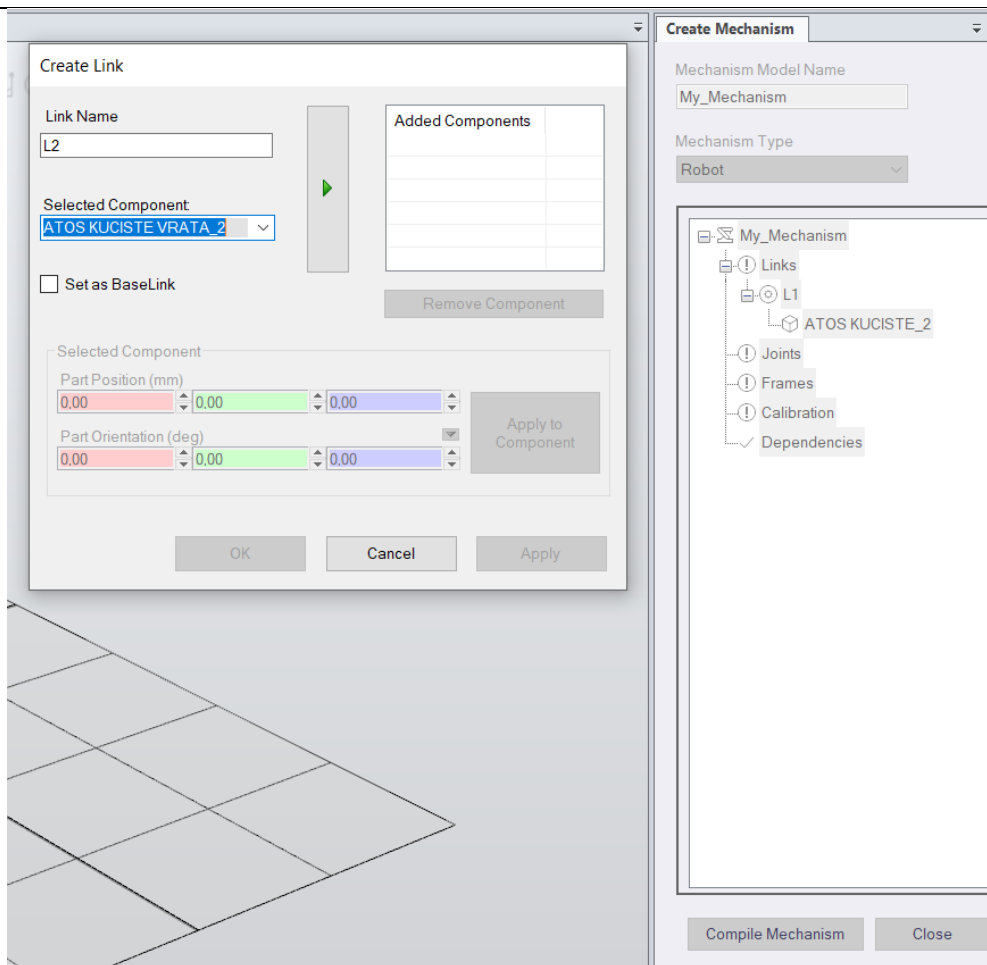
3.4. Izrada mehanizma na kućištu alata za nadzor

Senzori za izravni nadzor koji su pričvršćeni na robotu R2 spremljeni su unutar kućišta za vrijeme kada se ne koriste, čime se predmetni senzori za vrijeme obradnog procesa štite od prašine i odvojenih čestica. Na kućištu se nalaze “vrata” koja su pogonjena parom pneumatskih cilindara, a pomoću kojih se kućište otvara i zatvara. Stoga su u *RobotStudio* uvezene 3 različite datoteke koje čine sklop kućišta: samo kućište, gornja i donja vrata, a to je prikazano na slici 30. Nakon pozicioniranja i povezivanja koje je provedeno prema procesima u slikama 18 i 21, moguće je prijeći na izradu samog mehanizma.



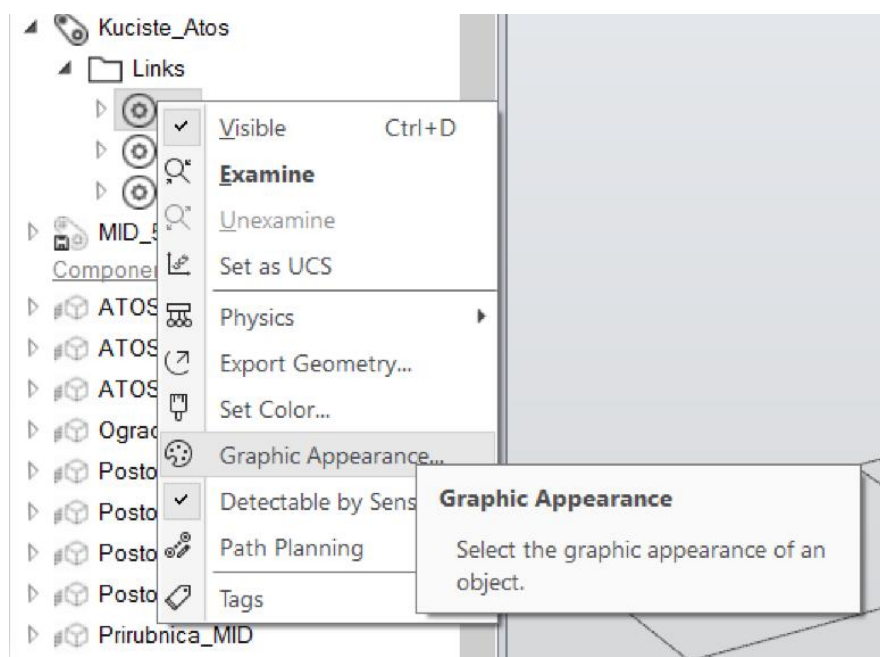
Slika 30: Kućište prije kreiranja mehanizma

Mehanizam se kreira pomoću značajke *Create Mechanism* koja zahtijeva odabir objekata koji tvore mehanizam te tada omogućava odabir smjera u kojem će se vrata pomicati, a uz to omogućava odabir granica pomaka. Izbornik navedene značajke prikazan je na slici 31.

