Osijek, 2023.

ELPROS
REGIONALNI CENTAR KOMPETENTNOSTI
ELEKTROTEHNIČKA I PROMETNA ŠKOLA OSIJEK

Mihael Buhin i Mario Kos

AUTOMATIZACIJA

Priručnik za polaznike

ESF UČINKOVITI LJUDSKI POTENCIJALI
EUROPSKI STRUKTURNI I INVESTICIJSKI FONDOVI

AUTOMATIZACIJA

Priručnik za polaznike

Algebra d.o.o.

Osijek, 2023.

Sadržaj publikacije isključiva je odgovornost RCK ELPROS.

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

IMPRESUM

Autori: **Mihael Buhin i Mario Kos**

Urednik i stručnjak za metodologiju izrade nastavnih materijala: **Karlo Josić**

Recenzent: **Krunoslav Grudiček**

Grafičko oblikovanje: **BARREK d.o.o.**

Lektorica: **Ivana Previšić**

Naslov: **Automatizacija** (priručnik za polaznike u programu obrazovanja za stjecanje djelomične kvalifikacije „Pomoćnik u izvedbi električnih instalacija“ – obrazovanje odraslih, razina 2 i 3 HKO)

Nakladnik i nositelj prava: **Elektrotehnička i prometna škola Osijek**

Odgovorna osoba: **ravnatelj Antun Kovačić, dipl. ing. el.**

Mjesto i godina izdanja: **Osijek, 2023.**

Za više informacija:
Elektrotehnička i prometna škola Osijek
Istarska 3
31000 Osijek
E-mail: ured@ss-elektrotehnicka-prometna-os.skole.hr

Regionalni centar kompetentnosti ELPROS

Osijek, 2023.

Elektrotehnička i prometna škola Osijek nositelj je isključivog prava iskorištavanja ovog autorskog djela za područje zemalja EU, vremenski i sadržajno neograničeno, a koje pravo osobito, ali ne isključivo, obuhvaća imovinska prava autora i to pravo reproduciranja (pravo umnožavanja), pravo distribucije (pravo stavljanja u promet), pravo priopćavanja autorskog djela javnosti uključujući i pravo objavljivanja na bilo kojem mediju i u bilo kojem formatu, kako onima koji su danas poznati, tako i onima koji će postati poznati pravo prerade. Pojedina imovinska autorska prava treća osoba može steći isključivo na temelju pisane suglasnosti Elektrotehničke i prometne škole Osijek.

Sadržaj:

1. PROJEKTIRANJE AUTOMATIZIRANOG SUSTAVA 5
   1.1. Analiza zahtjeva radnog zadatka 5
      1.1.1. Hijerarhija sustava automatizacije 6
      1.1.2. Zahtjevi 7
      1.1.3. Sustav SCADA 10
   1.2. Projektiranje sustava 11
      1.2.1. Vremenski dijagram 12
      1.2.2. Troškovnik 12
      1.2.3. Popis opreme 13
2. ODABIR ODGOVARAJUĆIH ELEMENATA I OPREME AUTOMATIZIRANOG SUSTAVA 15
   2.1. Upravljački elementi 15
   2.2. Senzorski elementi 18
      2.2.1. Senzor 19
      2.2.2. Mjerni pretvornici 20
   2.3. Izvršni elementi 20
3. PROGRAMIRANJE PLC-A ZA RAD AUTOMATIZIRANOG SUSTAVA 23
   3.1. Izvršavanje programa PLC-a 23
   3.2. Programski blokovi i jezici PLC-a 25
      3.2.1. Osnovne naredbe PLC programa 28
   3.3. Izrada PLC programa 29
4. DIJAGNOSTIKA GREŠAKA I PUŠTANJE U RAD AUTOMATIZIRANOG SUSTAVA 38
   4.1. Dijagnostika grešaka sustava automatizacije 38
   4.2. Puštanje u rad sustava automatizacije 40
5. POVEZIVANJE AUTOMATIZIRANOG SUSTAVA S APLIKACIJOM SCADA 43
6. UPRAVLJANJE ELEKTROMOTORNIM POGONIMA 47
   6.1. Pokretanje elektromotora 47
   6.2. Promjena smjera vrtnje elektromotora 48

6.3. Pokretanje motora zvijezda-trokut 49
6.4. Pokretanje motora pomoću mekog upuštača 50

7. PRETVARAČI 52
7.1. Parametriranje frekvencijskih pretvarača 53

8. POVEZIVANJE PLC-A I PRETVARAČA 57

9. UPRAVLJANJE MOTOROM POMOĆU PLC-A 60

10. PROGRAMIRANJE INDUSTRIJSKOG ROBOTA 69
10.1. Osnovni dijelovi industrijskog robota (manipulatora) 70
10.2. Učitavanje simulacijske ćelije 72

11. SIMULACIJA I DIJAGNOSTIKA RADA ROBOTA 75
11.1. Programiranje i simuliranje prihvata klina 83
11.2. Programiranje i simuliranje ispuštanja klina 86
11.3. Programiranje i dijagnostika robota ručnim kontrolerom (engl. Teach Pendant) 90

12. MONTAŽA AUTOMATIZIRANOG SUSTAVA S ROBOTOM 101

13. PUŠTANJE POGONA S ROBOTOM U RAD 106
13.1. Puštanje u rad simulacije pomoću ručnog kontrolera 106
13.2. Puštanje fizičkog robota u rad 109
13.3. Puštanje fizičkog robota u automatskom načinu rada 111

1. Projektiranje automatiziranog sustava

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- objasniti pojam automatizacija
- izraditi analizu zahtjeva radnog zadatka
- izraditi vremenski dijagram
- izraditi troškovnik sustava automatizacije
- izraditi popis elemenata sustava automatizacije.

Automatizacija predstavlja olakšanje čovjekova rada prenoseći rad na strojeve u želji da se poveća proizvodnja, smanje njezini troškovi i unaprijedi kvaliteta proizvoda. Razvoj automatizacije počeo je izumom kotača, a razvoj se nastavio izumom parnog stroja sve do izuma mikroupravljača i mikroprocesora.

Automatizacija se nalazi u raznim industrijama i pogonima, a neki su od njih:

- prehrambena industrija
- autoindustrija
- elektrane
- razna skladišta
- silosi
- naftna industrija
- brodogradnja, i druge.

1.1. Analiza zahtjeva radnog zadatka

Za uspješno projektiranje sustava automatizacije najprije je potrebna **analiza zahtjeva radnog zadatka**. Analiza zahtjeva radi se na temelju tehnološkog opisa procesa i ciljeva koje izrađuje investitor. Ona omogućava definiranje specifičnih potreba procesa

te ograničenja. Da bi analiza zahtjeva radnog zadatka bila što bolja, potrebno je uzeti u obzir sljedeće:

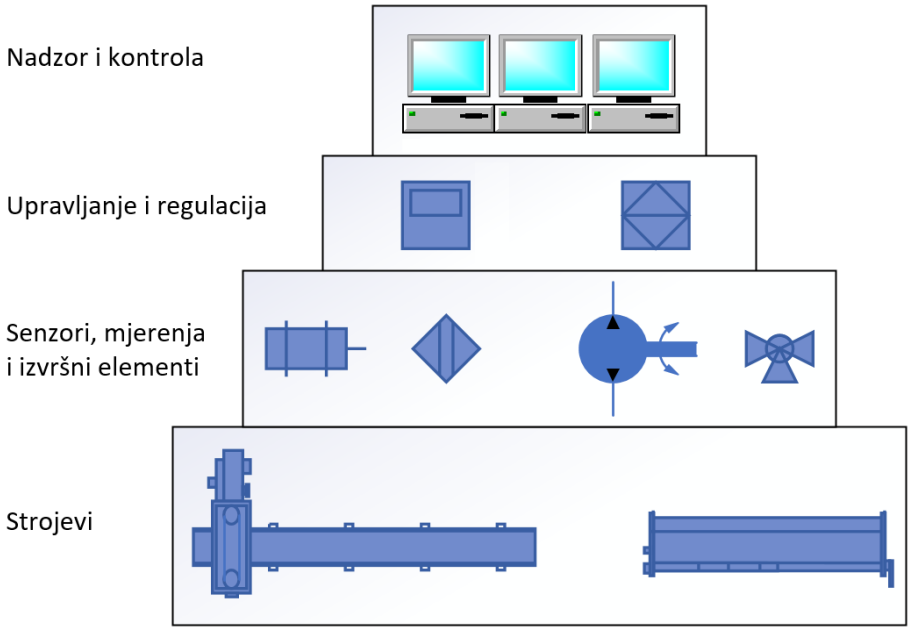
- ciljevi – odrediti ciljeve potrebne za ostvarivanje zadatka
- oprema i tehnologija – odabrati odgovarajuću opremu i tehnologiju za automatizaciju željenog procesa
- osoblje – odrediti ulogu osoblja u radnom procesu
- vrijeme (rokovi) – definirati vremenski okvir potreban za provođenje radnog zadatka
- sigurnost – definirati zahtjeve za sigurnost osoba i opreme u radnom procesu
- troškovnik – definirati proračun za sustav automatizacije.

1.1.1. Hijerarhija sustava automatizacije

Za realizaciju zadanih ciljeva radnog zadatka potrebno je definirati **hijerarhiju sustava automatizacije**. Hijerarhija sustava automatizacije obuhvaća sve zadaće od razine strojeva i tehnoloških procesa do sustava za nadzor, kontrolu i prikupljanje podataka (engl. *Supervisory Control and Data Acquisition* – SCADA) (Grudiček, 2023., str.3.).

Hijerarhija zahtjeva radnog zadatka odnosi se na:

- sustav za nadzor, kontrolu i prikupljanje podataka
- upravljačke sustave
- senzorske i aktuatorske sustave.



Slika 1.1.1. Hijerarhija sustava automatizacije (rad autora)

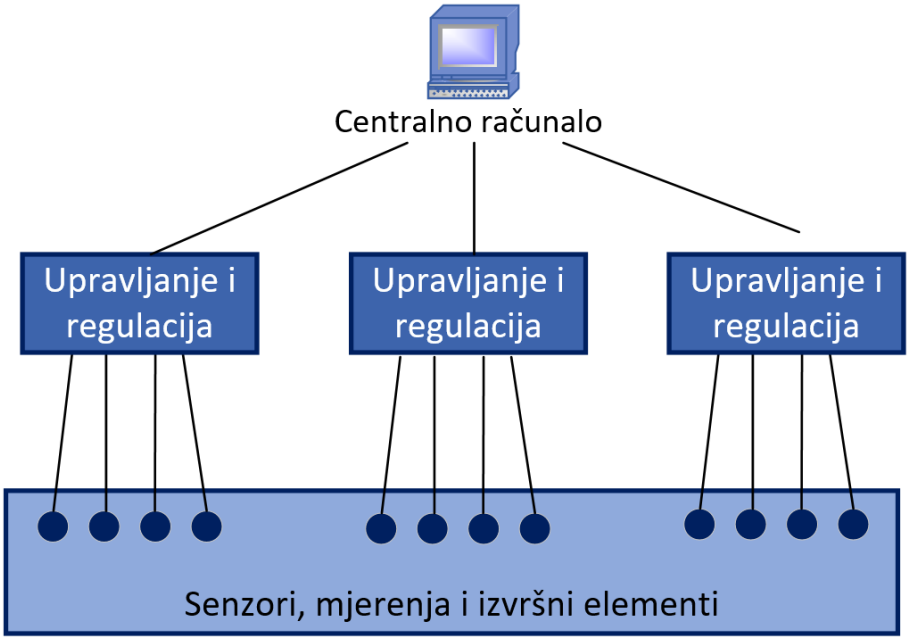
1.1.2. Zahtjevi

Ovisno o tehnologiji proizvodnje, definiraju se zahtjevi za upravljanje i regulaciju procesa. U tu se svrhu koristi programirljivim logičkim upravljačima (engl. *Programmable Logic Controller* – PLC). PLC je industrijsko računalo koje služi za upravljanje i regulaciju industrijskih procesa. Ovisno o zahtjevima sustava, odabire se veličina PLC-a te broj i vrsta potrebnih ulaza i izlaza.

Potrebno je definirati i zahtjeve za mjerne i izvršne elemente procesa da bi se dobila željena mjerenja i djelovanja u procesu. Tipovi i vrste mjernih i izvršnih uređaja definiraju se prema procesnim veličinama proizvodnog procesa.

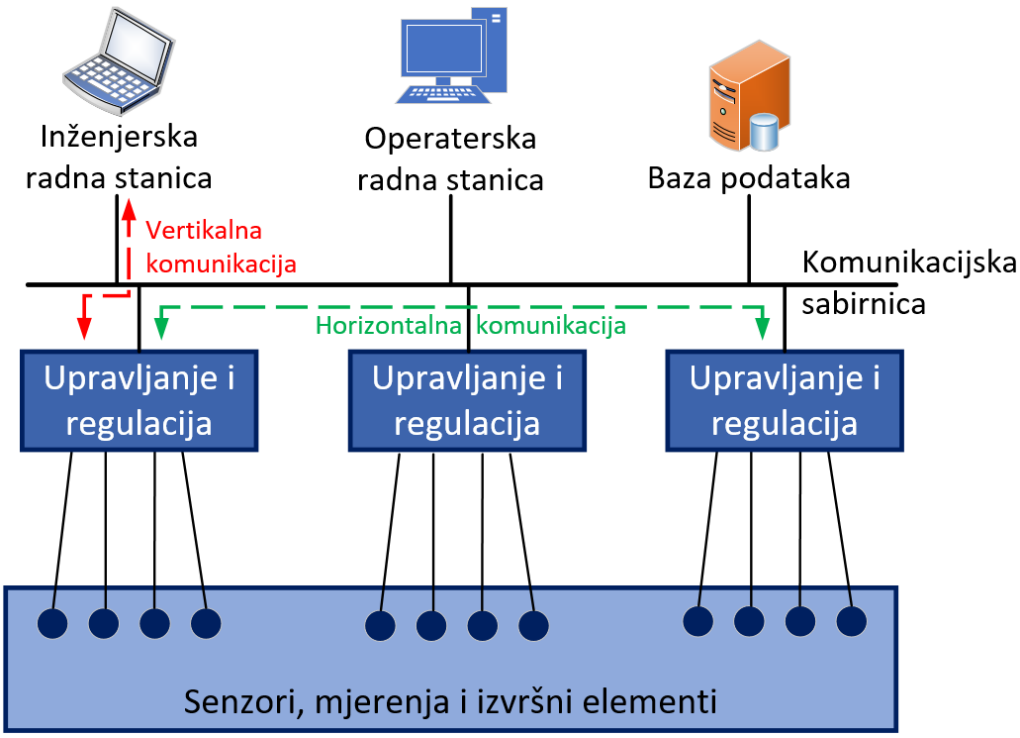
Osim navedenih zahtjeva, potrebno je odrediti i strukturu sustava automatizacije. Postoje dvije strukture, a to su **centralna** i **decentralna struktura**.

Centralna struktura sustava automatizacije koristi se kada se proces može promatrati kao jedna cjelina. U takvoj strukturi jedno računalo obrađuje podatke potrebne za automatizaciju procesa te kontrolira rad PLC-ova. PLC-ovi međusobno komuniciraju posredstvom jednoga centralnog računala.



Slika 1.1.2.1. Centralna struktura (rad autora)

Decentralna struktura koristi se u sustavima automatizacije u kojima se proces dijeli na više potprocesa. U takvoj strukturi koristi se više računala koja paralelno obavljaju različite funkcije automatizacije. Svi PLC-ovi u toj strukturi komuniciraju izravno posredstvom komunikacijske sabirnice.



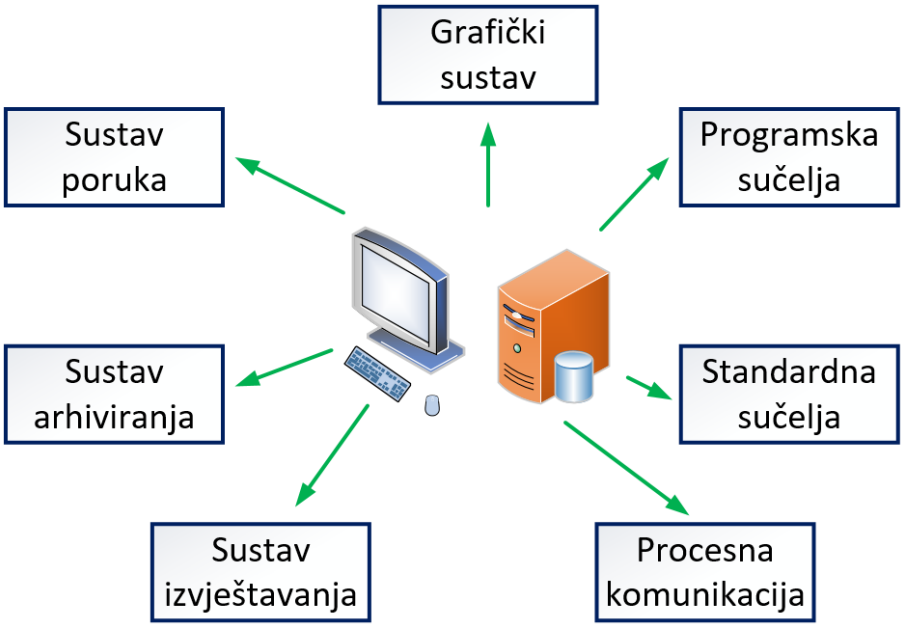
Slika 1.1.2.2. Decentralna struktura (rad autora)

1.1.3. Sustav SCADA

SCADA se sastoji od više podsustava, a služi za nadzor, kontrolu i prikupljanje podataka. Definiranjem zahtjeva ovome sustavu određuje se koji podsustavi trebaju biti uključeni radi realizacije zadanoga radnog zadatka.

SCADA podsustavi jesu:

- grafički sustav – vizualizacija sustava
- sustav poruka – prikaz poruka i alarma sustava
- sustav arhiviranja – pohrana podataka i poruka sustava
- sustav izvještavanja – kreiranje izvještaja o radu sustava
- procesna komunikacija – procesna sučelja za veze prema različitim PLC-ovima
- standardna sučelja – sučelja za povezivanje s PLC-ovima za koje nema definirana procesna sučelja
- programska sučelja – softverska sučelja prema drugim programskim alatima s kojima se razmjenjuju podatci.



Slika 1.1.3. Dijelovi sustava SCADA (rad autora)

1.2. Projektiranje sustava

Projektiranje sustava automatizacije podrazumijeva izradu potrebne dokumentacije da bi se omogućila realizacija radnog zadatka automatizacije. Dokumentacija sadrži nekoliko faza razvoja sustava automatizacije, a to su:

- projektiranje
- montaža
- programiranje i podešavanje
- puštanje u rad
- održavanje.

U projektiranju sustava automatizacije potrebno je izraditi više vrsta dokumentacije. Dokumentacije koje se izrađuju:

- dokumentacija za nabavu
- dokumentacija za izvođenje
- dokumentacija za rad i održavanje.

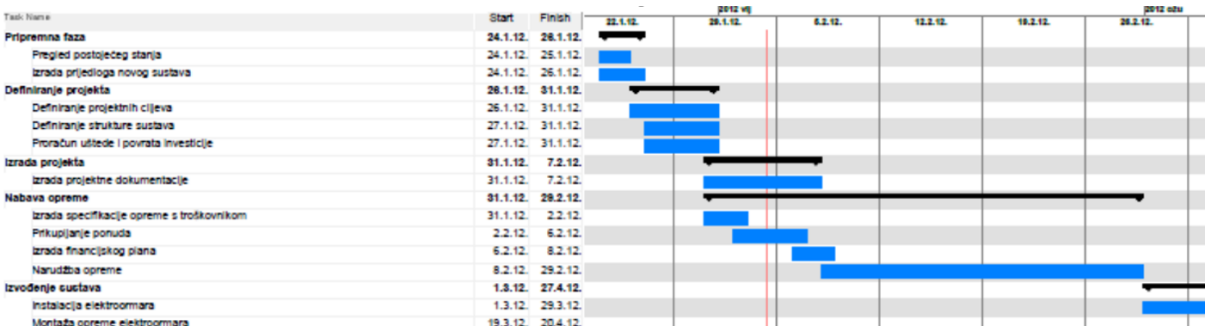
Dokumentacija za nabavu sastoji se od nekoliko dijelova:

- tehnički opis procesa
- specifikacija zahtjeva za hardver i softver
- specifikacija za nabavu (opis elemenata nabave, opseg poslova, dokazi o podrijetlu elemenata, garancije, …).

Dokumentacija za izvođenje izrađuje se prema dokumentaciji za nabavu. Najprije se definira specifikacija sustava automatizacije, u prvom redu njegova funkcionalnost prema tehnološkom opisu procesa. Izrađuje se strojarska dokumentacija i elektrodokumentacija, koje sadrže nacrte strojarskih dijelova, te sheme elektroormara i ostalih električnih elemenata sustava automatizacije. Aplikacijski program dokumentiran je u ispisu programa PLC-ova. Plan testiranja sadrži dokumentaciju potrebnu za testiranje sustava tijekom izrade te kasnije, puštanja u pogon.
Dokumentacija za rad i održavanje izrađuje se na kraju projektiranja sustava te sadrži upute za rad i održavanja sustava automatizacije.

1.2.1. Vremenski dijagram

Vremenski dijagram ili gantogram izrađuje se na početku projekta da bi se definirale sve faze rada tijekom projekta te rokovi unutar kojih pojedina faza mora biti izvršena s ciljem osiguranja pravilne i pravovremene izvedbe projekta. Faze rada moraju biti precizno definirane i organizirane te se određuju osobe zadužene za pojedini zadatak. Na taj način svatko u timu zna što i u kojem roku treba odraditi. Određene faze rada mogu se odvijati paralelno, a neke moraju završiti prije nego se počinje sa sljedećom fazom. Vremenski plan rada bitan je svim sudionicima u projektu jer omogućava praćenje napretka u realizaciji projekta (Grudiček, 2023. str.16).



Slika 1.2.1. Vremenski dijagram (snimka zaslona MS Project)

1.2.2. Troškovnik

Nakon analize zahtjeva radnog zadatka sustava izrađuje se troškovnik koji ulazi u ponudu za izvedbu projekta. Troškovnik sadrži:

- analizu sustava
- izradu dokumentacije
- izradu aplikacijskog programa
- testiranje
- puštanje u pogon
- izradu uputa za rad i održavanje
- edukaciju operatera

- troškove putovanja i smještaja
- ostale troškove.

Na slici je prikazan primjer troškovnika za automatizaciju jednog procesa.

SUBJECT: Automatizacija postrojenja

AUTOMATION ENGINEERING:

Requirement Specification	**Hours**	**Price per hour**	**Price**
Analiza stanja	y	xxx eur	zzzz eur
Izrada elektrodokumentacije	y	xxx eur	zzzz eur
Izrada idejnog rješenja upravljanja - FDS	y	xxx eur	zzzz eur
		Subtotal (1):	**zzzz eur**
Software Engineering OS (vizualizacija - panel)	**Hours**	**Price per hour**	**Price**
Kreiranje HMI simbola i slika za upravljanje i vizualizaciju procesa	y	xxx eur	zzzz eur
Izrada alarma , korisnika i spremanja podataka	y	xxx eur	zzzz eur
		Subtotal (2):	**zzzz eur**
Software Engineering AS (PLC)	**Hours**	**Price per hour**	**Price**
Izrada PLC programa postrojenja	y	xxx eur	zzzz eur
		Subtotal (3):	**zzzz eur**
Plant Engineering:	**Hours**	**Price per hour**	**Price**
Factory Acceptance Test (FAT)	y	xxx eur	zzzz eur
Commissioning (Puštanje u rad)	y	xxx eur	zzzz eur
Site Acceptance Test (SAT)	y	xxx eur	zzzz eur
		Subtotal (4):	**zzzz eur**
Education for Operators and Programmers:	**Hours**	**Price per hour**	**Price**
Faza 1 - Prvi dio projekta	y	xxx eur	zzzz eur
Faza 2 - Drugi dio projekta	y	xxx eur	zzzz eur
Faza 3 - Treći dio projekta	y	xxx eur	zzzz eur
Završna edukacija	y	xxx eur	zzzz eur
		Subtotal (5):	**zzzz eur**
Troškovi putovanja, dnevnice za teren			**Price**
Dnevnica y dana (y · xxx eur)			zzzz eur
Vožnja _____ - _____ (y puta) - y · zz km = ___ km (x eur/km)			zzzz eur
		Subtotal (6):	**zzzz eur**
		Total bez PDV-a:	**qqqqq eur**
		Total sa PDV-om:	**qqqqq eur**

Slika 1.2.2.. Troškovnik (snimka zaslona MS Excel)

Nakon prihvaćanje ponude (investitor), prema izrađenom troškovniku započinje izrada tehničke dokumentacije sustava automatizacije.

1.2.3. Popis opreme

Prema funkcionalnom opisu izrađuje se popis elemenata potrebnih za realizaciju sustava. Popis sadrži nazive elemenata, oznake i lokacije u sustavu, količine, funkcije koje obavljaju te serijske brojeve na temelju kojih se naručuju elementi od dobavljača. Na temelju popisa opreme i funkcionalnog opisa sustava izrađuje se elektrodokumentacija.

OPIS	PROIZVOĐAČ / DOBAVLJAĆ	NARUDŽBENA OZNAKA	KATALOG	KOLIČINA	REF.
Glavna i sigurnosna sklopka 3p 175A; 400V	TELEMECANIQUE	VCF 6	Katalog 2005	1,00	2Q1
Neutralni pol glavne sklopke VCF6	TELEMECANIQUE	VZ 13	Katalog 2005	1,00	2Q1
Osigurač s rastavljačem_podnožje za nožaste rastalne uloške veličine 000 ili 00 C; do 160A	SIEMENS	3NP3530-0CH00	Shutz-und Schaltgeraete N System; 1996	1,00	3F1
Rastalni uložak_nožasti gL/gG veličine 00; 125A; 500V AC/440V DC	SIEMENS	3NA7832	Shutz-und Schaltgeraete N System; 1996	3,00	3F1
Zvjezda-trokut motorski pokretač 55kW; 400V; max. vrijeme uklopa 30s; upravljanje 220VAC	TELEMECANIQUE	LC3-D50M7	Katalog 2005	1,00	18D1
Termički relej 90...150A; 1NO+1NC;	TELEMECANIQUE	LR9-F5369	Katalog 2005	1,00	3Q1
Termomagnetski motorski prekidač 3kW; 6-10A;	TELEMECANIQUE	GV2-ME14	Katalog 2005	1,00	4Q1
Pomočni kontakti termomagnetskog motorskog prekidača; 1NO+1NC;	TELEMECANIQUE	GV-AE11	Katalog 2005	1,00	4Q1
RC Motorska zaštita za 3-f motore do 4kW; 3x400VAC; RC 3 BU	MURRELEKTRONIK	23050	MURELEKTRONIK; 1998	1,00	4Z1
Prenaponska zaštita za el.mag. ventileVBS; 230VAC	MURRELEKTRONIK	VBS	MURELEKTRONIK; 1998	4,00	19V1,19V2,19V 3,19V4
Osigurač automatski-D 2p 400VAC/4A	SIEMENS	5SX2 204-8	Shutz-und Schaltgeraete N System; 1996	2,00	5F1
Osigurač automatski-C 400VAC/4A	SIEMENS	5SX2 104-7	Shutz-und Schaltgeraete N System; 1996	1,00	5F2
Termomagnetski prekidač za zaštitu upravljačkih krugova Ith=5A	TELEMECANIQUE	GB2-CD08	Katalog 2005	1,00	5F3
Transformator 500VA; 400/230V; 50Hz	SIEMENS	4AM4842-5AT10-0FA0	CA 01; 10/2005	1,00	5T1
Napojna jedinica; 230VAC/24VDC;5A	SIEMENS	6ES7307-1EA00-0AA0	CA 01; 10/2005	1,00	5G1
Tipka NUŽNI_STOP fi40 crvena; 1NC+1NO;	TELEMECANIQUE	XB4-BS8445	Katalog 2005	2,00	6S3,6S1
Tipka svijetleća-ZELENA, 24VDC; 1NO+1NC; komplet sa LED; fi22	TELEMECANIQUE	XB4-BW33B5	Katalog 2005	1,00	6S2/6H1
Sigurnosni modul za nadzor nužnog isklopa 3NO 24VDC	TELEMECANIQUE	XPSAC5121P	Katalog 2005	1,00	6A1

Slika 1.2.3 Popis opreme (snimka zaslona MS Word)

PITANJA ZA PONAVLJANJE:

1. Objasni pojam automatizacija.
2. Objasni hijerarhiju sustava automatizacije.
3. Objasni centralnu i decentralnu strukturu sustava automatizacije.
4. Objasni čemu služi sustav SCADA.
5. Navedi dokumentaciju sustava automatizacije.
6. Opiši vremenski dijagram.
7. Opiši troškovnik.
8. Opiši popis opreme.

2. Odabir odgovarajućih elemenata i opreme automatiziranog sustava

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- odabrati odgovarajući upravljački uređaj prema zahtjevima radnog zadatka
- odabrati odgovarajuće senzorske elemente sustava automatizacije
- odabrati odgovarajuće izvršne elemente sustava automatizacije.

Odabir odgovarajućih elemenata i opreme automatiziranog sustava podrazumijeva detaljnu specifikaciju zahtjeva na hardver i softver sustava automatizacije. Za detaljnu specifikaciju elemenata potrebno je dobro poznavati tehnološki proces koji se automatizira. Analizom zahtjeva radnog zadatka definiraju se upravljački, senzorski i izvršni elementi sustava automatizacije.

2.1. Upravljački elementi

Upravljački elementi služe za upravljanje i regulaciju procesnih veličina, a u tu se svrhu koriste programirljivi logički upravljači (PLC).
Prema definiranim zahtjevima radnog zadatka može se odrediti vrsta i broj senzorskih i izvršnih elemenata sustava. Senzorski se elementi spajaju na ulaze PLC-a, a izvršni na izlaze PLC-a. Senzorski i izvršni elementi određuju sljedeće zahtjeve za upravljačke elemente:

- broj i vrstu digitalnih ulaza (24V DC ili 230V AC ulazi)
- broj i vrstu digitalnih izlaza (tranzistorski ili relejni izlazi)
- broj i vrstu analognih ulaza (strujni ulazi 4 do 20 mA ili naponski -10 do 10 V)
- broj i vrstu analognih izlaza (strujni ulazi 0 do 20 mA ili naponski 0 do 10 V)
- broj i vrstu specijaliziranih ulaza (brzi ulazi)
- broj i vrstu specijaliziranih izlaza (impulsni izlazi).

