

# Integracija radne stanice s kobotom u postojeći proizvodni sustav

---

Lerotić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:917242>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-09**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Ivan Lerotić**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Hrvoje Cajner, dipl. ing.

Dr. sc. Mihael Gudlin, dipl. ing.

Student:

Ivan Lerotić

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu. Zahvaljujem se svojim mentorima prof. dr. sc. Hrvoju Cajneru dr. sc. Mihaelu Gudlinu, mag. ing. na pomoći, strpljenju i susretljivosti tijekom pisanja ovoga rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na njihovoj neizmornoj podršci tijekom dosadašnjeg studiranja.

Ivan Lerotić



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, autonomni sustavi i računalna inteligencija i mehatronika i robotika

|  |        |
|--|--------|
| Sveučilište u Zagrebu<br>Fakultet strojarstva i brodogradnje |        |
| Datum  | Prilog |
| Klasa: 602 - 04 / 23 - 6 / 1                                 |        |
| Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -                                    |        |

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ivan Lerotić** JMBAG: **0035223589**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Integracija radne stanice s kobotom u postojeći proizvodni sustav**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Integration of a cobot workstation into existing production system**

Opis zadatka:

Radna stanica s kolaborativnim robotima (kobotima) je sustav koji se sastoji od jednog ili više robota koji obavljaju operacije dijeleći isto radno okruženje s ljudima. Prednosti takve radne stanice su veća učinkovitost, produktivnost i kvaliteta rada. Takav koncept omogućuje da se izvode složenije aktivnosti, a da se pritom ne moraju odvijati strogo odvojeno. Radne stanice s kobotima najčešće se integriraju s automatiziranim linijama obavljajući operacije u procesu koje zahtijevaju i određenu intervenciju ljudi, a u konačnici omogućuju stabilan proizvodni proces uz veću brzinu izvedbe.

Na dostupnom modelu pametne tvornice potrebno je :

1. Detaljno opisati komponente sustava.
2. Osmisliti i konceptualno razraditi dio procesa koji integrira radnu stanicu s ostalim komponentama modela pametne tvornice.
3. Uzimajući jedan od mogućih scenarija instalirati, prilagoditi i testirati sustav.
4. Analizirati i usporediti moguće varijante izvedbe osmišljenog scenarija promjenom parametara rada kobota te različitom podjelom rada unutar operacija.

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

Zadatak zadan:

20.4.2023.

Zadatak zadan:

Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Cajner

Komentor:

Dr. sc. Mihael Gudlin

Datum predaje rada:

2. rok (izvanredni): 12. 7. 2023.  
3. rok: 21. i 22. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.  
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Damir Godec

## SADRŽAJ

|  |     |
|--|-----|
| SADRŽAJ .....  | I   |
| POPIS SLIKA .....  | II  |
| POPIS TABLICA .....  | III |
| POPIS OZNAKA .....   | IV  |
| SAŽETAK .....  | V   |
| SUMMARY .....  | VI  |
| 1. UVOD .....  | 1   |
| 2. Model pametne tvornice .....  | 2   |
| 2.1. Kolaborativni robot .....   | 2   |
| 2.1.1. Arhitektura sustava [4] .....   | 4   |
| 2.1.1.1. Robotska ruka .....   | 6   |
| 2.1.1.2. Operacijski terminal .....  | 8   |
| 2.1.1.3. Električni ormarić .....  | 9   |
| 2.1.1.4. Upravljačka palica .....  | 11  |
| 2.2. Pokretna traka [5] .....  | 12  |
| 2.3. Radna stanica .....   | 14  |
| 2.4. Skladište za odlaganje gotovih proizvoda .....                            | 15  |
| 3. Proizvod za montažu .....   | 17  |
| 4. Proizvodni proces .....   | 19  |
| 4.1. Aplikacija za programiranje [4] .....                                     | 20  |
| 4.1.1. Vrste kretanja robota .....   | 21  |
| 5. Scenariji sklapanja proizvoda .....   | 23  |
| 5.1. Manualna montaža .....  | 23  |
| 5.1.1. Prva simulacija .....   | 24  |
| 5.1.2. Druga simulacija .....  | 25  |
| 5.1.3. Treća simulacija .....  | 26  |
| 5.2. Operater + kobot u kombinaciji s pause/play prekidačem .....              | 27  |
| 5.2.1. Prva simulacija .....   | 31  |
| 5.2.2. Druga simulacija .....  | 32  |
| 5.2.3. Treća simulacija .....  | 33  |
| 5.3. Operater + kobot u kombinaciji sa delay/odgodom u sekvenci programa ..... | 34  |
| 5.3.1. Prva simulacija .....   | 36  |
| 5.3.2. Druga simulacija .....  | 37  |
| 5.3.3. Treća simulacija .....  | 38  |
| 5.4. Usporedba scenarija .....   | 40  |
| 6. ZAKLJUČAK .....   | 43  |
| LITERATURA .....   | 44  |

**POPIS SLIKA**

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Radni radijus Jaka Zu 3 robota.....                   | 4  |
| Slika 2. Konfiguracija robota JAKA Zu 3 .....                  | 5  |
| Slika 3. Robotska ruka.....                                    | 6  |
| Slika 4. Prstenasti pokazivač i gumb za pauzu .....            | 7  |
| Slika 5. Free i point tipke.....                               | 8  |
| Slika 6. Sučelje prednjeg panela električnog ormarića.....     | 10 |
| Slika 7. Sučelje donjeg panela električnog ormarića.....       | 10 |
| Slika 8. Upravljačka palica .....                              | 11 |
| Slika 9. Izvedba improvizirane pokretne trake .....            | 13 |
| Slika 10. Improvizirana pokretna traka iz tlocrta.....         | 14 |
| Slika 11. Dijelovi radne stanice .....                         | 15 |
| Slika 12. Skladište za odlaganje gotovih proizvoda.....        | 16 |
| Slika 13. Komponente Lego automobila .....                     | 17 |
| Slika 14. Proizvod nakon prve faze montaže.....                | 18 |
| Slika 15. Sklop gotovog proizvoda .....                        | 18 |
| Slika 16. Shematski prikaz položaja i komponenti sustava ..... | 19 |
| Slika 17. Glavno sučelje aplikacije .....                      | 20 |
| Slika 18. Sučelje aplikacije za programiranje.....             | 22 |
| Slika 19. Redoslijed operacija u prvome scenariju .....        | 24 |
| Slika 20. Gantogramski prikaz prve simulacije .....            | 25 |
| Slika 21. Gantogramski prikaz druge simulacije .....           | 25 |
| Slika 22. Gantogramski prikaz treće simulacije.....            | 26 |
| Slika 23. Redoslijed operacija u drugome scenariju .....       | 28 |
| Slika 24. Spremnici komponenti sa senzorom .....               | 28 |
| Slika 25. Prva brzina gibanja sustava .....                    | 29 |
| Slika 26. Druga brzina gibanja sustava .....                   | 30 |
| Slika 27. Područja djelovanja prve i druge brzine .....        | 31 |
| Slika 28. Gantogramski prikaz prve simulacije .....            | 32 |
| Slika 29. Gantogramski prikaz druge simulacije .....           | 33 |
| Slika 30. Gantogramski prikaz treće simulacije.....            | 34 |
| Slika 31. Sigurnosna brzina gibanja sustava.....               | 35 |
| Slika 32. Maksimalna brzina gibanja sustava .....              | 36 |
| Slika 33. Gantogramski prikaz prve simulacije .....            | 37 |
| Slika 34. Gantogramski prikaz druge simulacije .....           | 38 |
| Slika 35. Gantogramski prikaz treće simulacije.....            | 39 |

---

**POPIS TABLICA**

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1. Tehničke specifikacije JAKA Zu 3 robota .....                   | 3  |
| Tablica 2. Potrebne konfiguracije hardvera za operacijski terminal .....   | 9  |
| Tablica 3. Opis funkcija na upravljačkoj palici .....                      | 11 |
| Tablica 4. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u prvoj simulaciji .....   | 24 |
| Tablica 5. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u drugoj simulaciji .....  | 25 |
| Tablica 6. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u trećoj simulaciji .....  | 26 |
| Tablica 7. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u prvoj simulaciji .....   | 31 |
| Tablica 8. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u drugoj simulaciji .....  | 32 |
| Tablica 9. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u trećoj simulaciji .....  | 33 |
| Tablica 10. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u prvoj simulaciji .....  | 36 |
| Tablica 11. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u drugoj simulaciji ..... | 37 |
| Tablica 12. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u trećoj simulaciji ..... | 38 |
| Tablica 13. Usporedba scenarija .....                                      | 40 |



---

**POPIS OZNAKA**

| <b>Oznaka</b>      | <b>Jedinica</b> | <b>Opis</b>   |
|--------------------|-----------------|---|
| Vodeće vrijeme $t$ | s               | Vodeće vrijeme odnosi se na ukupno vrijeme koje je potrebno za izvršavanje određenog procesa, proizvodne narudžbe ili zadatka od početka do kraja.                            |
| IP54               | -               | IP54 (Ingress Protection 54) je standard koji se koristi za ocjenu i označavanje zaštite električnih i elektroničkih uređaja od prašine i vlag                                |
| TIO                | -               | Pozicija ulaza i izlaza (Tool input/output) alata nalazi se na strani robotske alatne priključnice. Uključuje dva digitalna ulaza, dva digitalna izlaza i jedan analogni ulaz |
| CPU                | -               | CPU je kratica koja označava "Central Processing Unit" ili "Centralna procesna jedinica"  |
| $v$                | °/s             | Maksimalna brzina rada svakoga zgloba robota  |

---

**SAŽETAK**

U ovome radu istražuje se integracija radne stanice s kobotom (kolaborativni robot) unutar već postojećeg proizvodnog sustava. Fokusira se na povećanje učinkovitosti i produktivnost proizvodnje uključujući tehničke, programerske i logističke izazove. Kroz analizu dostupnih tehnologija za suradnju čovjeka i robota te razmatranje zahtjeva proizvodnje, rad predlaže odgovarajuće strategije za usklađivanje rada robota s postojećim procesima. Kroz primjere studija slučaja i eksperimentalne rezultate, istraživanje demonstrira prednosti ove integracije, kao što su smanjenje vremena montaže, povećana kvaliteta rada te mogućnost izvođenja složenijih operacija. Integracija radne stanice s kobotom pokazuje se kao ključni korak prema modernizaciji proizvodnih procesa i ostvarivanju konkurentske prednosti na tržištu.

Ključne riječi: kobot, proizvodni sustav, integracija, montaža

---

**SUMMARY**

This paper investigates the integration of a workstation with a cobot (collaborative robot) within an existing production system. It focuses on enhancing efficiency and productivity in manufacturing, including technical, programming, and logistical challenges. Through an analysis of available technologies for human-robot collaboration and consideration of production requirements, the paper proposes appropriate strategies to align the robot's work with the existing processes. Through case study examples and experimental results, the research demonstrates the benefits of this integration, such as reduced assembly time, increased work quality, and the capability to perform more complex operations. Integrating a workstation with a cobot proves to be a crucial step towards modernizing manufacturing processes and achieving a competitive advantage in the market.

Key words: cobot, production system, integration, assembly

## 1. UVOD

U suvremenom svijetu proizvodne industrije, gdje tehnološki napredak neprestano oblikuje način na koji poslujemo i proizvodimo, koncepti poput Industrije 4.0, pametnih tvornica i suradnje čovjeka i robota postali su temeljni za postizanje održive konkurentske prednosti. U tom kontekstu, ovaj završni rad usmjerava svoju pozornost prema istraživanju i implementaciji integracije radne stanice s kobotom unutar već postojećeg proizvodnog sustava, s ciljem optimizacije učinkovitosti, kvalitete i fleksibilnosti. Fokusirajući se na tehničke, programerske i logističke izazove ove integracije, istraživanje će analizirati dostupne tehnologije za suradnju čovjeka i robota te identificirati ključne aspekte prilagodbe postojećim proizvodnim zahtjevima.

Industrija 4.0, kao ključni pokretač četvrte industrijske revolucije, donosi sa sobom koncept pametnih tvornica gdje se tehnologija, podaci i ljudi povezuju kako bi se ostvarila visoka razina automatizacije, analitike i fleksibilnosti u proizvodnom okruženju. U ovom kontekstu, koboti ili kolaborativni roboti, koji su projektirani za sigurnu i učinkovitu interakciju s ljudima, postaju neizostavan element u postizanju ovih ciljeva. Suradnja čovjeka i robota u proizvodnim procesima otvara nove mogućnosti, omogućavajući sinergiju između ljudske kreativnosti i preciznosti robota. [1]

Uspješna integracija radne stanice s kobotom ne samo da doprinosi modernizaciji proizvodnih procesa već i potvrđuje važnost pametnih tvornica kao ključnog koraka prema inovacijama u proizvodnji. Kroz ovo istraživanje, razmotrit ćemo kako se suradnja čovjeka i robota u okviru Industrije 4.0 manifestira u stvarnom proizvodnom okruženju te kako ta sinergija može pozitivno utjecati na efikasnost i prilagodljivost proizvodnih sustava.

## 2. Model pametne tvornice

Pametna tvornica je koncept koji proizlazi iz IIoT-a (Industrial Internet of Things) i predstavlja proizvodni okoliš kao potpuno automatiziranu i inteligentnu mrežu sustava koja omogućava upravljanje objektima, strojevima i logističkim lancima unutar proizvodnog pogona bez ljudske intervencije. Nadalje, pametna tvornica je mjesto gdje se sve to događa zahvaljujući razmjerni podataka ne samo između proizvodnih alata i strojeva, već i između svih elemenata u lancu tehnologije proizvodnje. Pametna tvornica je visoko integrirana pomoću sustava za viziju robota i tehnologija umjetne inteligencije (AI). Stručnjaci će bolje kontrolirati inteligentni proizvodni sustav. AI omogućuje tvornicama obavljanje analiza i donošenje odluka, što olakšava integraciju AI-a i intelektualnih sposobnosti ljudi. Unatoč mnogim tehnologijama koje tvornica može sadržavati, i dalje može ostati usmjerena prema ljudima jer što je proizvodno okruženje kontroliranije i predvidljivije, to manje prijetnji predstavlja radnicima koji nadziru, rukovode i održavaju njegove komponente. [2] U svrhu testiranja proizvodnoga sustava u ovome je radu korišten upravo takav model pametne tvornice koja se sastoji od sljedećih komponenti:

- Kolaborativnog robota
- Pokretne trake
- Radne stanice
- Skladišta za odlaganje gotovih proizvoda

### 2.1. Kolaborativni robot

Kako bi se razumio koncept i važnost kolaborativnih robota, važno je razumjeti industrijske robote kako bi se bolje razumio kontekst. Industrijski robot može se definirati kao programibilan, samoupravljavajući uređaj sastavljen od elektroničkih, električnih ili mehaničkih jedinica koje mogu izvoditi složeni niz radnji. Industrijski roboti su velika, teška i kruta tijela koja se postavljaju kako bi obavljala zadatke koji bi ljudima bili vrlo teški i opasni, poput prenošenja ogromnih tereta po tvornicama. Obično su industrijski roboti specifični za određenu primjenu, izolirani od radne snage ljudi i posjeduju vlastiti radni prostor.

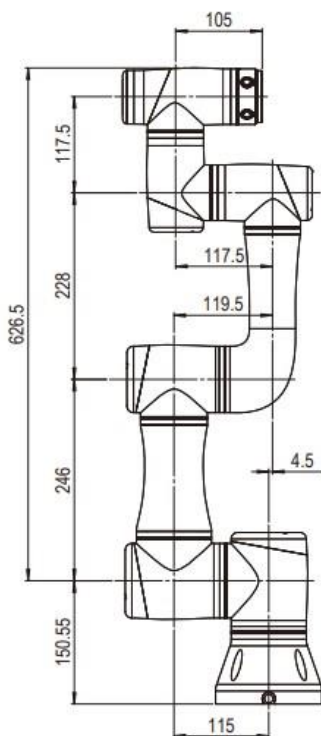
S druge strane, kolaborativni roboti su takvi roboti koji su dizajnirani da rade zajedno sa svojim ljudskim kolegama i dijele isti radni prostor s kolegama, zbog čega se nazivaju i 'koboti'. Ovi roboti znatno su lakši od glomaznih industrijskih robota, stoga nude veliku pokretljivost što olakšava premještanje po tvornici ili industriji u kojoj su instalirani. Još jedna prednost koju koboti nude u usporedbi s industrijskim robotima je njihova fleksibilnost. Ovi roboti su iznimno fleksibilni, a jedan robot može se koristiti za obavljanje različitih zadataka i stoga ih se može primijeniti u različitim industrijama. Na kraju, lako se programiraju i nude velike računalne sposobnosti koje im omogućuju siguran i učinkovit rad zajedno s ljudima. [3] U ovome radu pri provođenju testiranja sustava je korišten robot JAKA Zu 3.

U tablici 1. prikazane su tehničke specifikacije robota JAKA Zu 3, a na slici 1. radni radijus JAKA Zu 3 robota.