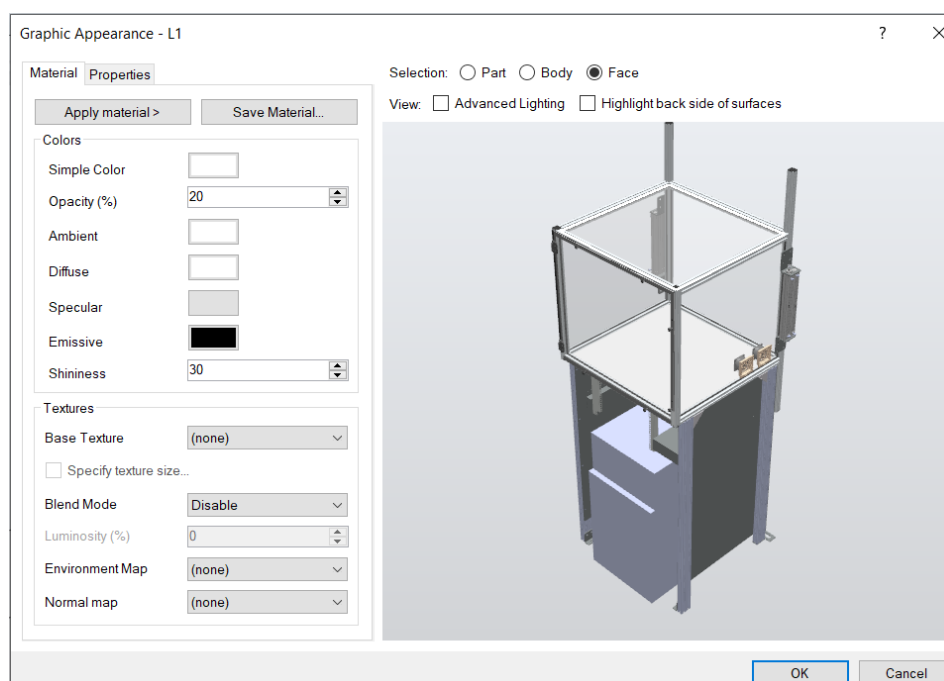


Slika 31: Izbornik za formiranje mehanizma

Kao što je vidljivo na slici 32, dijelovi kućišta i vrata kućišta nisu prozirni iako u stvarnosti jesu. Određene površine postavljene su kao prozirne kako bi se estetski prikaz robotske ćelije odgovarao stvarnom izgledu. Korištenjem opcije *Graphic Apperance* i izmjenom vrijednosti prozirnosti (eng. *opacity*) na vrijednost koja omogućava vidljivost za svaki od tri različita objekta unutar mehanizma postignuta je prozirnost. Navedeni proces prikazan je u slikama 32 i 33.

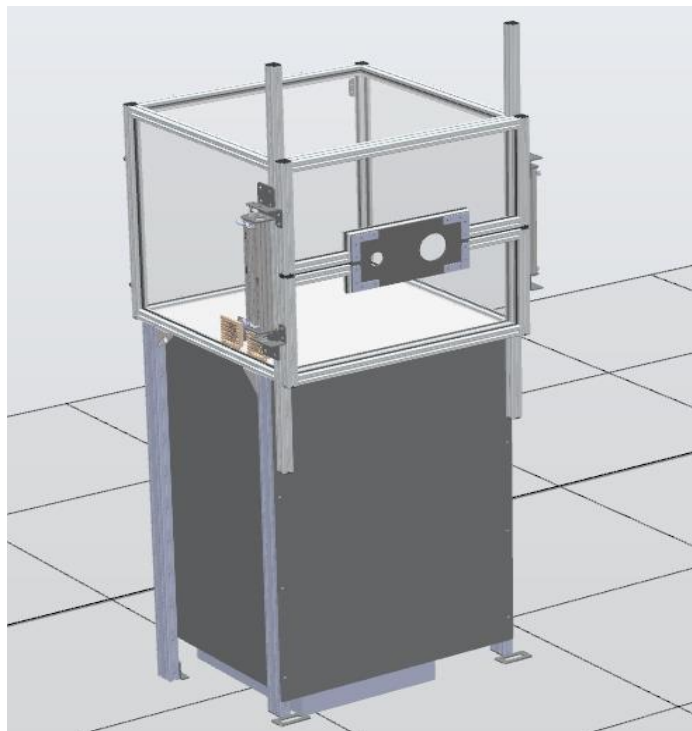


Slika 32: Opcija *Graphic Apperance* u *RobotStudio*-u

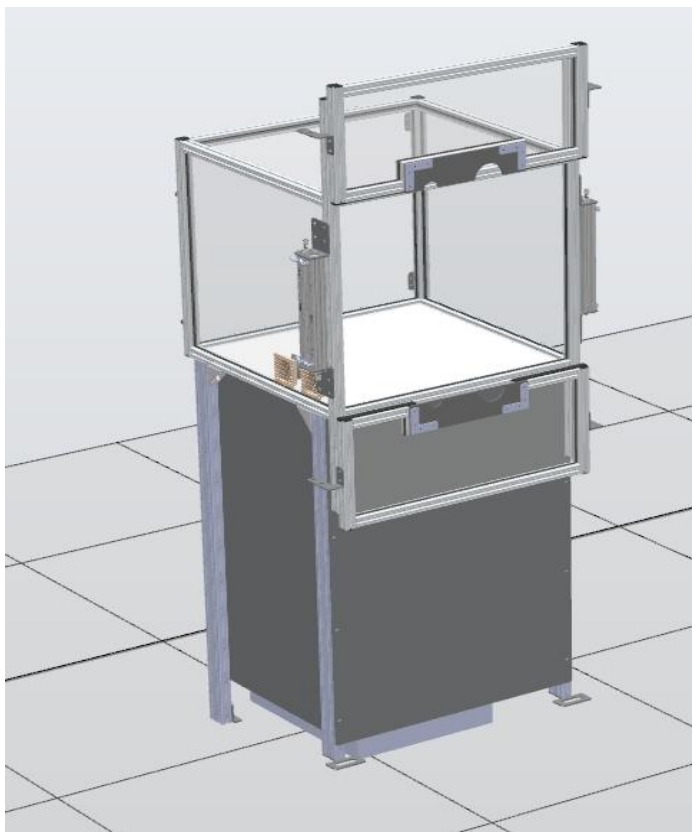


Slika 33: Promjena prozirnosti unutar opcije *Graphic Apperance*

Obzirom da je mehanizam sada uređen tako da odgovara stvarnom kućištu, na slikama 34 i 35 nalazi se kućište u krajnjim položajima (zatvoreno i otvoreno).