Tehnologija procesa koji je potrebno automatizirati određuje sljedeće zahtjeve za upravljačke elemente:

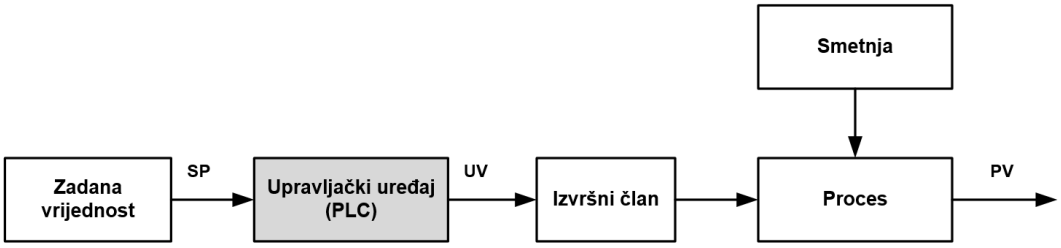
- broj i vrstu upravljačkih krugova (diskretno ili kontinuirano upravljanje)
- broj i vrstu regulacijskih krugova (ON/OFF, PID regulacija)
- vremenske i ostale funkcije (tajmeri, brojači)
- načini rada sustava (ručni i automatski).

Hijerarhija sustava koji je potrebno automatizirati određuje sljedeće zahtjeve za upravljačke elemente:

- broj i vrstu komunikacijskih priključaka (profinet, profibus)
- potrebe ugrađene dijagnostike (dijagnostika grešaka PLC sustava).

PLC na procesne veličine, kao što su temperatura, tlak i slično, može djelovati u otvorenom i zatvorenom krugu.
U otvorenom je krugu **upravljanje**. Zadavanjem željene vrijednosti procesne veličine i upravljačkim algoritmom djeluje se na samu procesnu veličinu. Hoće li procesna veličina postići zadanu vrijednost, ovisi o upravljačkom algoritmu i smetnji koja djeluje na sustav, pa se u većini slučajeva ne može postići zadana vrijednost. Otvoreni se krug koristi u slučajevima kada nije potrebna regulacija. Dijelovi su otvorenoga kruga:

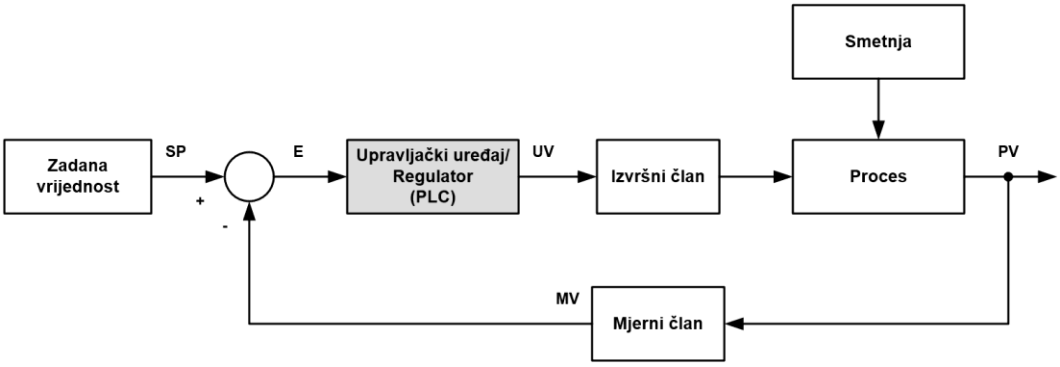
- zadana vrijednost (SP) – veličina koju zadaje operater i na koju se želi postaviti procesna veličina (PV)
- upravljački uređaj – prema zadanoj vrijednosti (SP) i upravljačkom algoritmu daje upravljački signal (UV) izvršnom elementu
- izvršni element – prema upravljačkoj veličini (UV) daje energetski signal procesu u svrhu promjene procesne veličine (PV)
- proces – sustav kojim se upravlja u svrhu promjene procesne veličine (PV) na zadanu vrijednost (SP)
- smetnja – vanjska ili unutarnja veličina koja utječe na promjenu procesne veličine (PV).



Slika 2.1.1. Otvoreni krug (rad autora)

U zatvorenom je krugu **regulacija**. U takvom se krugu može postići da procesna veličina bude jednaka zadanoj vrijednosti ili da se mijenja vrlo malo pod utjecajem smetnji. To se postiže povratnom vezom posredstvom mjernog člana te na taj način regulator ima informaciju o odnosu zadane i stvarne veličine. Dijelovi zatvorenog kruga su:

- zadana vrijednost (SP) – veličina koju zadaje operater i na koju se želi postaviti procesna veličina (PV)
- regulacijsko odstupanje (E) – razlika zadane (SP) i mjerene procesne veličine (MV)
- upravljački uređaj – prema regulacijskom odstupanju (E) i upravljačkom algoritmu daje upravljački signal (UV) izvršnom elementu
- izvršni element – prema upravljačkoj veličini (UV) daje energetski signal procesu u svrhu promjene procesne veličine (PV)
- proces – sustav kojim se upravlja u svrhu promjene procesne veličine (PV) na zadanu vrijednost (SP)
- smetnja – vanjska ili unutarnja veličina koja utječe na promjenu procesne veličine (PV)
- mjerni član – mjerni pretvornik koji mjeri iznos procesne veličine (PV) i daje mjerenu procesnu veličinu (MV).



Slika 2.1.2. Zatvoreni krug (rad autora)

Upravljački elementi imaju mogućnost **diskretne** ili **kontinuirane** regulacije, a u tu se svrhu koriste regulatori ON/OFF, PI ili PID. Kakva će se regulacija koristiti u kojem sustavu automatizacije, ovisi o tehnološkom procesu sustava.

Prema svim navedenim zahtjevima na upravljačke elemente, za realizaciju zadanoga radnog zadatka potrebno je odabrati onaj koji će zadovoljavati sve zahtjeve. Upravljački element (PLC) odabire se iz jedne od četiriju skupina:

- nano (do 15 ulaza/izlaza)
- mikro (do 128 ulaza/izlaza)
- srednji (do 512 ulaza/izlaza)
- veliki (iznad 512 ulaza/izlaza).

Osim što je razlika u broju ulaza i izlaza, svaka se skupina razlikuje i u vrstama regulacije, komunikaciji i ostalim funkcijama, pa je prilikom odabira potrebno i dobro definirati zahtjeve da bi se mogao odabrati ispravan upravljački element.

2.2. Senzorski elementi

Senzorski elementi spajaju se na ulaze upravljačkog elementa. Prema definiranim zahtjevima i odabranom upravljačkom elementu odabire se **senzor** ili **mjerni pretvornik**.

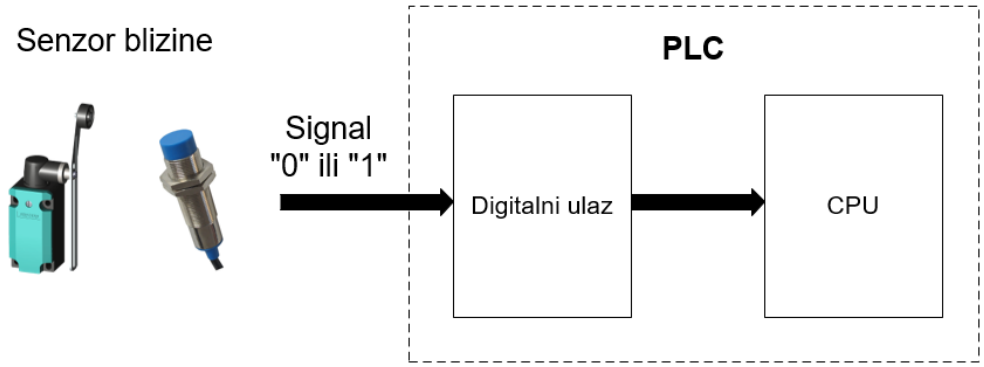
2.2.1. Senzor

Senzor ili osjetnik element je koji detektira određenu procesnu veličinu te daje električni signal upravljačkom elementu. Prema potrebnoj vrsti detekcije senzori se mogu podijeliti na:

- senzore blizine – detektiraju prisutnost predmeta
- s fizičkim kontaktom (krajnji prekidači)
- bez fizičkog kontakta (induktivni, kapacitivni, optički)
- senzore tlaka – detektiraju određeni iznos tlaka (presostati)
- senzore temperature – detektiraju određeni iznos temperature (termostati)
- senzore protoka – detektiraju određeni iznos protoka (protočne sklopke)
- senzore razine – detektiraju određeni iznos razine (sklopke razine, vibracijske vilice).

Senzori imaju izlazni signal koji pokazuje ima li ili nema detekcije, a upravljački element (PLC) taj podatak vidi kao logički signal 0 (npr. 0 V DC) ili 1 (npr. 24 V DC). Prema zahtjevima radnog zadatka mogu se odabrati sljedeći tipovi izlaza senzora:

- tranzistorski 24V DC
- NPN
- PNP
- relejni
- radni (NO) kontakt
- mirni (NC) kontakt
- preklopni kontakt.

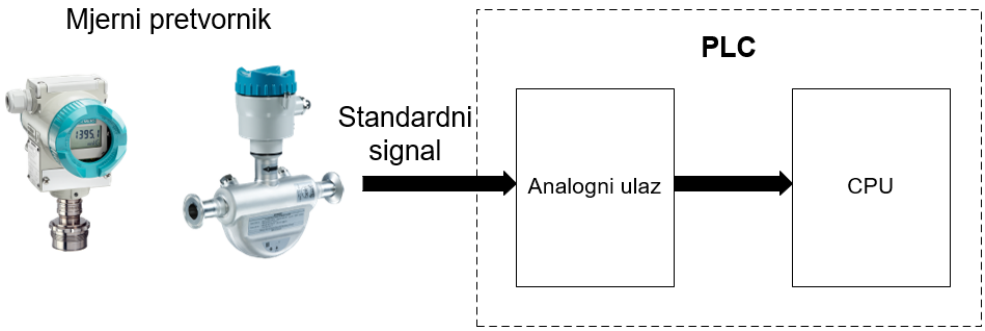


Slika 2.2.1. Senzori blizine (rad autora)

2.2.2. Mjerni pretvornici

Mjerni pretvornici imaju istu funkciju kao i senzori, samo što imaju i elektroničku obradu mjerene veličine sa senzora. Mjerni pretvornici mjerenu veličinu sa senzora pretvaraju u standardni analogni strujni ili naponski signal. Mogu se podijeliti prema potrebnoj vrsti mjerenja:

- mjerni pretvornici temperature (termopar, otpornički termometar)
- mjerni pretvornici tlaka (manometar, membranski)
- mjerni pretvornici protoka (ultrazvučni, diferencijalni)
- mjerni pretvornici razine (diferencijalni, ultrazvučni).



Slika 2.2.2.. Mjerni pretvornici (rad autora)

Mjerni se pretvornici spajaju na analogne ulaze PLC uređaja. Standardni izlazni signali mjernog pretvornika mogu biti:

- strujni (4 do 20 mA, 0 do 20 mA)
- naponski (0 do 10 V, -10 do 10 V).

2.3. Izvršni elementi

Izvršni elementi spajaju se na izlaze upravljačkog elementa. Prema definiranim zahtjevima i odabranom upravljačkom elementu odabiru se potrebni izvršni elementi prema vrsti izlaza:

- diskretni (releji, sklopnici, elektromagnetski i razvodni ventili)
- kontinuirani (frekvencijski pretvarači, regulacijski ventili)

- digitalni (frekvencijski pretvarači, motori servo).

Releji i **sklopnici** vrsta su elektromagnetske sklopke. Releji se koriste u upravljačkim krugovima malih snaga. Sklopnici se nazivaju još i releji snage, koji s pomoću male električne snage uključuju potrošače velike snage (npr. elektromotore).

Elektomagnetski ventili uređaji su koji električni signal dobiven od PLC-a pretvaraju u mehaničko gibanje ventila (otvaranje i zatvaranje). Koriste se za propuštanje ili zaustavljanje protoka tekućina ili plinova u procesima gdje nije potrebna regulacija.

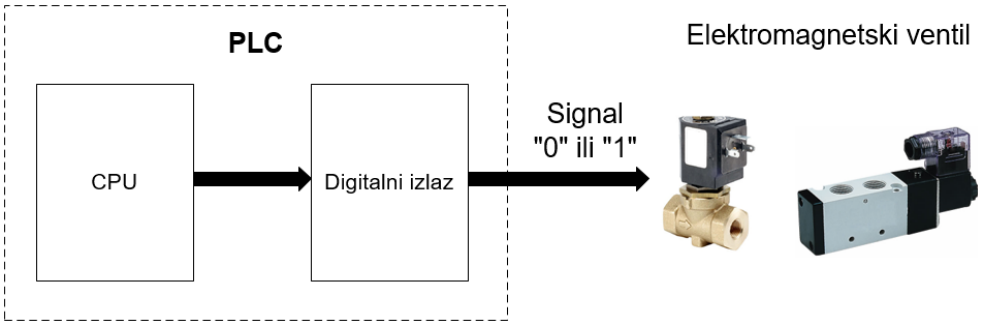
Razvodni ventili su pneumatski uređaji koji služe za propuštanje, zatvaranje ili mijenjanje toka medija. Postoji više tipova razvodnih ventila, a određeni su brojem priključaka i brojem razvodnih položaja. Jedan je od češće korištenih tipova razvodnih ventila 4/2. Ta oznaka ukazuje da razvodnik ima 4 priključka i 2 razvodna položaja. Koriste se u kombinaciji s radnim cilindrima za guranje ili premještanje predmeta u raznim pneumatskim sustavima.

Frekvencijski pretvarači uređaji su koji služe za upravljanje brzinom vrtnje asinkronih motora. Osim upravljanja imaju i funkcije kontrole i signalizacije rada elektromotora. Najčešće se koriste za pumpe i transportere.

Regulacijski ventili služe za regulaciju protoka fluida na temelju upravljačkog signala dobivenog od PLC uređaja. Koriste se gdje je potrebna regulacija protoka za precizno djelovanje na proces.

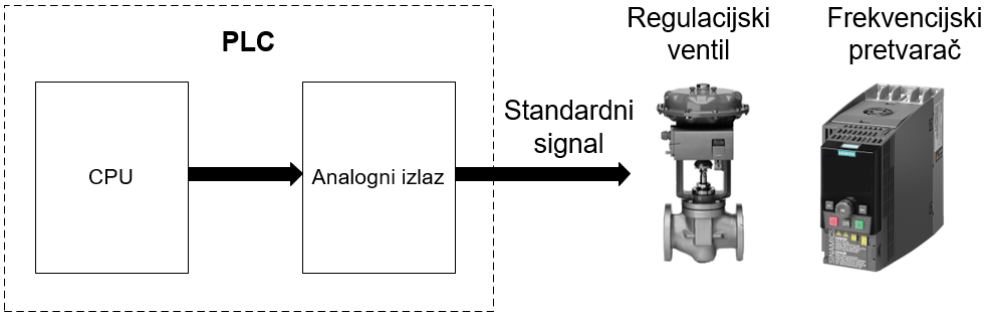
Diskretni izvršni elementi upravljani su izlaznim signalom PLC-a u obliku signala logičke 0 ili 1, a izlazi mogu biti:

- tranzistorski 24 V DC
- relejni 24 V DC ili 230 V AC.



Slika 2.3.1 Diskretni izvršni elementi (rad autora)

Kontinuirani izvršni elementi upravljani su standardnim analognim strujnim ili naponskim signalom dobivenim iz analognog izlaza PLC uređaja.



Slika 2.3.2. Kontinuirani izvršni elementi (rad autora)

Ovisno o zahtjevima radnog zadatka odabiru se oni izvršni elementi koji će zadovoljiti željenu funkcionalnost tehnološkog procesa. Odabir upravljačkih, senzorskih i izvršnih elemenata mora biti takav da su elementi međusobno kompatibilni te da osiguravaju sve potrebne upravljačke, mjerne i izvršne signale potrebne za funkcionalnost sustava automatizacije.

PITANJA ZA PONAVLJANJE:

1. Navedi zahtjeve za upravljačke elemente.
2. Objasni otvoreni krug nekog procesa.
3. Objasni zatvoreni krug nekog procesa.
4. Objasni pojam senzor.
5. Navedi vrste senzora.
6. Objasni pojam mjerni pretvornik.
7. Navedi vrste mjernih pretvornika.
8. Navedi podjelu izvršnih elemenata.

3. Programiranje PLC-a za rad automatiziranog sustava

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- izraditi PLC projekt
- izraditi konfiguraciju PLC sustava unutar razvojnog okruženja
- izraditi PLC program prema zadanom radnom zadatku sustava automatizacije
- testirati rad PLC programa.

Za izvršavanje željenih funkcija sustava automatizacije potrebno je podesiti parametre te programirati PLC uređaj. PLC ima specifičan način podešavanja parametara i izvršavanja programa te programske blokove i jezike po kojima se razlikuje od standardnog računala (Grudiček, 2023. str. 80.).

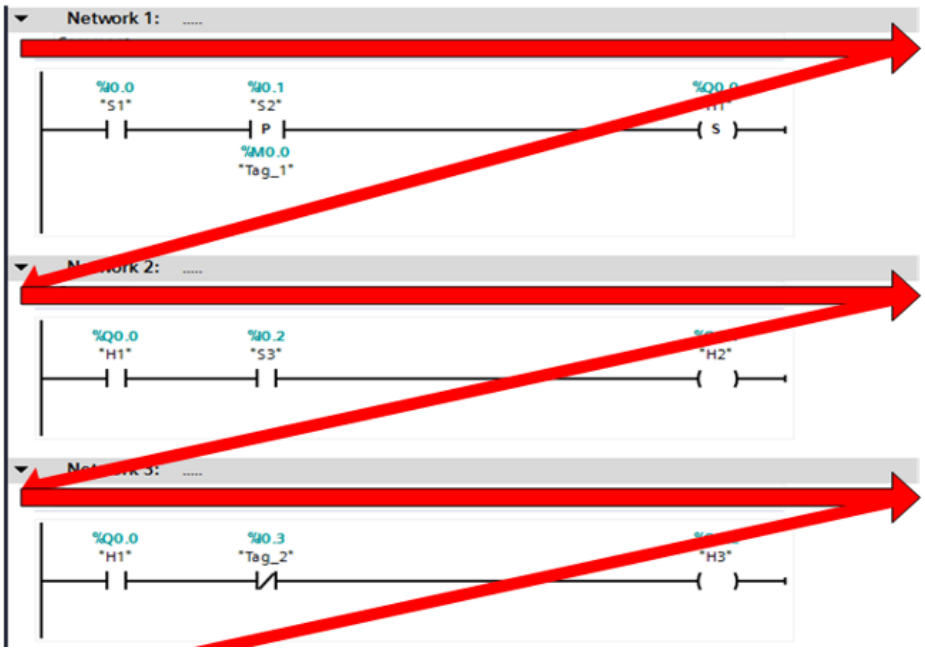
3.1. Izvršavanje programa PLC-a

PLC svoj program izvršava ciklički, što znači da se odvija u beskonačnoj petlji. Nakon što je završen jedan ciklus, započinje sljedeći ciklus. U svakom ciklusu centralna procesorska jedinica (CPU) izvršava sljedeće korake:

- skenira stanja ulaznih signala i ažurira sliku procesnih ulaza (čitanje ulaza)
- sekvencijalno izvodi naredbe korisničkog programa i radi izravno s procesnim slikama, a ne s ulazima i izlazima modula digitalnih ulaza/izlaza (izvršavanje programa)
- izvodi dijagnostičke funkcije i komunicira s uređajima spojenim na mrežu (dijagnostika i komunikacija)
- prenosi stanja izlaza iz slike procesnih izlaza na module digitalnih izlaza (ažuriranje izlaza).

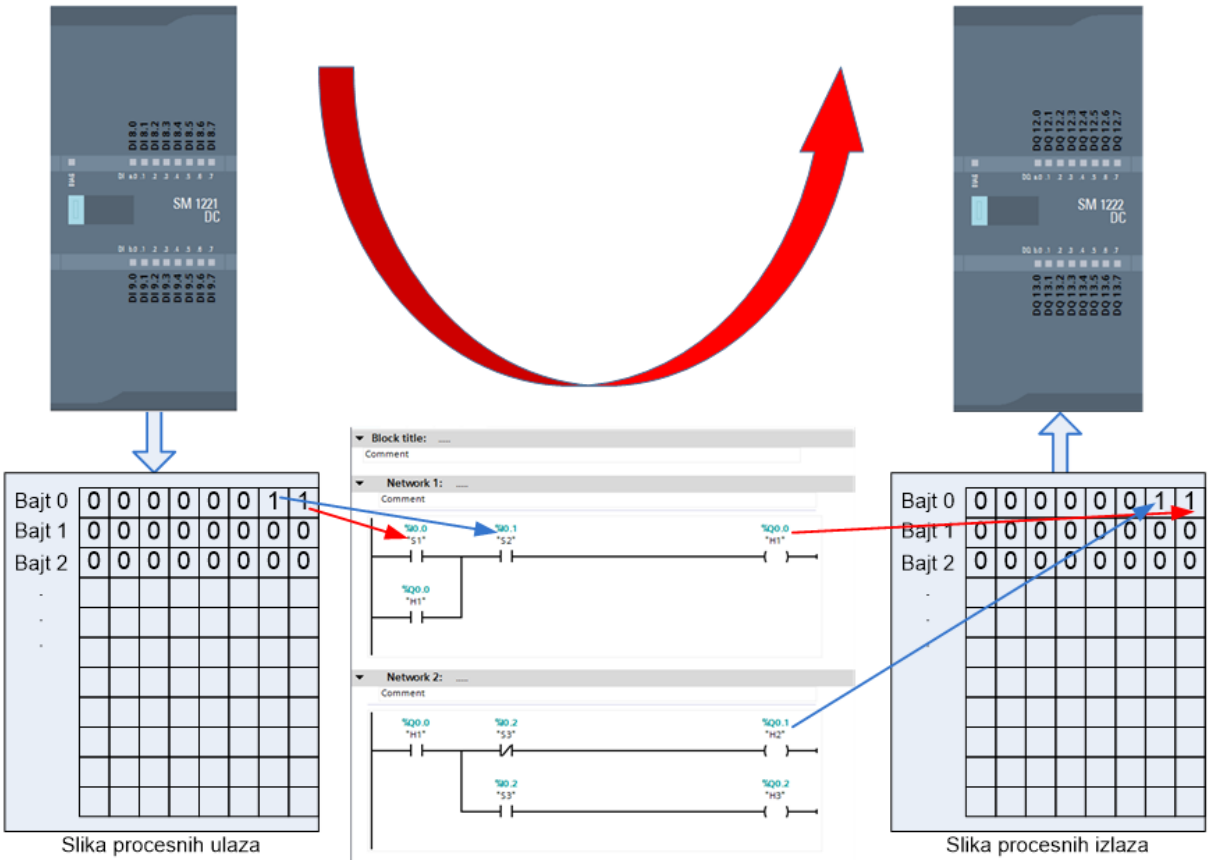
Slika 3.1.1. Ciklus rada PLC-a (rad autora)

PLC izvodi naredbe korisničkog programa na način da prolazi po jednoj naredbi s lijeva na desno. Kada dođe do kraja jedne naredbe, prebacuje se na sljedeću, a nakon posljednje naredbe slijedi cikličko ponavljanje od prve naredbe. Najčešće je korišten programski jezik za programiranje PLC uređaja **LAD (kontaktni plan)**, a naredba se zove **mreža** (engl. *Network*). Svaka mreža označena je brojem, počevši od broja jedan.



Slika 3.1.2. Izvršavanje PLC programa po naredbama (snimka zaslona TIA PORTAL)

Prilikom izvršavanja programa PLC uređaj ne radi izravno s digitalnim ulazima/izlazima, već sa stanjima u memoriji slike procesnih ulaza i slike procesnih izlaza. Kao što je prikazano na slici 3.1.3, procesor PLC-a na početku ciklusa, prije nego počne izvoditi prvu naredbu, pročita stanja svih fizičkih digitalnih ulaza i sprema ih u memoriju (slika procesnih ulaza). Tijekom izvršavanja programa tamo gdje se nalaze naredbe s ulazima, procesor uzima stanja ulaza iz slike procesnih ulaza, a tamo gdje se nalaze naredbe s izlazima, sprema stanja izlaza u memoriju (slika procesnih izlaza). Nakon završetka posljednje naredbe (kraj ciklusa), stanja izlaza iz memorije šalju se na fizičke digitalne izlaze PLC-a (Grudiček, 2023. str. 81.).



Slika 3.1.3.. Rad s ulazima/izlazima PLC-a (rad autora)

3.2. Programski blokovi i jezici PLC-a

Korisnički program PLC-a sastoji se od nekoliko programskih blokova, a programski kodovi u pojedinom bloku realizirani su u jednom od programskih jezika.

Programski blokovi PLC-a:

- organizacijski blok (OB)
- funkcija (FC)
- funkcijski blok (FB).

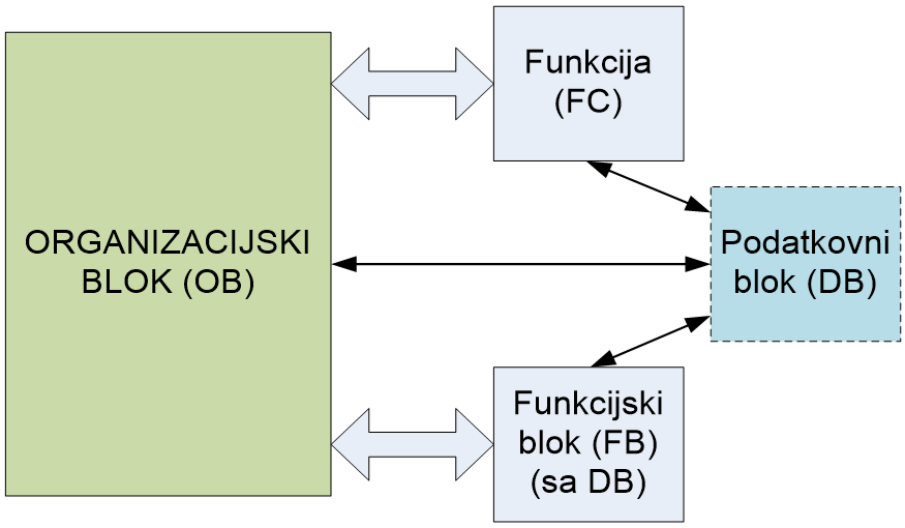
Organizacijski blok (OB) predstavlja sučelje između operativnog sustava PLC-a i korisničkog programa (Grudiček, 2023. str. 82.). Glavni (engl. *Main*) organizacijski blok OB1 blok je koji se poziva ciklički od operativnog sustava PLC-a. PLC program obično sadrži barem organizacijski blok OB1.

Funkcija (FC) ili potprogram koristi se za funkcije pogodne za proračune, ponavljajuće funkcionalnosti i slično.

Funkcijski blok (FB) ima iste mogućnosti kao i funkcija, ali ima svoje vlastito memorijsko područje u obliku podatkovnih blokova. Funkcijski se blokovi koriste za programiranje često ponavljajućih i kompleksnih funkcija.

Funkcije i funkcijske blokove potrebno je pozvati iz organizacijskog bloka da bi bilo moguće njihovo izvršavanje.

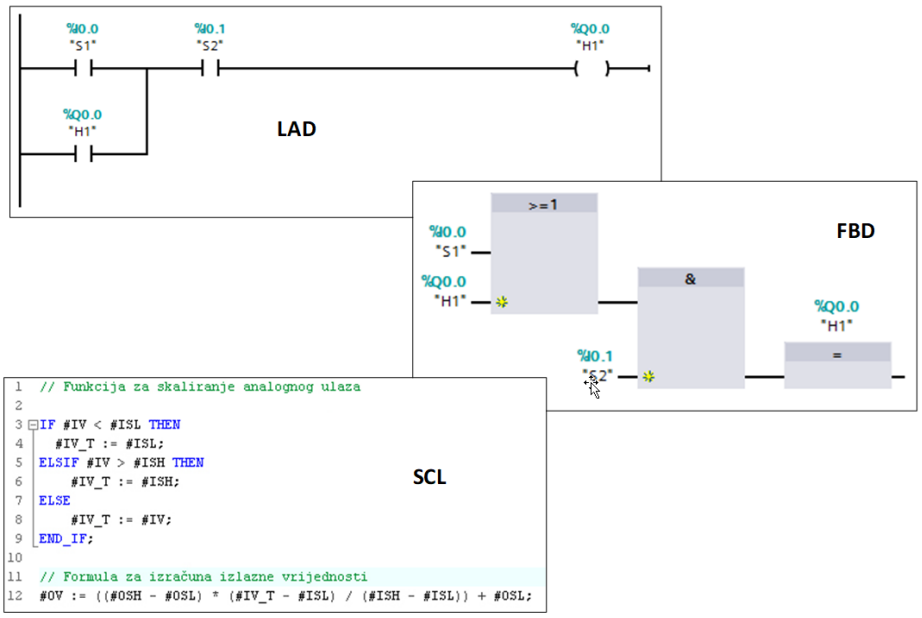
Osim navedenih programskih blokova PLC sadrži još i **podatkovne blokove (DB)**, koji služe za spremanje podataka potrebnih korisničkom programu.