Tablica 1. Tehničke specifikacije JAKA Zu 3 robota

| Tip robota: JAKA Zu®3            |   |  |
|----------------------------------|---|--|
| Osnovne karakteristike:          | Maksimalna nosivost:                        | 3 kg   |
|                                  | Težina (uključujući kabel):                 | 12 kg  |
|                                  | Radni radijus:                              | 626 mm   |
|                                  | Ponovljivost:                               | Manje od $\pm 0,03$ mm   |
|                                  | Stupnjevi slobode:                          | 6  |
|                                  | Programiranje:                              | Grafičko povlačenje i ispuštanje programa                            |
|                                  | Kontrolna ploča (FlexPendant):              | Mobilni uređaj (Ploča/PAD)   |
|                                  | Suradnja operacija:                         | Suradnja operacija u skladu s GB11291.1-2011 standardom              |
| Radni raspon i brzina v:         | Raspon i brzina rada za svaki zglob robota: |  |
|                                  | Zglob 1:                                    | $\pm 270^\circ$ , maksimalna brzina $180^\circ/\text{s}$             |
|                                  | Zglob 2:                                    | $-85^\circ$ do $+265^\circ$ , maksimalna brzina $180^\circ/\text{s}$ |
|                                  | Zglob 3:                                    | $\pm 175^\circ$ , maksimalna brzina $180^\circ/\text{s}$             |
|                                  | Zglob 4:                                    | $-85^\circ$ do $+265^\circ$ , maksimalna brzina $180^\circ/\text{s}$ |
|                                  | Zglob 5:                                    | $\pm 270^\circ$ , maksimalna brzina $180^\circ/\text{s}$             |
|                                  | Zglob 6:                                    | $\pm 270^\circ$ , maksimalna brzina $180^\circ/\text{s}$             |
|                                  | Maksimalna brzina alata na kraju robota:    | 1,5 m/s  |
| Fizičke karakteristike i ostalo: | Potrošnja energije:                         | Prosječno 150 W  |
|                                  | Temperaturni raspon:                        | 0-50°C   |
|                                  | IP klasifikacija:                           | IP54<br>Instalacija robota u bilo kojem položaju                     |

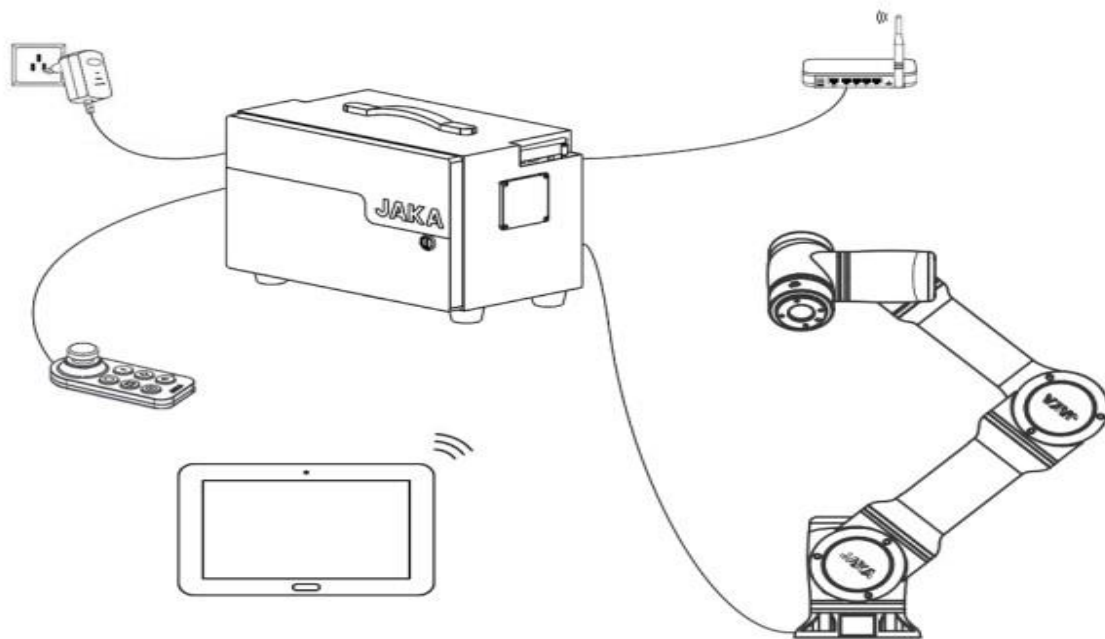
|                                       |  |  |
|---------------------------------------|--|--|
|                                       |  |  |
| TIO priključci (ulazi/izlazi):        | 2 digitalna ulaza<br>2 digitalna izlaza<br>1 analogni ulaz |  |
| Napajanje za TIO:                     | 24 V   |  |
| Promjer baze:                         | 129 mm   |  |
| Materijal:                            | Aluminijska legura, PC                                     |  |
| Veličina TIO priključaka:             | M8   |  |
| Duljina kabela za povezivanje robota: | 6 m  |  |



Slika 1. Radni radijus Jaka Zu 3 robota

### 2.1.1. Arhitektura sustava [4]

Povezanost komponenti sustava i dijelova robota JAKA Zu 3 ključna je za funkcionalnost i kontrolu robota. Osnovna povezanost komponenata i dijelova ovog robota prikazana je na slici 2.



Slika 2. Konfiguracija robota JAKA Zu 3

Električni ormarić je središnja kontrolna jedinica robota. Sadrži robot kontroler, različita električna sučelja, prekidače i komunikacijske portove. Električni ormarić je povezan s ostalim dijelovima robota putem kabela. Robotska ruka je srce robota koje izvršava različite pokrete i zadatke. Robotska ruka je povezana s električnim ormarićem putem kabela koji prenosi signale i napajanje. Upravljačka palica omogućuje operateru da ručno upravlja robotom nakon programiranja. Povezana je s električnim ormarićem putem bežične veze ili kabela, ovisno o konfiguraciji. Robot može imati različite senzore, kao što su senzori za sigurnost, senzori za detekciju prepreka i drugi. Ovi senzori su povezani s električnim ormarićem kako bi pružili informacije o okolini i stanju robota. Na kraju robotske ruke nalazi se TIO sučelje koje omogućuje povezivanje različitih alata i dodataka. TIO sučelje sadrži digitalne ulaze i izlaze te analogni ulaz za interakciju s alatima. Robot ima električne priključke koji omogućuju povezivanje s napajanjem i drugim električnim izvorima. To uključuje priključke za napajanje električnog ormarića i robotske ruke. Operativni terminal koristi se za programiranje i postavljanje robota. Ovaj uređaj povezan je s električnim ormarićem i omogućuje korisniku da konfigurira zadatke i programe koje robot treba izvršiti. Električni ormarić ima Ethernet port koji omogućuje povezivanje robota s lokalnom mrežom. Ovo je važno za daljinsku kontrolu i dijeljenje podataka.

Ova povezanost omogućuje robotu da izvršava različite zadatke u skladu s programiranim uputama i reagira s okolinom putem senzora i sučelja. Kontrola i nadzor nad robotom ostvaruju se putem upravljačke palice i operacijskog terminala, dok se podaci razmjenjuju putem električnih sučelja i mreže. U sljedećem poglavlju se obrađuju malo detaljnije pojedine komponente robota.

Kako je već spomenuto, da bi robot činio funkcionalnu cjelinu potrebne su sljedeće komponente:

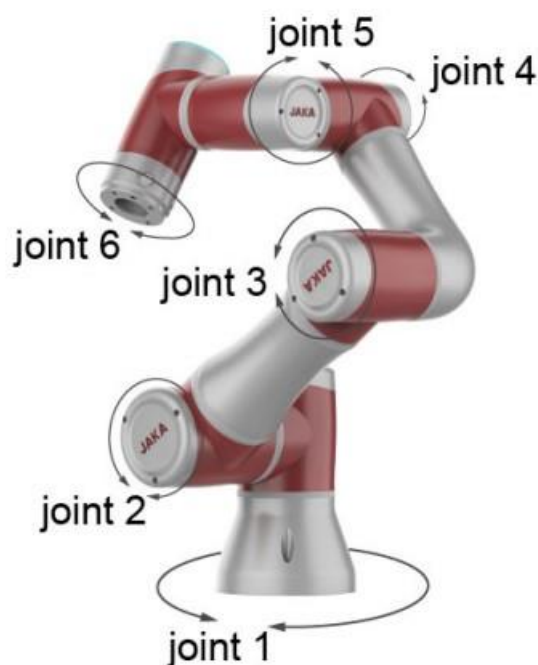
- Robotska ruka



- Operacijski terminal s upravljačkim programom
- Električni ormarić
- Upravljačka palica
- Ruter i mrežni kabeli

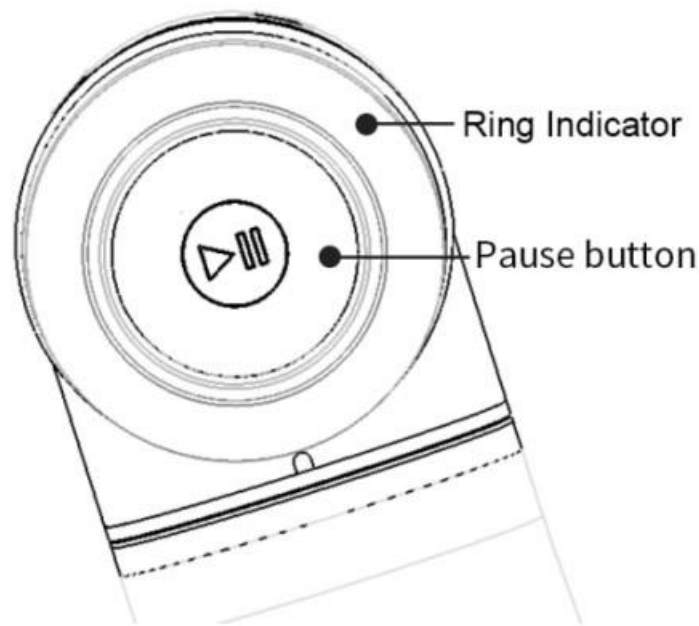
### 2.1.1.1. Robotska ruka

Robotska ruka je jezgra pokretne komponente robota za postizanje određenih pokreta i sastoji se uglavnom od šest zglobova i dvaju aluminijskih cijevnih ruku (kako je prikazano na slici 3.). Baza se koristi za montažu robota, dok se na kraju ruke (na zglobu 6), nalazi prstenasti pokazivač, tipke za povlačenje i tehnologiju te TIO sučelje. Alat može izvoditi translacijske i rotacijske pokrete unutar radnog raspona robota.



Slika 3. Robotska ruka

Na kraju robotske ruke sa gornje strane nalazi se prstenasti pokazivač i gumb za pauzu. Pokazivač i gumb za pauzu nalaze se kao što je prikazano na slici 4. Pokazivač pokazuje različite boje čija značenja odgovaraju određenim statusima robota. Plava boja označava da je robot uključen, zelena da je dostupan za rad, crvena da je greška u radu ili upozorenje, žuta da je u procesu povlačenja ili gibanja, treptajuća žuta da je u stanju pauze. Kada je robot u procesu izvođenja programa, pritiskom na gumb za pauzu moguće je zaustaviti i nastaviti izvođenje programa.

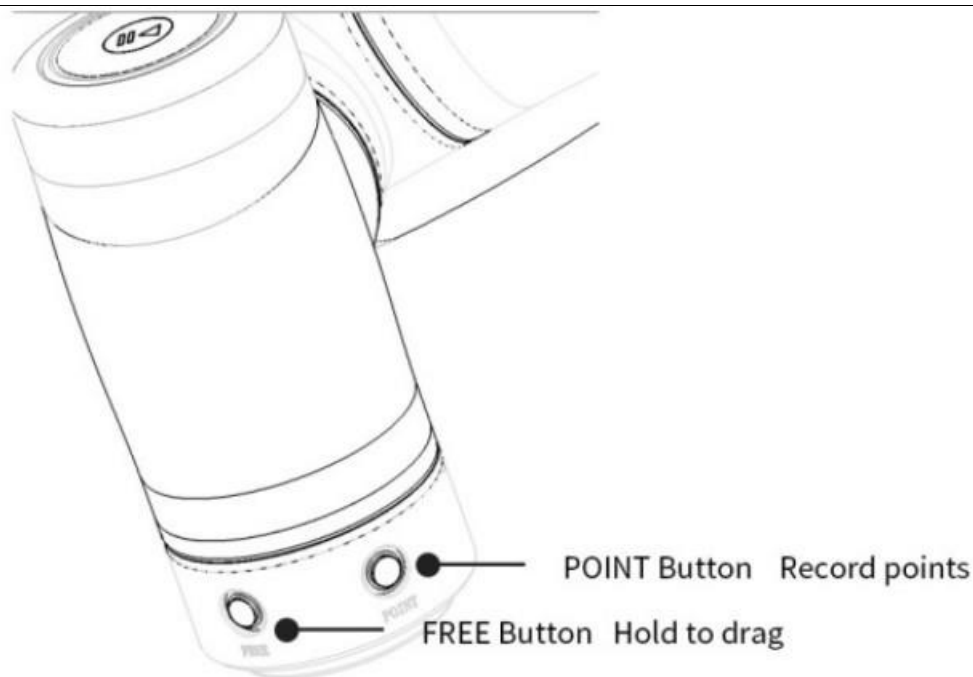


Slika 4. Prstenasti pokazivač i gumb za pauzu

Na kraju robotske ruke sa strane na prirubnici nalaze se dvije tipke prikazane na slici 5. Te tipke su "FREE" i "POINT" tipka. Kada se pritisne tipka "FREE", robot će ući u način slobodne vožnje (free-drive mode). To omogućuje operateru da ručno pomakne robotičku ruku bez potrebe za unosom složenih naredbi. To je korisno za postavljanje i fine prilagodbe položaja robota bez potrebe za detaljnim programiranjem.

Tipka "POINT" može se koristiti uz robot aplikaciju (APP). Kada se pritisne ovaj gumb, trenutni položaj robota bit će zabilježen u aplikaciji. Ovo je korisno za označavanje određenih točaka ili pozicija u radnom prostoru robota kako bi ih kasnije mogli referencirati ili koristiti u programiranju.

TIO sučelje nalazi se sa na kraju robotske ruke sa donje strane. Uključuje dva digitalna ulaza, dva digitalna izlaza i jedan analogni ulaz. Ova ulazno-izlazna (I/O) sučelja omogućuju interakciju robota s vanjskim uređajima ili sustavima te pružaju mogućnost za dodatne funkcionalnosti i kontrolu u okruženjima gdje je to potrebno. Na primjer, digitalni ulazi i izlazi mogu se koristiti za detekciju senzora, upravljanje aktuatorima ili komunikaciju s drugim uređajima, dok analogni ulaz može služiti za mjerenje ili kontrolu analognih vrijednosti kao što su brzina ili tlak. Za potrebe ovoga završnoga rada, na kraju robotske ruke je korišten nastavak u obliku prihvatnice ili „hvataljke“ za prihvaćanje baze proizvoda pri premještanju i montaži.



Slika 5. Free i point tipke

### 2.1.1.2. Operacijski terminal

Operacijski terminal je uređaj koji se koristi za programiranje i postavljanje robota. Radi se o uređaju ili softveru koji omogućuje operaterima ili inženjerima da programiraju, konfiguriraju i kontroliraju robota. Opći cilj ovih uređaja i softvera je omogućiti operaterima da precizno definiraju zadatke koje robot treba izvršiti i da osiguraju siguran i učinkovit rad robota u određenom okruženju. Ovaj uređaj može biti računalo s odgovarajućim softverom za programiranje i kontrolu robota ili "programerski pendant".

Programerski pendant je vrsta terminala s ekranom i tipkama koji omogućuje operaterima da unose programski kod i naredbe za upravljanje robotom. Ovaj uređaj ima grafičko sučelje koje olakšava programiranje i konfiguraciju robota, a također omogućuje monitoriranje i dijagnostiku rada robota.

Pri izvođenju simulacija u ovome radu kao operacijski terminal moglo se koristiti i računalo i jedan takav programerski pendant (u obliku tableta) sa odgovarajućim softverom za programiranje i simulaciju rada robota. Ovaj softver omogućuje detaljno programiranje, testiranje i simuliranje operacija robota prije nego što se te naredbe prenesu na stvarni robot. Aplikacija za programiranje robota JAKA Zu dostupna je od strane tvrtke JAKA za Android operativni sustav, a potrebne konfiguracije su prikazane u tablici 2.