Slika 34: Kućište u zatvorenom stanju



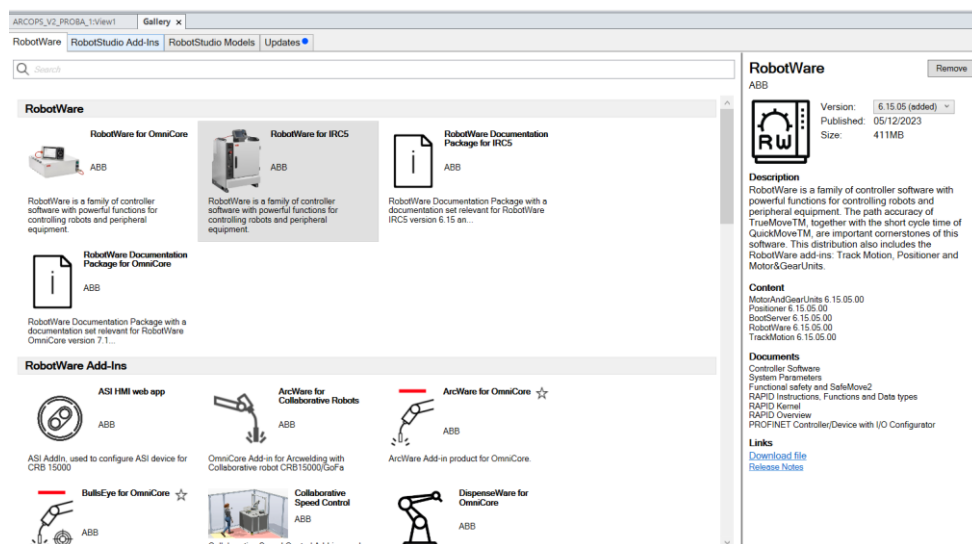
Slika 35: Kućište u otvorenom stanju

4. KONFIGURACIJA UPRAVLJAČKIH SUSTAVA

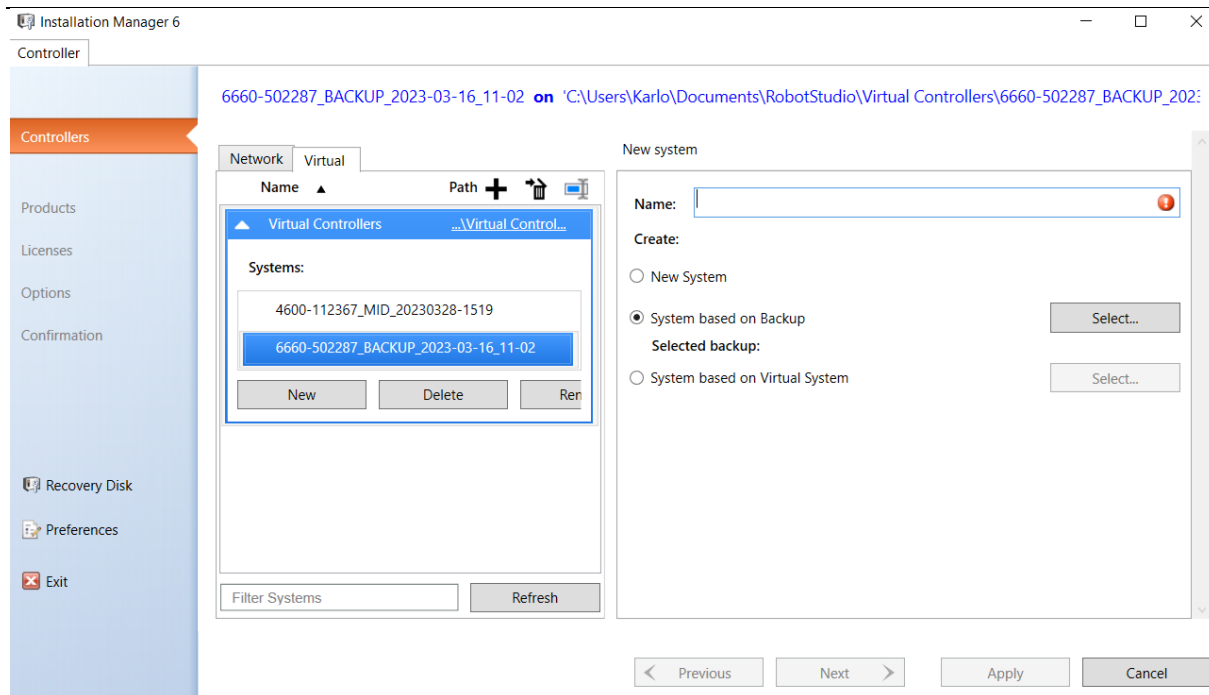
Obzirom da cijela robotska ćelija već postoji u stvarnosti te da su roboti i prigoni već korišteni, za njih postoje kopije konfiguracija upravljačkih sustava te ih je potrebno koristiti kako bi se postigla precizna simulacija. Unutar kopija upravljačkih sustava nalaze se podaci o vrsti robota i povezanim rotacijskim prigonima, konfiguracije ulazno/izlaznog sklopovlja, te programi pisaniu jeziku RAPID. Navedene kopije upravljačkih sustava dobivene su kao datoteke te je nadalje opisan postupak uvoza u *RobotStudio*.

4.1. Uvoz sigurnosnih kopija postojećih konfiguracija

Sigurnosne kopije konfiguracije upravljačkih sustava temeljene su na točno određenoj verziji operacijskog sustava koji je na upravljačkom sustavu bio instaliran u trenutku njihovog stvaranja. Stoga je prije uvoza sigurnosnih kopija potrebno instalirati odgovarajuću verziju operacijskog sustava, a to je moguće ostvariti korištenjem izbornika *Add-Ins* te dodavanjem ispravnih verzija operacijskog sustava (prikazano na slici 36). Nadalje, otvaranjem izbornika *Installation Manager 6* (prikazan na slici 37) unutar programskog paketa *ABB RobotStudio* započinje proces instalacije. Kako bi se instalirala kopija postojećeg upravljačkog sustava, potrebno je odabrati opciju *System based on Backup* te odabrati dobivenu datoteku upravljačkog sustava. Nakon što je odabrana ispravna datoteka, slijeđenjem uputa u izborniku dobije se instalirani upravljački sustav. Proces je identičan za instalaciju upravljačkih sustava oba robota.



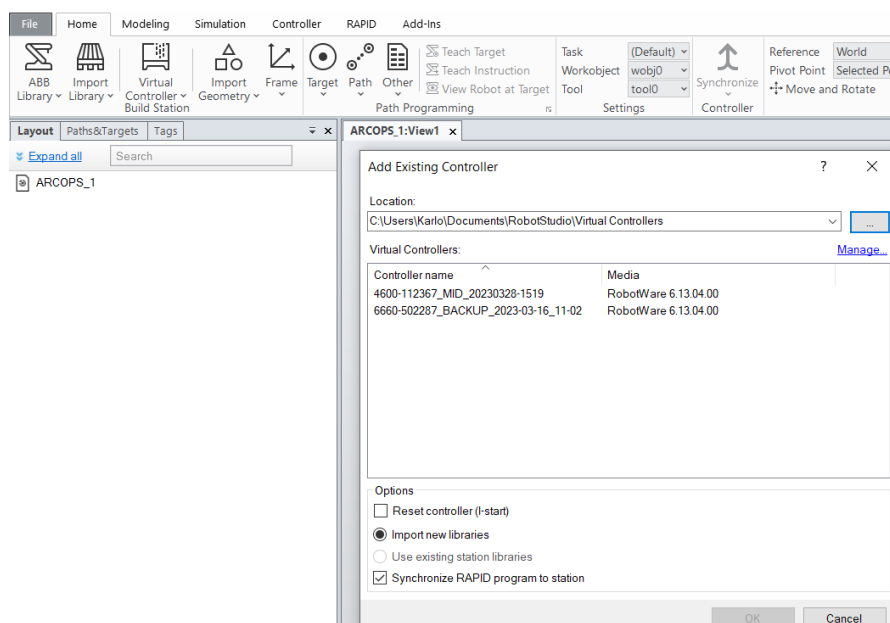
Slika 36: Izbornik za dodavanje verzija operacijskih sustava