Slika 3.2.1.. PLC programski blokovi (rad autora)

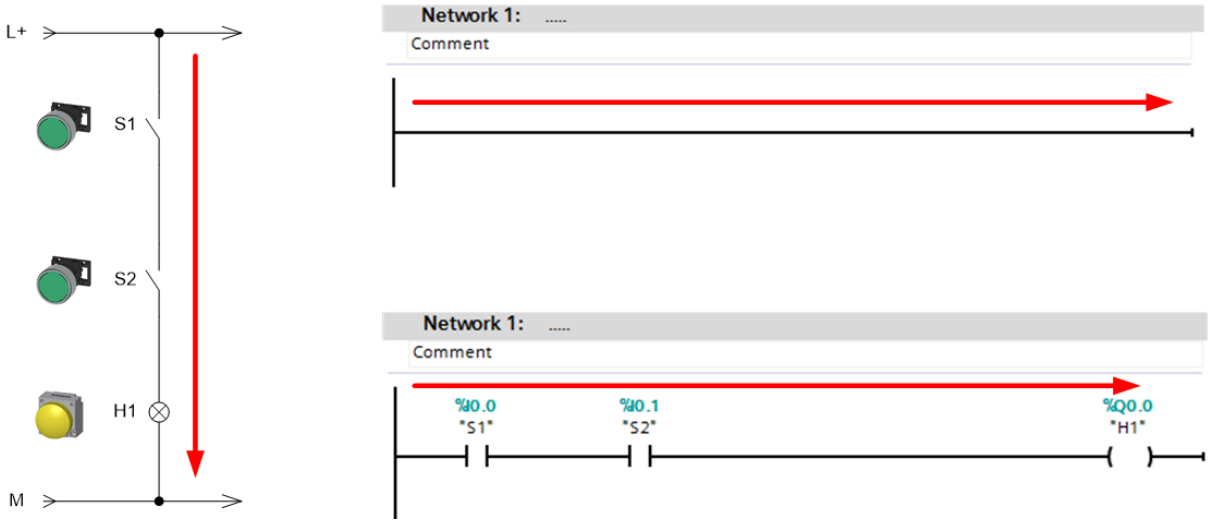
Za programiranje PLC programa koristi se više programskih jezika, a najčešće korišteni su:

- kontaktni plan – **LAD** (engl. *Ladder Diagram*)
- funkcijski blok dijagram – **FBD** (engl. *Functional Block Diagram*)
- strukturirani upravljački jezik – **SCL** (engl. *Structured Control Language*).



Slika 3.2.2.. Programski jezici PLC-a

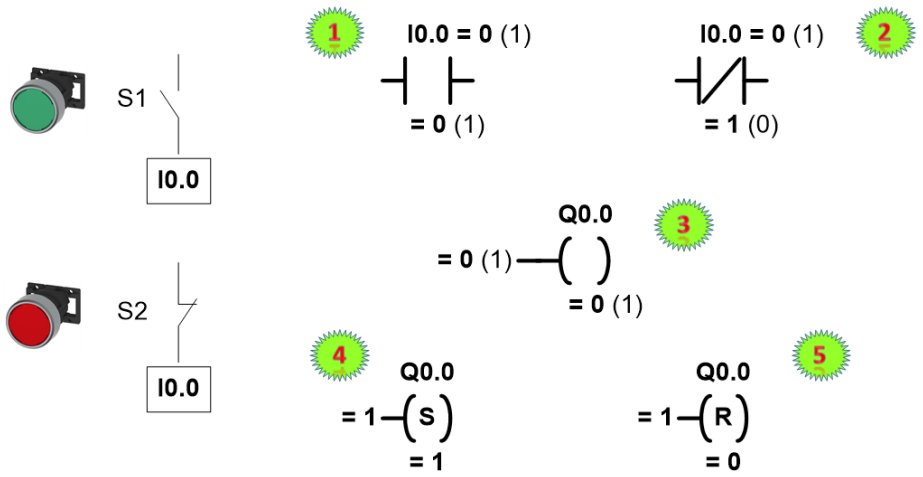
LAD programski jezik nastao je na temelju relejne tehnike. Prisustvo napona u relejnoj tehnici predstavlja logička 1 u programu PLC-a. U relejnoj tehnici strujni se krug zatvara od točke L+ prema M (crvena strelica na slici), prema tome, u mreži PLC programa logička 1 treba se prenijeti slijeva (početak mreže) nadesno (kraj mreže).



Slika 3.2.3.. Mreža PLC programa (rad autora)

3.2.1. Osnovne naredbe PLC programa

Osnovne naredbe koje se koriste u pisanju PLC programa naredbe su za rad s bitovima, a najčešće se koriste za rad s digitalnim ulazima i izlazima (Grudiček, 2023. str. 84.). Signali digitalnih ulaza i izlaza binarni su signali. To znači da je prisustvo napona (24 V DC) predstavljeno kao logička 1, a kada napon nije prisutan (0 V), predstavljeno kao logička 0. Na slici 3.2.1.1. prikazane su osnovne naredbe za rad s bitovima.



Slika 3.2.1.1. Osnovne naredbe za rad s bitovima (rad autora)

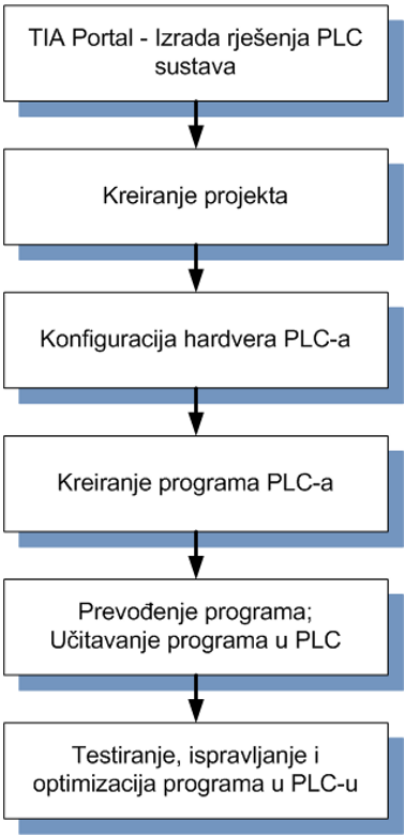
Osnovne naredbe za rad s bitovima jesu:

1. **normalno otvorena** – propušta logičku 1 s lijeva na desno kada joj je pridruženi bit u 1, a ne propušta kada je pridruženi bit u 0 (preslikava stanje pridruženog bita na svoje stanje)
2. **normalno zatvorena** – propušta logičku 1 s lijeva na desno kada joj je pridruženi bit u 0, a ne propušta kada je pridruženi bit u 1 (invertira stanje pridruženog bita na svoje stanje)
3. **prijenos** – pridruženom bitu naredbe dodjeljuje se trenutno stanje logičke operacije naredbi ispred te naredbe (ako je logička operacija u 1, tada je preneseni bit u 1, ako je logička operacija u 0, tada je preneseni bit u 0)

4. **postavljanje** (engl. *Set* – S) – pridruženom se bitu dodjeljuje stanje 1 ako je logička operacija naredbi ispred jednaka 1, a kada se promijeni stanje logičke operacije u 0, stanje se pridruženog bita ne mijenja
5. **brisanje** (engl. *Reset* – R) – naredba dolazi u kombinaciji s naredbom postavljanje; pridruženom se bitu dodjeljuje stanje 0 ako je logička operacija naredbi ispred jednaka 1, a kada se promijeni stanje logičke operacije u 0, stanje se pridruženog bita ne mijenja.

3.3. Izrada PLC programa

PLC program izrađuje programer upoznat sa željenim funkcioniranjem sustava automatizacije te elektrodokumentacijom sustava. Poznavanje elektrodokumentacije bitno je da bi programer znao na kojem se mjestu nalaze pojedini elementi sustava te kako povezati ulaze i izlaze s programskom logikom. Za programiranje se najčešće koristi standardno računalo na kojem se u razvojnom okruženju (npr. TIA Portal) izrađuje konfiguracija PLC-a i korisnički program. Nakon završetka programiranja program se prebacuje na PLC uređaj te se testira i pušta u rad sustav automatizacije. Postupci programera prilikom izrade PLC programa prikazani su na slici 3.3.1.



Slika 3.3.1.. Koraci izrade PLC programa (rad autora)

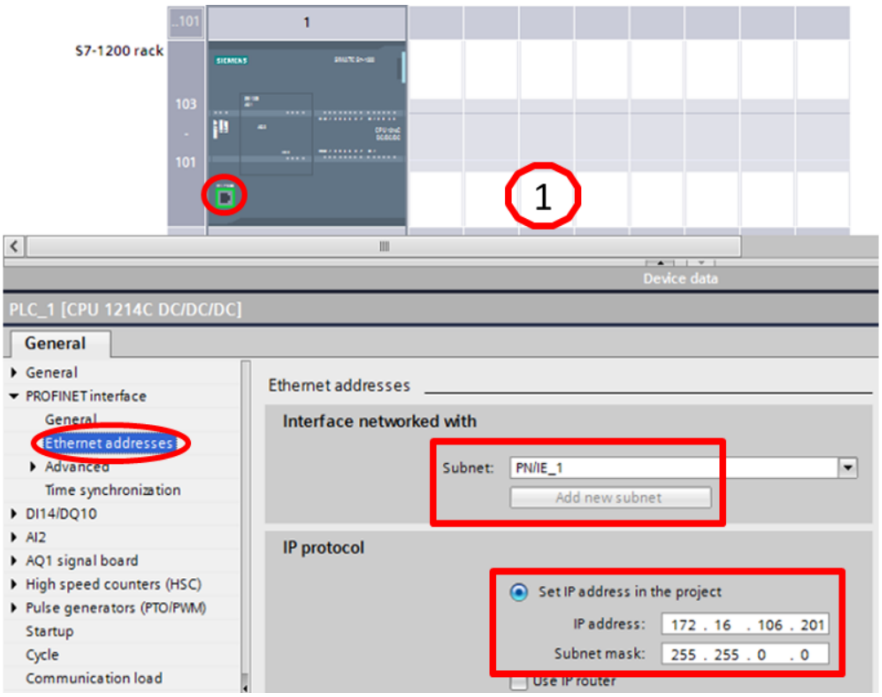
U razvojnom okruženju konfiguraciju PLC-a potrebno je napraviti s istim elementima kao što je fizički montirana konfiguracija. Osim samog CPU-a i signalnih te komunikacijskih modula potrebno je definirati i njihove postavke za rad. Nakon završene konfiguracije potrebno je povezati računalo i PLC pomoću standardnoga ili industrijskog mrežnog kabela te učitati konfiguraciju u CPU. Da bi povezivanje bilo uspješno, PLC i računalo moraju imati istu masku podmreže, a različite IP adrese unutar definirane podmreže.

Prvi korak u kreiranja konfiguracije i korisničkog programa pokretanje je aplikacije TIA Portal. Nakon što se aplikacija pokrene, pojavi se prozor u kojem je potrebno upisati ime novog projekta i odabrati putanju kamo će on biti spremljen. Nakon upisivanja tih podataka klikne se na gumb „kreiraj“ (engl. *Create)* da bi se stvorio novi projekt.

Nakon što je stvoren projekt, pritiskom na gumb za dodavanje novog uređaja (engl. *Add new device*), otvara se prozor za odabir CPU-a. Nakon odabira željenog CPU-a, potrebno je pritisnuti gumb „dodaj“ (engl. *Add*) te se otvara prozor za hardversku konfiguraciju s odabranim CPU-om i praznim poljima za signalne i komunikacijske module.

Slika 3.3.2.. Dodavanje PLC uređaja (snimka zaslona TIA PORTAL)

Sljedeći je korak podešavanje svojstava CPU-a. Jedna od postavki koje treba podesiti je Ethernet adresa. U toj se postavci upisuje IP adresa i maska podmreže te je potrebno kliknuti na dodavanje podmreže (engl. *Add new subnet*).

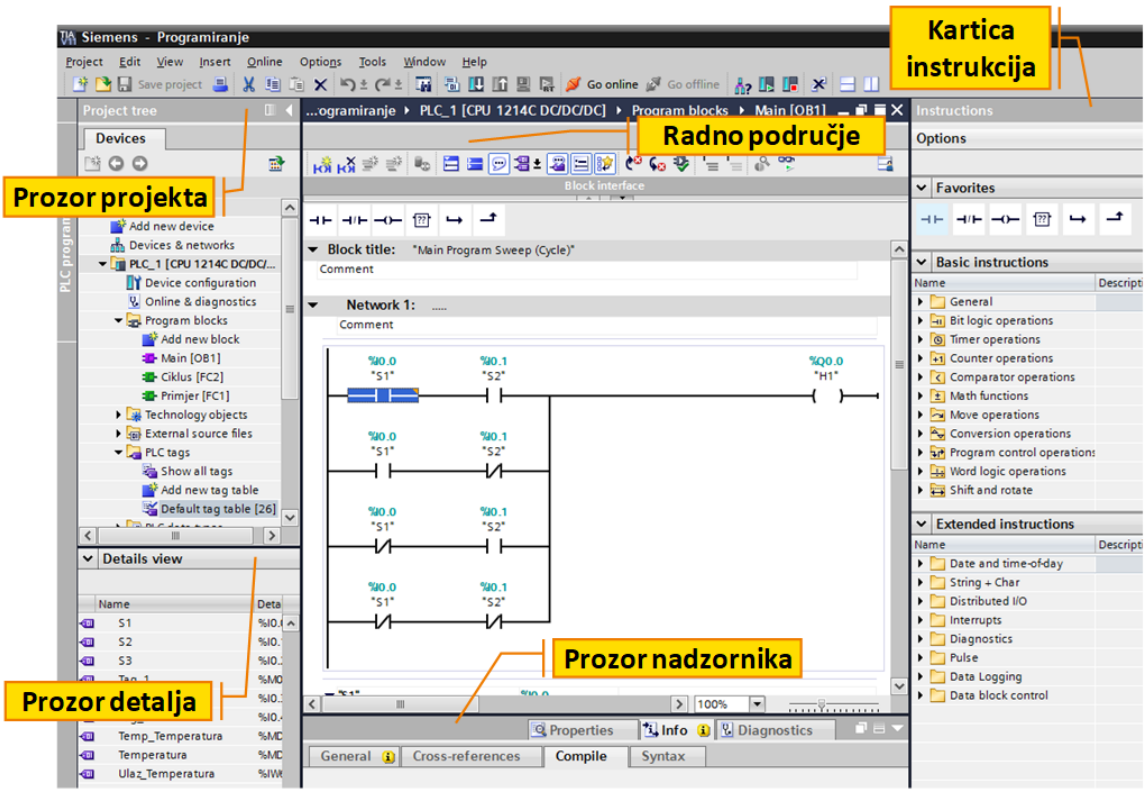


Slika 3.3.3.. Postavke Ethernet adrese (snimka zaslona TIA PORTAL)

Postoji li potreba, sljedeći je korak umetanje signalnih modula digitalnih i analognih ulaza/izlaza. Signalni se moduli dodaju iz kataloga hardvera na prazna mjesta s desne strane CPU-a te im se svojstva mogu mijenjati da bi se dobilo željeno ponašanje.

Slika 3.3.4.. Hardverska konfiguracija PLC-a (snimka zaslona TIA PORTAL)

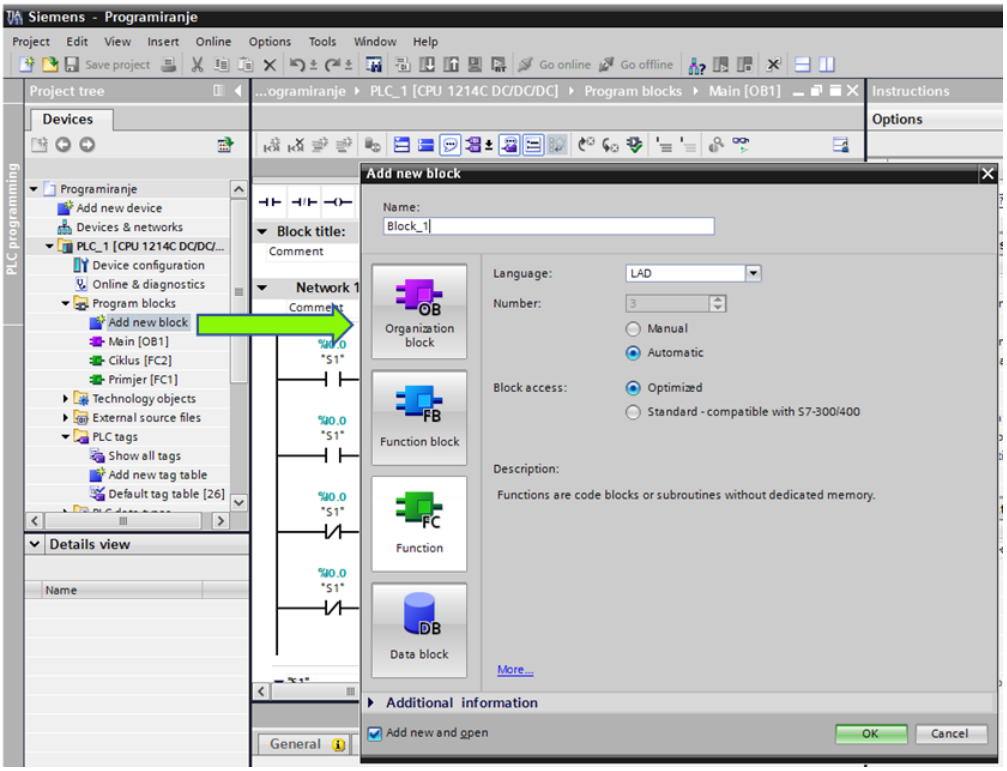
Slijedi izrada programskog koda u razvojnom okruženju koje se sastoji od nekoliko dijelova, kao što je prikazano na slici 3.3.5.



Slika 3.3.5. Dijelovi razvojnog okruženja (snimka zaslona TIA PORTAL)

Novi projekt sadrži samo jedan programski blok, a to je organizacijski blok OB1. Ovisno o radnom zadatku, dodaju se različiti programski blokovi da bi se dobila željena funkcionalnost. Postupak je dodavanja novog bloka sljedeći:

- u mapi programski blokovi kliknuti na 'dodavanje novog bloka' (engl. *Add new block*)
- odabrati željeni tip bloka (OB, FC, FB ili DB)
- odabrati željeni programski jezik
- upisati naziv bloka te kliknuti *OK*.

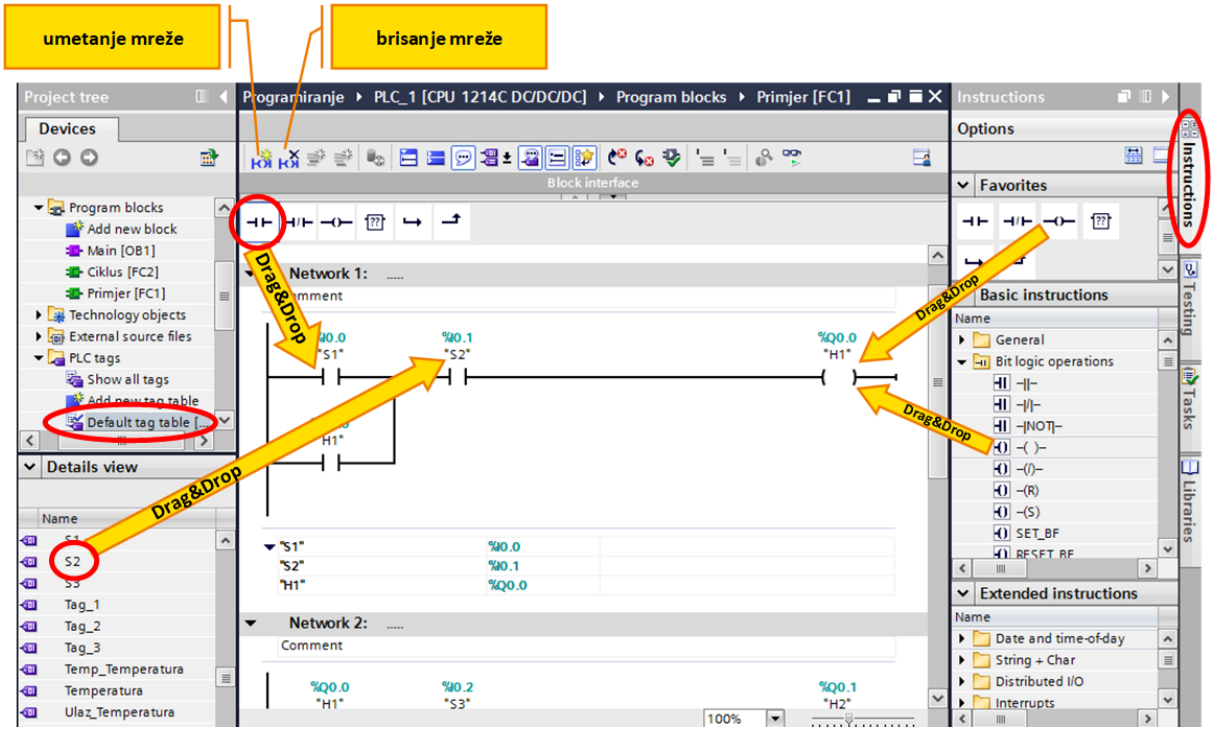


Slika 3.3.6.. Dodavanje novih blokova (snimka zaslona TIA PORTAL)

Naredbe mogu biti programirane na dva načina:

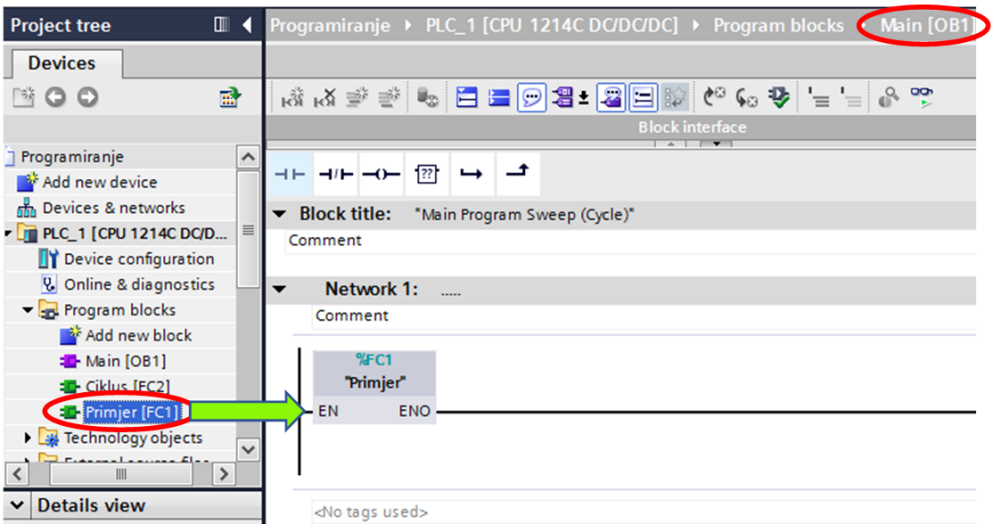
- koristeći se s „vuci i ispusti“ (engl. *drag & drop*) iz kataloga instrukcija u program
- najprije odabirom lokacije u programu, a tada dvostrukim klikom na željenu instrukciju.

Nakon postavljanja željene naredbe, operandi se unose s apsolutnim ili simboličkim adresama.



Slika 3.3.7. Izrada programa (snimka zaslona TIA PORTAL)

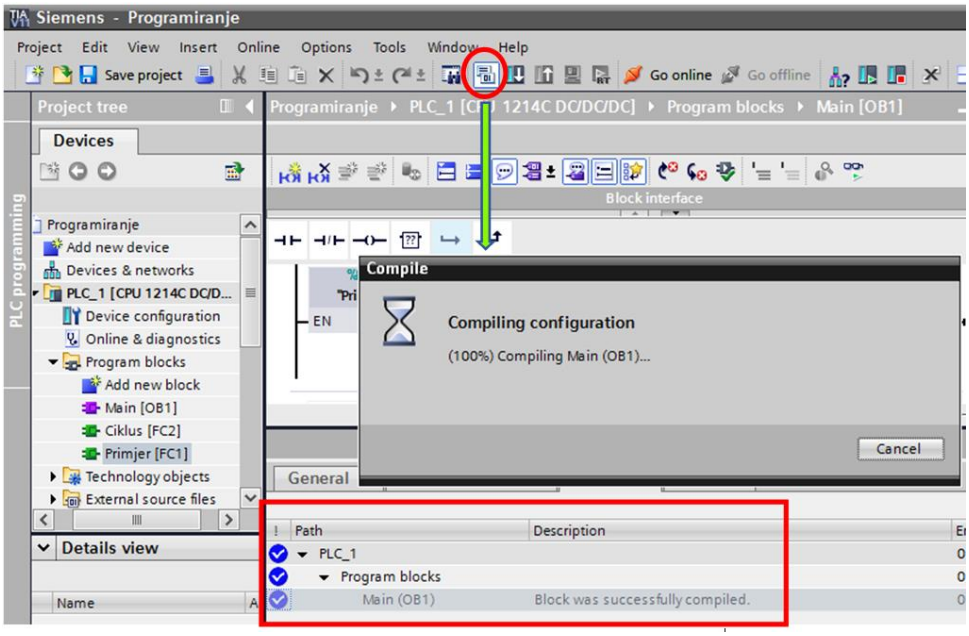
Da bi se novi programski blokovi morali izvršavati, potrebno ih je pozvati u organizacijskom bloku OB1, npr. korištenjem s „vuci i ispusti“ (slika 3.3.8.).



Slika 3.3.8.. Poziv programskog bloka (snimka zaslona TIA PORTAL)

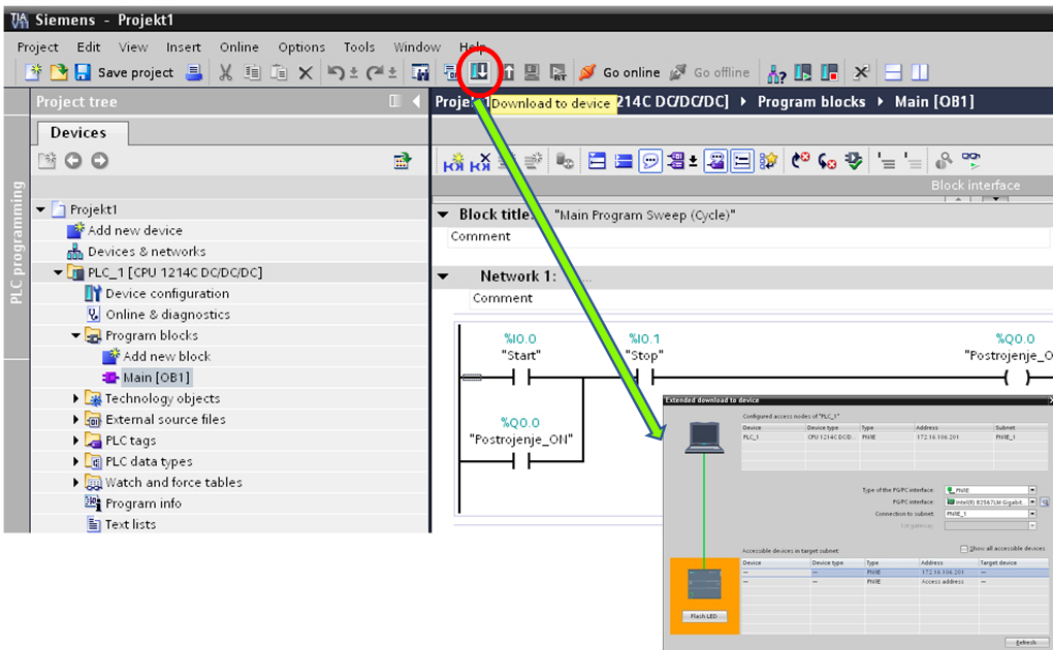
Kada je završen cijeli program ili neki dio, potrebno je provjeriti njegovu ispravnost prema sintaksi klikom na ikonu „kompiliranje“ (engl. *Compile)*. Može se kompilirati pojedinačne blokove, cijeli program ili cijeli projekt sa softverom i hardverom.

U prozoru nadzornika *Info -> Compile* prikazuje se status prevođenja. U slučaju pojave greške, dvostrukim klikom na nju dolazi se na lokaciju same greške.



Slika 3.3.9. Prevođenje programskog koda (snimka zaslona TIA PORTAL)

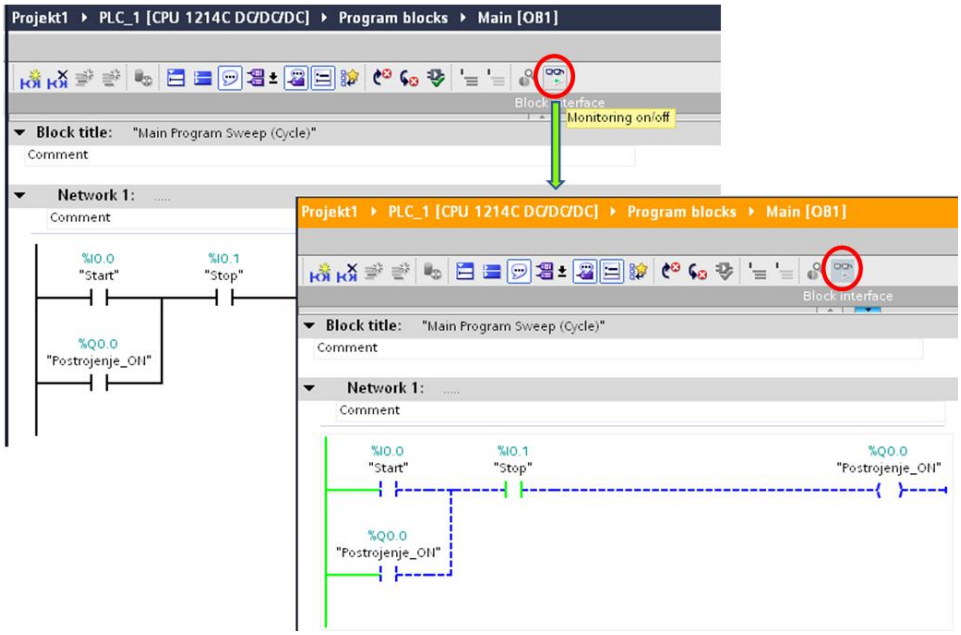
Ako je kompiliranje izvršeno i otklonjene su greške, potrebno je prebaciti projekt iz TIA Portala na sam PLC uređaj klikom na ikonu učitavanja (engl. *Download*).



Slika 3.3.10. Učitavanje projekta na PLC uređaj (snimka zaslona TIA PORTAL)

Po završetku učitavanja projekta na PLC uređaj, potrebno je testirati programski kod. Testira se pokretanjem testne funkcije „praćenje“ (engl. *Monitoring*). Ta funkcija služi za praćenje izvršavanja programa unutar programskog bloka. Statusi operanda prikazani su na sljedeće načine:

- status ispunjen (logička 1) – zelena boja
- status nije ispunjen (logička 0) – plava boja.



Slika 3.3.11. Testiranje programskog koda (snimka zaslona TIA PORTAL)

PITANJA ZA PONAVLJANJE:

1. Objasni izvršavanje programa PLC-a.
2. Navedi programske blokove PLC programa.
3. Navedi najčešće programske jezike za programiranje PLC-a.
4. Objasni funkciju naredbe „normalno otvorena“ i „normalno zatvorena“.
5. Objasni funkciju naredbe „prijenos“.
6. Objasni funkciju naredbe „postavljanje“ i „brisanje“.
7. Objasni postupak izrade PLC programa.