Tablica 2. Potrebne konfiguracije hardvera za operacijski terminal

|                         |                              |
|-------------------------|------------------------------|
| Tip terminala:          | Tablet/PC                    |
| Operativni sustav:      | Android 8.0 ili noviji       |
| CPU (procesor):         | Kirin 695 ili Snapdragon 660 |
| Interna memorija (ROM): | 32 GB                        |
| Radna memorija (RAM):   | 4 GB                         |
| Veličina zaslona:       | 8,0 inča                     |
| Mreža:                  | Wi-Fi                        |

### 2.1.1.3. Električni ormarić

Električni ormarić JAKA Zu robota sadrži nekoliko različitih vrsta sučelja. Ta sučelja su podijeljena u dvije kategorije, svaka od kojih ima različite svrhe i karakteristike:

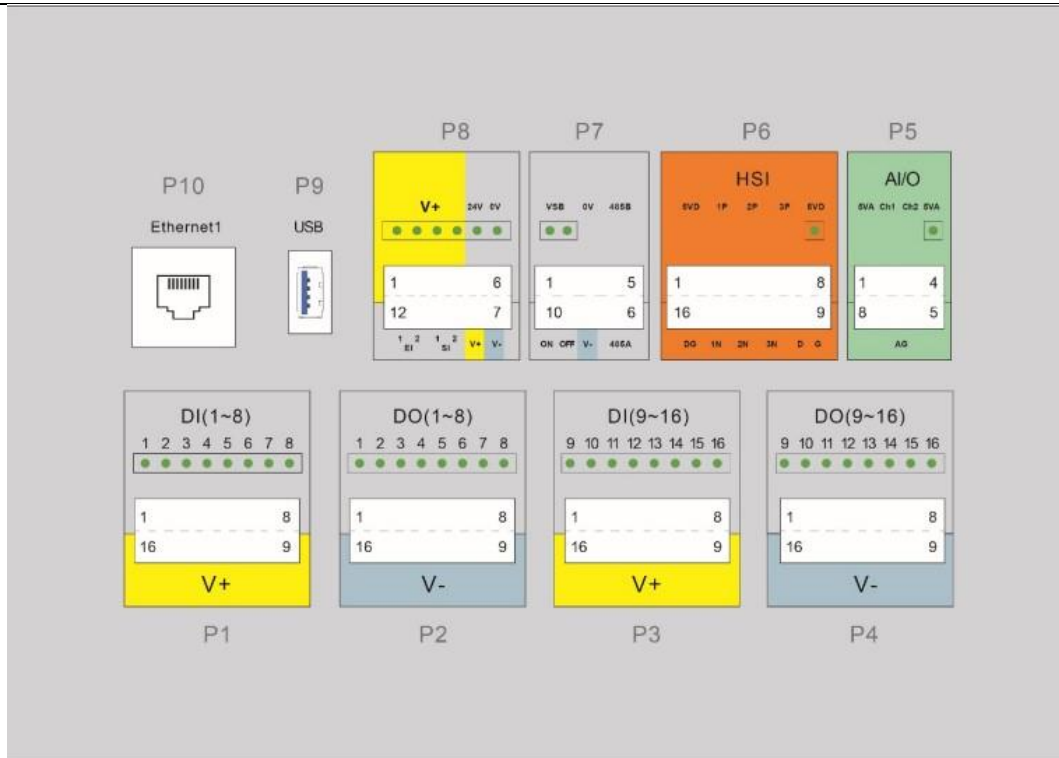
Sučelje prednjeg panela električnog ormarića

Sučelje dna električnog ormarića

Sučelje prednjeg panela električnog ormarića

Prednji panel električnog ormarića ima različita sučelja raspoređena na prvom katu nakon što se otvori vrata električnog ormarića kako je prikazano na slici 6. Ova sučelja uključuju:

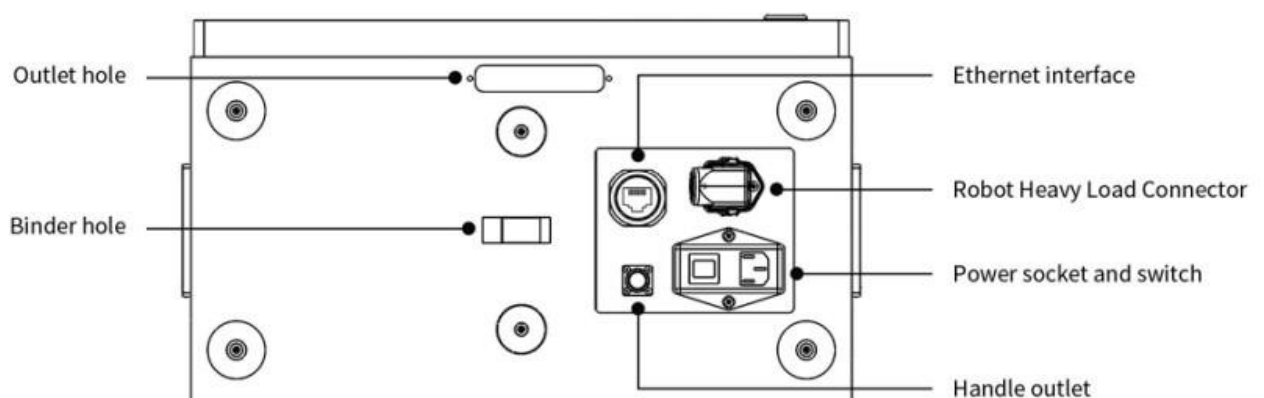
- 16 digitalnih ulaza (P1 i P3)
- 16 digitalnih izlaza (P2 i P4)
- 2 konfigurabilna analognih sučelja (P5)
- 1 set visokobrzinskih sučelja (P6)
- Daljinski ON/OFF i 485 sučelje (P7)
- Sučelje za sigurnosne funkcije (P8)
- USB3.0 sučelje (P9) i Ethernet sučelje (P10)
- USB i Ethernet sučelja su rezervirana za internu upotrebu i mogu se kontaktirati putem tehničke podrške tvrtke JAKA ako je potrebno. Ova raznolika sučelja omogućuju povezivanje i komunikaciju s raznim uređajima, sensorima i sustavima kako bi se kontrolirao i nadzirao rad robota te pružile sigurnosne funkcije.



Slika 6. Sučelje prednjeg panela električnog ormarića

#### Sučelje dna električnog ormarića

Donji panel električnog ormarića uključuje izlaznu rupu, veznu rupu, izlaz ručke, Ethernet sučelje, teški priključak robota, standardni utikač i sklopku. Riječi "utikač" i "sklopka" koriste se za priključak na napajanje. Izlazne i vezne rupe mogu se koristiti za organiziranje i pričvršćivanje kabela koji vode prema prednjem panelu robota. Ethernet sučelje služi za povezivanje robota s lokalnom mrežom. Teški priključak robota koristi se za povezivanje električnog kontrolnog ormarića s tijelom robota.



Slika 7. Sučelje donjeg panela električnog ormarića

#### 2.1.1.4. Upravljačka palica

Uz električni ormarić isporučuje se i upravljačka palica, koja se može koristiti za upravljanje robotom nakon završetka programiranja. Naredbe se mogu slati robotu pomoću tipki na upravljačkoj palici koje su prikazane na slici 8. i opisane u tablici 3.



Slika 8. Upravljačka palica

Tablica 3. Opis funkcija na upravljačkoj palici

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| ON/OFF<br>(Uključi/Isključi):        | ON: Pritisnite gumb za napajanje 1 sekundu i pustite ga. Buzzer će zvučati, a električni kontrolni ormarić će se pokrenuti.<br>OFF: Pritisnite i držite gumb za napajanje više od 3 sekunde. Upravljačka ručka će zvučati 6-7 puta, a električni kontrolni ormarić će se isključiti.  |
| Power/Enable<br>(Napajanje/Omogući): | Uključi robota: Kada je robot isključen, kratko pritisnite gumb kako biste uključili robota.<br>Isključi robota: Kada je robot uključen, kratko pritisnite gumb kako biste isključili robota.<br>Omogući robota: Kada je robot uključen, kratko pritisnite gumb za zaključavanje i gumb za omogućavanje.<br>Onemogući robota: Kada je robot omogućen, kratko pritisnite gumb za zaključavanje + gumb za omogućavanje. |
| Start/Stop<br>(Pokreni/Stopiraj):    | Pokreni program: pritisnite gumb za prekid kako biste pokrenuli zadani program. Nakon što robot dođe na početni položaj programa, izvršit će se zadani program.   |

|   |   |
|---|---|
|   | Zaustavi program: Kada program radi, kratko pritisnite gumb kako biste prekinuli program.   |
| Home (Početna pozicija):                  | Početna pozicija: Nakon što je robot omogućen i nema izvođenja programa, neprekidno pritisnite gumb kako biste upravljali robotom prema zadanoj početnoj poziciji. Kada robot dođe na zadani položaj, nastavite neprekidno pritiskati i indikator zaključavanja će biti plave boje.   |
| Pause/Resume (Pauza/Nastavi):             | Pauza: Kada robot automatski kreće, pritisnite zaustavi gumb kako biste zaustavili program.<br>Nastavak: Kada je robot zaustavljen, pritisnite za nastavak izvođenja programa.  |
| Lock/Fn (Zaključaj/Fn):                   | Zaključavanje ručke: Pritisnite i držite gumb za zaključavanje 3 sekunde, a indikator zaključavanja će biti narančast.<br>Otključajte ručku: Pritisnite i držite gumb za zaključavanje 3 sekunde, a indikator zaključavanja će se ugasi.<br>Kombinirana funkcija: Ostale tipke i gumb za zaključavanje mogu se pritisnuti kombinirano.          |
| Lock indicator (Indikator zaključavanja): | Zaključano stanje: Kada je zaključano, indikator je narančast. Osim za gumb za otključavanje i uključivanje/isključivanje, ostali gumbi su nevažeci. Aplikacija može upravljati robotom.<br>Otključano stanje: Kada je otključano, indikator je isključen i ručku se može koristiti. Sučelje aplikacije je sivo i ne možete upravljati robotom. |
| Emergency Stop (Hitna zaustava):          | Za hitnu zaustavu.<br>Napomena: Gumb za hitnu zaustavu koristi se samo u hitnim situacijama i ne može se koristiti kao opći prekidač za isključivanje.  |

## 2.2. Pokretna traka [5]

Pokretna traka, poznata i kao pokretna linija ili konvejer, je mehanički uređaj koji se koristi za automatski transportiranje predmeta, materijala ili proizvoda s jednog mjesta na drugo unutar proizvodnog ili logističkog procesa. Ovo je vrlo važan komad opreme u mnogim industrijama i ima široku primjenu u proizvodnji, skladištenju, distribuciji i drugim sektorima. Temeljna funkcija pokretne trake je prijenos predmeta ili materijala s jedne lokacije na drugu. To može uključivati transportiranje sirovina, poluproizvoda ili gotovih proizvoda unutar proizvodnog postrojenja, u skladište ili s skladišta do transportnih vozila, poput kamiona ili kontejnera. Osim prijenosa, trake se često koriste i za sortiranje, filtriranje ili označavanje predmeta. Pokretne trake dolaze u različitim oblicima i veličinama. Mogu biti ravne ili kosine, vodoravne ili vertikalne, te se prilagođavaju potrebama specifičnog procesa. Pokretne trake se napajaju električnom energijom i često su opremljene senzorima i kontrolnim sustavima koji omogućuju precizno upravljanje brzinom i smjerom kretanja. Osim toga, trake su često opremljene različitim pomoćnim uređajima poput lopatica za sortiranje, uređaja za označavanje ili kontrola težine. U ovome proizvodnome sustavu je zbog nemogućnosti korištenja kompletne opreme pokretna traka improvizirana (simulirana). Pokretna traka je sačinjena od plastične „cijevi“ pravokutnoga oblika koja je prerezana na pola i postavljena pod određenim kutom. Na dnu cijevi nalazi se ravna podloga koja čini početni položaj sa kojega robotska ruka uzima bazu

proizvoda i premješta je na idući položaj. Na kraju ravne podloge nalazi se pregrada koja osigurava da sljedeća baza proizvoda koja se spušta pokretnom linijom dođe točno na početni položaj kako nebi bilo problema pri prihvatu robotske ruke. Dodatno osiguranje dolaska baze proizvoda na početni položaj je uteg, koji je postavljen na vrhu kosine iza zadnje baze proizvoda u seriji, kako bi svojom težinom prenio silu te pogurao ostale proizvode niz kosinu sve do pregrade u početnom položaju. Na slici 9. je prikazana pokretna traka, a na slici 10. njen izgled iz tlocrta (žutom bojom je označena pregrada; crvenom bojom označen je uteg). Na ovaj na čin dobivena je funkcionalna improvizirana pokretna linija dovoljna za simulaciju proizvodne serije.



Slika 9. Izvedba improvizirane pokretne trake



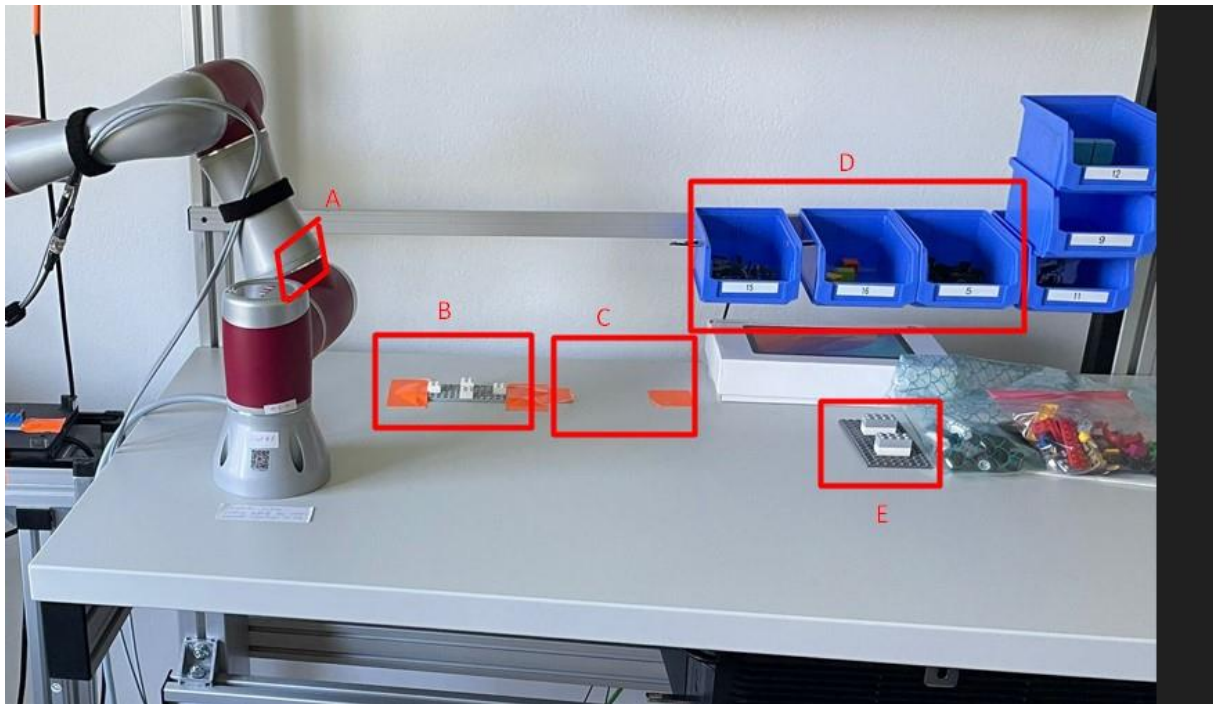


Slika 10. Improvizirana pokretna traka iz tlocrta

### 2.3. Radna stanica

Radna stanica je specifično definirano područje ili okruženje unutar radnog prostora ili proizvodnog pogona gdje zaposlenik izvršava određene zadatke, poslove ili operacije. Ovisno o industriji i kontekstu, radne stanice mogu varirati u svojoj opremi, funkcionalnosti i namjeni. Glavna svrha radne stanice je omogućiti zaposleniku da izvrši svoj rad ili zadatke učinkovito i sigurno. Ovisno o industriji, to može uključivati montažu proizvoda, testiranje, pakiranje, upravljanje podacima, istraživanje ili bilo koju drugu operaciju koja je dio proizvodnog ili radnog procesa. Radne stanice obično su organizirane kako bi se maksimizirala učinkovitost i smanjila potreba za nepotrebnim kretanjem ili gubicima vremena. Oprema, alati i materijali potrebni za izvođenje zadataka obično su pažljivo postavljeni kako bi bili lako dostupni zaposleniku. Sigurnost je ključna na radnim stanicama. Radne stanice moraju biti projektirane tako da minimiziraju rizik od ozljeda ili nezgoda. Ovo uključuje upotrebu sigurnih materijala, dobru ergonomiju, zaštitu od opasnih materijala i obuku zaposlenika o sigurnim postupcima. Radne stanice često su opremljene specifičnim alatima, strojevima i opremom potrebnom za izvođenje određenih zadataka. Ovisno o vrsti posla, to mogu biti računalni terminali, montažni stolovi, testni uređaji, alatni setovi ili drugi uređaji.[6] U ovome modelu pametne tvornice, radnu stanicu (slika 11.) čini prostor radnoga stola na kojemu se nalaze: jedna pozicija na početku montaže (A), dvije pozicije za odlaganje autića tokom montaže dijelova (B i C), tri spremnika u kojima se nalaze dijelovi za montažu (D) i jedan improvizirani montažni stol (E).

Pozicija B je fiksirana postoljem kako bi robotska ruka preciznije prihvatila tijelo autića pri promjeni pozicija.



Slika 11. Dijelovi radne stanice

#### 2.4. Skladište za odlaganje gotovih proizvoda

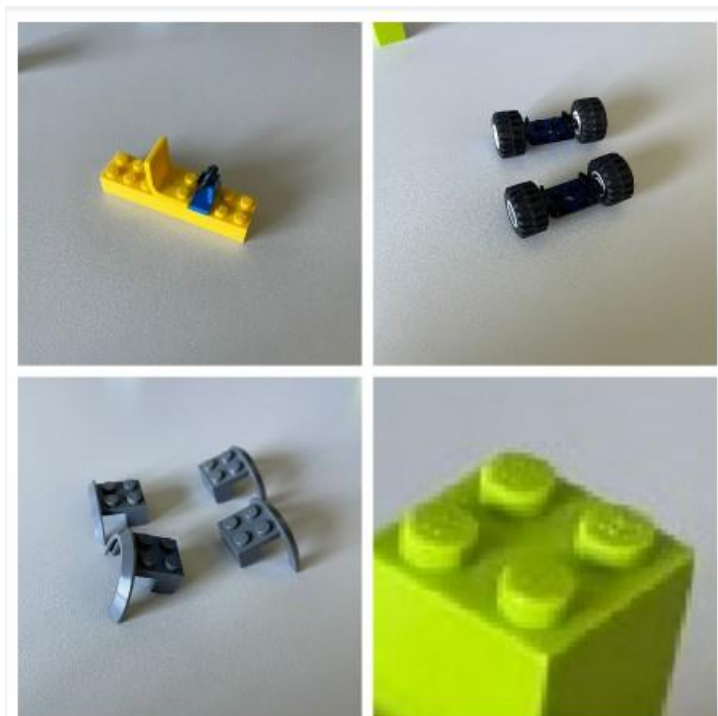
Skladište gotovih proizvoda je ključna komponenta u lancu opskrbe i proizvodnji. To je fizički prostor ili lokacija unutar tvrtke ili distribucijskog centra koji se koristi za skladištenje gotovih proizvoda prije nego što budu otpremljeni kupcima ili krajnjim korisnicima. Glavna svrha skladišta gotovih proizvoda je privremeno čuvanje proizvoda dok se ne otpreme kupcima. To omogućuje tvrtkama da upravljaju zalihama, ispunjavaju narudžbe i pruže brzu isporuku proizvoda. Skladište gotovih proizvoda često uključuje i područje za pakiranje proizvoda prije otpreme. Ovdje se proizvodi mogu pakirati u kutije, paletirati ili pripremiti za dostavu. S obzirom da je pri provođenju simulacija potrebnih za pisanje ovoga rada dobiven malen broj gotovih proizvoda, takvo skladište nije niti bilo potrebno, no valjalo bi napomenuti da bi u realnome pogonu itekako bilo potrebno.[7] Na dostupnome modelu pametne tvornice za uloge skladišta korištena je obična plastična posuda u koju je robotska ruka ostavljala gotove baze proizvoda na kraju simulacija.