Slika 37: Izbornik za instalaciju virtualnog upravljačkog sustava robota

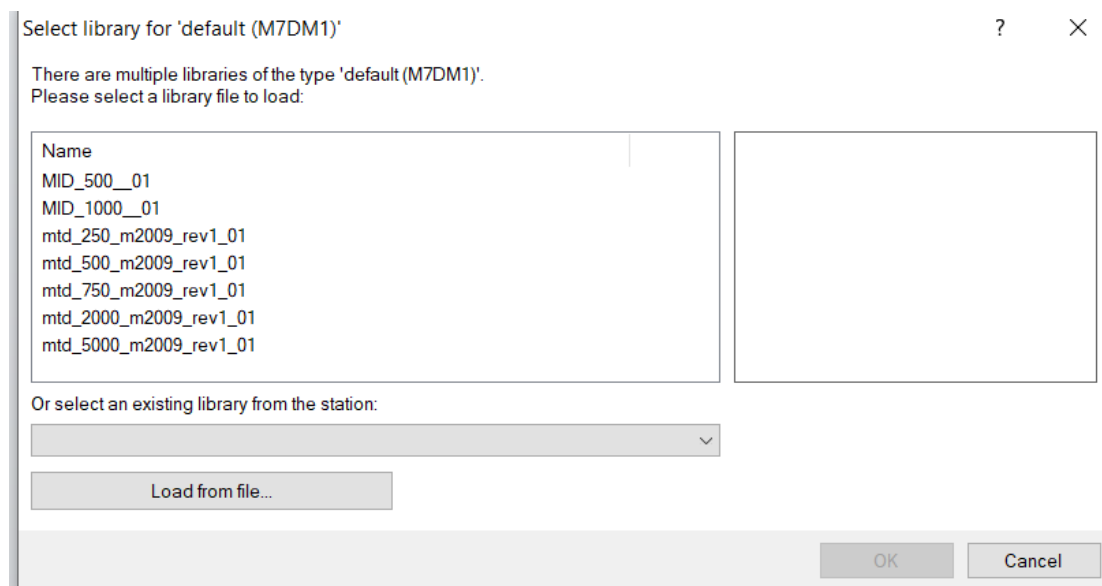
4.2. Konfiguracija upravljačkih sustava

Korištenjem izbornika *Add Existing Controler* u robotsku ćeliju uvezuju se upravljački sustavi te sve s njima povezano (programski kodovi, pozicije robota, putanje itd.). U ovom izborniku (slika 38) prikazuju se virtualni kontroleri koji su prethodno instalirani.



Slika 38: Izbornik za dodavanje novog upravljačkog sustava

Nakon odabira željenog upravljačkog sustava, potrebno je odabrati i pripadajući rotacijski prigon koji je povezan s određenim robotom, a izbornik je prikazan na slici 39.



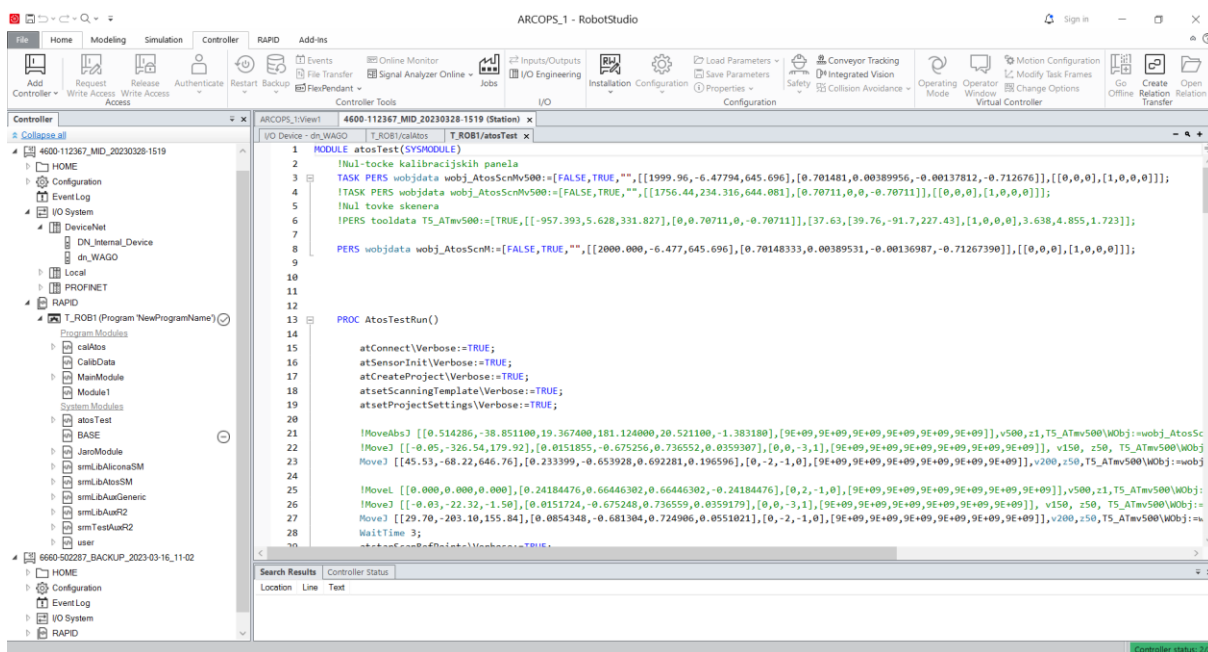
Slika 39: Izbornik za odabir rotacijskog prigona

Nakon odabira rotacijskog prigona, u okruženju *RobotStudio*-a stvaraju se CAD modeli robota i rotacijskog (ili njih više) prigona, a isto je prikazano na slici 40. Proces je analogan za oba robota.



Slika 40: Robot R2 i rotacijski prigon nakon konfiguracije upravljačkog sustava

U izborniku *Controller* mogu se pronaći svi podaci koji su sadržani u kopiji virtualnog upravljačkog sustava, uključujući podatke o uređaju za upravljanje digitalnim ulazima i izlazima, module u kojima su sadržani podaci o pozicijama robota i objektima rada te programski kodovi. Slika 41 prikazuje navedeni izbornik s primjerom modula.