4. Dijagnostika grešaka i puštanje u rad automatiziranog sustava

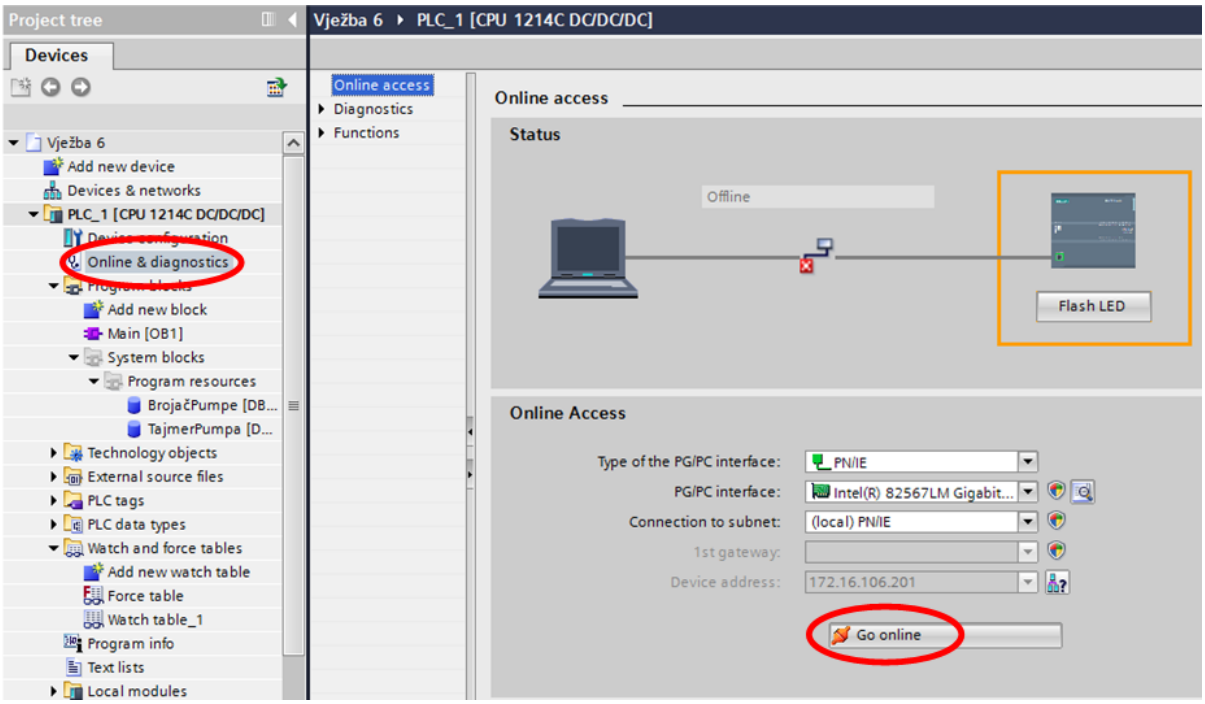
NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- dijagnosticirati greške PLC sustava
- testirati i pustiti u rad sustav automatizacije.

4.1. Dijagnostika grešaka sustava automatizacije

Dijagnostika sustava automatizacije vrlo je važna funkcija tijekom realizacije PLC projekta, ali i kasnije prilikom rada i održavanja sustava. Dijagnostika služi za uočavanje i otklanjanje grešaka u radu PLC programa. Dijagnosticira se tako da se računalo poveže s PLC uređajem u razvojnom okruženju TIA Portal te pokrene dijagnostika.

Dijagnostika se pokreće klikom na „mreža i dijagnostika“ (engl. *Online & diagnostics*) u projektnom stablu PLC projekta te se zatim klikne na gumb za mrežnu vezu (engl. *Go online*), kao što je prikazano na slici 4.1.1.



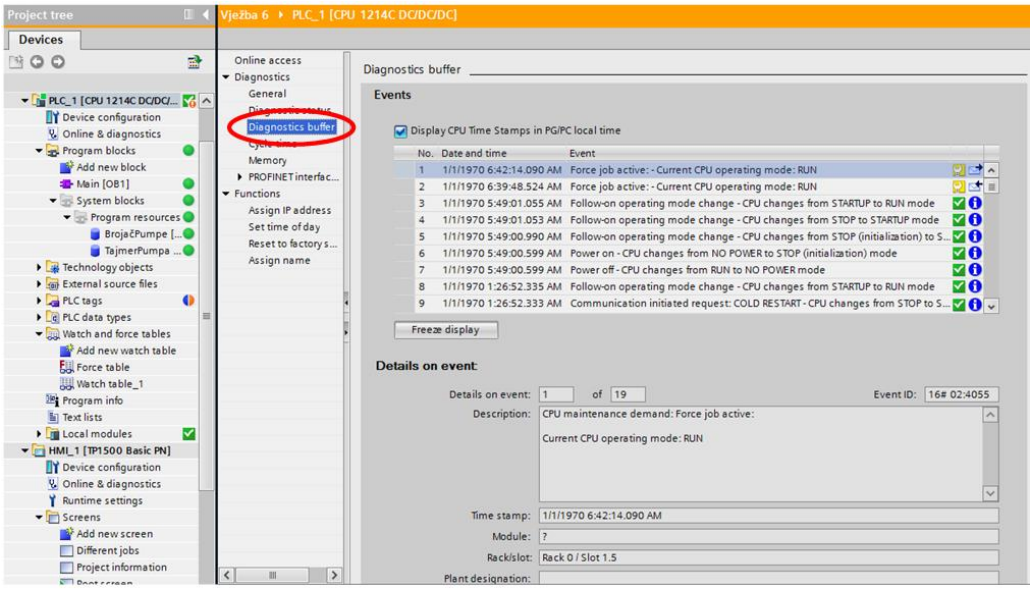
Slika 4.1.1. Dijagnostika PLC sustava (snimka zaslona TIA PORTAL)

Nakon uspostavljene mrežne veze omogućene su sljedeće dijagnostičke funkcije:

- opće informacije
- dijagnostički status
- dijagnostički međuspremnik
- vrijeme ciklusa
- memorija
- sučelje PROFINET.

Opće informacije jesu o modulu i proizvođaču. **Dijagnostički status** daje informacije o stanju modula. Ukoliko je sve ispravno, utoliko se ispisuje poruka da modul postoji i da je sve u redu s njim. Kada bi došlo do kvara na nekom od modula, tada bi se javila poruka s greškom na određenom modulu.

U **dijagnostičkom međuspremniku** vidljive su poruke o radu sustava. To su na primjer: uključivanje sustava, promjena načina rada te poruke o greškama sustava. Poruke su ispisane tako da je vidljiv datum i vrijeme nastanka greške, te se uz svaku poruku dobije detaljan opis i pomoć za događaj same greške.



Slika 4.1.2. Dijagnostički međuspremnik (snimka zaslona TIA PORTAL)

U funkciji **vrijeme ciklusa** prikazano je najkraće, najdulje i zadnje vrijeme ciklusa izvršavanja programa. U CPU-u se definira vrijeme praćenja ciklusa (npr. 150 ms) radi sprječavanja da PLC zaglavi u nekoj petlji prilikom izvršavanja programa. Kada vrijeme ciklusa prođe podešeno vrijeme, tada se na PLC-u uključi lampica *ERROR* koja trepće crveno.

Funkcija **memorije** daje informaciju o zauzeću memorije učitavanja, radne memorije i memorije pamćenja. Ukoliko se pokuša zauzeti više memorije nego što postoji, utoliko će se javiti greška.

Funkcija **PROFINET sučelja** prikazuje informacije o mrežnom sučelju PLC-a. Može se dogoditi da se prilikom konfiguracije upišu krive mrežne postavke pa se kasnije ne može spojiti na PLC. Tada se potrebno izravno spojiti s PLC-om i pokrenuti tu dijagnostičku funkciju da bi se saznali stvarni podaci.

4.2. Puštanje u rad sustava automatizacije

Posljednji korak projektiranja sustava automatizacije puštanje je u pogon. Puštanje u rad je postupak kojim se ispituje rad sustava te optimizira i završno podešava sustav. Puštanje u rad sustava automatizacije obuhvaća testiranje rada sustava kojim se uklanjaju pogreške u radu da bi se postigla željena kvaliteta i ispravnost sustava automatizacije. Postupak puštanja u rad može se promatrati u trima fazama:

- priprema
- implementacija
- završna faza.

Priprema obuhvaća aktivnosti kao što su: prikupljanje podataka, odabir tima za puštanje u rad sustava, definiranje plana i postupaka puštanja u rad te izrada potrebne dokumentacije.

Implementacija je postupak samog puštanja u rad te uključuje ispitivanje električnih instalacija, provjeru prije preuzimanja, pokretanje opreme u samom pogonu i provjeru ispravnosti rada sustava. Neke od provjera koje se obavljaju u ovoj fazi puštanja u rad jesu:

- je li sve izrađeno prema izrađenoj tehničkoj dokumentaciji
- je li ispravno odabrana i postavljena zaštitna oprema
- je li ožičenje elemenata izvedeno prema elektrodokumentaciji te jesu li poštivani odgovarajući propisi i standardi
- vizualna provjera (sve komponente su ugrađene prema nacrtu, imaju odgovarajuće oznake i slično)
- jesu li sve komponente ispravno povezane komunikacijskim kablovima
- radi li isklop u slučaju nužde (hitni stop)
- jesu li svi ulazni i izvršni elementi ispravno spojeni na PLC.

Završna faza puštanja u rad sustava automatizacije podrazumijeva ažuriranje sve potrebne tehničke dokumentacije prema izvedenom stanju sustava. Da bi ova faza bila uspješna, vrlo je važno da se prilikom puštanja u rad vode bilješke o svim učinjenim promjenama da bi projektanti mogli uspješno ažurirati dokumentaciju s ciljem lakšeg održavanja sustava.

Nakon puštanja sustava u rad i otklanjanja eventualnih grešaka sustav je spreman za primopredaju. Osim samog puštanja u rad, potrebno je izvršiti i obuku operatera koji će sudjelovati u radu s tim sustavom.

PITANJA ZA PONAVLJANJE:

1. Čemu služi i kako se pokreće dijagnostika PLC sustava.
2. Navedi dijagnostičke funkcije.
3. Objasni dijagnostičku funkciju „dijagnostički međuspremnik“.
4. Navedi i objasni faze puštanja u rad sustava automatizacije.

5. Povezivanje automatiziranog sustava s aplikacijom SCADA

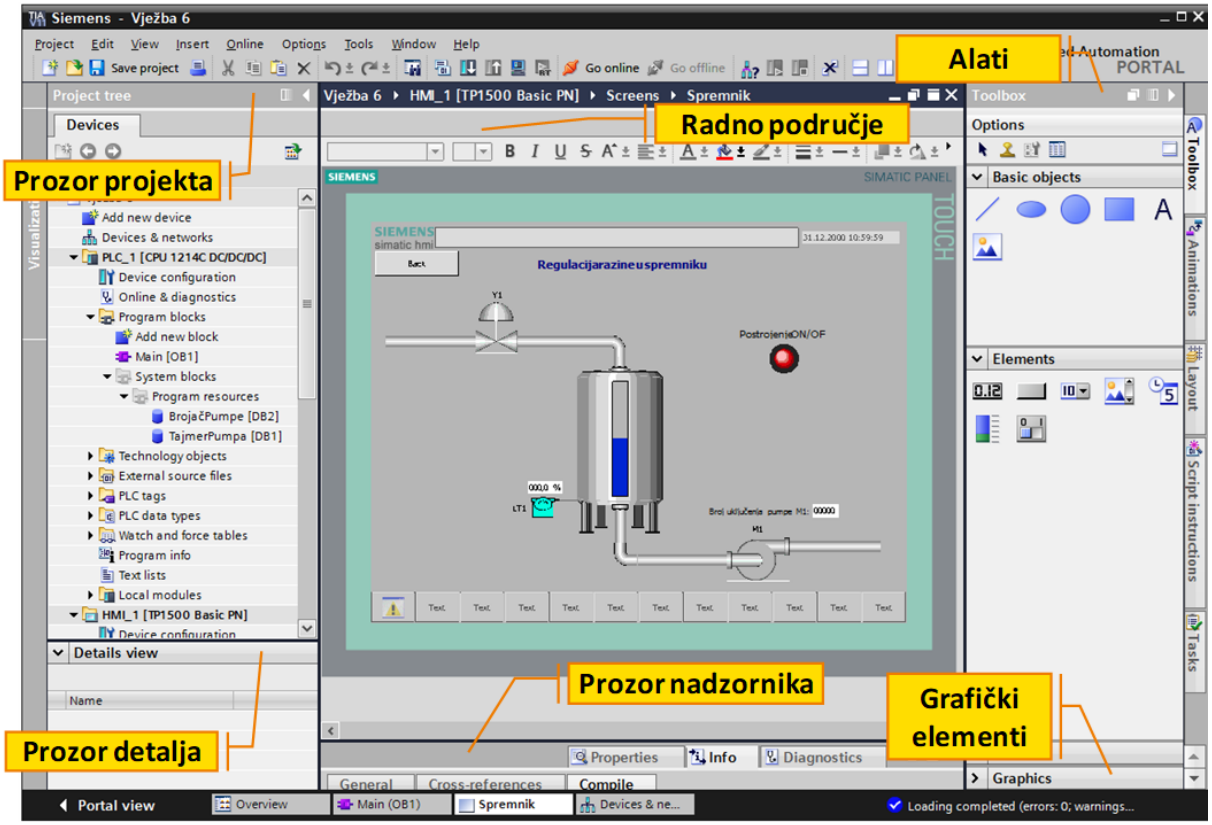
NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- izraditi konfiguraciju HMI sučelja unutar razvojnog okruženja
- izraditi potrebne ekrane prema zahtjevima radnog zadatka
- izraditi vizualizaciju procesa sustava automatizacije.

Sustav SCADA služi za nadzor, kontrolu i prikupljanje podataka. U tu se svrhu *se* koriste **HMI (engl. *Human Machine Interface*) sučelja**. HMI sučeljima operater upravlja i nadzire rad sustava automatizacije. Postoje dvije vrste HMI uređaja, a to su ekrani (paneli) i PC sustavi.

Najčešće su korišteni HMI uređaji ekrani, a služe za vizualizaciju rada procesa ili nekog stroja. Ekrani su obično smješteni na ormaru u pogonu ili postrojenju, dok su PC sustavi smješteni u kontrolnim sobama iz kojih se nadzire cjelokupni sustav. Ekrani se razlikuju po fizičkoj veličini, funkcionalnostima te mogu biti monokromatski (crno-bijeli) ili u boji.

HMI uređaji se povezuju međusobno i s PLC-ovima različitim komunikacijskim sustavima, kao što su Profibus, Ethernet ili Profinet. HMI uređaji se podešavaju i programiraju unutar razvojnog okruženja (npr. TIA Portal). Postupak započinje dodavanjem ogovarajućeg HMI uređaja iz kataloga. Nakon dodavanja HMI uređaja, otvara se prozor za rad s HMI uređajima, kao što je prikazano na slici 5.1.



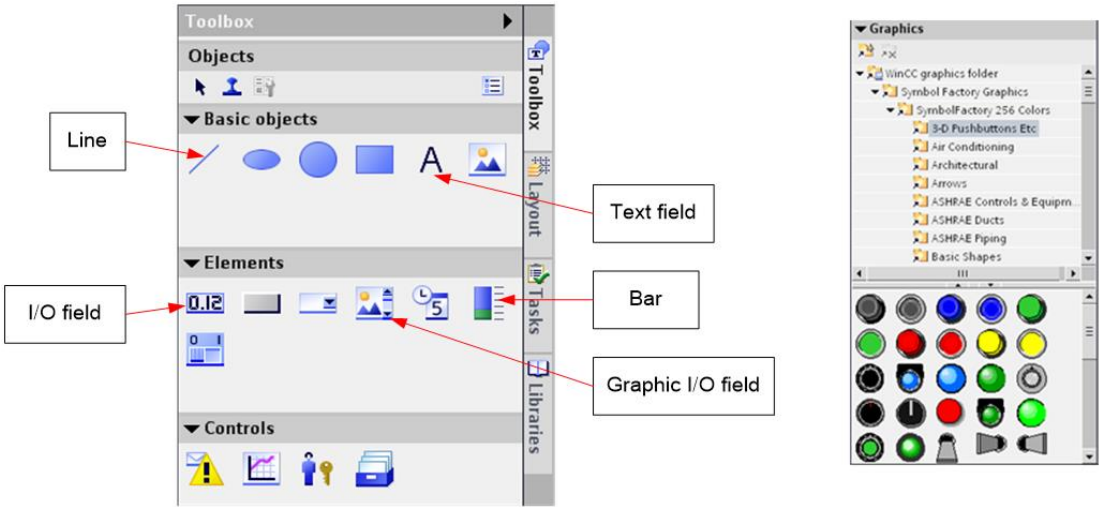
Slika 5.1. Razvojno okruženje HMI uređaja (snimka zaslona TIA PORTAL)

Unutar grupe „**alati**“ nalaze se osnovni objekti, elementi, kontrole i grafički elementi. Osnovni objekti statički su elementi koji služe za izradu statičkog dijela izgleda ekrana (npr. tekst).

U skupinu (dinamičkih) elemenata ekrana spadaju tipkala, sklopke, ulazno/izlazna polja podataka i grafičkih elemenata, stupčasti prikaz.

Kontrole su također dinamički elementi koji su složeniji od elemenata (npr. alarmni prozori, administracija korisnika).

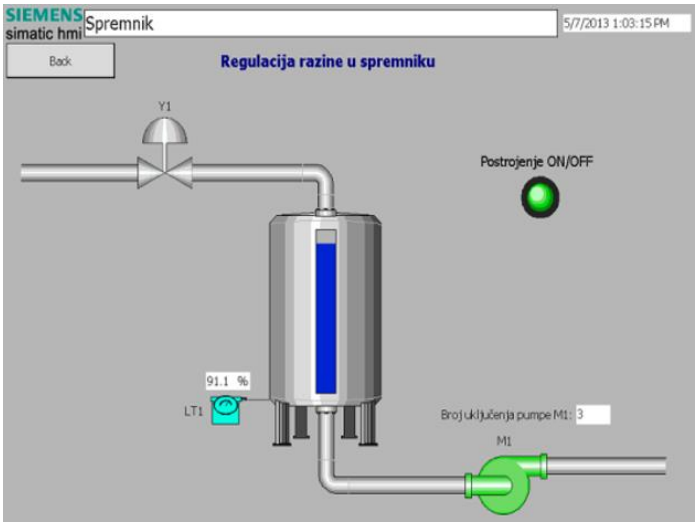
Grafički elementi sadrže simbole ranih elemenata sustava automatizacije (npr. spremnici, motori, ventili i slično). Na slici 5.2. prikazani su elementi za izradu vizualizacije sustava automatizacije.



Slika 5.2. Elementi za izradu sustava automatizacije (snimka zaslona TIA PORTAL)

Pomoću statičkih i dinamičkih elemenata izrađuje se slika na ekranu HMI uređaja, koja čini smislenu cjelinu. Dinamički elementi mogu mijenjati svoj izgled (boju, vrijednost). Da bi dinamički elementi mogli vršiti zadanu funkciju, potrebno ih je povezati s PLC varijablama u svojstvima (engl. *Properties*) samih elemenata. Nakon podešenja HMI uređaj spreman je za testiranje i puštanje u rad. Testira se najprije u razvojnom okruženju simulacijom bez spojenog PLC-a, a zatim sa spojenim PLC-om. Nakon simulacije testira se na stvarnom ekranu te pušta u rad.

Simulacija bez PLC-a koristi se za provjeru izgleda samih ekrana, dok simulacija sa spojenim PLC-om služi za testiranje izgleda i funkcionalnosti. Na slici 5.3. prikazan je primjer ekrana u radu.



Slika 5.3. HMI ekran (snimka zaslona TIA PORTAL)

Funkcionalnosti koje nude HMI uređaji jesu:

- grafički sustav
- sustav poruka
- sustav pohranjivanja
- sustav izvještavanja
- procesna komunikacija
- standardna sučelja
- skripte
- programska sučelja.

Grafički sustav služi za izradu ekrana pomoću statičkih i dinamičkih elemenata.
Sustav poruka služi za upravljanje porukama HMI uređaja. To su sistemske poruke, poruke o radu sustava, poruke upozorenja i alarmne poruke.
Sustav pohranjivanja služi za pohranjivanje prije poruka te mjerenih podataka iz procesa.
Sustav izvještavanja služi za izvještavanje o proizvodnji i događajima.
Procesna komunikacija služi za konfiguraciju komunikacije s različitim procesnim uređajima.
Skripte služe za pisanje vlastitih funkcija u nekom od standardnih skriptnih jezika. Koriste se za izradu različitih korisničkih funkcija koje nisu standardne u softveru HMI-ja.
Programska sučelja služe za povezivanje s ostalim *Windows* aplikacijama pomoću API (engl. *Application Programming Interface*), OLE (engl. *Object Linking & Embedding*) ili COM (engl. *Component Object Model*) objekata i sučelja (Grudiček, 2023. str. 126.).

PITANJA ZA PONAVLJANJE:

1. Objasni namjenu HMI sučelja.
2. Navedi osnovnu podjelu HMI sučelja.
3. Navedi čemu služe statički i dinamički elementi.
4. Navedi načine testiranja HMI uređaja.
5. Navedi i objasni funkcionalnosti HMI uređaja.

6. Upravljanje elektromotornim pogonima

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

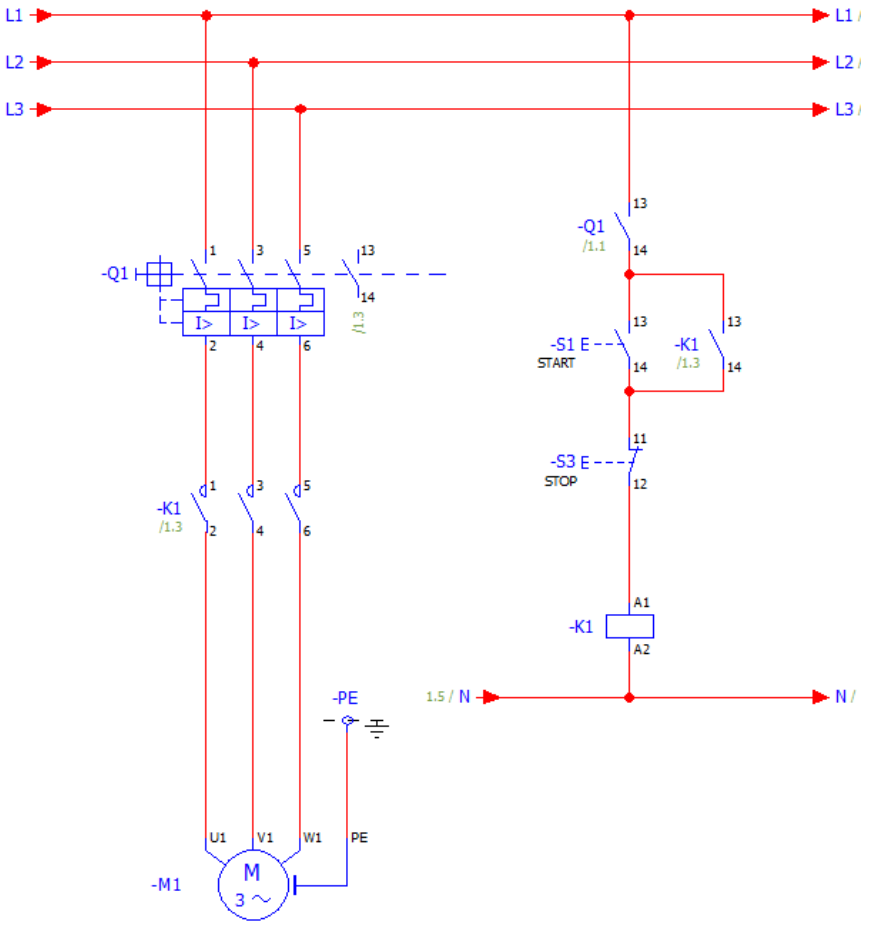
- nacrtati sheme upravljanja elektromotornim pogonima
- spojiti elektromotor prema zadanoj shemi upravljanja.

U sustavima automatizacije koriste se elektromotorni pogoni s asinkronim, istosmjernim, servo i koračnim elektromotorima. Najčešće se koriste asinkroni elektromotori, te je njihovo upravljanje moguće na više načina, a oni koji se najviše koriste u automatizaciji jesu:

- pokretanje elektromotora pomoću tipkala za „START“ i „STOP“ (jedan smjer vrtnje)
- promjena smjera vrtnje elektromotora (reverziranje)
- pokretanje elektromotora zvijezda-trokut
- pokretanje elektromotora pomoću mekog upuštača
- pokretanje elektromotora i regulacija brzine vrtnje frekvencijskim pretvaračem.

6.1. Pokretanje elektromotora

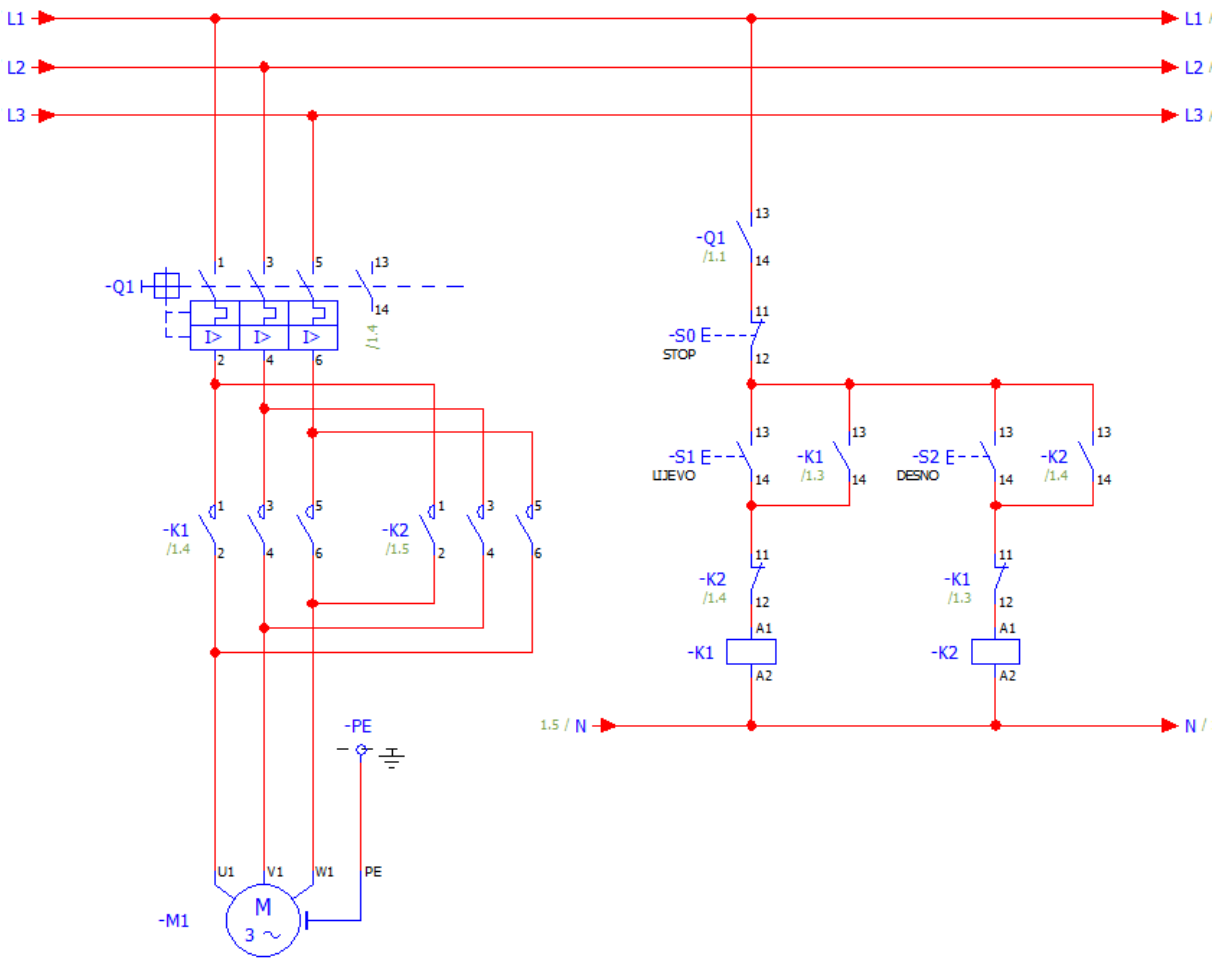
Najčešći je način pokretanja elektromotora pomoću tipkala za „START“ i „STOP“. U tom načinu elektromotor ima samo jedan smjer vrtnje. Osim upravljačkih elemenata (tipkala) u strujnom krugu motora koristi se sklopnik pomoću kojeg se uključuje motor te zaštitni uređaji (osigurači i bimetalni relej ili motorna zaštitna sklopka). Shema takvog spoja prikazana je na slici 6.1.1.