Slika 12. Skladište za odlaganje gotovih proizvoda

### 3. Proizvod za montažu

U svijetu razvoja i testiranja softverskih i tehničkih sustava, često je izazovno stvoriti realistično okruženje za provođenje testova. U svrhu postizanja preciznih rezultata i identificiranja potencijalnih problema, ovome radu korišten je nekonvencionalan pristup testiranju sustava, koji uključuje korištenje jednostavnog proizvoda složenog na bazi Lego kockica kao ključnog alata za simulaciju i provjeru performansi. Proizvod automobila se sastoji od: baze sa volanom i sjedalom, dva para osovina sa pripadajućim parovima guma, četiri branika te prtljažnikom.



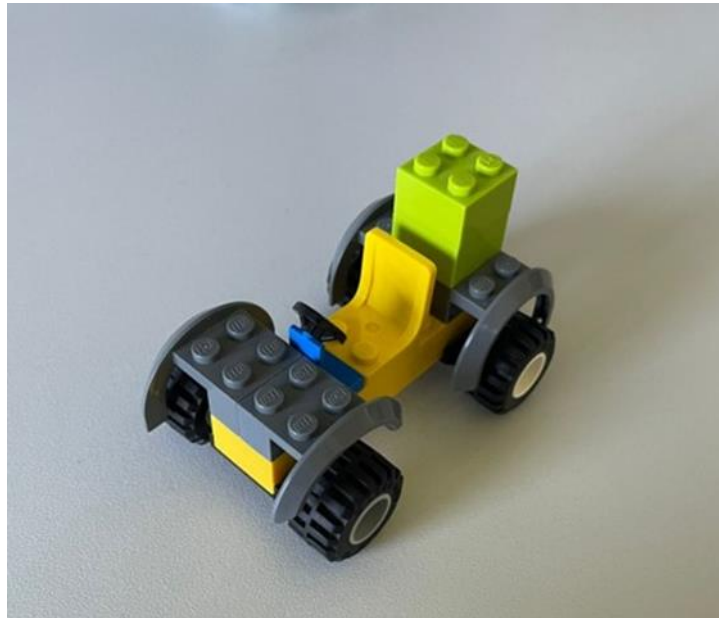
Slika 13. Komponente Lego automobila

#### Redoslijed montaže

Montaža Lego autića odvija se u dvije faze. U prvoj fazi se bazi autića sa volanom i sjedalom nadodaju prednja i zadnja osovina sa pripadajućim parovima guma kako je prikazano na slici 14. U drugoj fazi montaže se nadodaju prednji i zadnji branici te prtljažnik čime se završava montaža proizvoda.



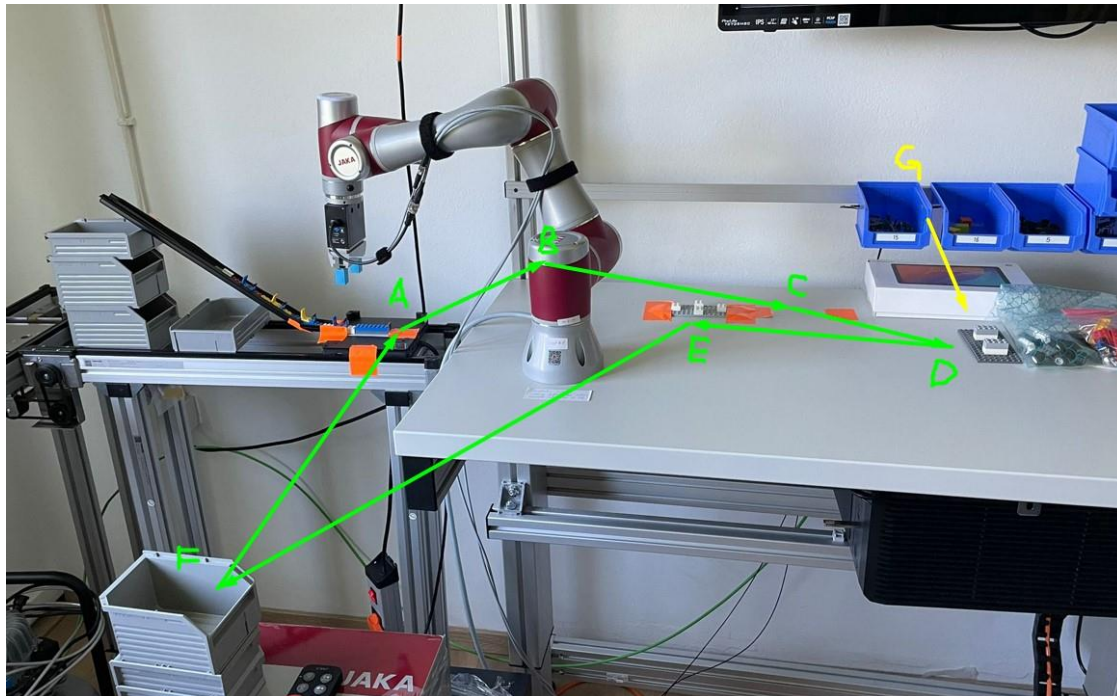
Slika 14. Proizvod nakon prve faze montaže



Slika 15. Sklop gotovog proizvoda

## 4. Proizvodni proces

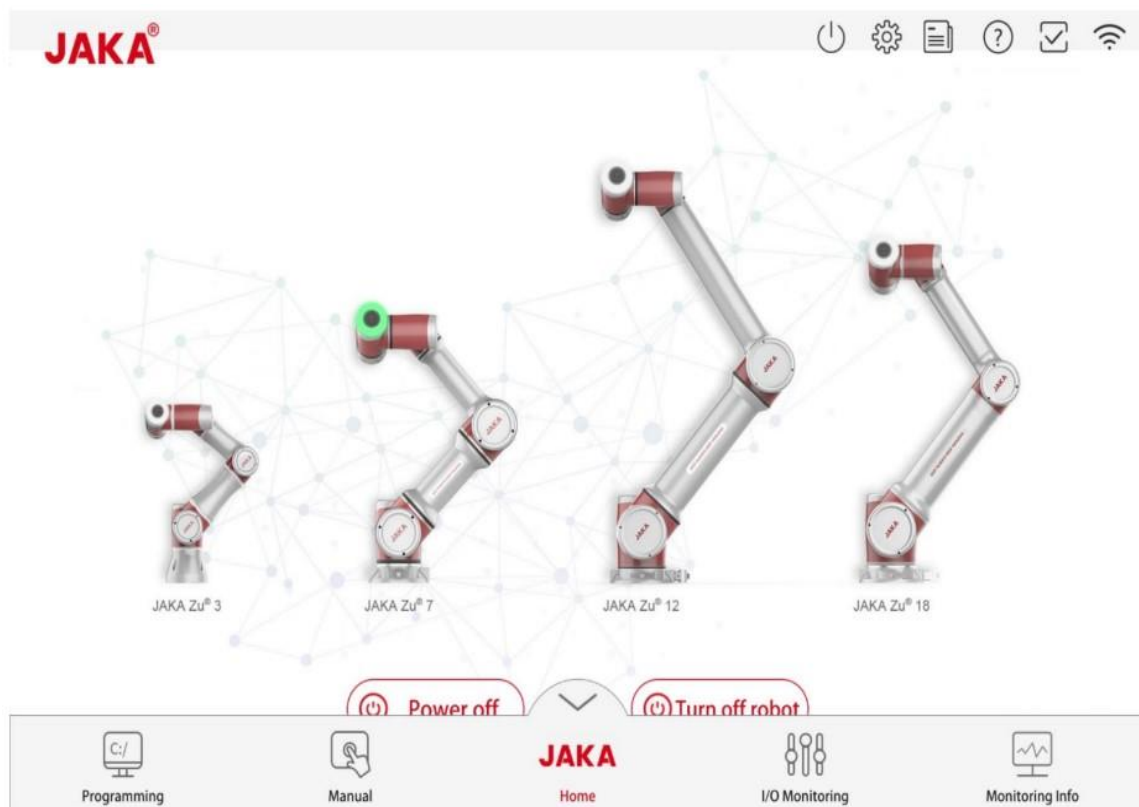
Proizvodni proces koji je osmišljen za testiranje sustava te za provođenje određenih scenarija odvija se na sljedeći način. Kao što je već spomenuto, na početku procesa se baza proizvoda sa volanom i sjedalom spušta niz pokretnu traku te dolazi do početnog položaja A sa pregradom. Robotska ruka sa svojim prstima prihvaća bazu proizvoda sa bočnih strana i premješta je sa početnog položaja, okrećući je sa donje strane radi jednostavnije montaže teže dostupnih mjesta, sve do položaja B. Tada započinje prva faza montaže u kojoj se montiraju prednja i zadnja osovina sa pripadajućim parovima guma na bazu proizvoda. Nakon završetka prve faze, robotska ruka ostavlja proizvod na položaju C te se vraća u početni položaj po iduću bazu. Dok se robotska ruka kreće u početni položaj, operater uzima bazu sa položaja C te ga stavlja na montažni stol (položaj D) čime kreće druga faza montaže. U drugoj fazi operater ručno na montažnome stolu postavlja četiri branika na bazu proizvoda te naposljetku postavlja i prtljažnik. Branike i prtljažnik operater uzima sa pozicije G u kojoj se nalaze spremnici komponenti autića. Na kraju druge faze montaže, operater vraća sada gotovi sklop proizvoda na položaj E koji je fiksiran na stolu. Robotska ruka u međuvremenu premješta bazu proizvoda sljedeće serije sa početnoga položaja A do položaja B. Ovoga se puta robotska ruka, nakon što ostavi bazu sa montiranim osovina i gumama na položaj C, ne vraća u početni položaj nego ide u položaj E i uzima gotovi proizvod sa fiksiranoga postolja koji je operater završio te ga ostavlja u skladištu gotovih proizvoda na položaju F nakon čega se vraća u početni položaj A po sljedeću bazu proizvoda u seriji. Proces se ponavlja sve dok sva četiri proizvoda u seriji u potpunosti ne budu sklopljena. Shematski prikaz rasporeda komponentni u sustavu tijekom proizvodnoga procesa prikazan je na slici 16.



Slika 16. Shematski prikaz položaja i komponenti sustava

#### 4.1. Aplikacija za programiranje [4]

Aplikacija za programiranje JAKA Zu 3 robota predstavlja ključni alat za kontrolu i upravljanje ovim kolaborativnim robotima. Svojom intuitivnom i funkcionalnom platformom, omogućava inženjerima, programerima i operaterima da programiraju, nadziru i optimiziraju rad robota u različitim okruženjima. Aplikacija omogućava korisnicima da programiraju robota putem grafičkog sučelja. To znači da operateri mogu povlačiti i spuštati elemente kao što su kretanja, uvjeti i radnje kako bi definirali zadatke robota. Ovo je posebno korisno za osobe bez dubinskog poznavanja programiranja. Korisnici mogu programirati robota za različite zadatke kao što su montaža, manipulacija predmetima, pakiranje i još mnogo toga. Aplikacija podržava različite načine kretanja, prilagodljive brzine i precizne kontrole.



Slika 17. Glavno sučelje aplikacije

#### 4.1.1. Vrste kretanja robota

Kretanje robota koje se mogu programirati putem aplikacije su izrazito fleksibilne i prilagodljive različitim zadacima i potrebama u proizvodnji i montaži. Evo nekoliko osnovnih vrsta kretanja koje se mogu programirati:

- Linearno kretanje:  
Robot se može programirati da se kreće izravno s jednog mjesta na drugo u ravnoj liniji. Ovo je korisno za zadatke kao što su premještanje predmeta s jednog stola na drugi ili pakiranje proizvoda u kutije.
- Rotacija:  
Robot se može programirati da se okreće oko svoje osi kako bi postigao određeni kut. Ovo je korisno za zadatke koji zahtijevaju rotaciju ili postavljanje proizvoda pod određenim kutom.
- Interpolirano kretanje:  
Robot može izvoditi složene putanje koje uključuju kombinaciju linearnih i rotacijskih kretanja. To omogućava precizno pozicioniranje i manipulaciju predmetima.
- Kretanje duž krivulje:  
Aplikacija omogućava programiranje robota da slijedi zadane krivulje ili putanje. Ovo je korisno za zadatke koji zahtijevaju glatko kretanje, poput zavarivanja ili rezanja po krivuljama.
- Pauziranje i nastavljanje:  
Robot se može programirati da pauzira izvođenje zadatka i kasnije ga nastavi. Ovo je korisno za situacije u kojima je potrebno provesti dodatne provjere ili ručne intervencije.
- Sigurnosne funkcije:  
Robot se može programirati da automatski reagira na sigurnosne situacije, kao što su prepreke ili neočekivani događaji, kako bi osigurao siguran rad u okolini ljudi.

Ove različite vrste kretanja omogućavaju JAKA Zu 3 robotima da obavljaju širok spektar zadataka, od jednostavnih manipulacija do složenih montažnih operacija. Aplikacija pruža korisnicima mogućnost prilagodbe kretanja kako bi odgovarala specifičnim potrebama njihove proizvodnje ili montaže. Osim vrste kretanja, aplikacija također može prilagoditi i brzinu i ubrzanje svakog pojedinoga gibanja kao i cijeloga sustava istovremeno.





Slika 18. Sučelje aplikacije za programiranje

## 5. Scenariji sklapanja proizvoda

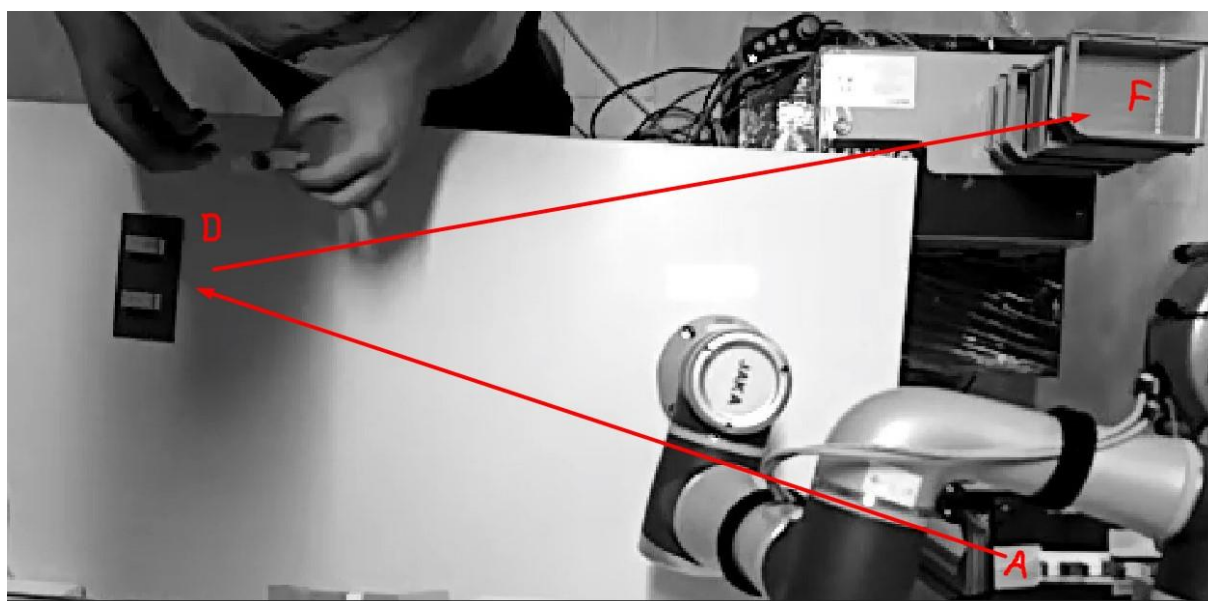
Proizvodni proces odvija se na način prikazan u prethodnome poglavlju, no za potrebe pisanja ovoga rada osmišljene su varijacije procesa kako bi se mogla provesti analiza i usporedba. Varijacije proizvodnog procesa prikazane su u obliku tri scenarija:

- Manualna montaža (dohvaćanje s pokretne trake te sve ostale operacije izvođenje ručno bez pomoći robota)
- 2. Operater + kobot -> integracija dijela operacija uzimajući različite varijacije brzine u kombinaciji s pause/play prekidačem (senzorom)
- 3. Operater + kobot -> Integracija dijela operacija uzimajući različite varijacije brzine i delay/odgodu u sekvenci programa

Svaki od navedenih scenarija je simuliran tri puta kako bi se dobio što pouzdaniji uzorak, čime se postiže i kvalitetnija analiza pojedinog scenarija.