Slika 41: Izbornik za opcije virtualnog upravljačkog sustava

5. TESTIRANJE RADA

Kako bi se testirao rad robotske ćelije potrebno je testirati kretnje robota R2 u operacijama spremanja i vađenja alata iz zaštitnog kućišta, kao i operacije otvaranja te zatvaranja kućišta. Pri testiranju gore navedenog korišten je programski kod dobiven uz kopiju upravljačkog sustava te je on modificiran kako bi se dobila tražena operacija. Zbog nekompatibilnosti pozicija robota koje su bile upisane u kopiji virtualnog upravljačkog sustava, postavljene su nove pozicije koje odgovaraju potrebama testiranja. Iz podataka kopije upravljačkog sustava vidljivo je kako se koriste digitalni ulazi i izlazi za upravljanje vratima kućišta za kontrolni alat (prikaz na slici 42).

	Name	Type	Value	Min Value	Max Value	Simulated	Network	Device	Device Mapping	Category	Label
①	dn_di_IN1	DI	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	0		Gornja vrata otvorena
②	dn_di_IN2	DI	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	1		
③	dn_di_IN3	DI	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	2		Gornja vrata zatvorena
④	dn_di_IN4	DI	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	3		
⑤	dn_di_IN5	DI	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	4		Donja vrata otvorena
⑥	dn_di_IN6	DI	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	5		
⑦	dn_di_IN7	DI	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	6		Donja vrata zatvorena
⑧	dn_di_IN8	DI	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	7		
⑨	dn_do_OUT1	DO	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	0		Ventilator1
⑩	dn_do_OUT2	DO	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	1		
⑪	dn_do_OUT3	DO	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	2		Ventilator2
⑫	dn_do_OUT4	DO	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	3		
⑬	dn_do_OUT5	DO	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	4		OtvaranjeVrata
⑭	dn_do_OUT6	DO	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	5		
⑮	dn_do_OUT7	DO	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	6		Zatvaranje Vrata
⑯	dn_do_OUT8	DO	0	0	1	No	DeviceNet	dn_WAGO	7		

Slika 42: Popis digitalnih ulaza i izlaza

Kako bi mogli koristiti digitalne ulaze i izlaze za upravljanje pozicija vrata, potrebno je definirati otvorene i zatvorene pozicije vrata, a isto je prikazano na slici 43.

Edit poses - Kuciste_Atos

Poses

Name	Joint values
HomePosition	0,00 0,00
SyncPosition	0,00 0,00
Otvoreno	400,00 400,00
Zatvoreno	0,00 0,00

Name: Transition time from: seconds

Slika 43: Izbornik za uređivanje točaka s definiranim pozicijama

Idući korak je povezivanje izlaznih signala s upravljanjem vratima. Pomoću izbornika *Event Manager* postavljeno je pokretanje akcija za otvaranje i zatvaranje vrata u ovisnosti o vrijednostima digitalnih izlaznih signala. Izbornik je prikazan na slici 44.

Event Manager x							
Activation	Trigger Ty...	Trigger Sys...	Trigger Name	Trigger...	Action Type	Action Name	Action Parameter
On	I/O	4600-11236...	dn_do_OUT5	1	Move Mechanism to Pose	Move Mechanis...	Kuciste_Atos : Otvoreno
On	I/O	4600-11236...	dn_do_OUT7	1	Move Mechanism to Pose	Move Mechanis...	Kuciste_Atos : Zatvoreno

Slika 44: Izbornik Event Manager

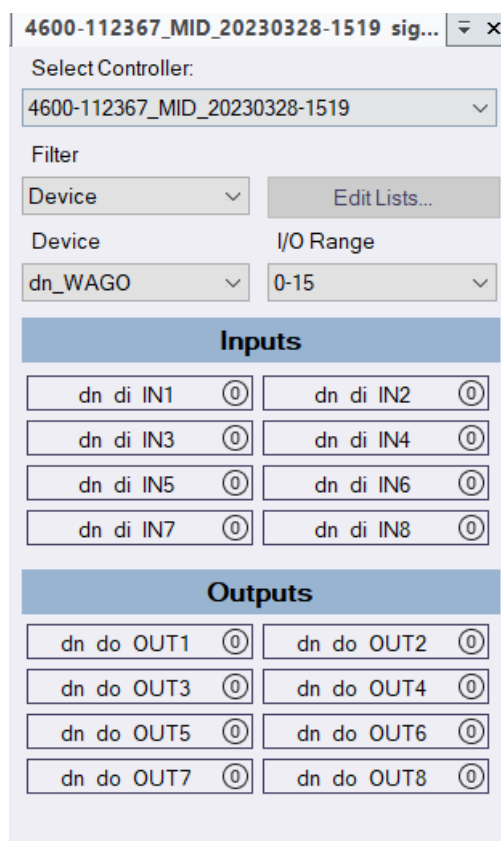
Slika 45 prikazuje programski kod kojim se pokreće testna simulacija. Digitalni ulazi koriste se za detekciju pozicije vrata te su za potrebe testiranja simulirani tako da se ručno odabire njihova vrijednost kroz opciju *I/O Simulator* (prikazan na slici 46).

```

28 PROC Demo_2()
29     MoveL Predprilaz,v300,z100,Alat_kontrola_TCP\WObj:=Workobject_Sever;
30     SetDO dn_do_OUT7, 0;
31     WaitRob;
32     SetDO dn_do_OUT5, 1; !otvaranje vrata
33     WaitDI dn_di_IN1, 1; !gornja vrata otvorena
34     WaitDI dn_di_IN5, 1; !donja vrata otvorena
35     SetDO dn_do_OUT7, 0;
36     SetDO dn_do_OUT5, 0;
37     MoveL Prilaz_kucistu,v300,z100,Alat_kontrola_TCP\WObj:=Workobject_Sever;
38     MoveJ Alat_kontrola_pospremljen,v300,z10,Alat_kontrola_TCP\WObj:=Workobject_Sever;
39     WaitTime(2);
40     SetDO dn_do_OUT7, 1; !zatvaranje vrata
41     SetDO dn_do_OUT5, 0;
42     WaitDI dn_di_IN3, 1; !gornja vrata zatvorena
43     WaitDI dn_di_IN7, 1; !donja vrata zatvorena
44     SetDO dn_do_OUT7, 0;
45     SetDO dn_do_OUT5, 0;
46     WaitTime(2);
47     SetDO dn_do_OUT7, 0;
48     SetDO dn_do_OUT5, 1; !otvaranje vrata
49     WaitDI dn_di_IN1, 1; !gornja vrata otvorena
50     WaitDI dn_di_IN5, 1; !donja vrata otvorena
51     SetDO dn_do_OUT7, 0;
52     SetDO dn_do_OUT5, 0;
53     MoveJ Prilaz_kucistu,v300,z10,Alat_kontrola_TCP\WObj:=Workobject_Sever;
54     WaitRob;
55     SetDO dn_do_OUT7, 1; !zatvaranje vrata
56     SetDO dn_do_OUT5, 0;
57     WaitDI dn_di_IN3, 1; !gornja vrata zatvorena
58     WaitDI dn_di_IN7, 1; !donja vrata zatvorena
59     SetDO dn_do_OUT7, 0;
60     SetDO dn_do_OUT5, 0;
61     MoveL Predprilaz,v300,z100,Alat_kontrola_TCP\WObj:=Workobject_Sever;
62     MoveL Home_1,v300,z100,Alat_kontrola_TCP\WObj:=Workobject_Sever;
63 ENDPROC