Slika 6.1.1 Pokretanje elektromotora pomoću sklopnika (rad autora)

6.2. Promjena smjera vrtnje elektromotora

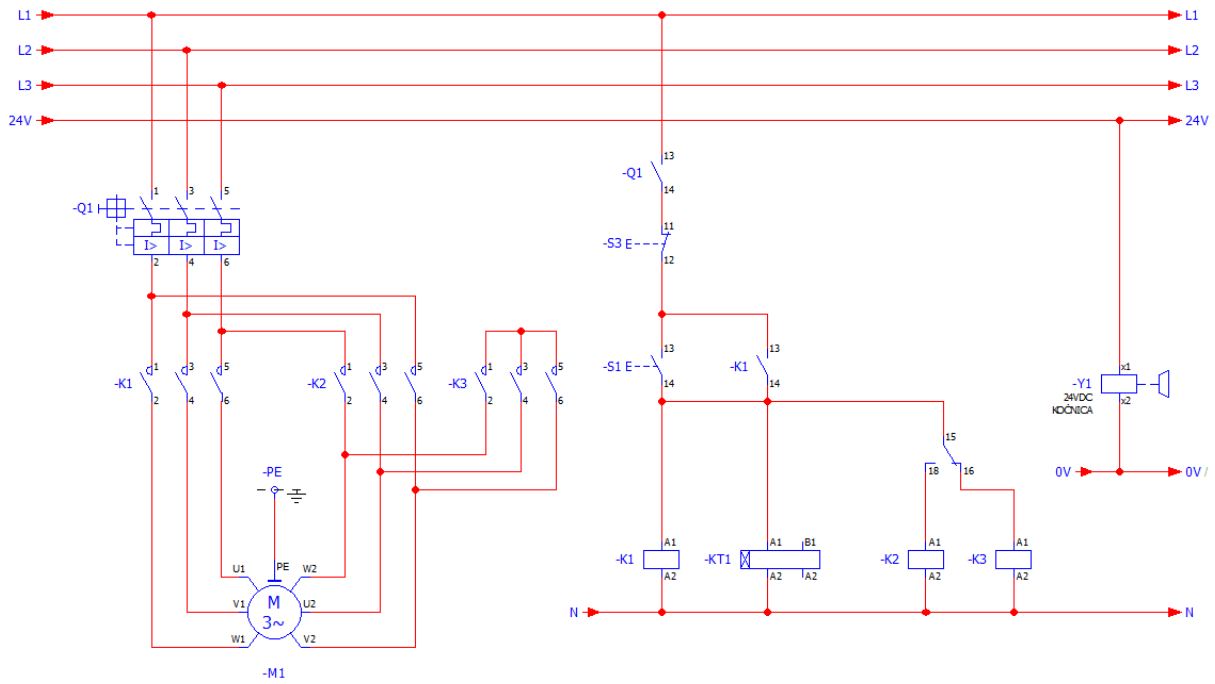
Promjena smjera vrtnje elektromotora ili njegovo reverziranje odvija se zamjenom redoslijeda faza u priključnoj kutiji motora (npr. zamijeni se prva i treća faza). To se postiže dvama sklopnicima. Posebno je potrebno pripaziti da se spoji blokada koja onemogućava istovremeno uključenje obaju sklopnika, što bi dovelo do uništenja motora. Shema za reverziranje elektromotora nalazi se na slici 6.2.1.



Slika 6.2.1. Shema promjene smjera vrtnje elektromotora (rad autora)

6.3. Pokretanje motora zvijezda-trokut

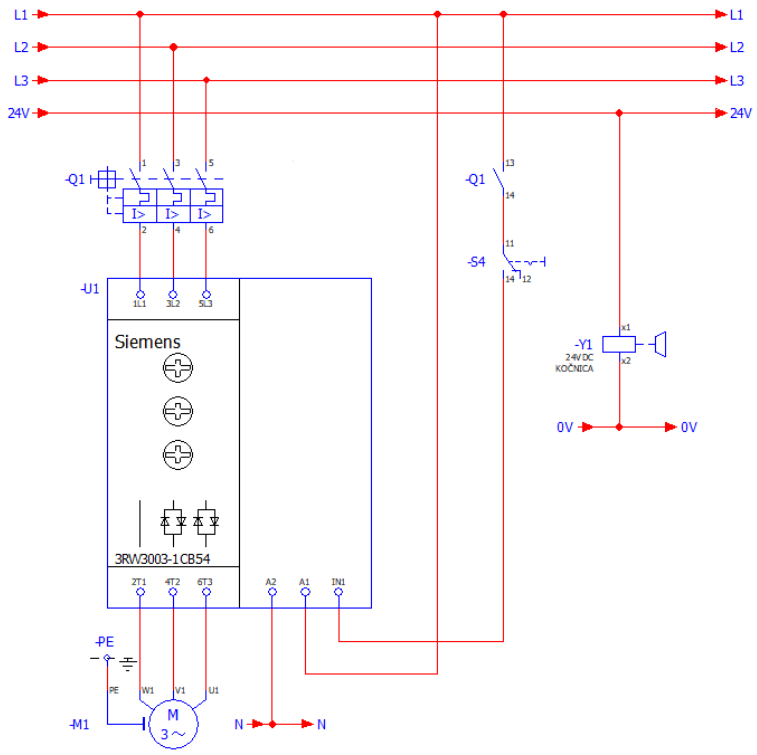
Prilikom zaleta elektromotora teku struje puno veće od nazivne. Da bi se smanjila struja pokretanja, za motore većih snaga koristi se spoj zvijezda-trokut. U spoju zvijezda struja je tri puta manja nego u spoju trokut. Spoj funkcionira tako da se pritiskom na tipkalo za start (S1) uključi glavni sklopnik (K1), koji je uključen cijelo vrijeme, i sklopnik zvijezde (K3). Nakon što prođe vrijeme podešeno na vremenskom releju (KT1), isključi se sklopnik zvijezde (K3) i uključi sklopnik spoja trokut (K2), te motor dalje radi u tom spoju do isključenja. Na slici 6.3.1. prikazana je shema takvog spoja.



Slika 6.3.1. Shema pokretanja motora zvijezda-trokut (rad autora)

6.4. Pokretanje motora pomoću mekog upuštača

Osim spoja zvijezda-trokut, za pokretanje motora s manjim strujama pokretanja koriste se meki upuštači (engl. *Softstarter*). Prije pokretanja potrebno je podesiti vremena pokretanja i zaustavljanja motora te iznos početnog napona (određeni postotak od nazivnog napona). Na slici 6.4.1. prikazana je shema spoja mekog upuštača.



Slika 6.4.1. Shema spoja pokretanja motora mekim upuštačem (rad autora)

Pokretanje elektromotora i regulacija brzine vrtnje pomoću frekvencijskog pretvarača objašnjeni su u poglavlju *Pretvarači*.

PITANJA ZA PONAVLJANJE:

1. Navedi načine upravljanja elektromotorima.
2. Nacrtaj shemu pokretanja elektromotora pomoću tipkala.
3. Nacrtaj shemu za promjenu smjera vrtnje elektromotora.
4. Nacrtaj shemu pokretanja elektromotora zvijezda-trokut.
5. Navedi parametre koje je potrebno podesiti prilikom pokretanja mekim upuštačem.

7. Pretvarači

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- objasniti pojam frekvencijski pretvarač
- parametrirati frekvencijski pretvarač
- povezati frekvencijski pretvarač i elektromotor.

Najčešće korišteni uređaji za upravljanje elektromotornim pogonom jesu **frekvencijski pretvarači**. Osim upravljanja (pokretanja) elektromotora, frekvencijski pretvarači služe za regulaciju brzine vrtnje elektromotora. Ulazni izmjenični signal (230 V ili 400 V) pretvaraju u izlazni signal promjenjive frekvencije i napona. Iznos izlaznog napona i frekvencije ovisi o željenoj brzini vrtnje motora.

Slika 7.1. Frekvencijski pretvarač (rad autora)

Postoje dvije osnovne vrste frekvencijskih pretvarača:

- izravni pretvarači
- neizravni pretvarači.

Izravni pretvarači izravno pretvaraju ulazni izmjenični napon u izlazni napon promjenjivog iznosa i frekvencije.

Neizravni pretvarači najčešće su korišteni pretvarači u sustavima automatizacije. Takvi pretvarači ulazni izmjenični napon najprije pretvaraju u istosmjerni napon te zatim ponovno u izmjenični napon promjenjivog iznosa i frekvencije. Istosmjerni međukrug služi da bi se dobio veći iznos izlaznog napona od ulaznog. Na primjer, pretvarač može imati ulazni napon 230 V, a izlazni 400 V.

7.1. Parametriranje frekvencijskih pretvarača

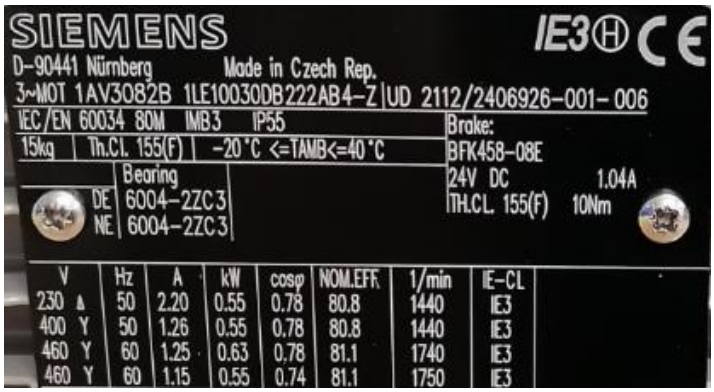
Parametriranje frekvencijskih pretvarača moguće je dvama načinima:

- pomoću operacijskog panela na samom pretvaraču
- pomoću računala iz razvojnog okruženja (npr. TIA Portal).

Prilikom podešavanja frekvencijskog pretvarača za rad i puštanje u pogon, potrebno je podesiti sljedeće parametre:

- frekvenciju mreže
- nazivni napon motora
- nazivnu struju motora
- nazivnu snagu motora
- nazivnu frekvenciju motora
- nazivnu brzinu motora
- minimalnu frekvenciju
- maksimalnu frekvenciju
- vrijeme ubrzavanja (pokretanja)
- vrijeme usporavanja (zaustavljanja)
- način upravljanja frekvencijskim pretvaračem (digitalni ulazi/izlazi, Profinet, Profibus)
- vrstu analognog ulaza.

Nazivni podaci motora očitaju se s natpisne pločice koja se nalazi na motoru (slika 7.1.1.).



Slika 7.1.1. Natpisna pločica motora (rad autora)

Minimalna i maksimalna frekvencija parametriraju se prema željenom rasponu regulacije brzine vrtnje. Na primjer, ukoliko se želi regulacija brzine vrtnje od 0 do nazivne vrijednosti, utoliko se minimalna frekvencija podesi na 0 Hz, a maksimalna na nazivnu frekvenciju (50 Hz).

Vrijeme ubrzavanja jest vrijeme za koje motor dođe do zadane vrijednosti brzine vrtnje kada dobije nalog za pokretanje (npr. 10 s).

Vrijeme usporavanja jest vrijeme za koje se motor, nakon naloga za zaustavljanje, potpuno zaustavi.

Način upravljanja ovisi o načinu na koji je frekvencijski pretvarač povezan s PLC-om, a **vrsta analognog izlaza** ovisi o vrsti izlaza PLC-a, npr. strujni 0 do 20 mA).

Nakon podešenih parametara slijedi testiranje i puštanje u rad frekvencijskog pretvarača.

PITANJA ZA PONAVLJANJE:

1. Objasni primjenu frekvencijskih pretvarača.
2. Navedi vrste frekvencijskih pretvarača.
3. Objasni izravne pretvarače.
4. Objasni neizravne pretvarače.
5. Navedi parametre potrebne za rad frekvencijskog pretvarača.
6. Navedi bitne podatke koji se nalaze na natpisnoj pločici motora.

8. Povezivanje PLC-a i pretvarača

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- povezati PLC i frekvencijski pretvarač pomoću digitalnih ulaza i izlaza
- odabrati odgovarajuću funkciju digitalnih ulaza i izlaza pretvarača.

Frekvencijski pretvarač povezuje se s PLC-om pomoću digitalnih i analognih upravljačkih signala ili pomoću komunikacijskih sustava (Profinet, Profibus). Energetski dio pretvarača povezuje se s elektromotorom.

Slika 8.1. Spoj frekvencijskog pretvarača (rad autora)

Upravljački signali kojima PLC upravlja frekvencijskim pretvaračem jesu:

- binarni signal za „START“/„STOP“ motora
- binarni signal za promjenu smjera vrtnje motora
- binarni signal za potvrdu greške frekvencijskog pretvarača
- analogni signal za brzinu vrtnje motora.

Da bi se PLC uspješno povezao s frekvencijskim pretvaračem pomoću odgovarajućih ulaza i izlaza, potrebno je poznavati upravljačke priključke frekvencijskog pretvarača. Funkciju pojedinih priključaka potrebno je potražiti u tehničkom priručniku proizvođača frekvencijskog pretvarača. Na slici 8.2. prikazan je primjer upravljačkih priključaka frekvencijskog pretvarača.

31	+24V IN.	20.4 V ... 28.8 V, 0.5 A napajanje, opcija
32	GND IN.	Referenca za stezaljku 31
1	+10V OUT	10 V izlazni napon, maksimalno 10 mA
2	GND	Referenca za stezaljke 1, 9 i 12
3	AI 0+	Analogni ulaz (-10 V ... 10 V, 0/4 mA ... 20 mA)
4	AI 0-	Referenca za stezaljku 3

12	AO 0+	Analogni izlaz (0 V ... 10 V, 0 mA ... 20 mA)
13	GND	Referenca za stezaljke 1, 9 i 12
21	DO 1+	Digitalni izlaz, maksimalno 0.5 A, 30 V DC
22	DO 1-	
14	T1 MOTOR	Temperaturni senzor (PTC, KTY84, Pt1000, bimetal)
15	T2 MOTOR	
28	GND	Referenca za stezaljke 1, 9 i 12

69	DI COM1	Referenca za stezaljke 5, 7 i 16
34	DI COM2	Referenca za stezaljke 6, 8 i 17
5	DI 0	Digitalni ulazi, stanje 0: < 5 V, stanje 1: > 11 V maksimalno 30 V
6	DI 1	
7	DI 2	
8	DI 3	
16	DI 4	
17	DI 5	

19	DO 0 NO	Digitalni izlaz, 0.5A, 30 V DC
20	DO 0 COM	
18	DO 0 NC	
9	+24V OUT	24 V izlaz, 100 mA

Slika 8.2. Upravljački priključci frekvencijskog pretvarača (rad autora)

Također je potrebno poznavati funkciju pojedinih priključaka. Funkcija priključaka ovisi o odabranom načinu upravljanja frekvencijskim pretvaračem. Na slici 8.3. prikazane su najčešće funkcije priključaka kada je odabrano upravljanje pomoću digitalnih i analognih signala.

5	DI 0	ON/OFF1
6	DI 1	Promjena smjera vrtnje
7	DI 2	Potvrda greške
3	AI 0+	Podešavanje brzine vrtnje
18	DO 0	Greška
19		
20		
21	DO 1	Alarm
22		
12	AO 0	Trenutna brzina vrtnje

Slika 8.3. Funkcije digitalnih i analognih priključaka frekvencijskog pretvarača (rad autora)

PITANJA ZA PONAVLJANJE:

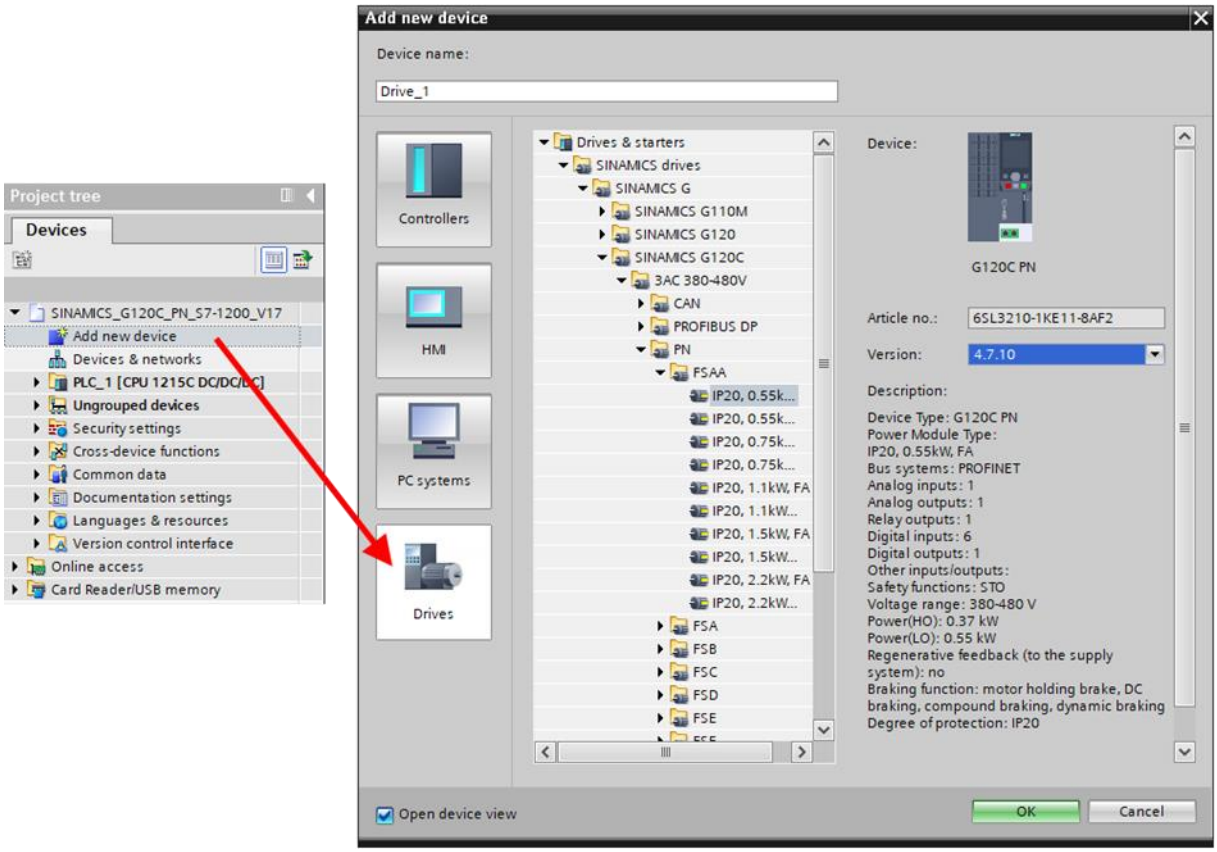
1. Navedi načine povezivanja PLC-a i frekvencijskog pretvarača.
2. Navedi upravljačke signale za upravljanje frekvencijskim pretvaračem.
3. Navedi primjer funkcija digitalnih i analognih upravljačkih signala pretvarača.

9. Upravljanje motorom pomoću PLC-a

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

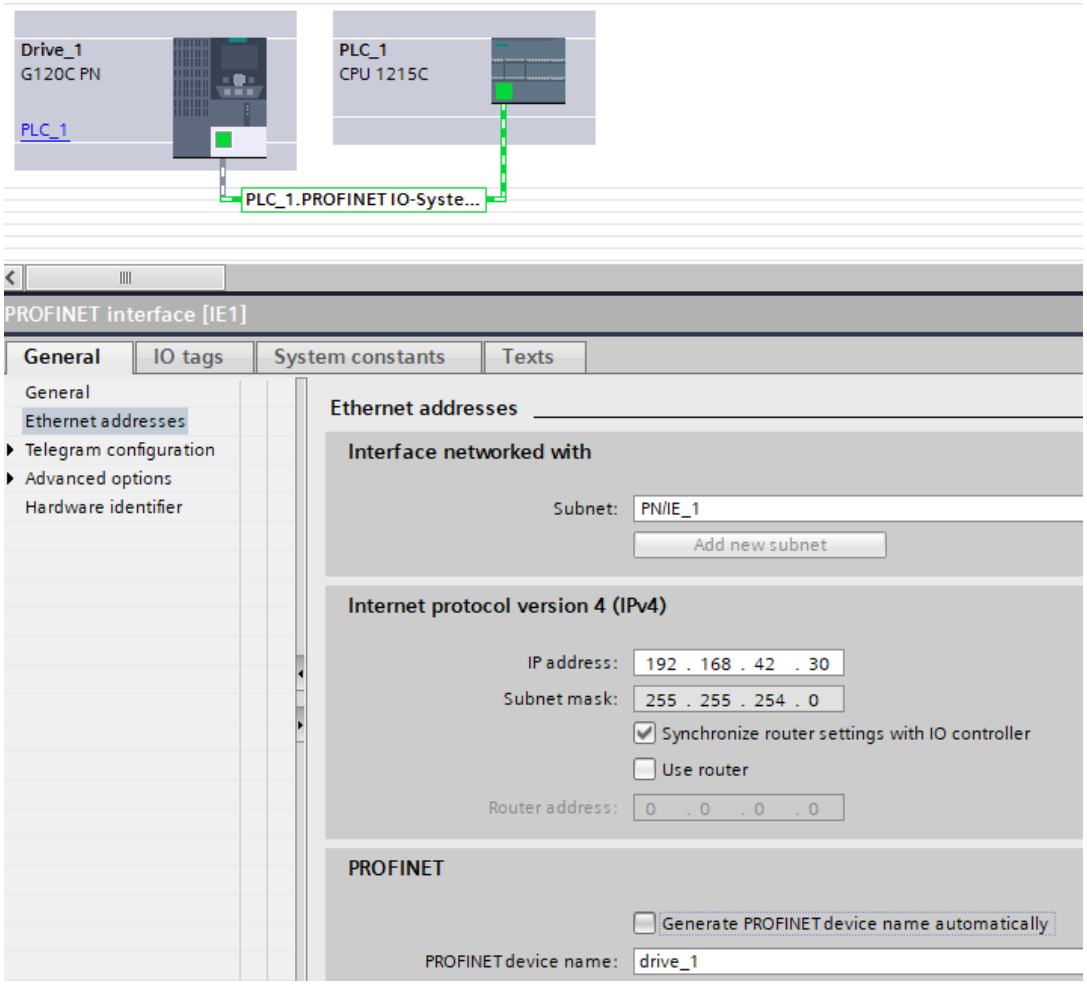
- konfigurirati pretvarač unutar razvojnog okruženja
- podesiti odgovarajuće parametre pretvarača za upravljanje elektromotorom
- izraditi PLC program za upravljanje frekvencijskim pretvaračem.

Osim povezivanja frekvencijskog pretvarača i PLC-a pomoću digitalnih i analognih upravljačkih signala, koristi se i povezivanje posredstvom Profineta. U tom slučaju potrebno je izvršiti parametriranje u razvojnom okruženju TIA Portal. U PLC projektu potrebno je dodati korišteni frekvencijski pretvarač. Najprije je potrebno kliknuti na dodavanje novog uređaja (engl. *Add new device*) u stablu projekta, a zatim odabrati grupu pogona (engl. *Drives*) te zatim odabrati odgovarajući pretvarač, kao što je prikazano na slici 9.1.



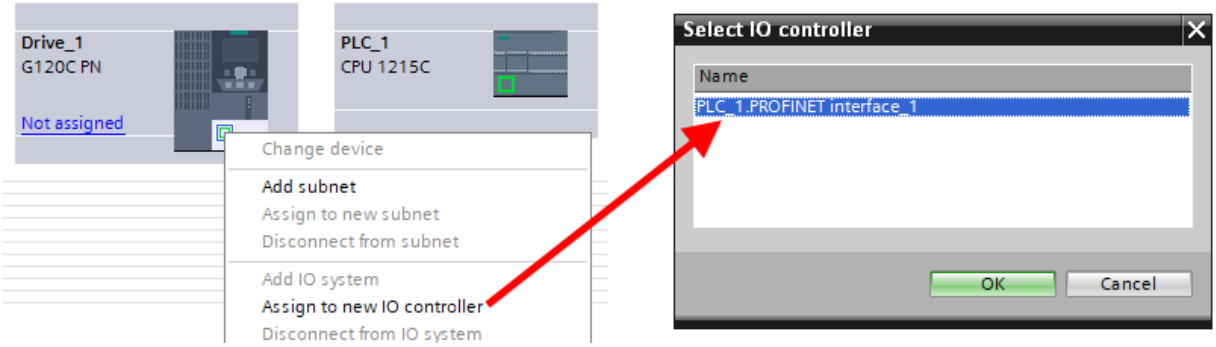
Slika 9.1. Dodavanje frekvencijskog pretvarača (snimka zaslona TIA PORTAL, rad autora)

Da bi PLC i frekvencijski pretvarač mogli komunicirati, potrebno je povezati pretvarač u mrežu s PLC-om. Prvi je korak definiranje IP adrese i podmreže (slika 9.2.).



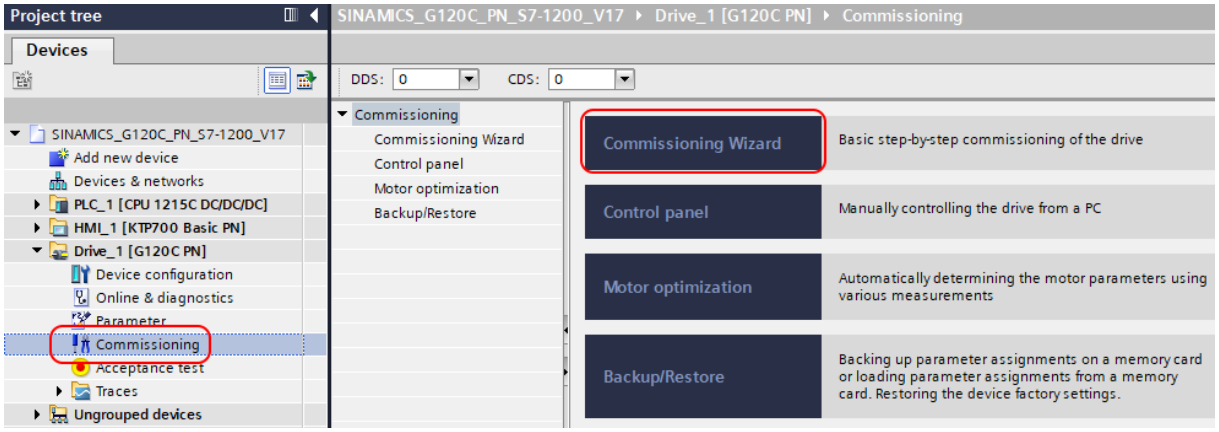
Slika 9.2. Definiranje postavki mreže frekvencijskog pretvarača (snimka zaslona TIA PORTAL)

Nakon definiranja postavki mreže pretvarača potrebno ga je dodijeliti PLC-u. Potrebno je kliknuti desnom tipkom miša na frekvencijski pretvarač i odabrati opciju „dodjela novom kontroleru“ (engl. *Assign to new IO controller)* te se odabere željeni PLC uređaj (slika 9.3.).



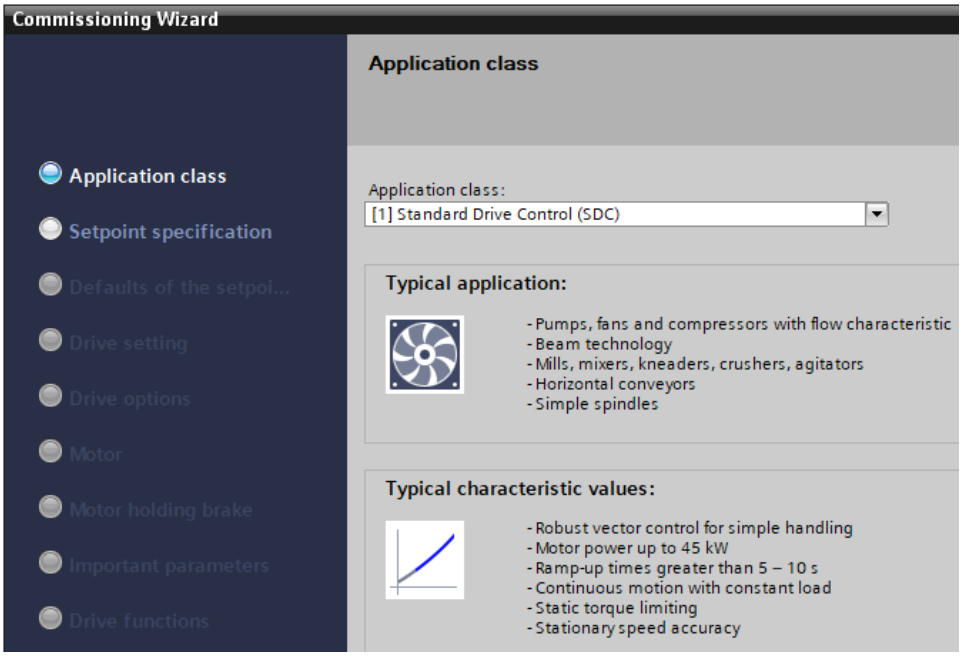
Slika 9.3. Pridruživanje frekvencijskog pretvarača PLC-u (snimka zaslona TIA PORTAL, rad autora)

Nakon izvršenih postupaka može se krenuti s parametriranjem frekvencijskog pretvarača. Parametriranje se pokreće klikom na „puštanje u rad“ (engl. *Commissioning)* u stablu projekta u mapi *Drive_1* (slika 9.4.).



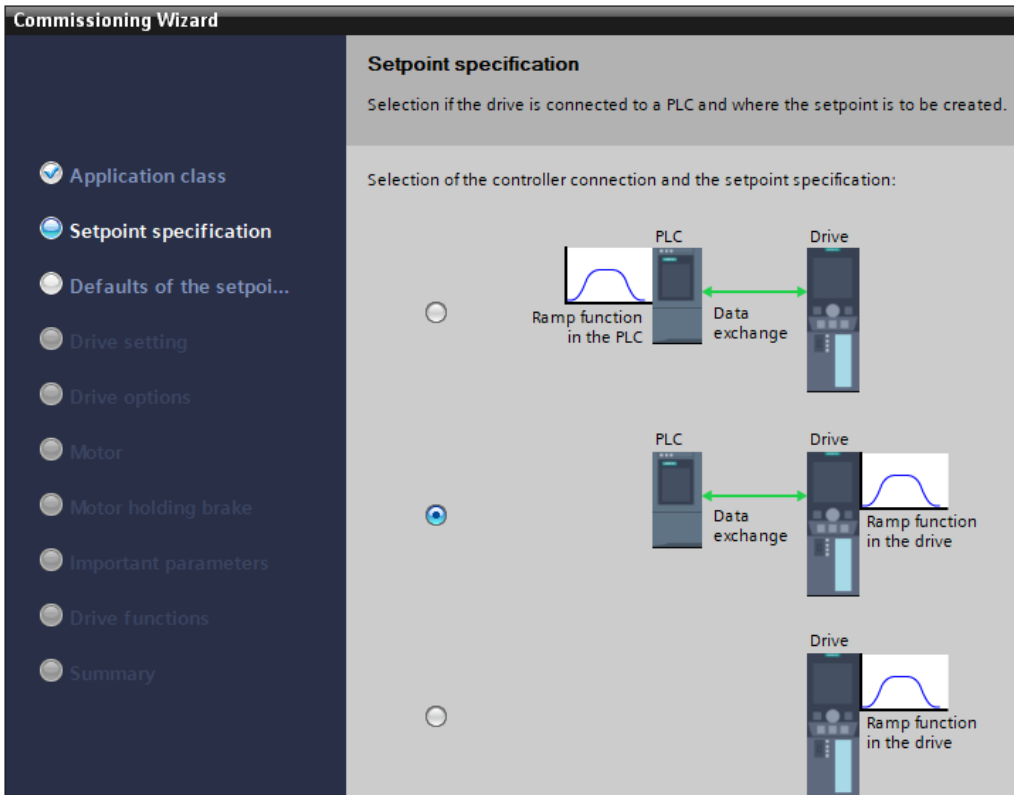
Slika 9.4. Pokretanje parametriranja frekvencijskog pretvarača (snimka zaslona TIA PORTAL, rad autora)

Prvi je korak odabir klase aplikacije motornog pogona.