### 5.1. Manualna montaža

U prvome scenariju, proizvodni proces se odvija na način da se baza proizvoda spušta niz pokretnu traku do sa položaja A koji se nalazi na završetku pokretne trake te ju operator ručno, okrećući je s donje strane, prenosi na montažni stol na položaj D. Na montažnome stolu započinje prva faza montaže u kojoj operater postavlja osovine sa pripadajućim parovima guma. Pri završetku prve faze, operater ponovno okreće bazu proizvoda u početno stanje sa sada montiranim komponentama te započinje sa drugom fazom montaže. U drugoj fazi montaže operater postavlja četiri branika te na kraju i prtljažnik. Na kraju, operater sada gotovi proizvod ručno odlaže sa montažnoga stola u skladište gotovih proizvoda na položaju F. Nakon što se proizvod odloži u skladište, operater ponovno dohvaća sljedeću bazu proizvoda sa pokretne trake. Proizvodni proces traje sve dok se zadnji od ukupno četiri gotova proizvoda ne odlože u skladište.



Slika 19. Redoslijed operacija u prvome scenariju

U tablicama i slikama u ovome poglavlju:

- A-D označava vrijeme trajanja procesa koje uključuje uzimanje baze proizvoda sa položaja A te okretanje i stavljanje na montažni stol u položaju D.
- Prva faza montaže mjeri vrijeme postavljanja osovina sa gumama te okretanje proizvoda u početnu poziciju.
- Druga faza montaže označava trajanje postavljanja branika te prtljažnika.
- D-F označava vrijeme potrebno za odlaganje sklopljenoga proizvoda na montažnome stolu D sve do njegovog odlaganja u skladište gotovih proizvoda F

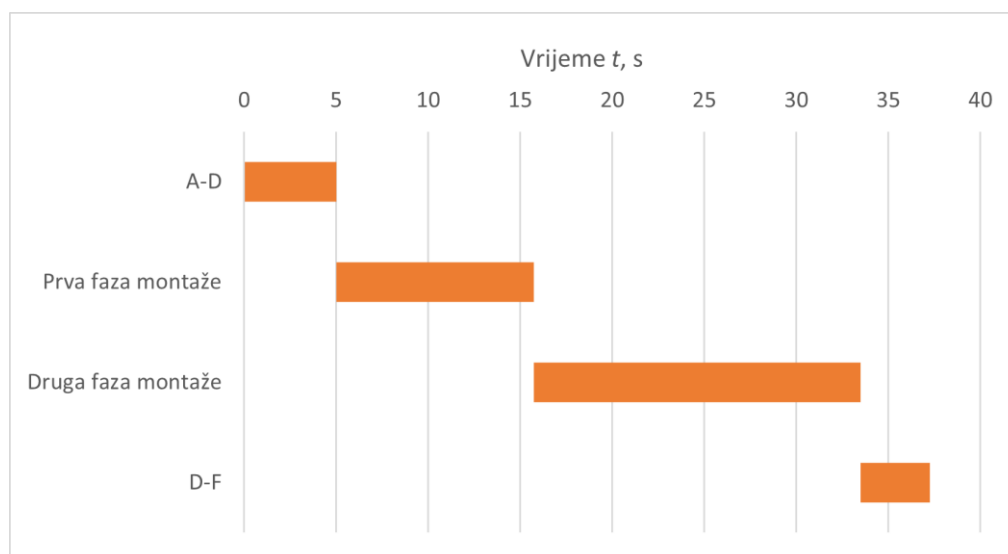
### 5.1.1. Prva simulacija

Tablica 4. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u prvoj simulaciji

| 1. Simulacija                     |                     |            |            |            |            |          |
|-----------------------------------|---------------------|------------|------------|------------|------------|----------|
|                                   |                     | Proizvod 1 | Proizvod 2 | Proizvod 3 | Proizvod 4 | Prosjek: |
| Vodeće vrijeme $t$ (u sekundama): | A-D:                | 5 s        | 5 s        | 5 s        | 5 s        | 5 s      |
|                                   | Prva faza montaže:  | 11 s       | 10 s       | 11 s       | 11 s       | 10,75 s  |
|                                   | Druga faza montaže: | 17 s       | 19 s       | 19 s       | 16 s       | 17,75 s  |
|                                   | D-F:                | 3 s        | 4 s        | 4 s        | 4 s        | 3,75 s   |
|                                   | Ukupno:             | 36 s       | 38 s       | 39 s       | 36 s       | 37,25 s  |

Cjelokupno vrijeme prve simulacije za četiri proizvoda iznosilo je 151 sekundu.

Na slici 20. prikazan je gantogram za prosječne vrijednosti procesa u prvoj simulaciji



Slika 20. Gantogramski prikaz prve simulacije

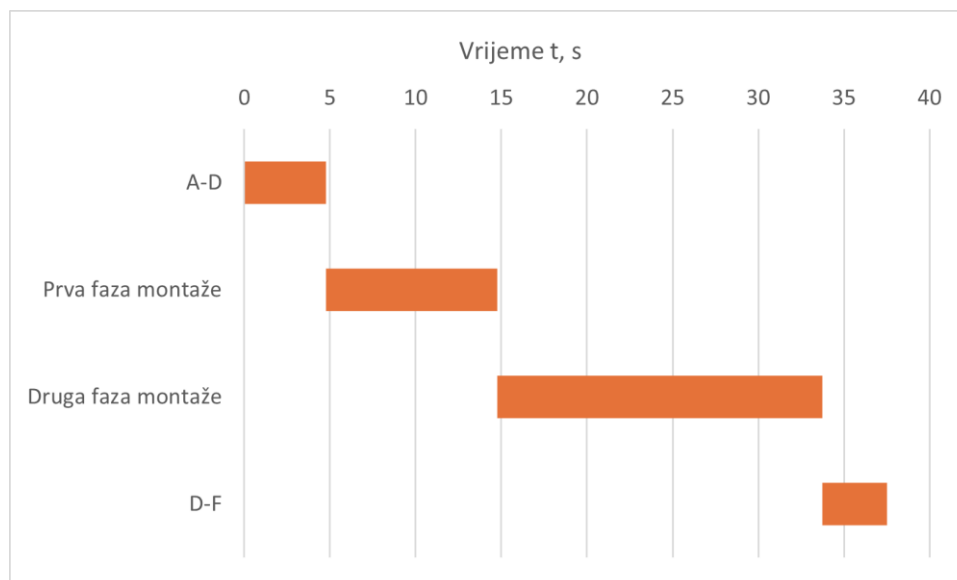
### 5.1.2. Druga simulacija

Tablica 5. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u drugoj simulaciji

| 2. Simulacija                     |                     |            |            |            |            |          |
|-----------------------------------|---------------------|------------|------------|------------|------------|----------|
|                                   |                     | Proizvod 1 | Proizvod 2 | Proizvod 3 | Proizvod 4 | Prosjek: |
| Vodeće vrijeme $t$ (u sekundama): | A-D:                | 4 s        | 6 s        | 4 s        | 5 s        | 4,75 s   |
|                                   | Prva faza montaže:  | 10 s       | 8 s        | 11 s       | 11 s       | 10 s     |
|                                   | Druga faza montaže: | 17 s       | 19 s       | 20 s       | 20 s       | 19 s     |
|                                   | D-F:                | 3 s        | 4 s        | 4 s        | 4 s        | 3,75 s   |
|                                   | Ukupno:             | 34 s       | 37 s       | 39 s       | 40 s       | 37,5 s   |

Cjelokupno vrijeme druge simulacije za četiri proizvoda iznosilo je 152 sekunde.

Na slici 21. prikazan je gantogram za prosječne vrijednosti procesa u drugoj simulaciji



Slika 21. Gantogramski prikaz druge simulacije

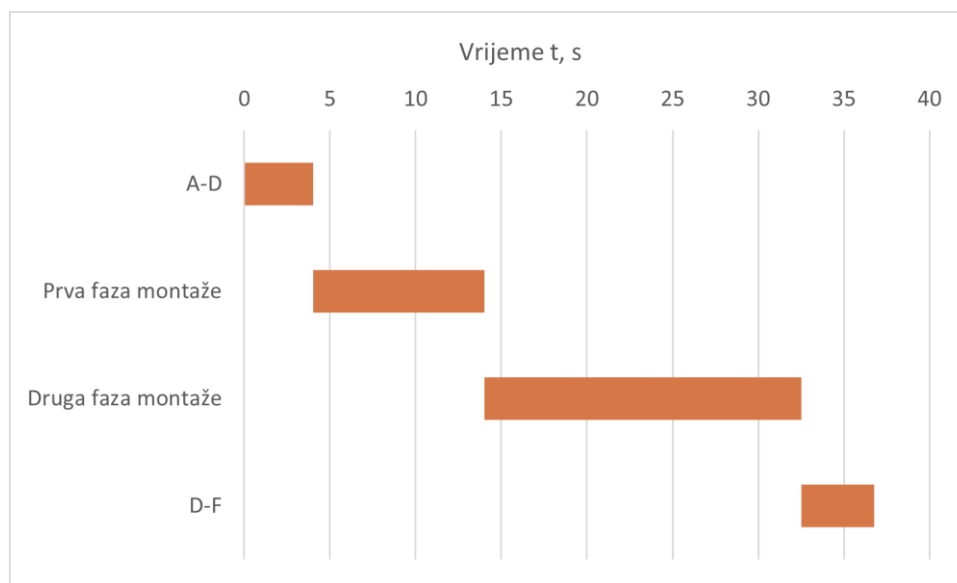
### 5.1.3. Treća simulacija

Tablica 6. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u trećoj simulaciji

| 3. Simulacija                     |                     |            |            |            |            |          |
|-----------------------------------|---------------------|------------|------------|------------|------------|----------|
|                                   |                     | Proizvod 1 | Proizvod 2 | Proizvod 3 | Proizvod 4 | Prosjek: |
| Vodeće vrijeme $t$ (u sekundama): | A-D:                | 4 s        | 4 s        | 4 s        | 4 s        | 4 s      |
|                                   | Prva faza montaže:  | 10 s       | 9 s        | 11 s       | 10 s       | 10 s     |
|                                   | Druga faza montaže: | 20 s       | 18 s       | 16 s       | 20 s       | 18,5 s   |
|                                   | D-F:                | 3 s        | 4 s        | 5 s        | 5 s        | 4,25 s   |
|                                   | Ukupno:             | 37 s       | 35 s       | 36 s       | 39 s       | 36,75 s  |

Cjelokupno vrijeme treće simulacije za četiri proizvoda iznosilo je 148 sekundi.

Na slici 22. prikazan je gantogram za prosječne vrijednosti procesa u trećoj simulaciji.



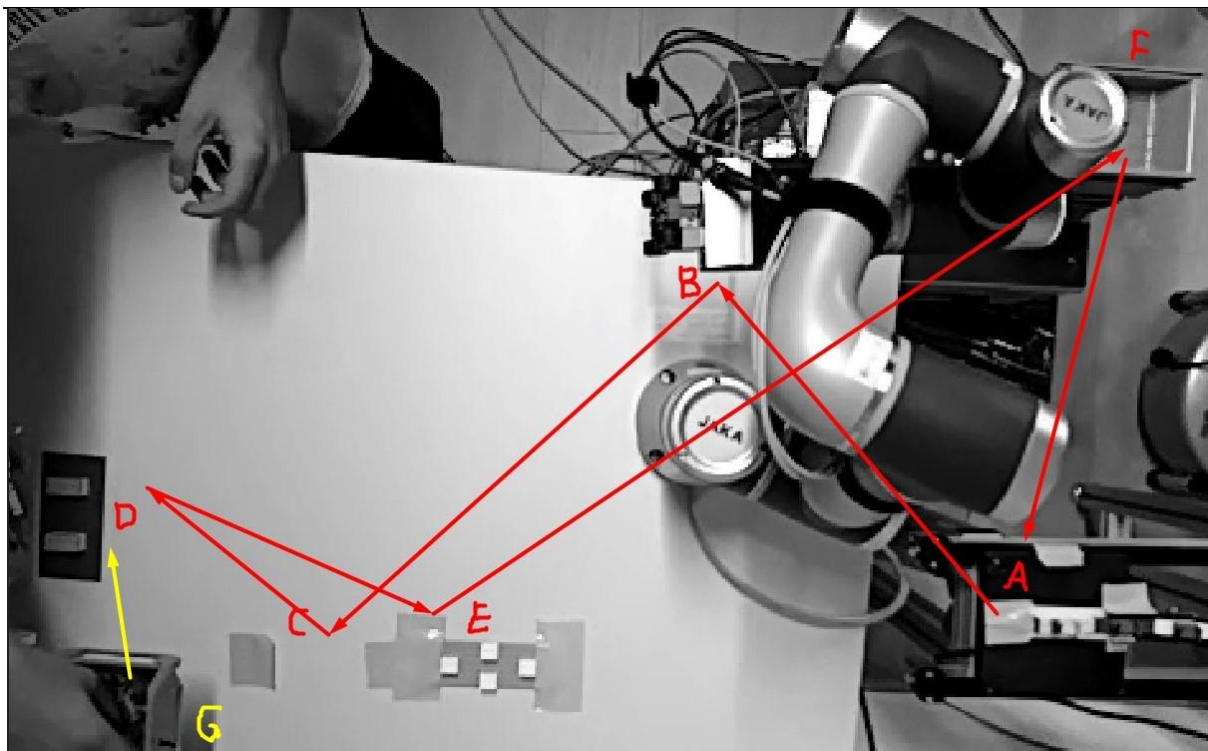
Slika 22. Gantogramski prikaz treće simulacije

Testirajući sustav prvim scenarijem dobiveni su rezultati prikazani u tablicama 4., 5. i 6. Analizom podataka utvrđeno je da su razlike u vremenskom trajanju proizvodnoga procesa, od ulaza A do izlaza F, između proizvoda unutar jedne simulacije vrlo male. Uspoređujući izračunate prosječne vrijednosti trajanja proizvodnoga procesa, sve tri simulacije pokazuju vrlo slične rezultate. Najveće odstupanje u nekoj od prosječnih vrijednosti između simulacija se pojavljuje u drugoj fazi montaže te iznosi 1,25 sekundi, no to je zanemarivo. Do većih odstupanja u ovome scenariju bi došlo u slučaju kada bi operater zbog monotonog sklapanja proizvoda neki dio procesa sporije odradio nego što je odradio u prethodnoj simulaciji ili ako mu se dogodi trenutak nespretnosti koji bi produljio vrijeme sklapanja proizvoda. Uzimajući u

obzir sve tri simulacije, prosječno vrijeme trajanja proizvodnoga procesa za jedan proizvod bi iznosilo 37,17 sekundi.

## 5.2. Operater + kobot u kombinaciji s pause/play prekidačem

U drugome scenariju, proizvodni proces se odvija na način da robotska ruka uzima bazu proizvoda sa položaja A, koji se nalazi na završetku pokretne trake te je okrećući s donje strane radi jednostavnije montaže teže dostupnih mjesta premješta u položaj B. U položaju B započinje prva faza montaže gdje operater montira osovine i gume na bazu proizvoda. Pri završetku montaže operater iz spremnika komponenti G uzima branike i prtljažnik koje priprema za sljedeću fazu montaže. Na spremniku komponenti G se nalazi senzor koji u aplikaciji za programiranje ima ulogu pause/play prekidača (označen žutom bojom na slici 24.), što znači da kada operater svojom rukom pređe liniju senzora na spremniku G, to daje robotu signal ili znak da nastavi sa radom. Tada robotska ruka pomiče bazu proizvoda iz položaja B i odlaže ga u položaj C te se vraća u početni položaj po sljedeću bazu čime započinje sklapanje idućeg proizvoda. Za vrijeme vraćanja robotske ruke i početni položaj, operater uzima proizvod sa položaja C te ga postavlja na montažni stol u položaj D. Tada kreće druga faza montaže u kojoj operater uzima četiri branika i prtljažnik iz spremnika komponenti i montira ih na proizvod. Na kraju montaže, operater odlaže gotovi proizvod na položaj E koji je fiksiran na stolu kako bi ga robotska ruka preciznije zahvatila pri premještanju do skladišta gotovih proizvoda na položaj F. Robotska ruka u međuvremenu premješta bazu proizvoda od položaja A do položaja B. Razlika u odnosu na prethodni proizvod je ta što se ovaj put robotska ruka, nakon što ostavi proizvod sa montiranim osovinama i gumama na položaj C, ne vraća u početni položaj nego ide u položaj E i uzima gotovi proizvod sa fiksiranoga postolja koji je operater završio te ga ostavlja u skladištu gotovih proizvoda na položaju F nakon čega se vraća u početni položaj A po sljedeću bazu proizvoda u seriji. Kako je već spomenuto, proizvodni proces se ponavlja sve dok sva četiri proizvoda u seriji nisu kompletno sklopljena i odložena u skladištu gotovih proizvoda.