```

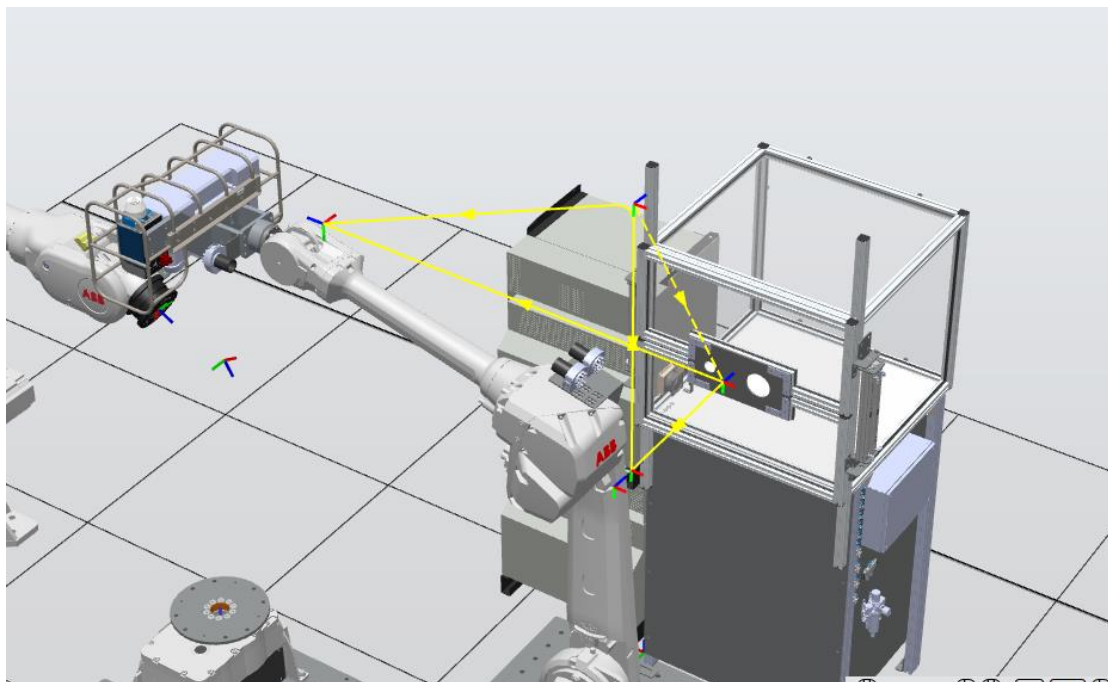
Slika 45: Programski kod korišten za testiranje



Slika 46: Opcija I/O Simulator

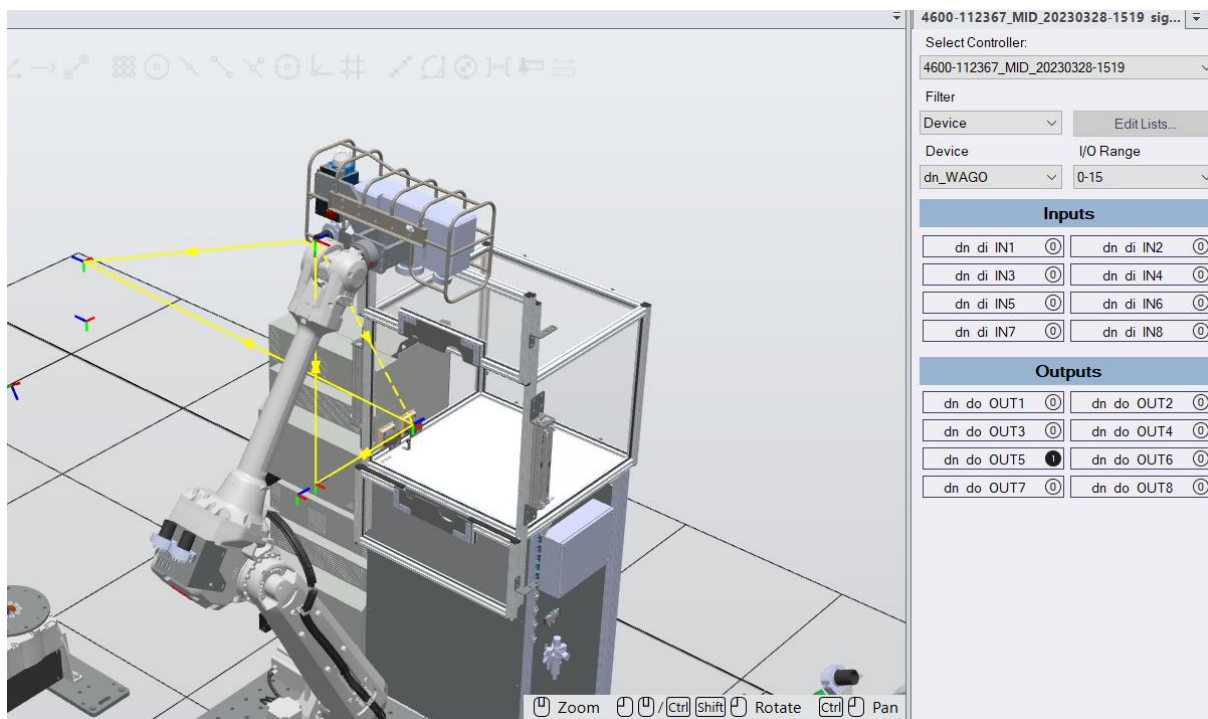
5.1. Tijek simulacije

Prvi korak simulacije je linearna kretnja robota R2 (odnosno vrha alata) u poziciju koja prethodi prilasku kućištu. Kada se robot nalazi u navedenoj poziciji, putem digitalnog izlaza pokreće se otvaranje vrata kućišta te se pokreće čekanje potvrde da su vrata otvorena (a koja dolazi kroz digitalne ulaze). Nakon što je potvrđeno da su vrata otvorena, linearnom kretnjom robot dolazi u poziciju prilaska te „joint“ kretnjom ulazi u kućište te se tada vrata zatvaraju i čeka se potvrda da su zatvorena (analogno otvaranju, pomoću digitalnih ulaza i izlaza). Dvije sekunde nakon što je potvrda stigla, vrata se otvaraju te robot izlazi van iz kućišta te se tada vrata ponovo zatvaraju, a robot odlazi u početnu poziciju. Slika 48 prikazuje početnu konfiguraciju te putanju robota.