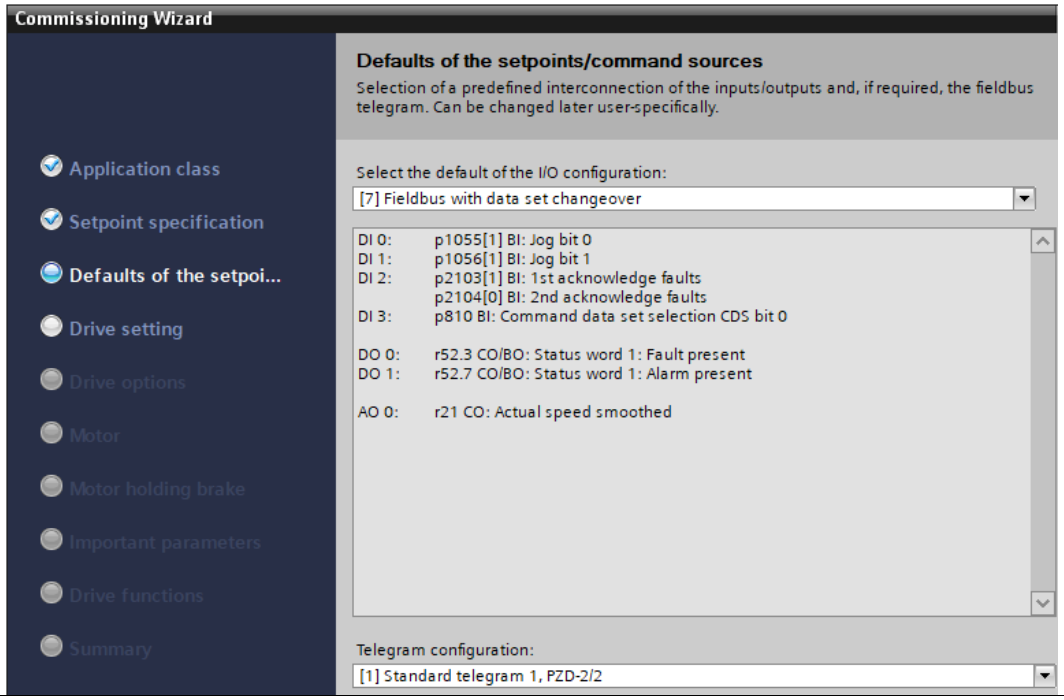
Slika 9.5. Parametriranje – odabir aplikacije pogona (snimka zaslona TIA PORTAL)

Drugi korak služi za definiranje tipa spoja i zadane vrijednosti brzine vrtnje. U ovom primjeru odabran je spoj s PLC-om jer je to najčešći slučaj, a zadana rampa brzine vrtnje postavlja se u frekvencijskom pretvaraču (slika 9.6.) (Grudiček, 2023. str. 100.).



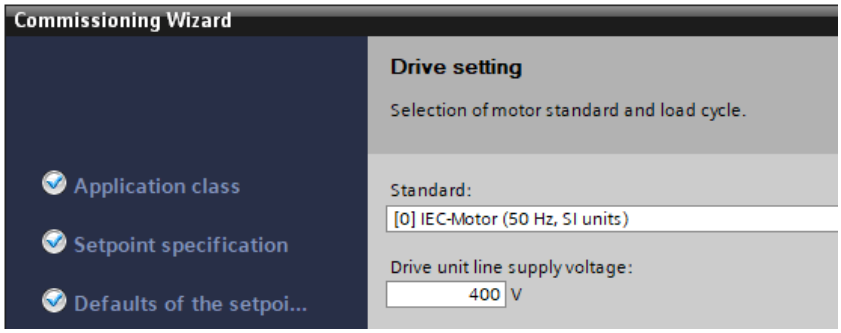
Slika 9.6. Parametriranje – odabir tipa spoja (snimka zaslona TIA PORTAL)

Sljedeći je korak odabir izvora za slanje naredbi pretvaraču. U ovom primjeru odabrano je *Fieldbus with data set changeover* i *Standard telegram 1, PZD-2/2* jer se koristiti komunikacija Profinet (slika 9.7.)



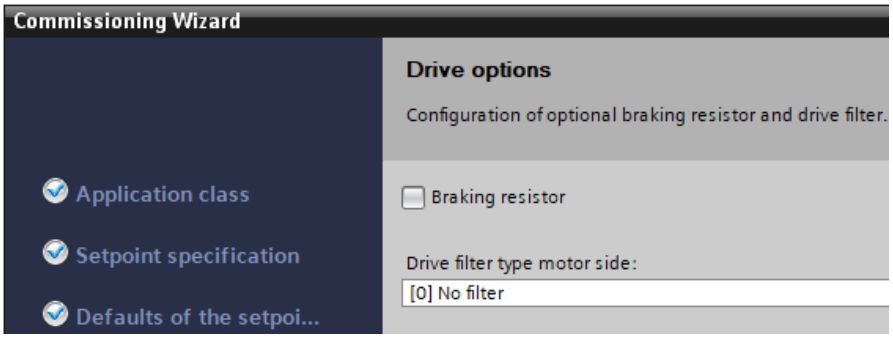
Slika 9.7. Parametriranje – odabir izvora slanja podataka (snimka zaslona TIA PORTAL)

Slijedi odabir tipa i napona napajanja motora (slika 9.8.).



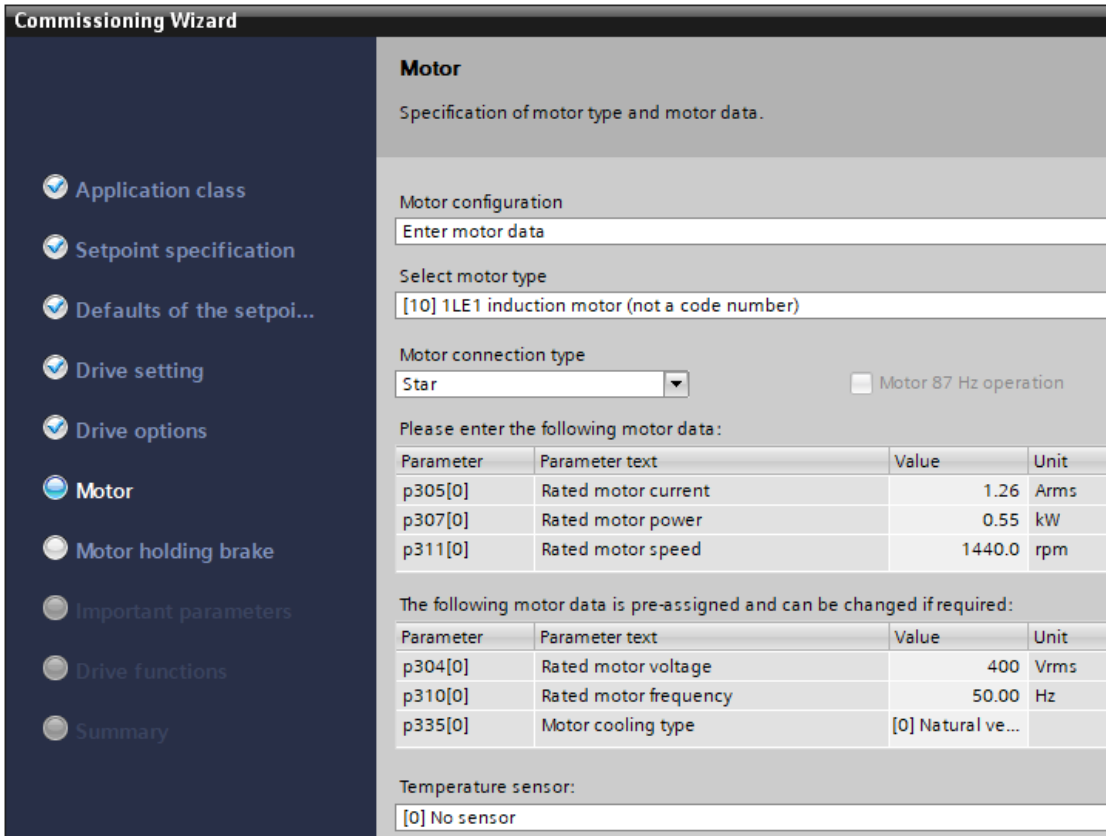
Slika 9.8. Parametriranje – odabir tipa i napona napajanja motora (snimka zaslona TIA PORTAL)

Sljedeći je korak odabir filtera i kočionog otpornika frekvencijskog pretvarača, postoje li. U ovom primjeru ostavljene su zadane postavke (slika 9.9.).



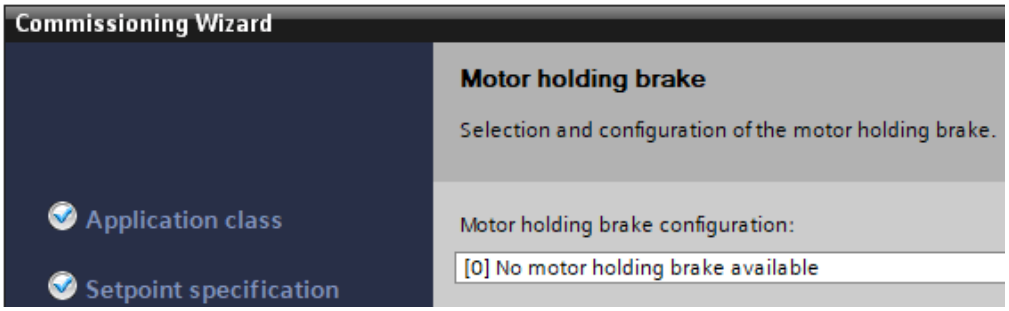
Slika 9.9. Parametriranje – odabir filtera i kočionog otpornika (snimka zaslona TIA PORTAL)

Slijedi upisivanje nazivnih podataka motora s natpisne pločice (slika 9.10.).



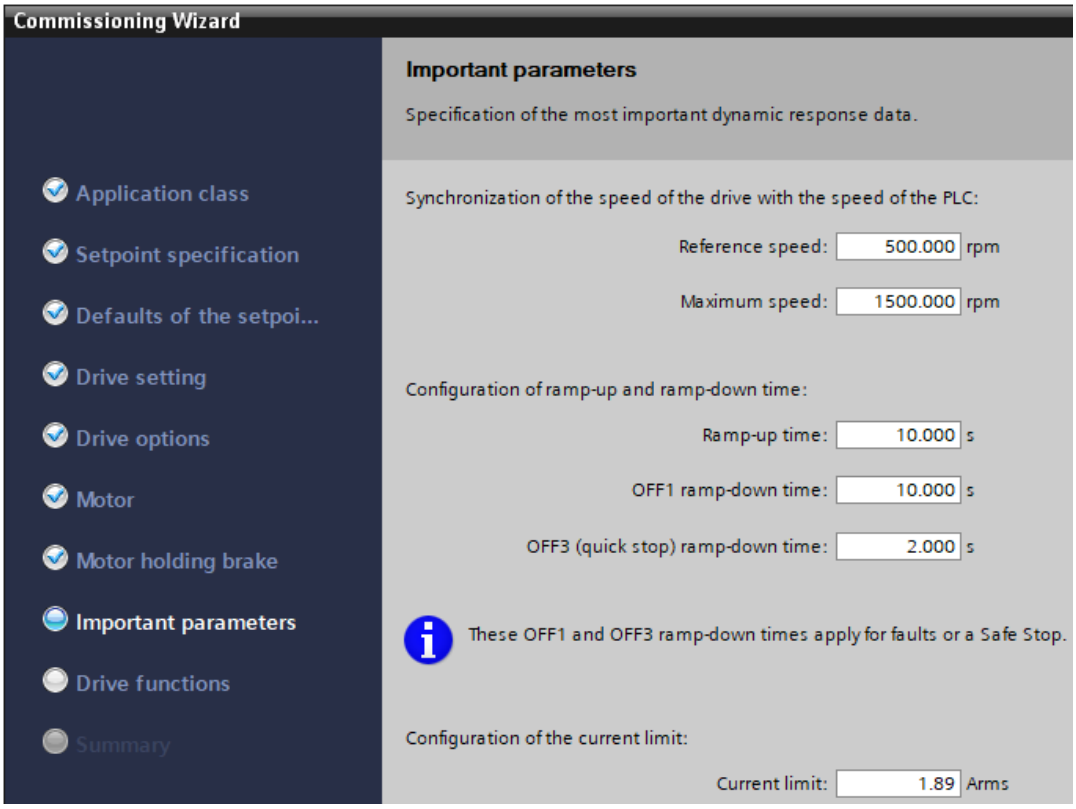
Slika 9.10. Parametriranje – upisivanje nazivnih podataka (snimka zaslona TIA PORTAL)

Nakon nazivnih podataka potrebno je odabrati tip kočnice ako postoji na motoru (slika 9.11.).



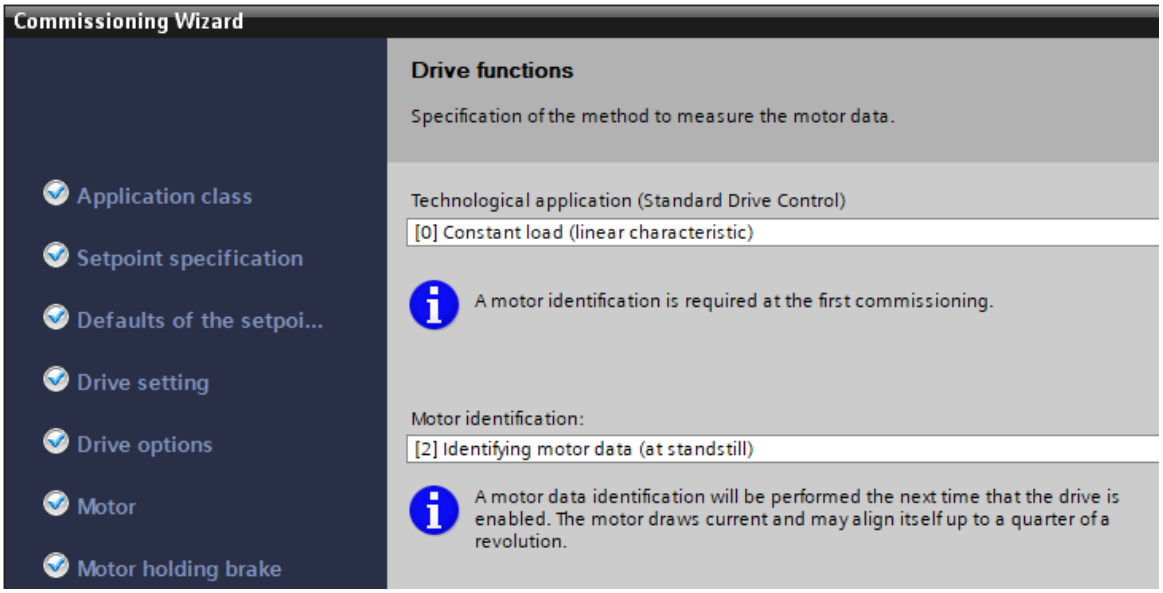
Slika 9.11. Parametriranje – odabir kočnice (snimka zaslona TIA PORTAL)

Sljedeći je korak definiranje dinamičkih podataka o brzini vrtnje, vremenima ubrzavanja i zaustavljanja te ograničenju struje (slika 9.12.).



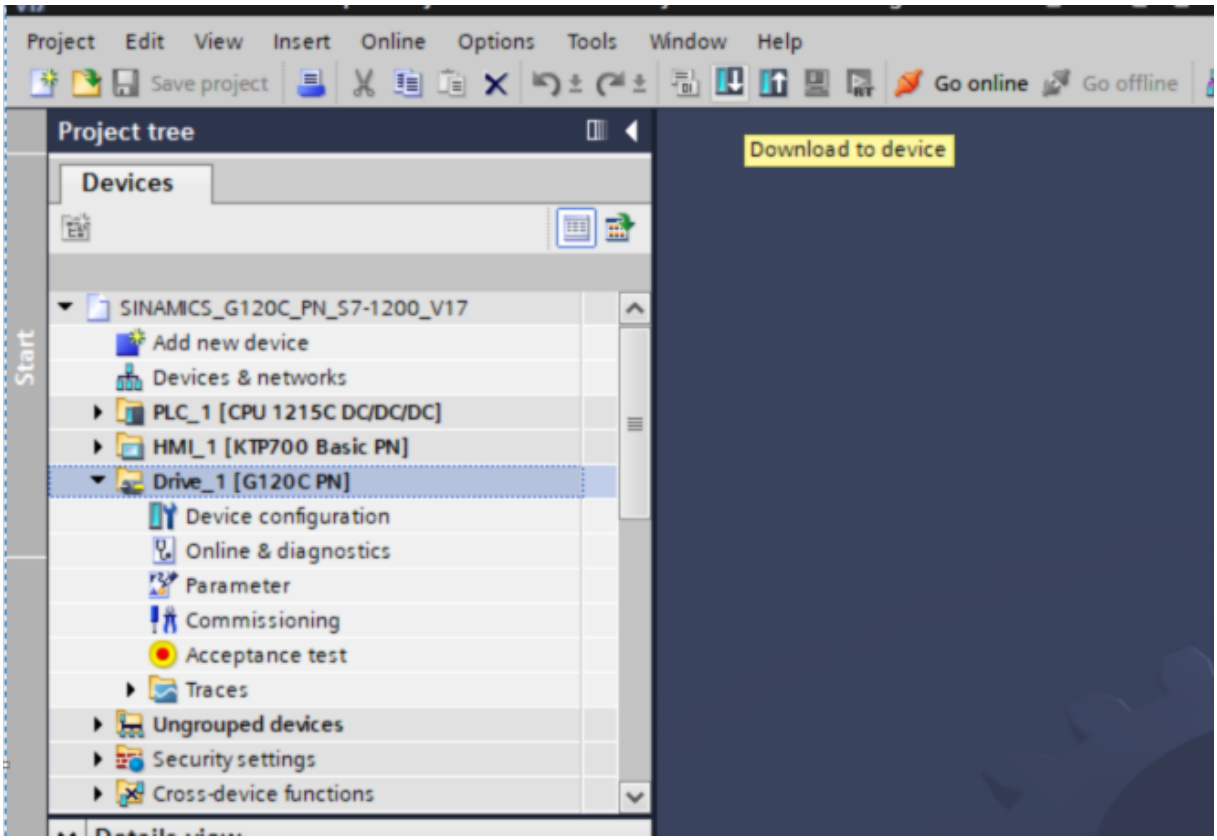
Slika 9.12. Parametriranje – definiranje brzine vrtnje i rampi (snimka zaslona TIA PORTAL)

Posljednji je korak odabir karakteristike upravljanja i mjerenja podataka motora (slika 9.13.).



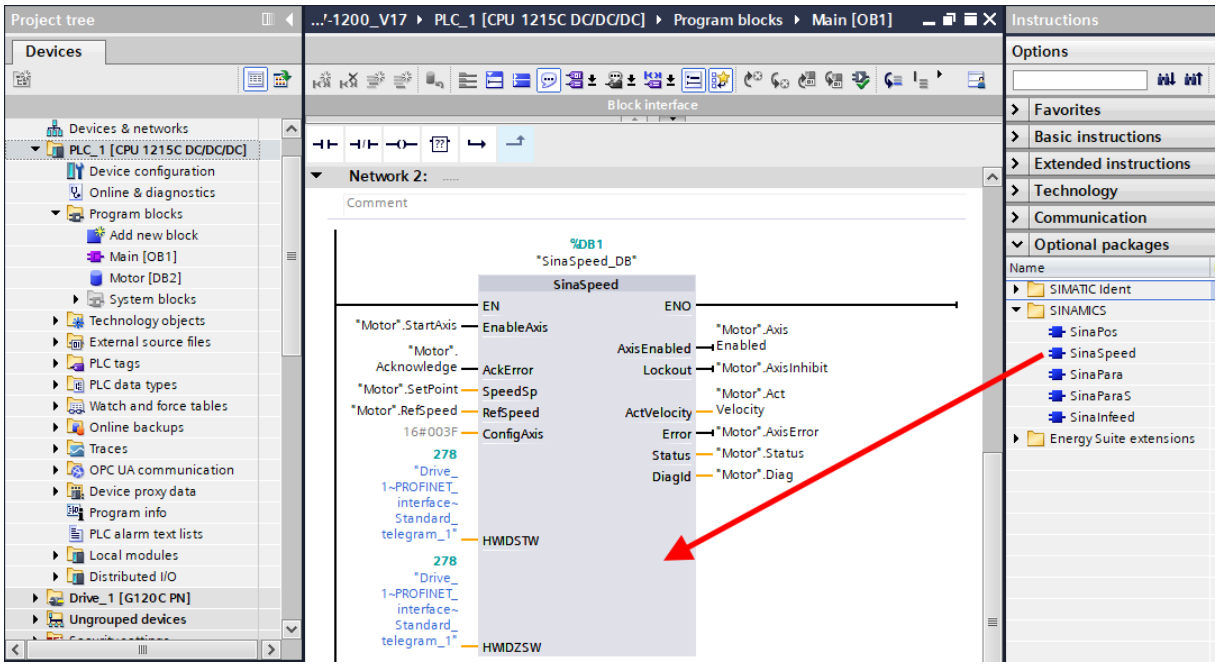
Slika 9.13. Parametriranje – odabir karakteristike upravljanja i mjerenja podataka (snimka zaslona TIA PORTAL)

Nakon završenog parametriranja potrebno je podešenja prebaciti na frekvencijski pretvarač. Potrebno je označiti *Drive_1* u stablu projekta te se klikne „preuzmi na uređaj“ (engl. *Download to device*), čime se postavke učitaju na frekvencijski pretvarač (slika 9.14.).



Slika 9.14. Učitavanje postavki na frekvencijski pretvarač (snimka zaslona TIA PORTAL)

Da bi PLC uređaj upravljao brzinom vrtnje motora pomoću frekvencijskog pretvarača, potrebno je napisati programski kod. U grupi *Optional packages* u stablu instrukcija, mapa *SINAMICS*, nalazi se instrukcija za upravljanje brzinom i smjerom vrtnje motora. Instrukcija se naziva *SinaSpeed* (slika 9.15.).



Slika 9.15. Programski blok za upravljanje motorom (snimka zaslona TIA PORTAL, rad autora)

Koristi se tako da joj je potrebno definirati vrijednost upravljačkog telegrama (*Standard_telegram_1*) frekvencijskog pretvarača. Potrebno je definirati nazivnu i željenu brzinu vrtnje motora, signal za omogućavanje osi pretvarača i za potvrdu greške, te parametar konfiguracije osi (Grudiček, 2023. str. 104.). Upravljanje i zadavanje željene brzine vrtnje vrši se HMI sučeljem.

PITANJA ZA PONAVLJANJE:

1. Opiši postupak dodavanja frekvencijskog pretvarača u projekt.
2. Objasni postupak povezivanja u mrežu PLC-a i frekvencijskog pretvarača.
3. Objasni postupak parametriranja frekvencijskog pretvarača računalom.
4. Navedi instrukciju za upravljanje brzinom i smjerom vrtnje motora.

10. Programiranje industrijskog robota

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- objasniti pojam robota
- nabrojiti i objasniti generacije robota
- nabrojiti i objasniti osnovne dijelove industrijskog robota
- nabrojiti strukture manipulatora
- pokrenuti simulacijsku ćeliju u programu *Roboguide*.

Na početku potrebno se ukratko upoznati s osnovnim značajkama industrijskog robota ili manipulatora, kako ga se još naziva.

Pojam „robot“ dolazi od češke riječi *robota* (tlaka, kmetski rad). To je automatizirani stroj višestruke namjene, koji može obavljati određene ljudske zadaće.

Jeste li znali ?

Naziv „robot“ prvi je put upotrijebljen 1920. godine u drami Karela Čapeka (Rossum's Universal Robots).

Opisan je čovjekoliki stroj, sposoban rasuđivati i zamijeniti ljudski rad u tvornicama.

Prvi robiti bili su namijenjeni radu u opasnim okolinama (rad s radioaktivnim materijalima).

Prvu takvu konstrukciju projektirao je 1954. godine američki izumitelj George Devol, a prvi robot proizveden je 1961. godine u američkoj tvrtki *Unimation*.

- Roboti prve generacije (programirani roboti)

Ti roboti nisu opremljeni senzorima pa ne raspolažu povratnim informacijama o svom stvarnom pozicioniranom stanju u prostoru. Nemaju mogućnost ispravljanja pogreške vođenja.

- Roboti druge generacije

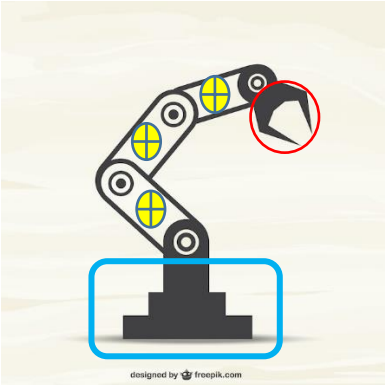
Opremljeni su senzorima koji se koriste za dobivanje povratnih informacija o svojem realnom stanju u prostoru. Ta generacija može korigirati pogreške vođenja.

- Roboti treće generacije (inteligentni roboti) imaju sposobnost učenja, rezoniranja i donošenja zaključaka.

Najveću primjenu imaju industrijski roboti (manipulatori). U automobilskoj industriji služe za sastavljanje dijelova vozila, bojenje ili zavarivanje karoserije i slično.

10.1. Osnovni dijelovi industrijskog robota (manipulatora)

Kad se pogleda industrijski robot, najprije se mogu zamijetiti elementi (**članci**) određenog oblika, međusobno povezani pokretnim elementima (**zglobovima**).



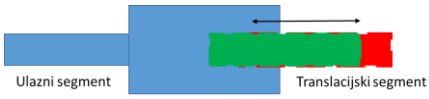
Slika 10.1.1. Prikaz članaka i baze robota (Freepik, 2023., rad autora)

Žuti krugovi na slici 10.1.1 predstavljaju članke manipulatora. Članci mogu biti različitih oblika, što ovisi o strukturi i dizajnu samog manipulatora. Plavi okvir na slici 10.1.1. predstavlja bazu koja mora držati čitavu strukturu robota.

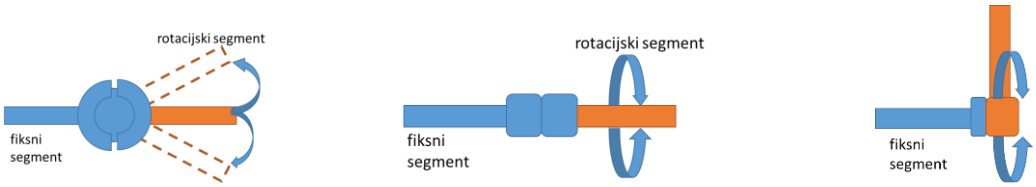
Slika 10.1.2. Zglobovi (Freepik, 2023., rad autora)

Zelenom bojom zaokruženi elementi na slici 10.1.2. jesu zglobovi. To su pokretni elementi koji povezuju dva susjedna članka te omogućavaju gibanje članaka po određenoj osi u određenom smjeru. Industrijski se manipulatori koriste dvjema vrstama

zglobova, koji prema svojim karakteristikama gibanja mogu biti **rotacijski** ili **translacijski**.



Slika10.1.3 Translacijski zglob (rad autora)

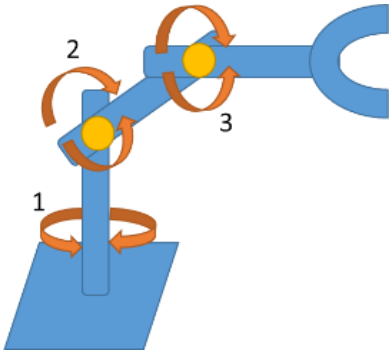


Slika 10.1.4. Rotacijski zglobovi (rad autora)

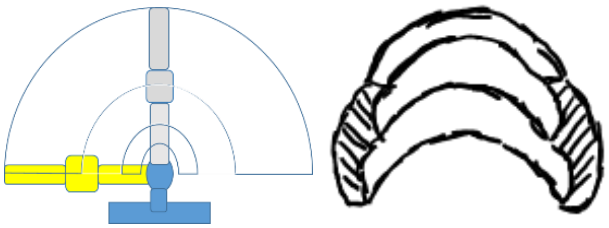
Strukture manipulatora

- antropomorfna (rotacijska)
- sferna
- scara
- cilindrična
- pravokutna (kartezijeva).

Najčešće je korištena struktura robota rotacijska, prikazana na slici 10.1.5., gdje se vidi da se robot giba rotacijama članaka u zglobovima. Na slici 10.1.6. prikazan je radni prostor robota, a na slici 10.1.7. fizički robot.



Slika 10.1.5. Rotacijska struktura (rad autora)



Slika 10.1.6. Radni prostor robota (rad autora)

Slika 10.1.7. Fizički robot rotacijske strukture (rad autora)

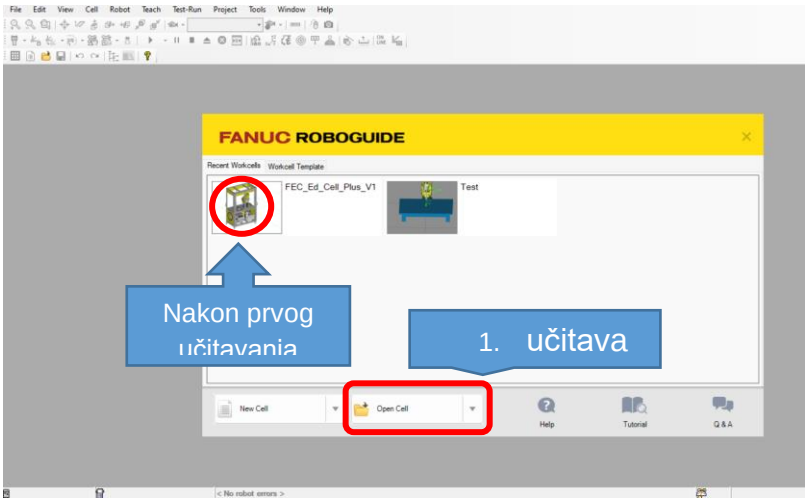
10.2. Učitavanje simulacijske ćelije

U nastavku će se objasniti kako učitati simulacijsku ćeliju u programu *RoboGuide*.