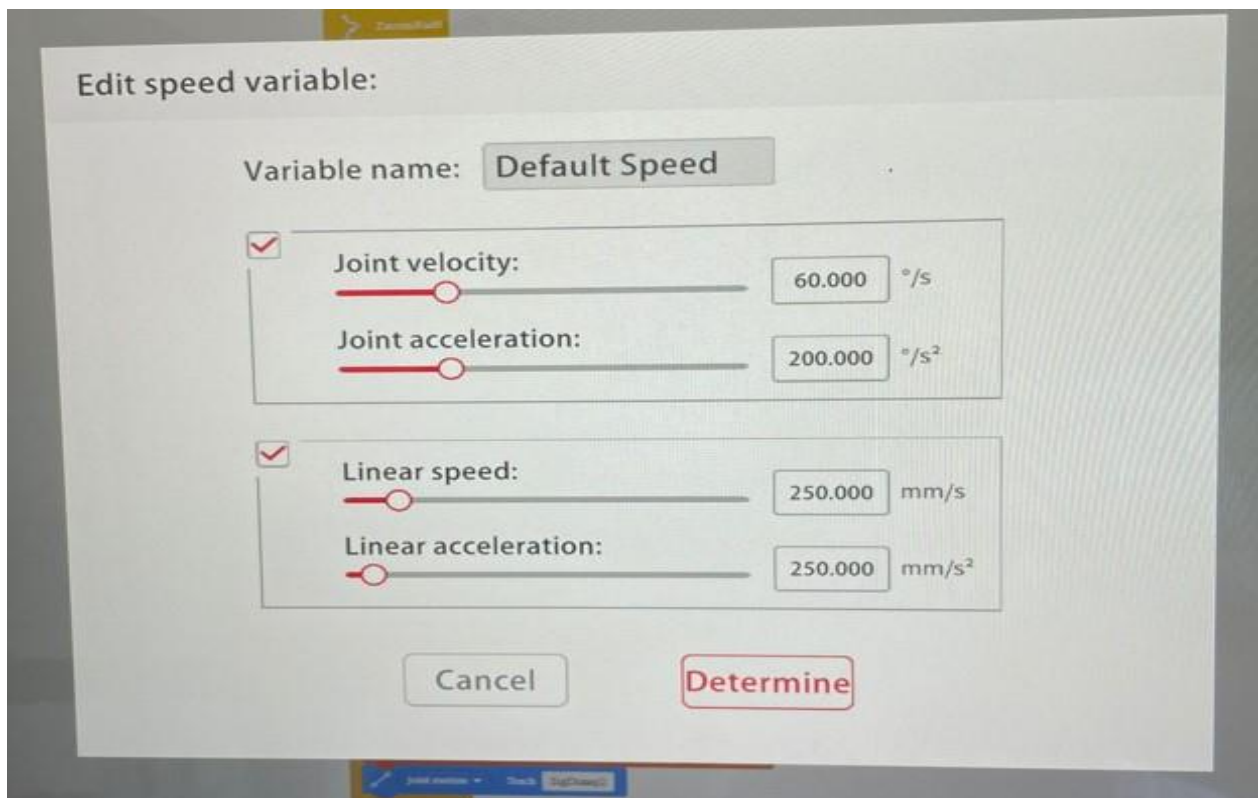


Slika 23. Redoslijed operacija u drugome scenariju



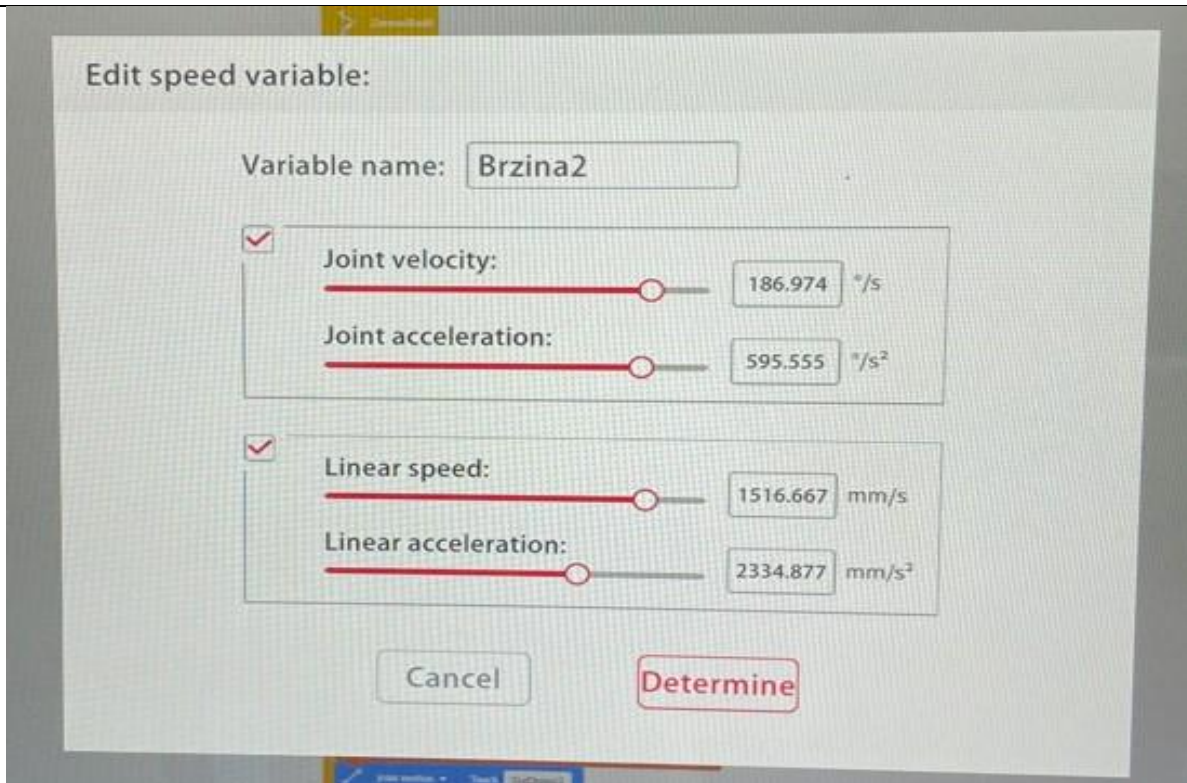
Slika 24. Spremnici komponenti sa senzorom

U ovome je scenariju uz spomenuti senzor specifično što su u aplikaciji isprogramirane dvije brzine gibanja sustava. Prva brzina (Slika 25.) je zadana brzina koja je postavljena kada robotska ruka djeluje u prostoru radne stanice u čijem se krugu nalazi i operater. Točnije, tom brzinom se robotska ruka pomiče kada iz položaja B ide u položaj C, iz položaja C u položaj E te iz položaja E do položaja B(u povratku). Druga brzina (Slika 26.) je brzina koja je prilagođena potrebi sustava u svrhu ubrzanja gibanja sustava na dijelovima koji su bezopasni za rad operatera. Time se postiglo da je gibanje robotske ruke znatno brže pri prihvaćanju baze proizvoda iz položaja A i premještanja u položaj B, pri gibanju iz položaja B(u povratku) do odlaganja proizvoda u skladištu F te pri gibanju od skladišta F do početnoga položaja A. Djelovanje prve brzine označeno je plavom linijom, a druge zelenom linijom na slici 27.

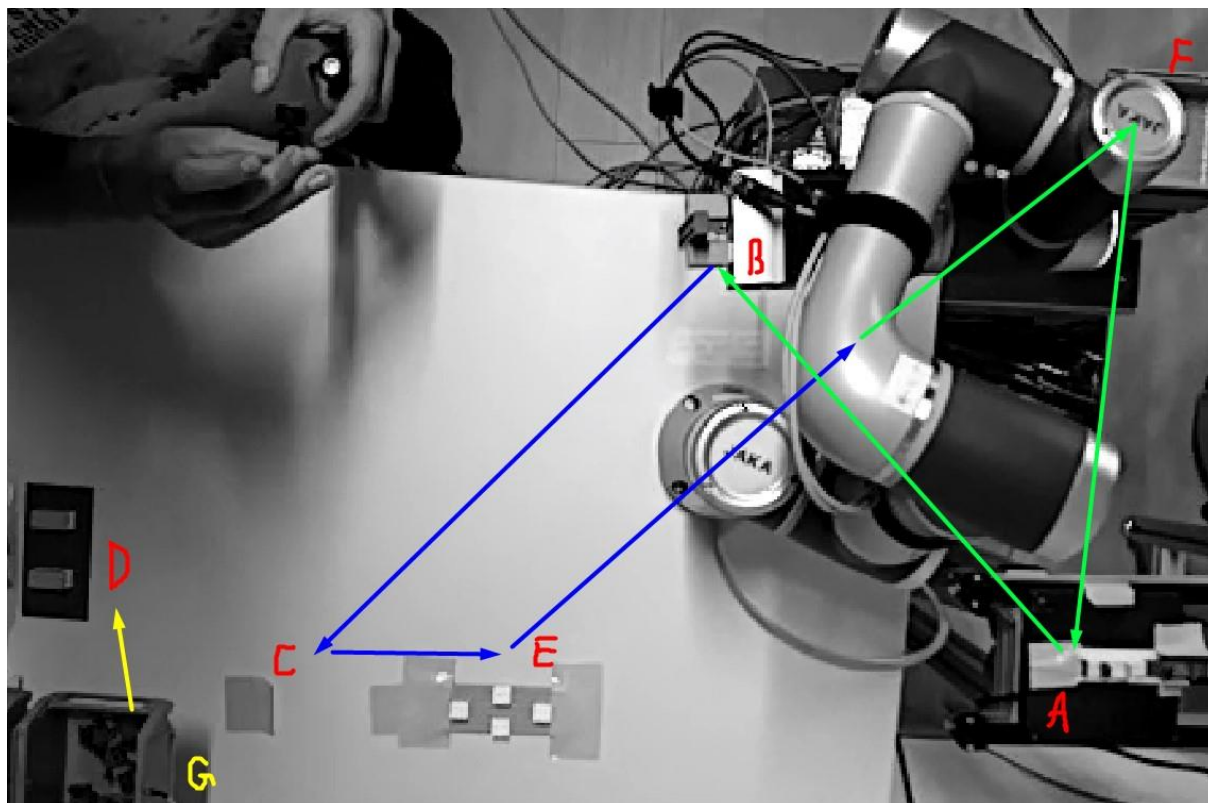


Slika 25. Prva brzina gibanja sustava





Slika 26. Druga brzina gibanja sustava



## Slika 27. Područja djelovanja prve i druge brzine

U tablicama i slikama koje slijede u ovome poglavlju:

A-B označava vrijeme trajanja procesa koje uključuje uzimanje baze proizvoda sa položaja A te njegovo okretanje i dolazak robotske ruke u položaj B.

B-C označava vrijeme potrebno za prvu fazu montaže + odlaganje proizvoda na položaj C.

C-D označava vrijeme potrebno operateru da uzme proizvod sa položaja C i dovede ga u položaj D na montažni stol + druga faza montaže

D-E označava vrijeme potrebno da operater ostavi sada sklopljeni proizvod na poziciju E

E-F označava vrijeme potrebno robotskoj ruci da odloži sklopljeni proizvod iz pozicije E u skladište gotovih proizvoda F te se vrati na početni položaj u A

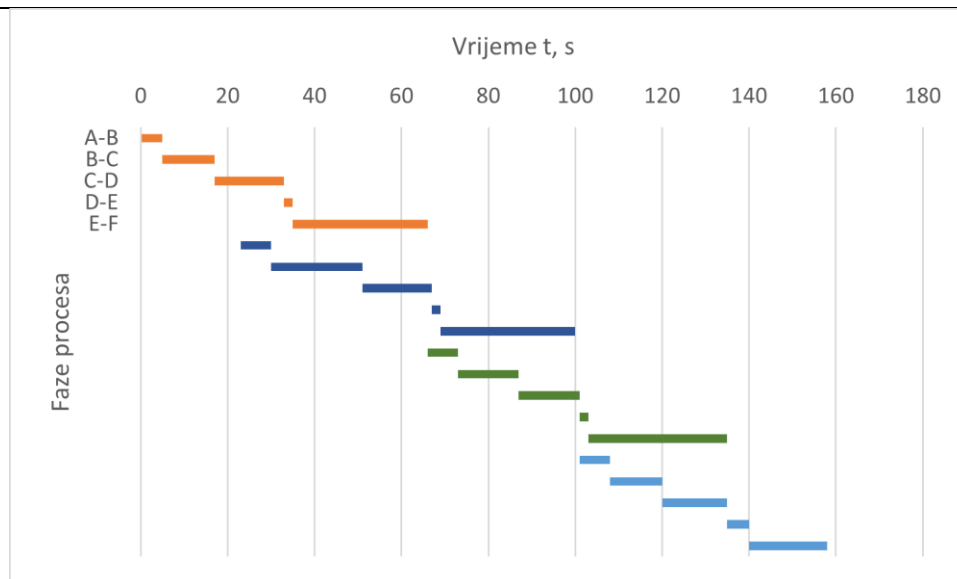
U gantogramima, na osi apscisa je prikazano vrijeme trajanja pojedine faze proizvodnoga procesa u sekundama, a na osi ordinata su prikazane pojedine faze procesa. Svakoj boji pridružen je proizvod iz serije po prikazanom redoslijedu.

### 5.2.1. Prva simulacija

Tablica 7. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u prvoj simulaciji

| 1. Simulacija                     |         |            |            |            |            |          |
|-----------------------------------|---------|------------|------------|------------|------------|----------|
|                                   |         | Proizvod 1 | Proizvod 2 | Proizvod 3 | Proizvod 4 | Prosjek: |
| Vodeće vrijeme $t$ (u sekundama): | A-B:    | 5 s        | 7 s        | 7 s        | 7 s        | 6,5 s    |
|                                   | B-C:    | 6 + 6 s    | 14 + 7 s   | 6 + 8 s    | 6 + 6 s    | 14,75 s  |
|                                   | C-D:    | 4 + 12 s   | 3 + 13 s   | 2 + 12 s   | 2 + 13 s   | 15,25 s  |
|                                   | D-E:    | 2 s        | 2 s        | 2 s        | 5 s        | 2,75 s   |
|                                   | E-F:    | 31 s       | 31 s       | 32 s       | 18 s       | 28 s     |
|                                   | Ukupno: | 66 s       | 77 s       | 69 s       | 57 s       | 67,25 s  |

Cjelokupno vrijeme prve simulacije za četiri proizvoda iznosilo je 161 sekundu.



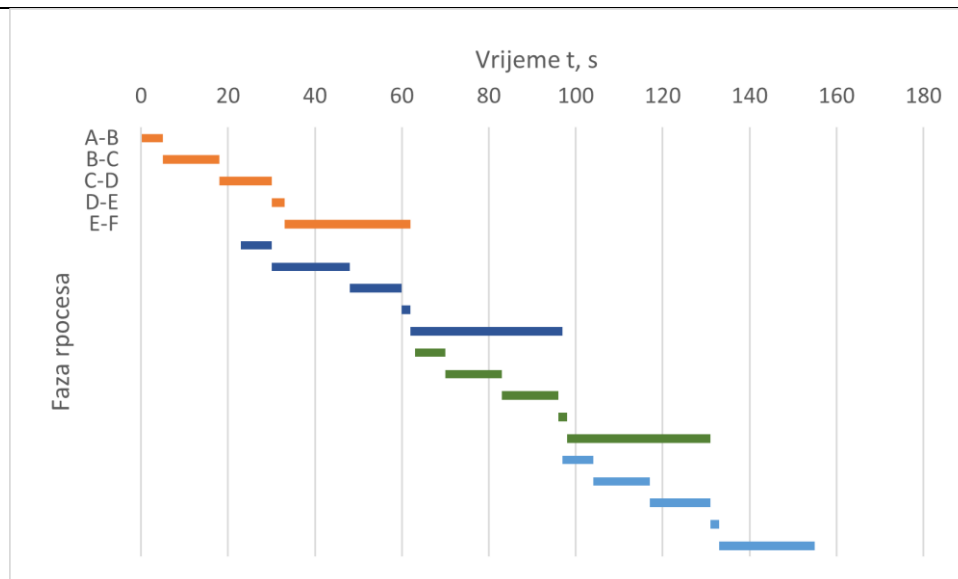
Slika 28. Gantogramski prikaz prve simulacije

### 5.2.2. Druga simulacija

Tablica 8. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u drugoj simulaciji

| 2. Simulacija                     |                            |            |            |            |            |          |
|-----------------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|----------|
|                                   |                            | Proizvod 1 | Proizvod 2 | Proizvod 3 | Proizvod 4 | Prosjek: |
| Vodeće vrijeme $t$ (u sekundama): | A-B:                       | 5 s        | 7 s        | 7 s        | 7 s        | 6,5 s    |
|                                   | B-C:                       | 7 + 6 s    | 11 + 7 s   | 5 + 8 s    | 6 + 7 s    | 14,25 s  |
|                                   | C-D:                       | 2 + 10 s   | 2 + 10 s   | 2 + 11 s   | 2 + 12 s   | 12,75 s  |
|                                   | D-E:                       | 3 s        | 2 s        | 2 s        | 2 s        | 2,25 s   |
|                                   | E-F:                       | 29 s       | 35 s       | 33 s       | 22 s       | 29,75 s  |
|                                   | Proizvodni proces(ukupno): | 62 s       | 74 s       | 68 s       | 58 s       | 65,5 s   |

Cjelokupno vrijeme druge simulacije za četiri proizvoda iznosilo je 155 sekundi.