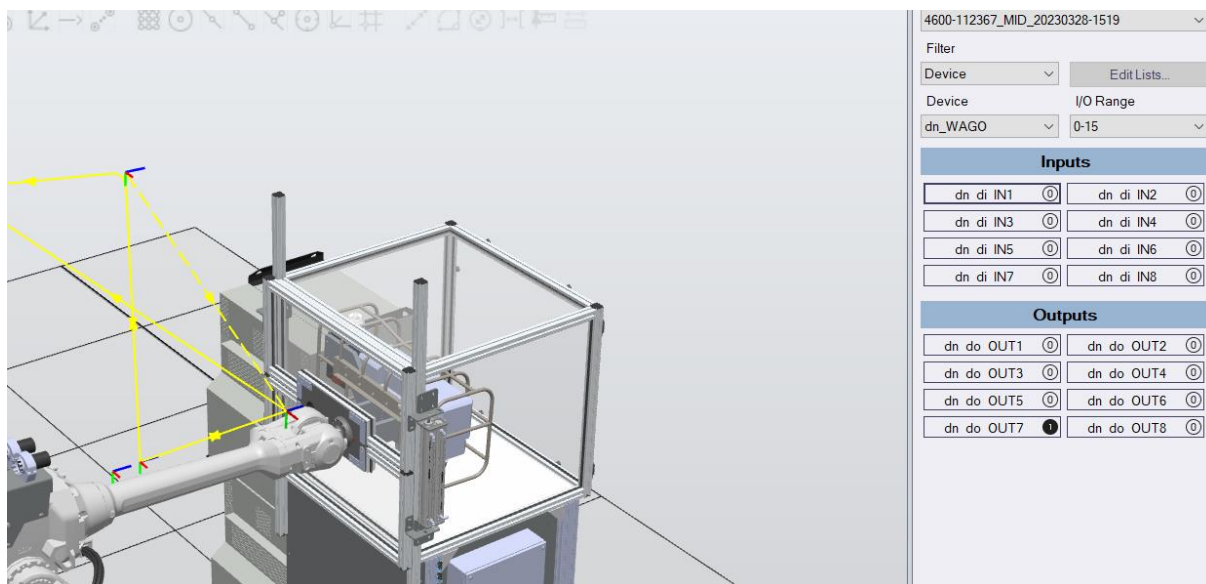
Slika 47: Početna konfiguracija testne simulacije

Slika 49 prikazuje robota R2 u poziciji prije prilaza kućištu te otvorena vrata kućišta. Također je prikazan i *I/O Simulator* koji prikazuje da digitalni izlaz kojim se otvaraju vrata ima vrijednost jednaku 1.



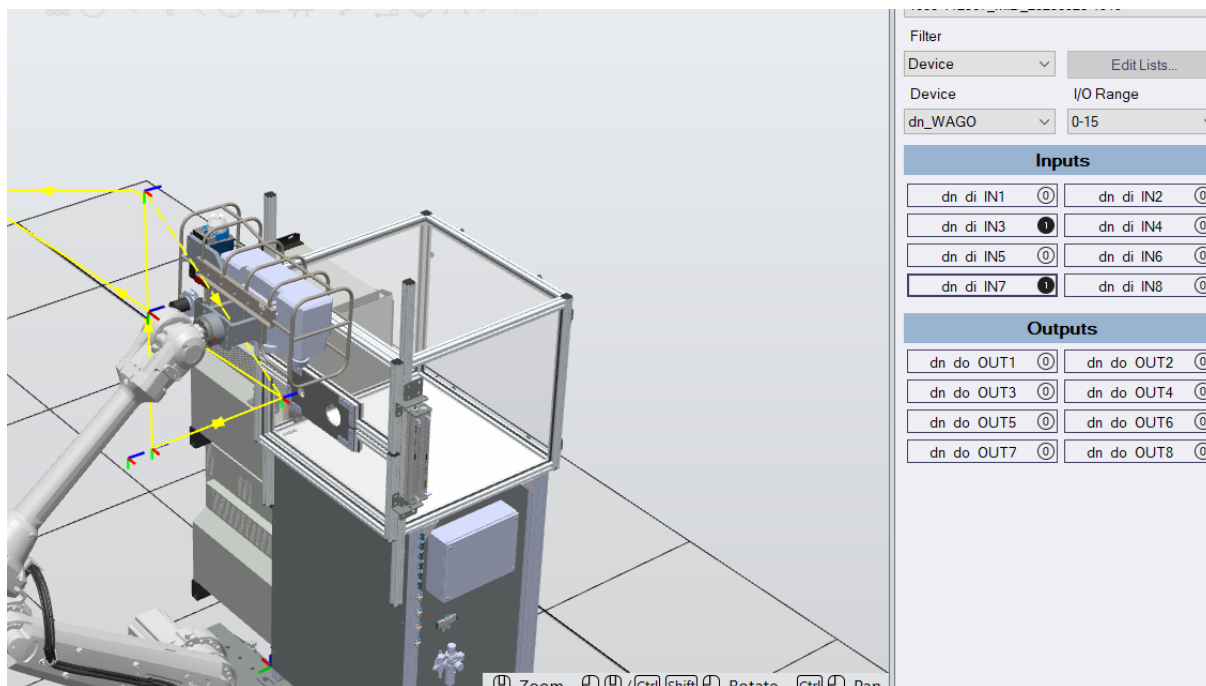
Slika 48: Robot R2 u poziciji pred prilazak kućištu

Na slici 50 nalazi se prikaz pospremljenog alata te zatvorenih vrata kućišta. Također je vidljivo kako digitalni izlaz koji upravlja zatvaranjem vrata ima vrijednost jednaku 1.