Slika 10.2.1. Simulacijska ćelija (snimka zaslona RoboGuide)

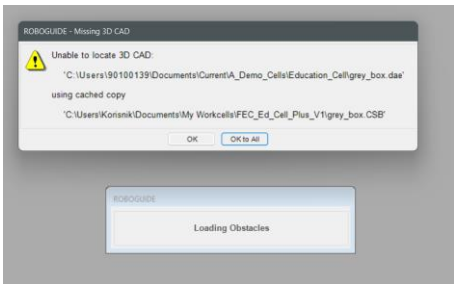
Pokretanje softvera *RoboGuide*

Klikom na ikonu otvara se programski prozor, u kojem se bira edukacijska robotska ćelija. Prilikom prvog učitavanja potrebno je ćeliju učitati iz mape, kao što je prikazano na slici 10.2.2. Prilikom svakog sljedećeg pokretanja programa, ćelija će biti ponuđena.



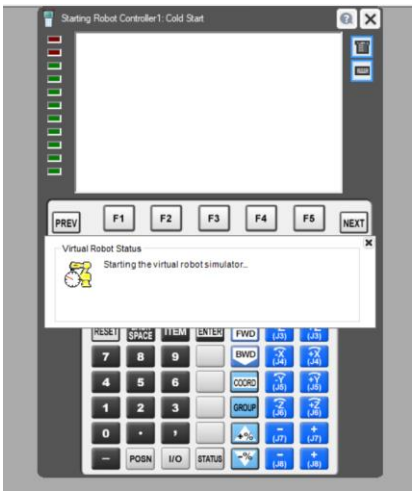
Slika 10.2.2. Izbor edukacijske ćelije (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Na slici 10.2.3. prikaz je za potvrđivanje (*OK to All*).



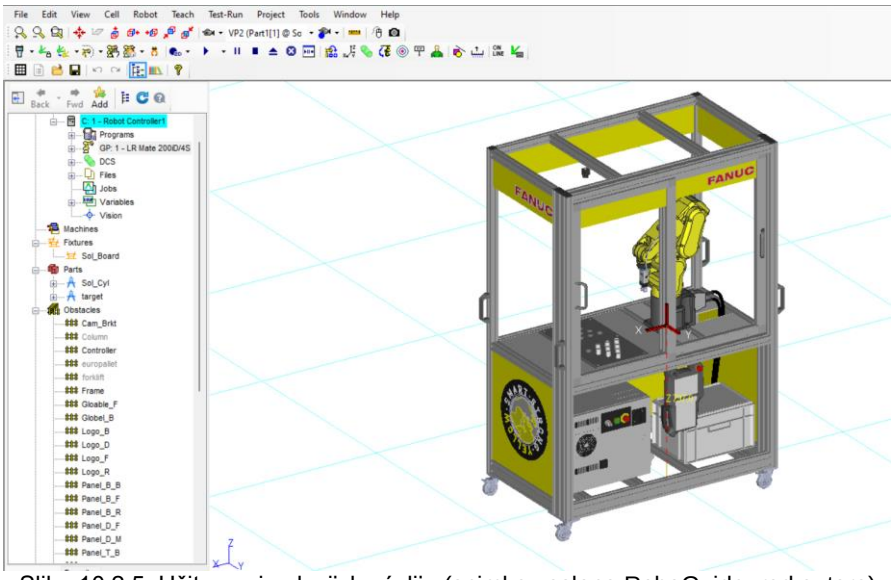
Slika 10.2.3. Učitavanje postavki (snimka zaslona RoboGuide)

Na slici 10.2.4. prikazan je postupak učitavanja simulacijske ćelije, te je potrebno pričekati završetak toga procesa.



Slika 10.2.4. Učitavanje simulatora (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Nakon završenog učitavanja otvara se sučelje sa simulacijskom ćelijom prikazanom na slici 10.2.5.



Slika 10.2.5. Učitana simulacijska ćelija (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

PITANJA ZA PONAVLJANJE:

1. Nabroji i navedi specifičnosti pojedinih generacija robota.
2. Gdje se prvi puta pojavio pojam „robot“?
3. Za što su bili namijenjeni prvi roboti?
4. Kako se zove robot na kojem će se provoditi programiranje?
5. Kako se zove programsko okružje u kojem će se provoditi programiranje?
6. Nabroji strukture manipulatora.
7. Nabroji osnovne dijelove industrijskog robota.
8. Nabroji vrste zglobova.
9. Koja je struktura industrijskog robota najčešće korištena?

11. Simulacija i dijagnostika rada robota

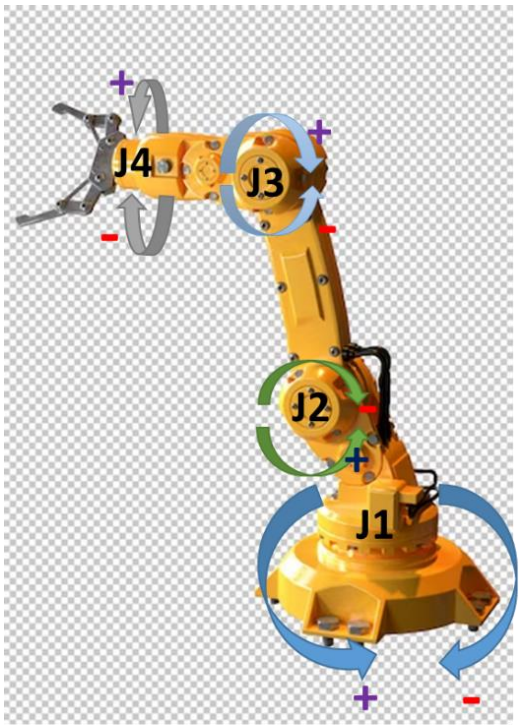
NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- nabrojiti i objasniti koordinatne sustave
- kreirati simulacijski program
- programirati i simulirati prihvat simulacijskog klina
- programirati i simulirati otpuštanje simulacijskog klina
- dijagnosticirati stanja industrijskog robota
- kreirati program ručnim kontrolerom.

Prije nego što se počnu programirati, simulirati i dijagnosticirati pozicije robota, treba se upoznati s koordinatnim sustavima.

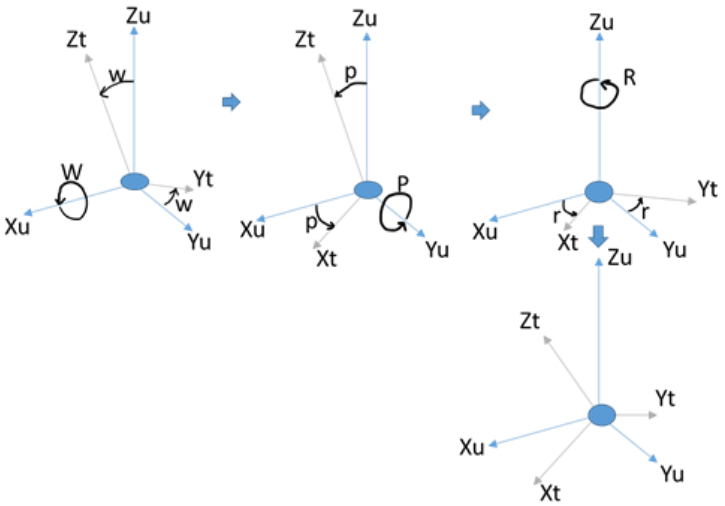
Koordinatni sustavi u robotici važni su zbog određivanja pozicije i načina kretanja robota u prostoru. Može se birati, u pravilu, pet različitih tipova koordinatnih sustava, četiri pravokutna i jedan za osi kretanja robota. Kretanja u pojedinim koordinatnim sustavima specifična su te se mora paziti prilikom njihova odabira.

Koordinatni sustav *Joint* predstavlja pojedine osi robota, u tom se slučaju svaki zglob vrti oko svoje osi i u ovom koordinatnom sustavu nisu moguće promjene. Na slici 11.1. prikazan je robot s pripadajućim *Joint* koordinatama.



Slika 11.1. Koordinatni sustav Joint (Freepik, 2023., rad autora)

Pravokutni koordinatni sustav predstavlja pozicije robota u prostoru opisanim translacijama X, Y, Z i rotacijama W, P , R, kao što je prikazano na slici 11.2.

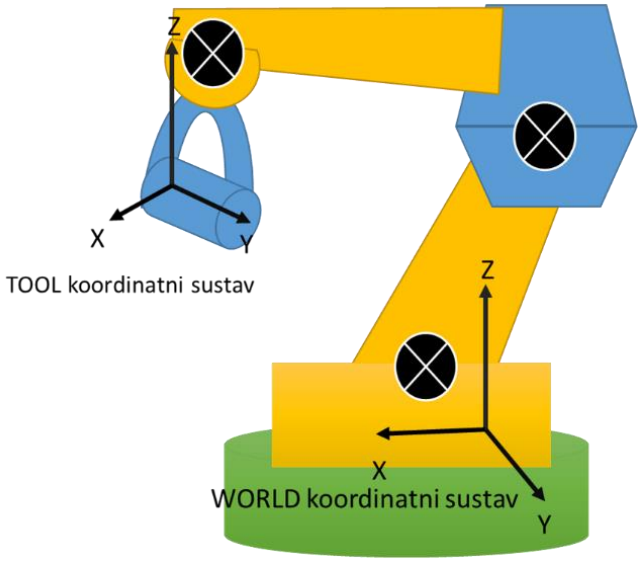


Slika 11.2. Pravokutni koordinatni sustav (rad autora)

Koordinatni sustav *World* definiran je unaprijed, i ne mogu se mijenjati parametri (položaj i orijentacija). Taj koordinatni sustav ujedno je i originalni koordinatni sustav robota.

Koordinatni sustav *Tool* definira položaj centra alata (engl. *Tool center point* – TCP).

Na slici 11.3. vidi se odnos između dvaju različitih koordinatnih sustava, robota i njegova alata.



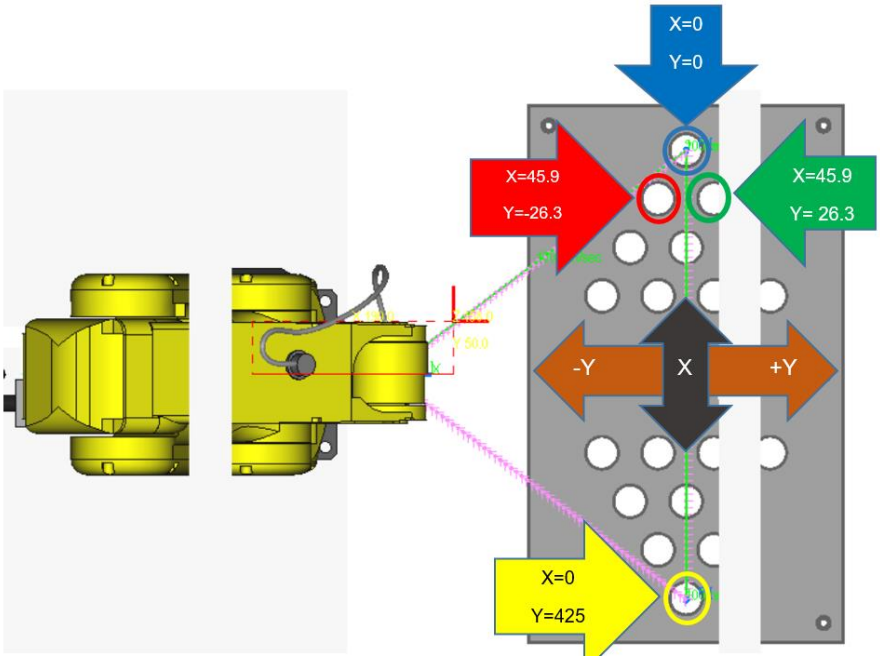
Slika 11.3. Prikaz koordinatnog sustava Tool i World (rad autora)

Koordinatni sustav *User* (korisnički koordinatni sustav) omogućava korisniku da sam kreira centar i rotaciju u odnosu na koordinatni sustav *World*.

Važno je naglasiti ukoliko se koristi koordinatni sustav *Tool* ili *User*, utoliko treba znati specifičnosti toga koordinatnog sustava prilikom programiranja zbog mogućega oštećenja robota uslijed njegovih nepredvidljivih kretnji.

U ovom će se priručniku tijekom programiranja koristiti koordinatni sustav *User*. Taj koordinatni sustav nudi programski paket prilikom svakog kreiranja novog programa. Na slici 11.4. prikazane su koordinate i pozicije simulacijskih klinova.

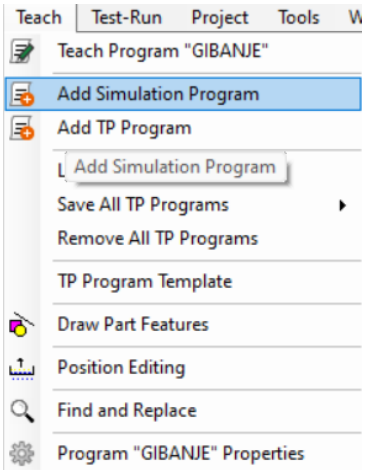
VAŽNO: U svim se primjerima koristi koordinatnim sustavom *User*, koji je unaprijed definiran i spreman za korištenje. Na slici 11.4. prikazane su određene pozicije definirane upravo u koordinatnom sustavu *User*.



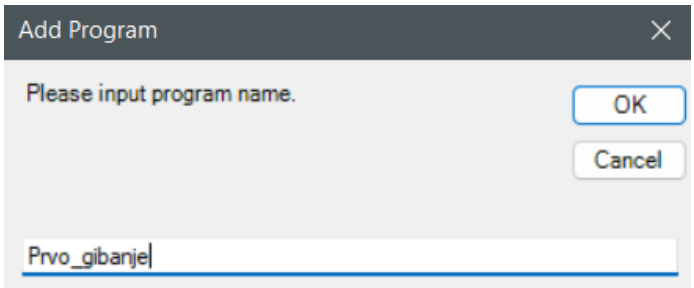
Slika 11.4. Prikaz radnog prostora koordinatnog sustava User (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Na slici 11.4. vide se točne koordinate pozicije klinova po X i Y osi. Vrijednosti koordinata X = 0, Y = 0 na slici 11.4. predstavljaju poziciju označenu plavom bojom. Vrijednosti za pomicanje do sljedećeg klina po X = 45.9, po Y = 26.3, predstavljaju poziciju označenu zelenom bojom. Na slici 11.4. prikazane su koordinate još dviju točaka označene crvenom i žutom bojom. U prvom primjeru programirat će se na računalu bez korištenja ručnim kontroleraom (engl. *Teach Pendant* – TP).

U prvom se koraku dodaje novi TP simulacijski program, kao što prikazuje slika 11.5., i dodaje se ime programu, kao što prikazuje slika 11.6.

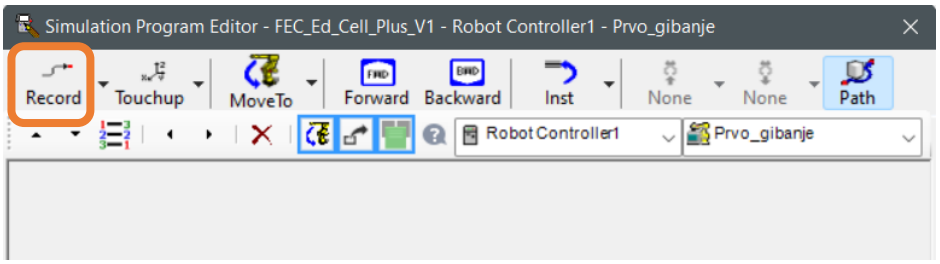


Slika 11.5. Novi simulacijski program (snimka zaslona RoboGuide)



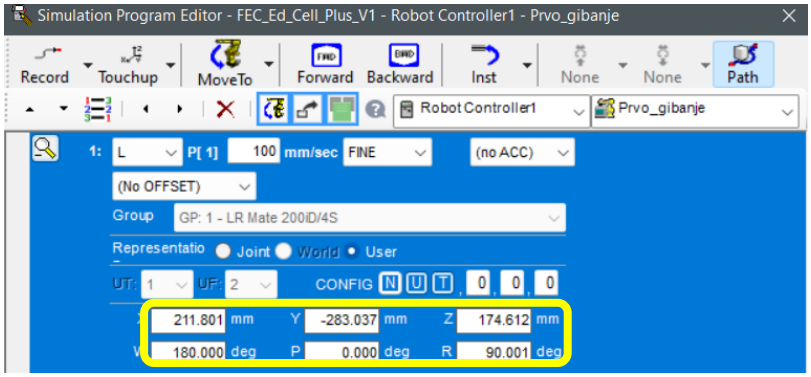
Slika 11.6. Naziv programa (snimka zaslona RoboGuide)

Za dodavanje prve koordinate u program potrebno je kliknuti na uokvirenu ikonu naziva *Record*, kao što prikazuje slika 11.7.



Slika 11.7. Dodavanje pozicije (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

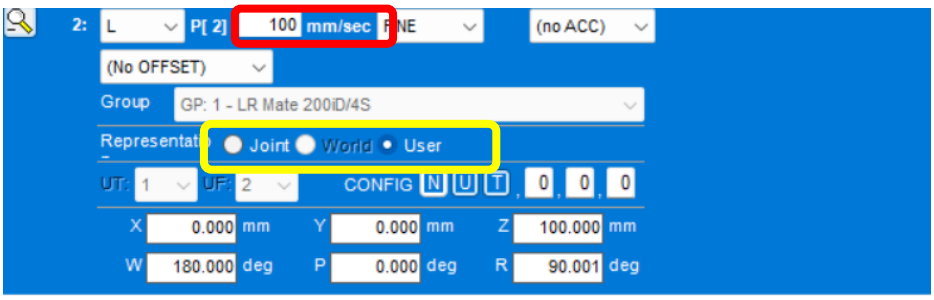
Nakon klika na tipku *Record* otvaraju se opcije za unos koordinata i podešavanje parametara. U žutom okviru nalaze se koordinate (X, Y, Z) s pripadajućim kutovima. Koordinate pojedinih osi mijenjaju se klikom na polje i unosom novih vrijednosti, kao na slici 11.8.



Slika 11.8. Prva koordinata (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Prilikom podešavanja pozicijske točke važno je odrediti i brzinu gibanja. Program standardno stavlja vrijednost 2000. U okviru crvene boje na slici 11.9. upisana je vrijednost 100. Prilikom početničkog programiranja preporuča se brzina nižih

vrijednosti. Ukoliko bi ostala vrijednost 2000, utoliko bi se simulacija teško pratila, tj. bila bi prebrza, a za fizičkog robota i opasna.

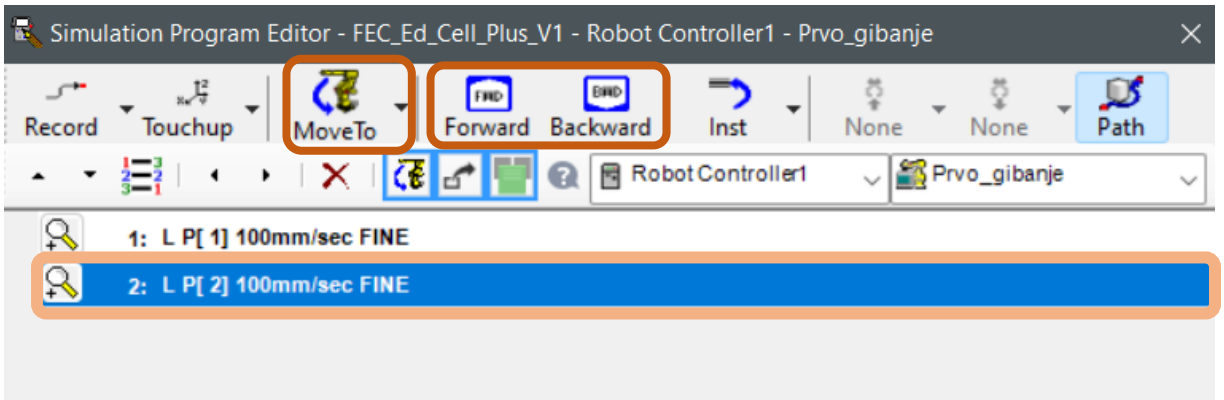


Slika 11.9. Druga koordinata (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

U žutom okviru na slici 11.9. opcije su za biranje koordinatnog sustava. U svim primjerima koristit će se označenim koordinatnim sustavom *User*, koji je prilagođen prema poziciji radnog prostora robota. Prilikom podešavanja pozicije program automatski podesi na koordinatni sustav *User*, te nisu potrebne nikakve promjene. Slika 11.8. i 11.9. prikazuju dvije pozicije robota s podešenim parametrima te ih se može isprobati pokretanjem simulacije.

Prva simulacija izvest će se korak po korak, to jest koordinatu po koordinatu.

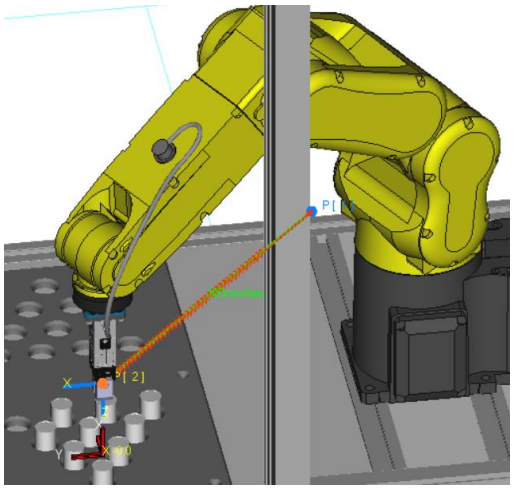
Najprije je potrebno označiti koordinatu u koju se želi smjestiti robota, a potom kliknuti na ikonu *Move To*, kao što je prikazano na slici 11.10.



Slika 11.10. Pokretanje simulacije (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

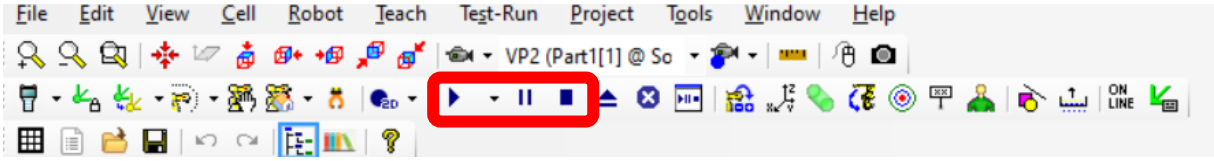
Može se koristiti i opcijama *Forward* ili *Backward.*

Na slici 11.11. može se vidjeti kako se robot izmjestio iz pozicije P[1], koja je i početna pozicija, na poziciju P[2].



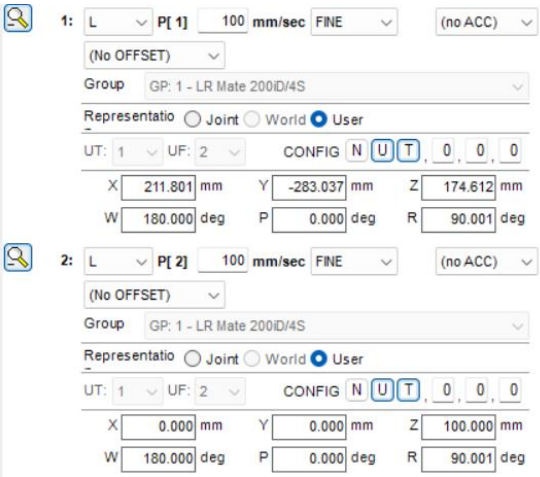
Slika 11.11. Pozicije P[2] (snimka zaslona RoboGuide)

Želi li se da se naredbe izvode jedna za drugom, može se koristiti opcijama iz panel-trake, uokvirenim crvenom bojom na slici 11.12.



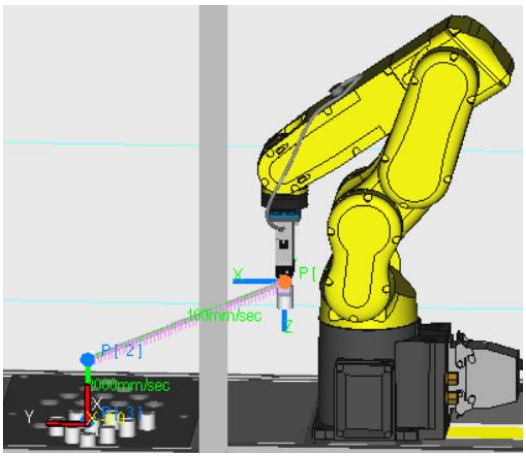
Slika 11.12. Kontinuirano izvođenje programa (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Pozicije na slici 11.13. izvršit će se jedna za drugom.

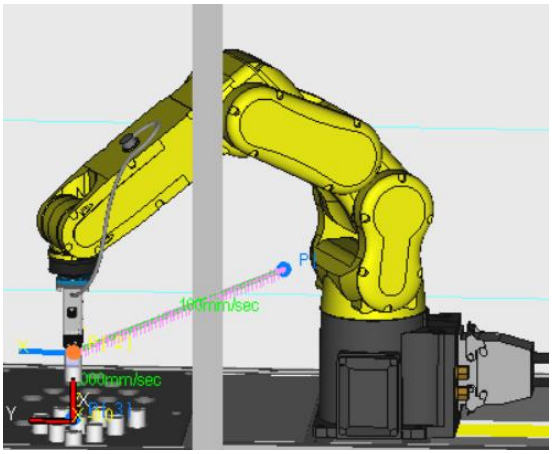


Slika 11.13. Programirane pozicije P[1], P[2] (snimka zaslona RoboGuide)

Lijeva slika 11.14. pokazuje početnu poziciju P[1], a desna slika 11.15. gibanje robota u poziciju P[2].

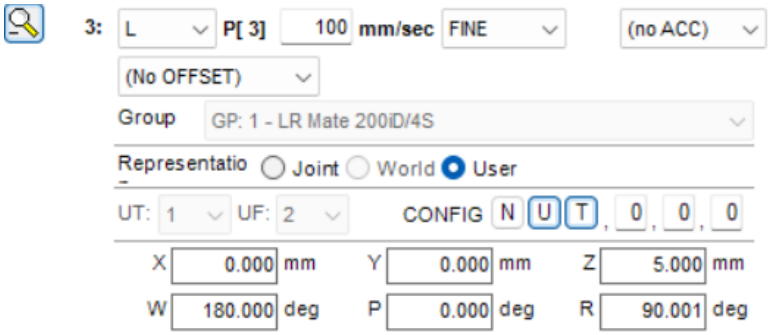


Slika 11.14 Pozicija [P1] (snimka zaslona RoboGuide)

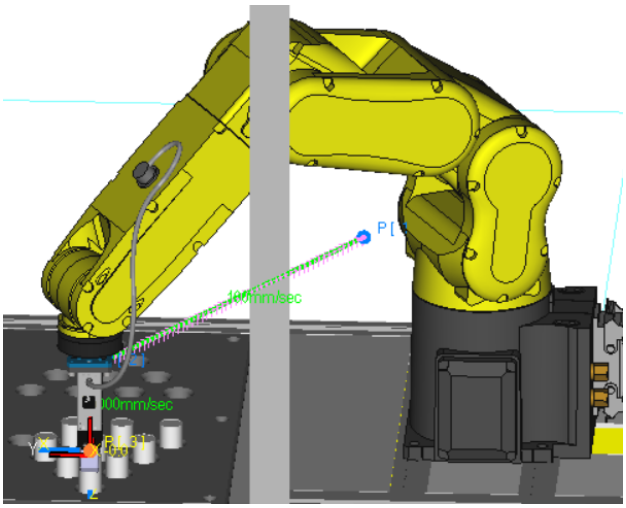


Slika 11.15. Pozicija [P2] (snimka zaslona RoboGuide)

Na slici 11.16. i slici 11.17. dodana je i treća pozicija P[3], u kojoj je jedina promjena spuštanje robota po ***Z*** osi na vrijednost od 5 mm.



Slika 11.16. Programirane pozicije [P3]



Slika 11.17. Pozicija P[3] (snimka zaslona RoboGuide)

11.1. Programiranje i simuliranje prihvata klina

Na sljedećem primjeru pokazat će se kako dohvatiti klin s podloge. Koristit će se prethodnim pozicijama, koje će se nadograditi.

Najprije je važno pravilno pozicionirati vrh alata robota iznad samog klina, na sigurnoj visini na kojoj alat neće zapeti o klin ili podlogu, a potom se lagano spušta alat robota.

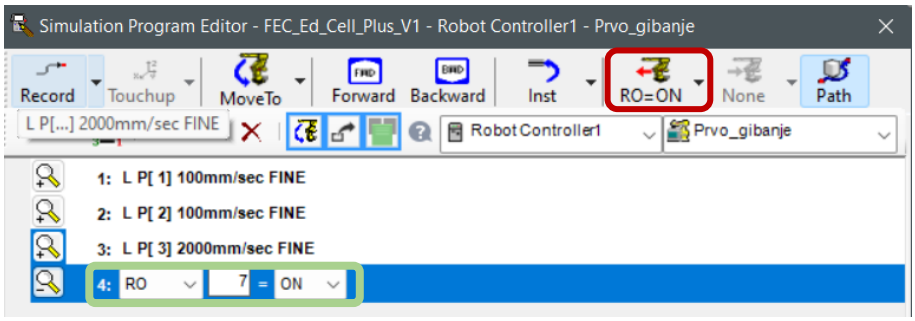
U ovoj simulacijskoj ćeliji podešen je koordinatni sustav *User* tako da se najizbočeniji klin nalazi na koordinati **X = 0 , Y = 0, Z = -15**. Što se tiče **Z** osi (visine), vrijednost -15 osigurava pravilni zahvat klina.

U slučaju fizičkog robota potrebno je oprezno spuštati alat robota prema klinu i vrijednost **Z** po potrebi korigirati. Prije neposrednog spuštanja potrebno je otvoriti krakove alata.

U poziciji prije spuštanja prema klinu dodaje se funkcija za otvaranja alata, na način da se odabere jedan od krakova alata u žutom okviru, kao što prikazuje slika 11.1.1.