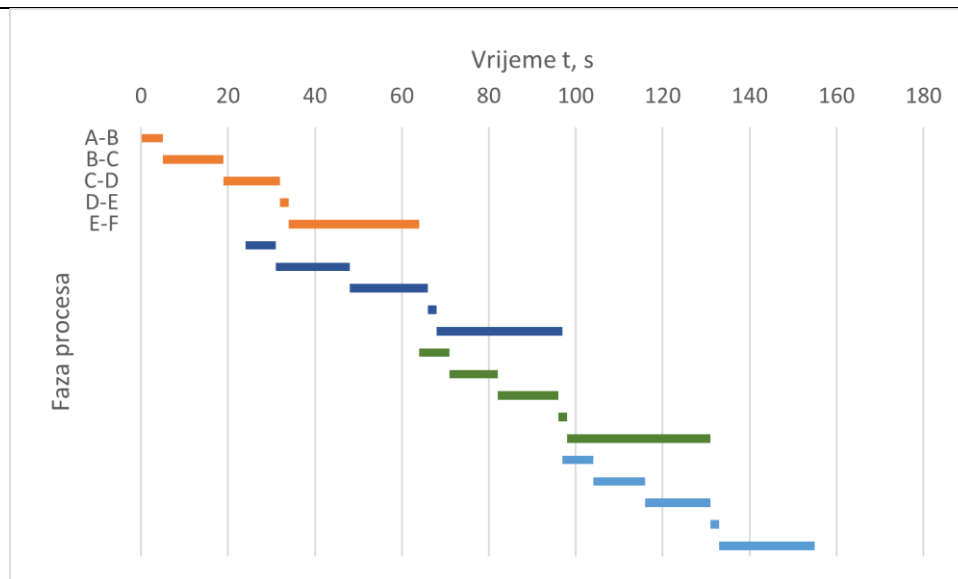
Slika 29. Gantogramski prikaz druge simulacije

### 5.2.3. Treća simulacija

Tablica 9. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u trećoj simulaciji

| 3. Simulacija                     |                            |            |            |            |            |          |
|-----------------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|----------|
|                                   |                            | Proizvod 1 | Proizvod 2 | Proizvod 3 | Proizvod 4 | Prosjek: |
| Vodeće vrijeme $t$ (u sekundama): | A-B:                       | 5 s        | 7 s        | 7 s        | 7 s        | 6,5 s    |
|                                   | B-C:                       | 8 + 6 s    | 11 + 6 s   | 4 + 7 s    | 6 + 6 s    | 13,5 s   |
|                                   | C-D:                       | 2 + 11 s   | 3 + 15 s   | 2 + 12 s   | 3 + 12 s   | 15 s     |
|                                   | D-E:                       | 2 s        | 2 s        | 2 s        | 2 s        | 2 s      |
|                                   | E-F:                       | 30 s       | 29 s       | 33 s       | 22 s       | 28,5 s   |
|                                   | Proizvodni proces(ukupno): | 64 s       | 73 s       | 67 s       | 58 s       | 65.5 s   |

Cjelokupno vrijeme treće simulacije za četiri proizvoda iznosilo je 156 sekundi.



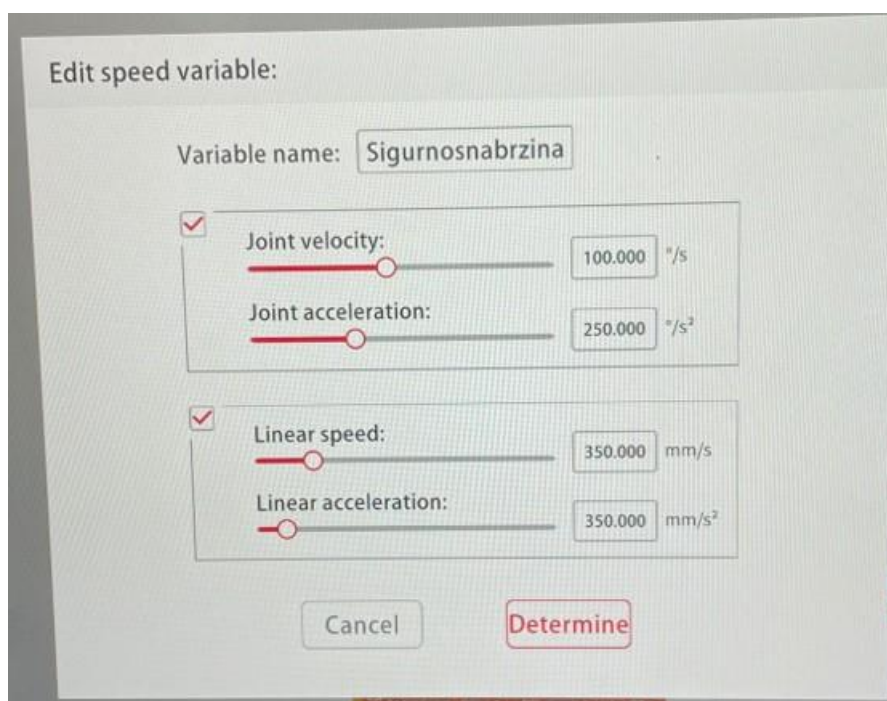
Slika 30. Gantogramski prikaz treće simulacije

Rezultati drugoga scenarija prikazani su u tablicama 7., 8. i 9. Analizom je utvrđeno da postoje veća odstupanja u određenim fazama proizvodnog procesa unutar simulacija. Do tih odstupanja dolazi u ovome scenariju upravo zbog toga što sada robot radi faze procesa više proizvoda istovremeno, što može dovesti do toga da operater čeka robota kako bi krenuo na sljedeću fazu procesa ili robot čeka operatera. To se najbolje vidi kada robot u položaju B čeka prvu fazu montaže te signal sa senzora, dok operater još radi na drugoj fazi montaže proizvoda iz prethodne serije. Kada se uzme prosječna vrijednost trajanja pojedinih faza procesa iz svake simulacije, njihovom usporedbom nema značajne razlike u rezultatima. Najveće odstupanje je 2,5 sekundi koje se pojavljuje u drugoj fazi montaže, a na to najviše utječe operater koji obavlja tu montažu te mu se zbog monotonosti ili nepažnje može dogoditi da mu bude potrebno više vremena za montirati komponente. Kada uzmemo u obzir sve tri simulacije, prosječno vrijeme trajanja proizvodnoga procesa za jedan proizvod iznosilo bi 66,08 sekundi.

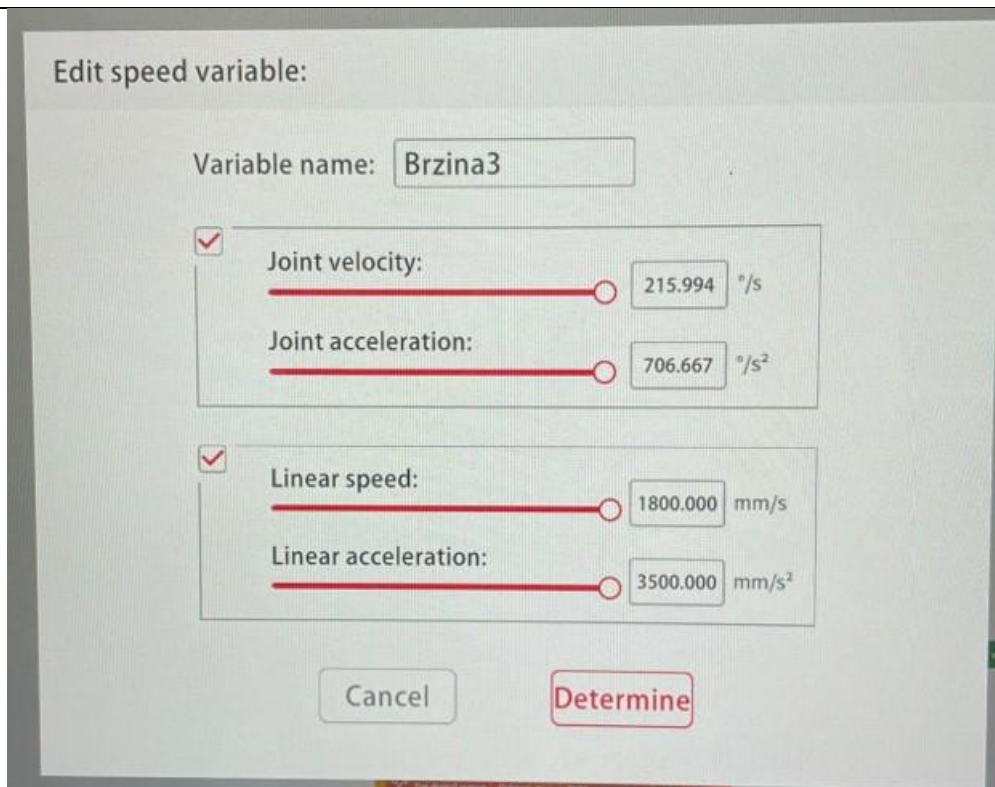
### 5.3. Operater + kobot u kombinaciji sa delay/odgodom u sekvenci programa

U trećem scenariju, proizvodni proces se odvija na identičan način kao proces u drugome scenariju. Glavna razlika je što je sada ulogu pause/play prekidača preuzela funkcija delay/odgode koja djeluje na način da, sada kada robotska ruka dovede bazu proizvoda na prvu montažu u položaj B, ona ne čeka signal sa senzora da krene u prema položaju C nego odgađa tu radnju na zadani vremenski period. U simulacijama je taj vremenski period malo povećan iz razloga da operater stigne odraditi prvu fazu montaže i sigurno se udaljiti od mjesta gdje će ruka prolaziti prema poziciji C pa je samim time i povećano vrijeme trajanja proizvodnoga

procesa. Redoslijed faza procesa je isti kako je prikazano i za drugi scenarij na slici 23. U ovome su scenariju također u aplikaciji programirane dvije brzine gibanja sustava. Prva brzina (slika 31.) je sada sigurnosna brzina koja je postavljena kada robotska ruka djeluje u prostoru radne stanice u čijem se krugu nalazi i operater. Ona je dosta manja od osnovne zadane brzine u aplikaciji koja je korištena u prethodnome scenariju. Tom brzinom se robotska ruka pomiče kada iz položaja B ide u položaj C, iz položaja C u položaj E te iz položaja E do položaja B (u povratku). Druga brzina (slika 32.) je sada maksimalna moguća brzina prilagođena potrebi sustava u svrhu ubrzanja gibanja sustava na dijelovima koji su bezopasni za rad operatera. Time se postiglo da je gibanje robotske ruke znatno brže pri prihvaćanju baze proizvoda iz položaja A i premještanja u položaj B, pri gibanju iz položaja B (u povratku) do odlaganja proizvoda u skladištu F te pri gibanju od skladišta F do početnoga položaja A. Djelovanje ovih brzina označeno je na slici 27., no ovome scenariju plava linija predstavlja sigurnosnu brzinu, a zelena linija maksimalnu brzinu.



Slika 31. Sigurnosna brzina gibanja sustava



Slika 32. Maksimalna brzina gibanja sustava

U tablicama i slikama koje slijede u ovome poglavlju:

- A-B označava vrijeme trajanja procesa koje uključuje uzimanje baze proizvoda sa položaja A te njegovo okretanje i dolazak robotske ruke u položaj B.
- B-C označava vrijeme potrebno za prvu fazu montaže + odlaganje proizvoda na položaj C.
- C-D označava vrijeme potrebno operateru da uzme proizvod sa položaja C i dovede ga u položaj D na montažni stol + druga faza montaže
- D-E označava vrijeme potrebno da operater ostavi sada sklopljeni proizvod na poziciju E
- E-F označava vrijeme potrebno robotskoj ruci da odloži sklopljeni proizvod iz pozicije E u skladište gotovih proizvoda F te se vrati na početni položaj u A

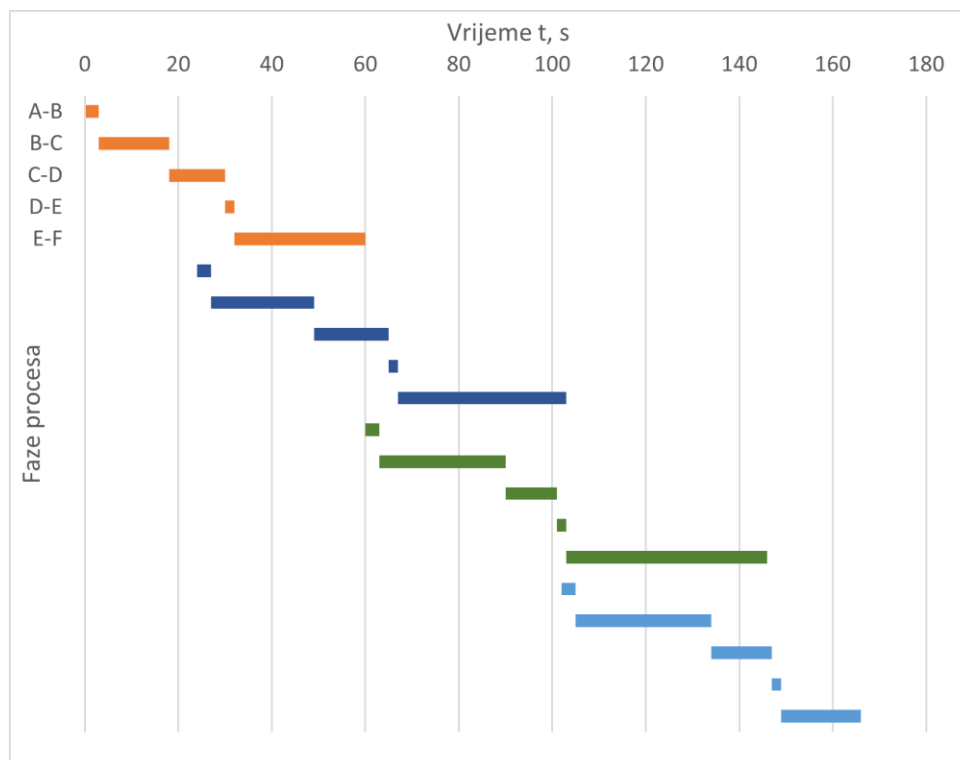
### 5.3.1. Prva simulacija

Tablica 10. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u prvoj simulaciji

| 1. Simulacija |      |            |            |            |            |          |
|---------------|------|------------|------------|------------|------------|----------|
|               |      | Proizvod 1 | Proizvod 2 | Proizvod 3 | Proizvod 4 | Prosjek: |
|               | A-B: | 3 s        | 3 s        | 3 s        | 3 s        | 3 s      |

|                                   |                            |          |          |          |          |         |
|-----------------------------------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|
| Vodeće vrijeme $t$ (u sekundama): | B-C:                       | 8 + 7 s  | 5 + 17 s | 5 + 22 s | 8 + 21 s | 23,25 s |
|                                   | C-D:                       | 2 + 10 s | 2 + 14 s | 2 + 9 s  | 2 + 11 s | 13 s    |
|                                   | D-E:                       | 2 s      | 2 s      | 2 s      | 2 s      | 2 s     |
|                                   | E-F:                       | 28 s     | 36 s     | 43 s     | 17 s     | 31 s    |
|                                   | Proizvodni proces(ukupno): | 60 s     | 79 s     | 86 s     | 64 s     | 72,25 s |

Cjelokupno vrijeme prve simulacije za četiri proizvoda iznosilo je 169 sekundi.



Slika 33. Gantogramski prikaz prve simulacije

### 5.3.2. Druga simulacija

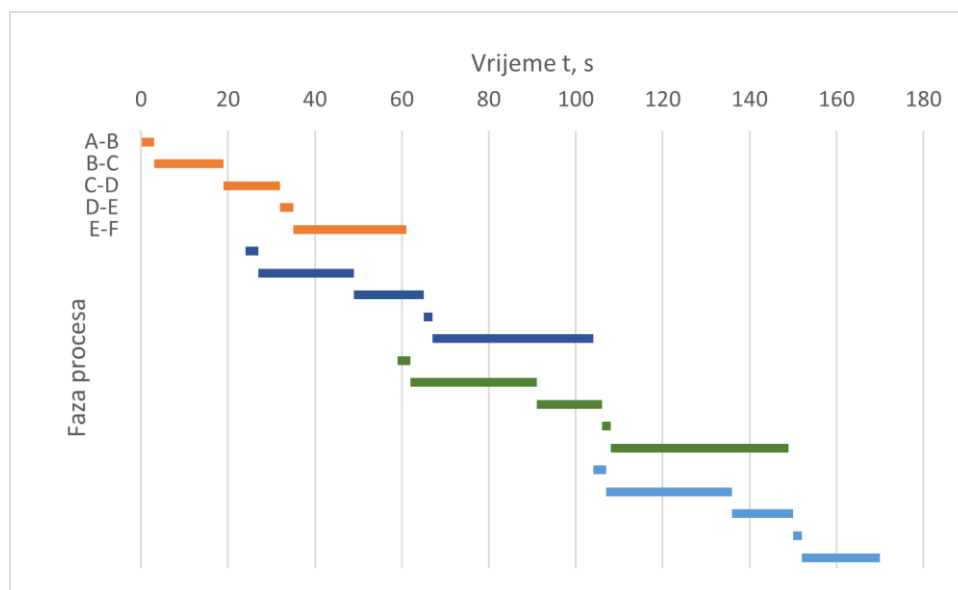
Tablica 11. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u drugoj simulaciji

| 2. Simulacija                     |      |            |            |            |            |           |
|-----------------------------------|------|------------|------------|------------|------------|-----------|
|                                   |      | Proizvod 1 | Proizvod 2 | Proizvod 3 | Proizvod 4 | Prosjeak: |
| Vodeće vrijeme $t$ (u sekundama): | A-B: | 3 s        | 3 s        | 3 s        | 3 s        | 3 s       |
|                                   | B-C: | 7 + 9 s    | 7 + 15 s   | 7 + 22 s   | 9 + 20 s   | 24 s      |
|                                   | C-D: | 2 + 11 s   | 2 + 14 s   | 2 + 13 s   | 2 + 12 s   | 14,5 s    |
|                                   | D-E: | 3 s        | 2 s        | 2 s        | 2 s        | 2,25 s    |
|                                   | E-F: | 26 s       | 37 s       | 41 s       | 18 s       | 30,5 s    |



|  |                            |      |      |      |      |         |
|--|----------------------------|------|------|------|------|---------|
|  | Proizvodni proces(ukupno): | 61 s | 80 S | 90 s | 66 s | 74,25 s |
|--|----------------------------|------|------|------|------|---------|

Cjelokupno vrijeme druge simulacije za četiri proizvoda iznosilo je 173 sekunde.