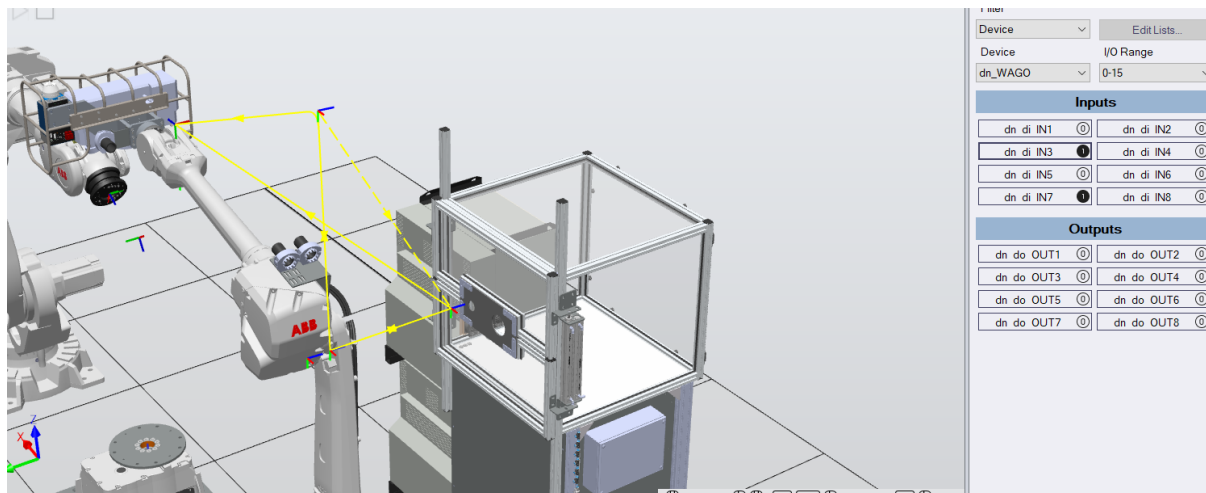
Slika 49: Alat pospremljen u kućište

Slika 51 prikazuje trenutak nakon što je alat izvađen iz kućišta. Unutar *I/O Simulator*-a vidljivo je kako digitalni ulazi koji služe za provjeru zatvorene pozicije vrata posjeduju vrijednosti jednake 1.



Slika 50: Robot R2 nakon vađenja alata iz kućišta

Na slici 52 vidljiv je robot u početnoj poziciji nakon obavljanja zadanih radnji.



Slika 51: Završetak testne simulacije

6. ZAKLJUČAK

U ovom je radu opisan potpuni proces kreniranja virtualne robotske ćelije, instalacije upravljačkih sustava te testiranja rada. Početni korak u modeliranju virtualne robotske ćelije u ABB *RobotStudio*-u napravljen je uvoz gotovih CAD modela iz programskog paketa *Solidworks*. CAD modeli pažljivo su grupirani u smislene podsklopove kako bi virtualna robotska ćelija bila pregledna i precizno postavljena. Naime, svaki od podsklopova moguće je sakriti što može biti pogodno obzirom da je vizualizacija nekih elemenata računski zahtjevna. Elementi ćelije koji su u stvarnosti spojeni (npr. prirubnica s OP) povezani su unutar virtualne ćelije. Stoga, u slučaju promjene pozicije elementa koji ima spojene druge elemente na sebe, oni simultano mijenjaju položaj.

Nadalje, mogućnost instalacije virtualnih kopija upravljačkih jedinica vrlo jednostavno omogućava ispravno pozicioniranje robota u odnosu na rotacijske prigone (uz pretpostavku da je rotacijski prigon prethodno umjeren) te prijenos programskih kodova.

Kako bi se utvrdilo da robotska ćelija funkcionira, bilo je potrebno napraviti testnu simulaciju. Obzirom da je izrađena nova virtualna robotska ćelija, pozicije robota koje su se nalazile unutar kopija upravljačkih jedinica nisu odgovarale onima u robotskoj ćeliji. Stoga su izrađene nove, ispravne pozicije pomoću kojih je utvrđeno da je robotska ćelija funkcionalna. Testna simulacija pokazala je kako je procesom lako moguće upravljati digitalnim ulazima i izlazima te iste jednostavno simulirati unutar *RobotStudio*-a.

Ovim radom omogućeno je precizno izvođenje simulacija obradnih i kontrolnih procesa postojeće robotske ćelije. Izvođenjem simulacija u *RobotStudio*-u rizik od kolizije postaje minimalan. Također, ovom virtualnom robotskom ćelijom omogućeno je programiranje robota bez fizičkog prisustva. Ovime je ostvarena mogućnost simulacije svakog budućeg procesa koji će se odvijati unutar ove robotske ćelije.

Potencijalni idući korak u testiranju rada ove virtualne robotske ćelije je simulacija procesa obrade odvajanjem čestica. Potrebno je uvesti izradak u *RobotStudio* te simulirati kretanje robota R1 zajedno s njegovim prigronom. Nakon toga je potrebno simulirati kontrolu obratka koristeći robot R2 te mjerne uređaje koji su spojeni na njega. Kada su navedene simulacije uspješno odrađene, virtualnu robotsku ćeliju moguće je koristiti za simulacije svih budućih procesa.

LITERATURA

- [1] <https://library.e.abb.com/public/91504b95a1734759a3e5b3eb5fc20560/3HAC028207%20PS%20IRB%206660-en.pdf> (pristupljeno 15.01.2024.)
- [2] <https://new.abb.com/products/3HAC020536-013/irb-6660> (pristupljeno 15.01.2024.)
- [3] <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC032885-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (pristupljeno 15.01.2024.)
- [4] <https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb-4600> (pristupljeno 15.01.2024.)
- [5] <https://new.abb.com/products/3HAC020536-012/irb-6640> (pristupljeno 15.01.2024.)
- [6] <https://library.e.abb.com/public/1c8cd7d860ec46f7b4254c03dd238dd8/3HAC028284%20PS%20IRB%206640-en.pdf> (pristupljeno 15.01.2024.)
- [7] <https://new.abb.com/products/3HAC020536-014/irc5-controller> (pristupljeno 16.01.2024.)
- [8] <https://www.mirka.com/en/p/Mirka-AIROS-650CV-150---5> (pristupljeno 16.01.2024.)
- [9] https://scanare3d.com/wp-content/uploads/2020/04/GOM_Brochure_ATOS_5_EN-1.pdf (pristupljeno 16.01.2024.)
- [10] <https://www.zeppelinmet.com/en-gb/if-sensor-r25> (pristupljeno 16.01.2024.)
- [11] https://library.e.abb.com/public/fed2591c8edc41c19f1b61deb0ce15e5/IRBP-A_datasheet_ROB10080EN_RevB.pdf?x-sign=o0eGF6H+QNeBjZ63VRMLxqyBjmaUkE78Fu78m7wYUDqXzXJOzIPmCPmm3b0BexS4 (pristupljeno 16.01.2024.)
- [12] https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0212EN_A&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch (pristupljeno 16.01.2024.)
- [13] <https://advantage-fl.cz/storage/files/95/Bruker-Alicona-IF-SensorR25-EN.pdf> (pristupljeno 21.02.2024.)