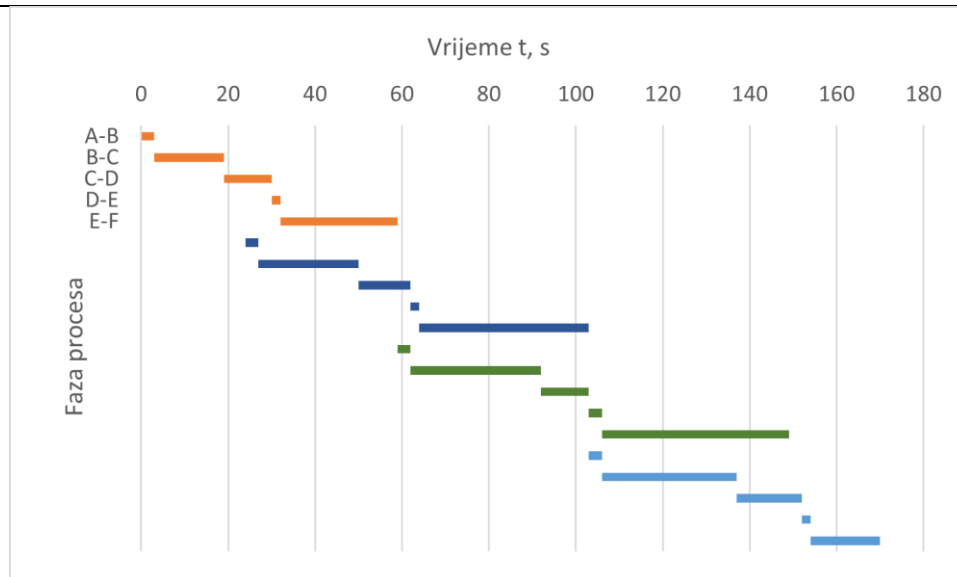
Slika 34. Gantogramski prikaz druge simulacije

### 5.3.3. Treća simulacija

Tablica 12. Vremenski tijek proizvodnoga procesa u trećoj simulaciji

| 3. Simulacija                     |                            |            |            |            |            |          |
|-----------------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|----------|
|                                   |                            | Proizvod 1 | Proizvod 2 | Proizvod 3 | Proizvod 4 | Prosjek: |
| Vodeće vrijeme $t$ (u sekundama): | A-B:                       | 3 s        | 3 s        | 3 s        | 3 s        | 3 s      |
|                                   | B-C:                       | 6 + 10 s   | 5 + 18 s   | 6 + 24 s   | 7 + 24 s   | 25 s     |
|                                   | C-D:                       | 2 + 9 s    | 2 + 10 s   | 2 + 9 s    | 2 + 13 s   | 12,25 s  |
|                                   | D-E:                       | 2 s        | 2 s        | 3 s        | 2 s        | 2,25 s   |
|                                   | E-F:                       | 27 s       | 39 s       | 43 s       | 16 s       | 31,25 s  |
|                                   | Proizvodni proces(ukupno): | 59 s       | 79 s       | 90 s       | 67 s       | 73,75 s  |

Cjelokupno vrijeme treće simulacije za četiri proizvoda iznosilo je 173 sekunde.



Slika 35. Gantogramski prikaz treće simulacije

Rezultati dobiveni testiranjem sustava u trećem scenariju prikazani su u tablicama 10., 11. i 12. Kao i u prethodnome scenariju, tu se pojavljuju odstupanja unutar simulacija između faza proizvodnoga procesa. Također je i u ovome slučaju jedan od razloga to što robot radi faze procesa za više proizvoda istovremeno, no najveći utjecaj imaju maksimalna i sigurnosna brzina u kombinaciji sa delay sekvencom u programu. To se vidi na početku samog procesa kada robotska ruka dio procesa A-B odradi vrlo brzo zbog maksimalne brzine, no u položaju B se aktivira odgoda procesa koja je, kako je već spomenuto, postavljena na malo duži vremenski period. Nadalje, nakon završetka prve faze montaže, robotska ruka vrlo sporo zbog sigurnosne brzine odlazi u poziciju C gdje ostavlja bazu proizvoda. Sve to automatski produljuje trajanje te faze, a i trajanje cijeloga proizvodnoga procesa. Kako u prethodnim slučajevima, tako i u ovome je prosječna vrijednost trajanja pojedinih faza procesa iz svake simulacije vrlo slična te njihovom usporedbom nema značajne razlike u rezultatima. Najveće odstupanje iznosi 2,25 sekunde u dijelu procesa C-D na koji dosta utječe kako će operater odraditi drugu fazu montaže. Kada se uzmu u obzir sve tri simulacije, prosječno vrijeme trajanja proizvodnoga procesa za jedan proizvod iznosilo bi 73,42 sekunde.

## 5.4. Usporedba scenarija

Za usporedbu scenarija korištene su oznake iz prethodnih poglavlja koje opisuju različite faze proizvodnoga procesa i biti će potrebne za razumijevanje tablice 13.

Oznake trajanja proizvodnoga procesa u prvome scenariju su:

- A-D označava vrijeme trajanja procesa koje uključuje uzimanje baze proizvoda sa položaja A te okretanje i stavljanje na montažni stol u položaju D.
- Prva faza montaže mjeri vrijeme postavljanja osovina sa gumama te okretanje proizvoda u početnu poziciju.
- Druga faza montaže označava trajanje postavljanja branika te prtljažnika.
- D-F označava vrijeme potrebno za odlaganje sklopljenoga proizvoda na montažnome stolu D sve do njegovog odlaganja u skladište gotovih proizvoda F

Oznake trajanja proizvodnoga procesa u prvom i drugom scenariju su:

- A-B označava vrijeme trajanja procesa koje uključuje uzimanje baze proizvoda sa položaja A te njegovo okretanje i dolazak robotske ruke u položaj B.
- B-C označava vrijeme potrebno za prvu fazu montaže + odlaganje proizvoda na položaj C.
- C-D označava vrijeme potrebno operateru da uzme proizvod sa položaja C i dovede ga u položaj D na montažni stol + druga faza montaže
- D-E označava vrijeme potrebno da operater ostavi sada sklopljeni proizvod na poziciju E
- E-F označava vrijeme potrebno robotskoj ruci da odloži sklopljeni proizvod iz pozicije E u skladište gotovih proizvoda F te se vrati na početni položaj u A

Tablica 13. Usporedba scenarija

| Prosječne vrijednosti trajanja proizvodnoga procesa jednog proizvoda |                     |         |         |         |         |
|--|---------------------|---------|---------|---------|---------|
| Scenarij:  |                     | 1.      |         | 2.      | 3.      |
| Vodeće vrijeme $t(u$ sekundama)::                                    | A-D:                | 4,58 s  | A-B:    | 6,5 s   | 3       |
|  | Prva faza montaže:  | 10,25 s | B-C:    | 14,17 s | 24,08 s |
|  | Druga faza montaže: | 18,42 s | C-D:    | 14,33 s | 13,25 s |
|  | D-F:                | 3,92 s  | D-E:    | 2,33 s  | 2,17 s  |
|  |                     |         | E-F:    | 28,75 s | 30,92 s |
| Ukupno:  | 37,17 s             |         | 66,08 s | 73,42 s |         |

Kako je prikazano u tablici 13., pri usporedbi scenarija će se koristiti prosječne vrijednosti trajanja proizvodnoga procesa za jedan proizvod. Tablica je podijeljena u dva dijela zbog različitih faza procesa u scenarijima. Prvi scenarij je rađen u potpunosti ručno bez sudjelovanja robota, stoga nije bilo potrebno provlačiti proizvod kroz sve položaje koji su neizostavni dio u drugome i trećemu scenariju gdje uz operatera u procesu proizvodnje sudjeluje i robot. Prvo će se usporediti drugi i treći scenarij jer su im faze procesa gotovo identične. Prosječno vrijeme faze A-B je dosta veće u drugome scenariju u odnosu na prvi. Razlog tome je to što je u trećem scenariju postavljena maksimalna brzina gibanja sustava koja je bitno veća od druge brzine drugog scenarija. Za B-C fazu potrebno je više vremena u trećem scenariju jer u tome dijelu djeluje sigurnosna brzina koja je dosta sporija u odnosu na prvu predefiniciranu brzinu drugog scenarija, no treba napomenuti da je glavni razlog vremenskog odstupanja i to što sekvenca s odgodom dosta produži proces u trećem scenariju, dok u drugome scenariju operater odmah može uzeti komponente proizvoda potrebne za sljedeću fazu montaže i time pokrenuti senzor. Vrijeme montaže osovina i guma približno je jednako u oba scenarija. Faza procesa C-D je približno jednaka jer ovisi isključivo o operateru koliko će brzo montirati branike i prtljažnik. Dio faze D-E također ovisi koliko će operateru biti potrebno da ostavi sklopljeni proizvod na položaj E. Faza E-F je približno jednaka što se tiče vraćanja gotovog proizvoda u skladište, no ta minimalna odstupanja nastaju zbog toga što u povratku robotske ruke u trećem scenariju osciliraju sigurnosna brzina i maksimalna brzina pa se povratak robotske ruke odvija malo brže u drugome scenariju. Prvi scenarij se razlikuje u odnosu na druga dva u nekoliko bitnih stvari. Prvo, operater iz položaja A premješta bazu proizvoda direktno na montažni stol u položaj D i time ne gubi vrijeme na premještanju proizvoda kroz različite položaje. Druga bitna razlika je u tome što operater na položaju D radi odmah prvu montažu i pri završetku samo okreće bazu proizvoda i radi drugu montažu. U druga dva scenarija prva faza montaže odvija u položaju B i tek kada robot dostavi bazu na položaj C, operater uzima bazu i premješta je u poziciju D gdje započinje drugu fazu montaže. Još jedna bitna stavka je to što operater u prvome scenariju nakon sklapanja proizvoda direktno sa montažnoga stola odlaže proizvod u skladište F i uzima sljedeći proizvod u seriji, dok se u druga dva scenarija nakon druge faze montaže vraća proizvod na poziciju E i čeka se na robota da preuzme gotovi proizvod i odloži ga u skladištu te nakon toga vrati u početni položaj po sljedeći proizvod. Rezultati pokazuju da je u prvome scenariju potrebno u prosjeku 37,17 sekundi od ulaza sustava A do izlaza F za sklapanje jednoga proizvoda. U drugome scenariju potrebno je 66,08 sekundi, dok su u trećem scenariju potrebne 73,42 sekunde. Vrijeme montaže u sva tri scenarija je približno jednako, no zbog različitog rasporeda procesa te različitih varijacija u aktivnostima procesa i njihovim brzinama, u druga dva scenarija potrebno je značajno više vremena u odnosu na prvi scenarij.

Integracija kobotu u proizvodni proces pokazala je da dosta toga ovisi kako o kompleksnosti proizvoda tako i o sposobnostima operatera koji surađuje sa robotom. U ovome radu sustav je testiran na prilagođenome modelu pametne tvornice te su prikazane različite varijacije proizvodnoga procesa u kojima se vidi kako se može uštediti na vremenu proizvodnje uz pomoć robota, a samim time povećati produktivnost i efikasnost procesa. Prvi scenarij, u kojemu se proces odvijao potpuno ručno, bio bi u stvarnome proizvodnom pogonu gotovo nemoguć jer bi dijelove proizvoda koji je jednostavan prikazane u ovome radu zamijenili neki masivniji dijelovi teži za manipulaciju koje operater ne bi mogao sam premještati i okretati bez pomoći robota. Također, operater ne bi mogao paralelno uzimati alate potrebne za izvršavanje procesa, kada bi operater sve to sam morao raditi, taktno vrijeme bi bilo veće nego što je prikazano u gantogramima ovome scenariju. Operater bi uložio previše fizičkog napora pa proces ne bi bio nikako isplativ. U ovome scenariju je operater najzauzetiji sa aktivnostima proizvodnog procesa jer on cijeli proizvodni proces sve sam manualno obavlja te radi montaže. U drugome i trećem scenariju operater je približno jednako zauzet aktivnostima proizvodnoga procesa, no u dosta manjoj mjeri u odnosu na prvi scenarij. U njima operater ručno radi montaže i premješta

---

proizvod na dvije pozicije (na što potroši vrlo malo vremena), ali ostale dijelove procesa provede čekajući robota da premješta proizvod između pozicija. Druga dva scenarija imaju već široku primjenu u pogonima različitih industrija i pokazuje se da suradnja čovjeka i robota uz već spomenute čimbenike, povećava kvalitetu proizvodnog procesa.

---

## 6. ZAKLJUČAK

Ovaj rad predstavlja sintezu ključnih saznanja, izazova i zaključaka koji su proizašli iz istraživanja i prakse u području automatizacije i robotike s posebnim naglaskom na poboljšanje efikasnosti, fleksibilnosti i produktivnosti proizvodnje. Jedan od ključnih aspekata ovoga rada je da integracija radne stanice s kobotom može znatno unaprijediti proizvodni proces. Koboti su dizajnirani da rade rame uz rame s ljudima, što omogućava veću fleksibilnost u proizvodnji. Kroz scenarije osmišljene za testiranje sustava pokazana je njihova sposobnost brze prilagodbe različitim zadacima što ih čini vrijednim resursom u modernoj proizvodnji. U prikazanim scenarijima treba uzeti u obzir da je proizvod za sklapanje bio automobil sastavljen od Lego kockica te da su neke stvari u modelu pametne tvornice bile improvizirane, što bi moglo dovesti do krivih zaključaka. No, u realnome pogonu sastavljanja strojeva poput automobila bi rad bez suradnje sa robotom bio nezamisliv. Isto tako, važno je napomenuti da integracija radne stanice sa kobotom nije bez izazova. Potrebno je pažljivo planiranje i projektiranje kako bi se osigurala sigurnost i optimalna funkcionalnost. Osim toga, potrebna je i obuka operatera kako bi se osiguralo pravilno korištenje robotske tehnologije.

U zaključku, integracija radne stanice s kobotom u postojeći proizvodni sustav predstavlja značajan korak prema modernizaciji i poboljšanju konkurentnosti tvrtke. Uz pravilan pristup, koboti mogu pružiti brojne prednosti, uključujući veću efikasnost, fleksibilnost i smanjenje troškova proizvodnje. Međutim, važno je istraživati i razumjeti specifične potrebe i zahtjeve svakog proizvodnog okruženja kako bi se postigao uspješan rezultat integracije. Integracija kobotske radne stanice u postojeći proizvodni sustav predstavlja ključnu komponentu transformacije proizvodnih procesa u eri automatizacije i digitalizacije.

---

**LITERATURA**

- [1] Weidemann C, Mandischer N, van Kerkom F, Corves B, Hüsing M, Kraus T, Garus C.: Literature Review on Recent Trends and Perspectives of Collaborative Robotics in Work 4.0, 2023., Dostupno na: <https://www.mdpi.com/2218-6581/12/3/84> ; Pristupljeno: 27. kolovoza 2023.
- [2] Shi, Z., Xie, Y., Xue, W., Chen, Y., Fu, L., & Xu, X.: Smart factory in Industry 4.0. Systems Research and Behavioral Science, 2020., Dostupno na: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sres.2704>, Pristupljeno: 27.kolovoza 2023.
- [3] B. S. K. K. Ibrahim: Collaborative Robots and Industrial Revolution 4.0 ,2020., Dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9080724> . Pristupljeno: 28,kolovoza 2023.
- [4] <https://www.jakarobotics.com/products/jaka-zu/zu-3/>, Pristupljeno:29.kolovoza 2023.
- [5] HongHong C.: Optimizing Belt Conveyor Manufacturing ,2010., Dostupno na: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24201/Chen\\_Honghong.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24201/Chen_Honghong.pdf?sequence=1&isAllowed=y) , Pristupljeno: 4.rujna 2023.
- [6] Del Rio Vilas D., Monteil N.R., Longo F.: A general framework for the manufacturing workstation design optimization: A combined ergonomic and operational approach, 2013., Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/258188142\\_A\\_general\\_framework\\_for\\_the\\_manufacturing\\_workstation\\_design\\_optimization\\_A\\_combined\\_ergonomic\\_and\\_operational\\_approach](https://www.researchgate.net/publication/258188142_A_general_framework_for_the_manufacturing_workstation_design_optimization_A_combined_ergonomic_and_operational_approach) ; Pristupljeno: 5. rujna 2023.
- [7] Ali, Imran & Phan, Huy.: Industry 4.0 technologies and sustainable warehousing: a systematic literature review and future research agenda., 2022., Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/358792695\\_Industry\\_40\\_technologies\\_and\\_sustainable\\_warehousing\\_a\\_systematic\\_literature\\_review\\_and\\_future\\_research\\_agenda/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/358792695_Industry_40_technologies_and_sustainable_warehousing_a_systematic_literature_review_and_future_research_agenda/citation/download) , Pristupljeno: 5. rujna 2023.