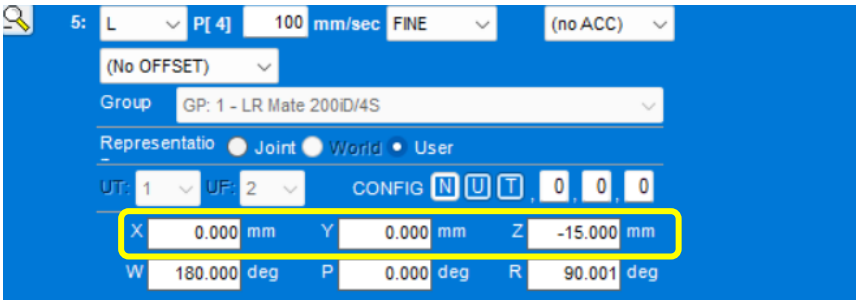
Slika 11.1.1. Alat robota (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Nakon selekcije bira se funkcija ***RO = ON*** (crveni okvir), slika 11.1.2. U području s pozicijama učitana je nova funkcija (okvir zelene boje). Brojka 7 označava alat robota, a status ***ON*** – da se krakovi alata otvore.



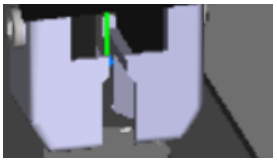
Slika 11.1.2. Otvaranje alata (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Nakon što se otvore krakovi alata, potrebno je alat po osi **Z** spustiti na vrijednost *Z=-15*. U tom slučaju kreira se nova pozicija P[4], kao što pokazuje slika 11.1.3. Žuti okvir pokazuje koordinate pozicije P[4].



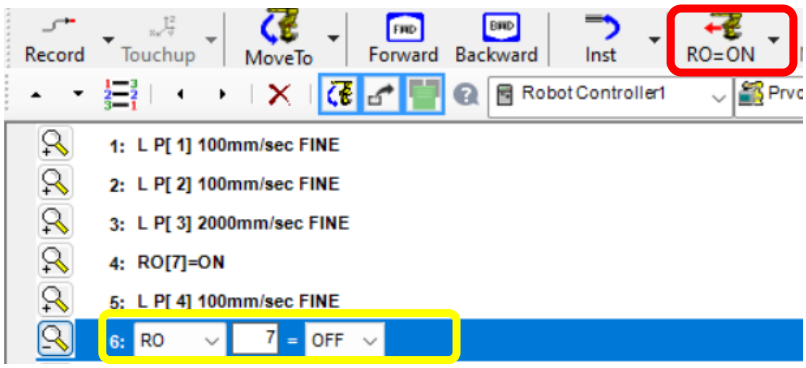
Slika 11.1.3. Pozicija P[4] (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Označi se jedan od krakova alata robota prikazan na slici 11.1.4.



Slika 11.1.4. Krakovi alata robota (snimka zaslona RoboGuide

Bira se funkcija *RO=ON* (crveni okvir) na lici 11.1.5. U okviru žute boje na slici 11.1.5. dodana je funkcija, a status je potrebno promijeniti na *OFF* (zatvoren alat).



Slika 11.1.5. Funkcija RO=ON (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

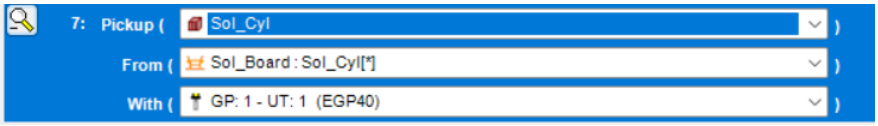
U sljedećem koraku dodaje se opcija ***Pickup*** iz padajućeg izbornika ***Inst*** (ljubičasti okvir), slika 11.1.6.

Slika 11.1.6. Pickup (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

U generiranoj funkciji potrebno je odabrati iz prvoga padajućeg izbornika opciju ***Sol_Cyl***, što predstavlja simulacijski klin, slika 11.1.7.

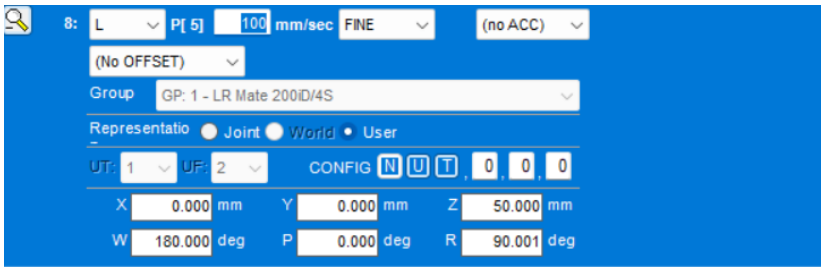
Slika 11.1.7. Sol_Cyl (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Slika 11.1.8. prikazuje kako izgleda pravilno konfigurirana opcija za hvatanje simulacijskog klina.



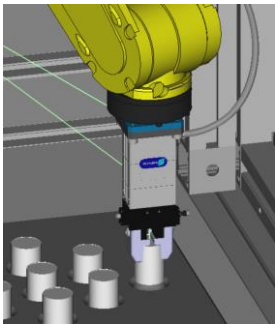
Slika 11.1.8. Pravilna konfiguracija (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

U tom slučaju klin je pravilno zahvaćen i spreman je za podizanje s podnožja. Dodaje se nova pozicija koju je potrebno konfigurirati kao na slici 11.1.9.



Slika 11.1.9. Pozicija P[5] (snimka zaslona RoboGuide)

Na slici 11.1.10. prikazan je prihvat klina u simulacijskom programu.

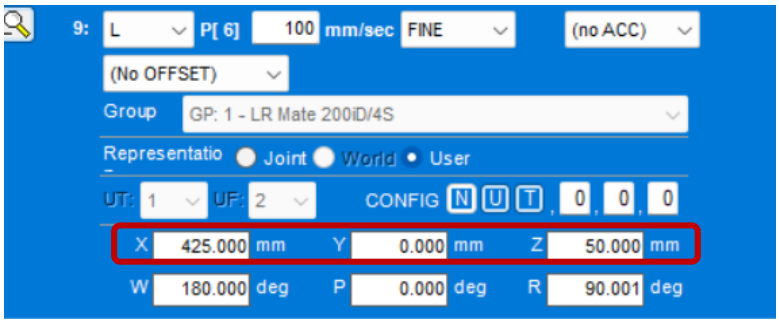


Slika 11.1.10. Simulacija podizanja klina (snimka zaslona RoboGuide)

11.2. Programiranje i simuliranje ispuštanja klina

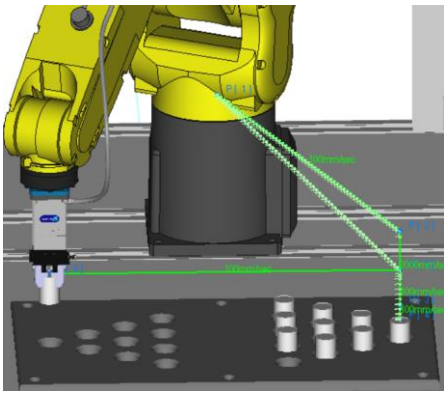
U nastavku će se pokazati kako simulacijski klin preseliti na novu lokaciju i kako ga ispustiti iz alata robota. Program se nastavlja na prethodni, samo se dodaju nove pozicije i funkcije.

Na slici 11.2.1. prikazana je konfiguracija pozicije P[6] (tamnocrveni okvir).



Slika 11.2.1. Pozicija P[6] (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Slika 11.2.2. prikazuje novu poziciju robota P[6], koja se nalazi na suprotnoj strani od mjesta preuzimanja klina.

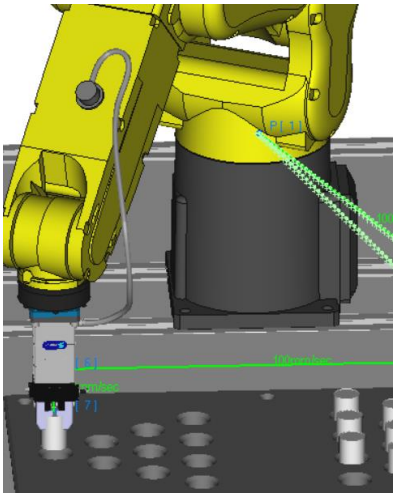


Slika 11.2.2. Robot na poziciji P[6] (snimka zaslona RoboGuide)

U sljedećem koraku dodaje se nova pozicija P[7], u kojoj su koordinate X i Y nepromijenjene, a po Z osi spušta se na vrijednost 5 mm, kao što prikazuje slika 11.2.3.

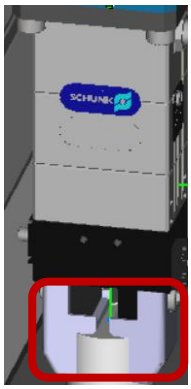
Slika 11.2.3. Pozicija P[7] (snimka zaslona RoboGuide)

Na slici 11.2.4. vidi se robot koji se smjestio na poziciju P[7], iz koje će biti ispušten klin na podlogu.



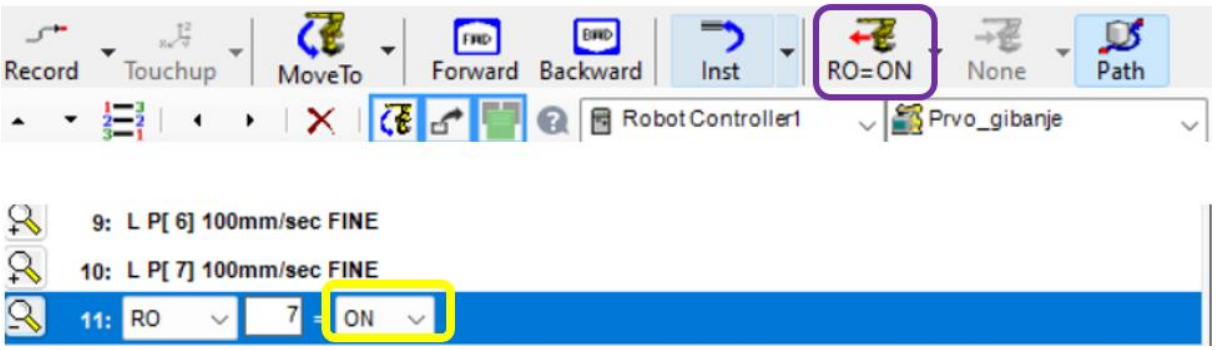
Slika 11.2.4. Pozicija za ispuštanje klina (snimka zaslona RoboGuide)

Da bi se ispustio klin iz alata robota, potrebna je funkcija otpuštanja alata, koja se provodi označavanjem najprije jednoga od krakova alata (crveni okvir), slika 11.2.5.



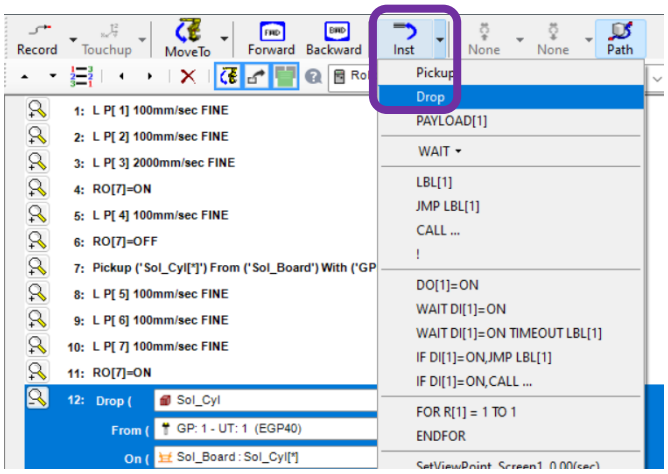
Slika 11.2.5. Alat i klin (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Postupak se ponavlja kao i u koraku prilikom otvaranja krakova alata robota, razlika je samo u statusu *ON*, koji je prikazan u žutom okviru na slici 11.2.6.



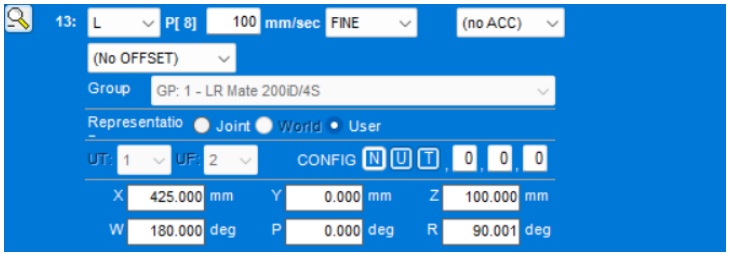
Slika 11.2.6. Otvaranje krakova alata (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Iz padajućeg izbornika *Inst* bira se funkcija *Drop* (ljubičasti okvir), slika 11.2.7. Ta funkcija otpušta simulacijski klin iz krakova alata. Ukoliko ne bi bilo te funkcije, utoliko u simulaciji ne bi bilo prikazano ispuštanje klina iz alata.



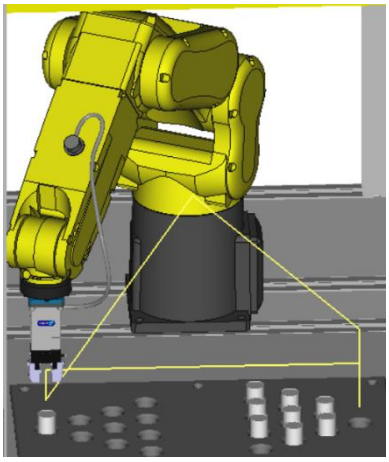
Slika 11.2.7. Biranje funkcije Drop (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

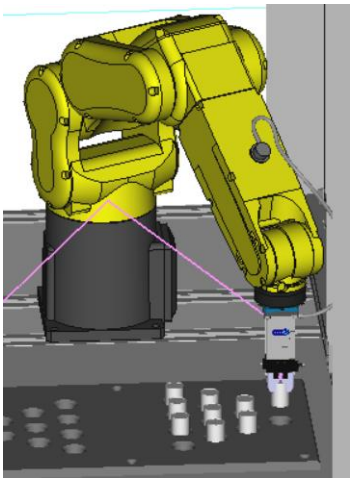
Nakon što je klin ispušten, dodana je nova pozicija P[8], prikazana na slici 11.2.8., u kojoj završava program i simulacija.



Slika 11.2.8. Pozicija P[8] (snimka zaslona RoboGuide)

Na slici 11.2.10. prikazana je pozicija i proces prihvaćanja klina, a na slici 11.2.9. prikazana je pozicija i postupak ispuštanja klina.

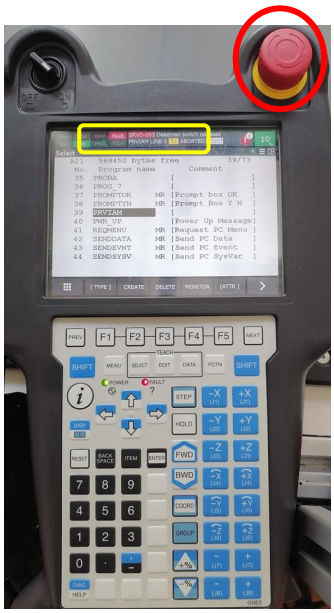




Slika 11.2.9. Otpuštanje (snimka zaslona RoboGuide) Slika 11.2.10. Podizanje (snimka zaslona RoboGuide)

11.3. Programiranje i dijagnostika robota ručnim kontrolerom (engl. Teach Pendant)

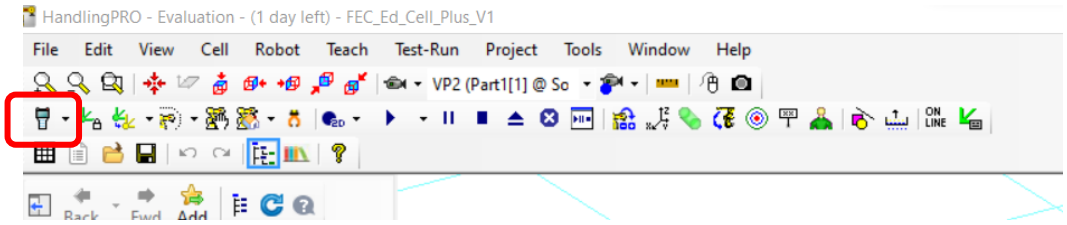
Na slici 11.3.1. prikazan je fizički ručni kontroler (engl. *Teach Pendant* – TP), pomoću kojeg će se kreirati jednostavan program za upravljanje robotom. U nastavku teksta koristit će se naziv ručni kontroler. Pomoću takvog kontrolera može se programirati iste funkcionalnosti robota kao i u primjerima iz prethodnog poglavlja, gdje se koristilo računalo. Ručni kontroler može se pokrenuti i u simulacijskom programu robotske ćelije, a izgled je prikazan na slici 11.3.2. U dijagnostici je važno uočiti poruke koje se obično ispisuju u prostoru označenom žutim okvirom na slici 11.3.1. Na primjer, ako je pritisnuta sigurnosna gljiva označena crvenim okvirom na slici 11.3.2., ispisat će se poruka, i robot se neće moći pokretati sve dok se ne otklone poteškoće i resetira upozorenje. Drugi primjer mogu biti koordinate pozicija koje nisu u dohvatu robotske ruke, ispisat će se upozorenje da robot tu poziciju ne može dohvatiti, i robot se neće pokrenuti. Važno je da se greške uoče, otklone eventualne zapreke i nakon toga je potrebno resetirati upozorenja.



Slika 11.3.1. Fizički izgled ručnog kontrolera (Teach Pendant) (rad autora)

Slika 11.3.2. Simulacijski izgled ručnog kontrolera (snimka zaslona RoboGuide)

Programiranje ručnim kontrolerom izvest će se pomoću simulacije, poput programiranja fizičkim kontrolerom.



Slika 11.3.3. Biranje simulacijskoga ručnog kontrolera (snimka zaslona RoboGuide)

Ručni kontroler pokreće se klikom na ikonu uokvirenu crvenom bojom, kao što je prikazano na slici 11.3.3. Nakon toga se otvara sučelje poput onoga na slici 11.3.4.

Slika 11.3.4. Simulacijski ručni kontroler (snimka zaslona RoboGuide)

U sljedećem koraku potrebno je na kontroleru prebaciti položaj sklopke na *ON* ako to program sam ne učini. Sklopka i položaj prikazani su na slici 11.3.5.

Napomena: Na fizičkom kontroleru potrebno je sklopku prebaciti u položaj *OFF* kada završimo s radom, a prilikom ponovnog rada s kontrolerom prebaciti na *ON*.

Slika 11.3.5. Sklopka ON-OFF (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

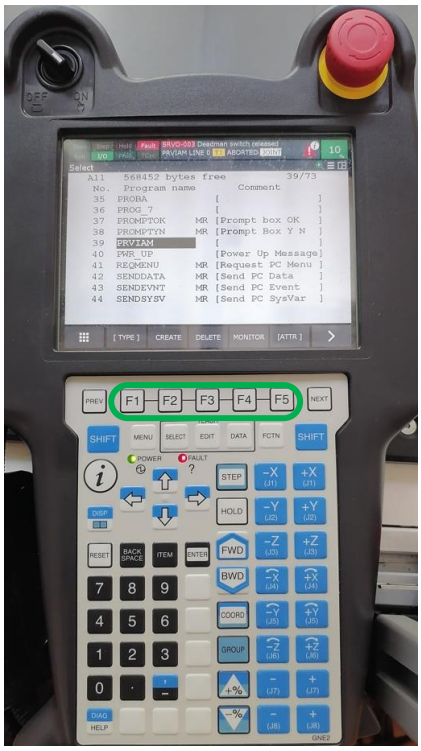
Sada se može započeti kreiranje programa odabirom najprije opcije *SELECT*, koja je prikazana u crvenom okviru na slici 11.3.6.

Slika 11.3.6. OPCIJA SELECT (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Nakon pritiska *SELECT,* otvori se sljedeće sučelje.

Slika 11.3.7. Popis programa (snimka zaslona RoboGuide)

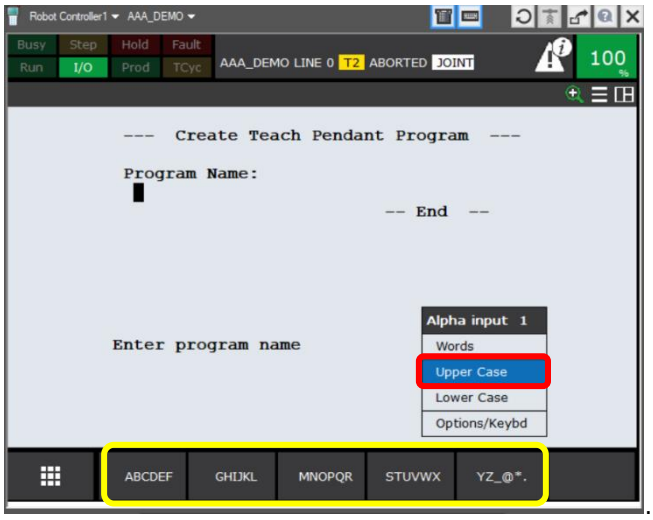
Nakon toga pritisne se na funkcijsku tipku *F2* na tipkovnici, na fizičkom kontroleru funkcijske tipke nalaze se u zelenom okviru, prikazanom na slici 11.3.8.



Slika 11.3.8. Funkcijske tipke (rad autora)

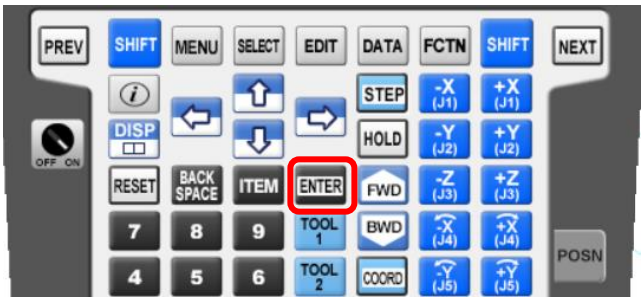
Nakon toga otvara se sučelje u kojem je potrebno dati ime programu, kao što je prikazano na slici 11.3.9.

Označi se opcija *Uper Case*, uokvirena crvenom bojem na slici 11.3.9., i može se upisati ime programa odabirom slova koja se nalaze u okviru žute boje na slici 11.3.9.



Slika 11.3.9. Imenovanje programa (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Kad se upiše željno ime, potvrđuje se dvostrukim klikom na *ENTER*. Crveni okvir na slici 11.3.10. prikazuje položaj tipke *ENTER* na ručnom kontroleru.

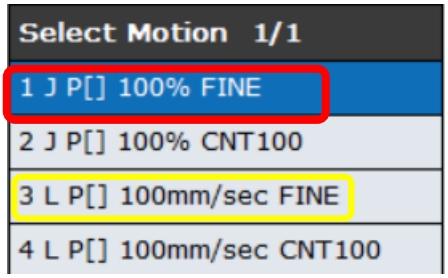


Slika 11.3.10. Tipka ENTER (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Nakon toga se otvara sučelje u kojem se programiraju pozicije i funkcije robota, kao što je prikazano na slici 11.3.11. U zelenom okviru na slici 11.3.11. nalazi se funkcija kojom se dodaju pozicije.

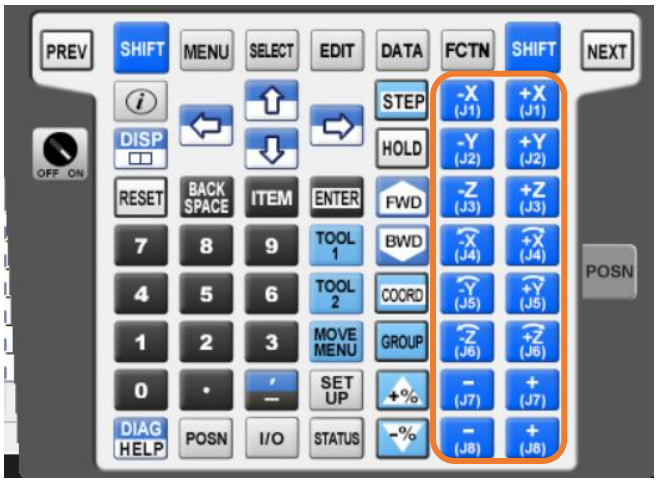
Slika 11.3.11. Dodavanje pozicije (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Nakon pritiska na zelenom bojom uokvirenu opciju, na slici 11.3.11., otvara se prozor za biranje načina gibanja robota.



Slika 11.3.12. Vrsta gibanja (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

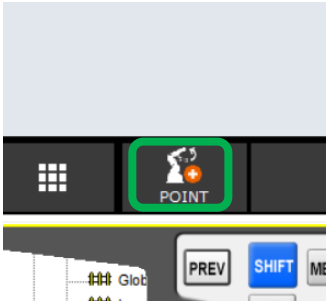
U crvenom okviru na slici 11.3.12. može se birati između *Joint* (osnovnoga nelinearnog gibanja) ili linearnog načina, prikazanom u žutom okviru na slici 11.3.12.



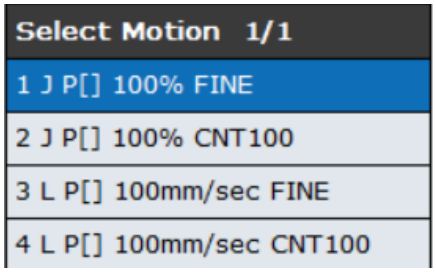
Slika 11.3.13. Tipke za pokretanje robota (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

U smeđem okviru na slici 11.3.13. nalaze se tipke pomoću kojih se pokreće robotska ruka u pojedinim zglobovima te se tako dovodi u željenu poziciju. Nakon toga treba

pritisnuti opciju *POINT*, prikazanu na slici 11.3.14. U tom se trenutku otvara sučelje prikazano na slici 11.3.15., u kojem se bira način gibanja. Kada se potvrdi odabir jedne od četiriju ponuđenih opcija, pozicija se sprema. Za novu poziciju smješta se robota u novu točku te se snimi pomoću *POINT*.

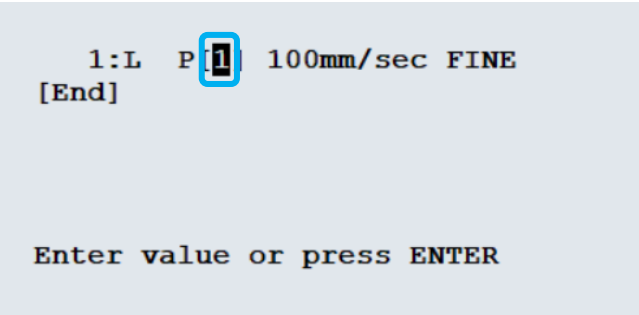


Slika 11.3.14. Dodavanje pozicije (snimka zaslona RoboGuide)

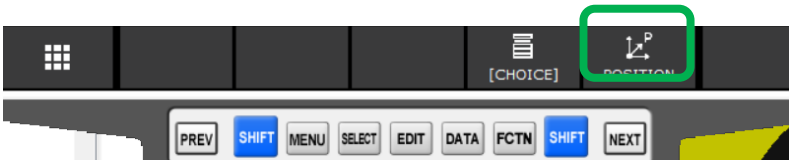


Slika 11.3.15. Vrsta gibanja (snimka zaslona RoboGuide)

Svaku od spremljenih pozicija može se korigirati na način da se ona označi, kao što je prikazano u plavom okviru na slici 11.3.16., te se pritisne tipka *POSITION*, prikazana u zelenom okviru na slici 11.3.17.

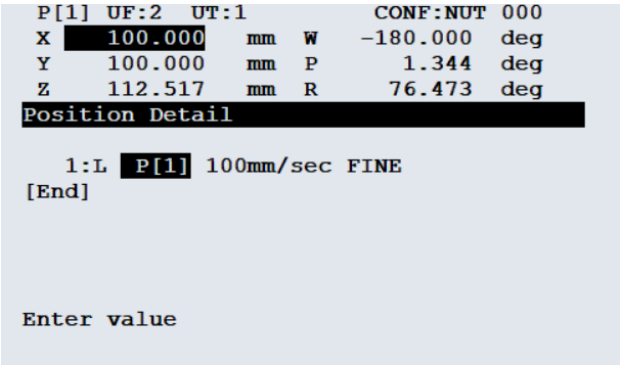


Slika 11.3.16. Označena pozicija za korekciju (snimka zaslona RoboGuide)

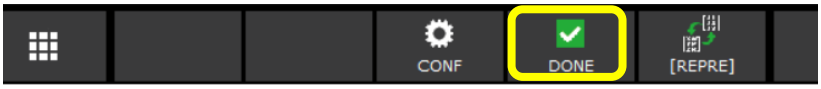


Slika 11.3.17. Opcija za ulaz u parametre pozicije (snimka zaslona RoboGuide)

Nakon toga otvara se sučelje prikazano na slici 11.3.18., u kojem se može korigirati pozicija po koordinatama (X, Y ,Z) i kutovima rotacije (W ,P, R). Prilikom svake promjene koordinate ili kuta, potrebno je promjenu potvrditi s *ENTER* i na kraju sve promjene potvrditi opcijom *DONE*, prikazanom u žutom okviru na slici 11.3.19.



Slika 11.3.18. Korekcija pozicije (snimka zaslona RoboGuide)

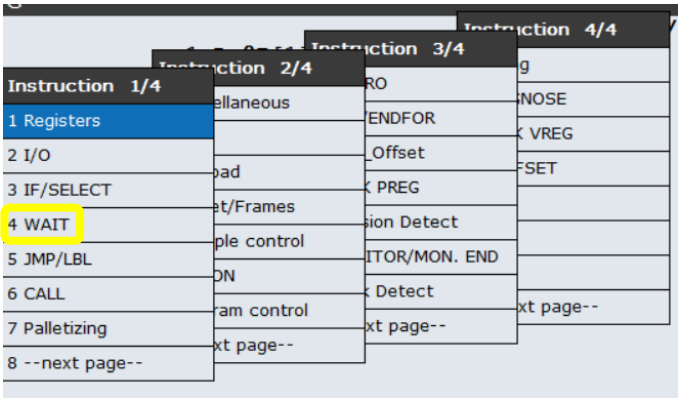


Slika 11.3.19. Potvrda korekcije (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

U nastavku će se pokazati kako se u program smještaju instrukcije. U ovom primjeru pokazat će se kako se otvaraju i zatvaraju krakovi alata. Pomoću pokazivača na slici 11.3.20. u okviru zelene boje potraži se opcija za unos instrukcija, prikazana na slici 11.3.20. u crvenom okviru.

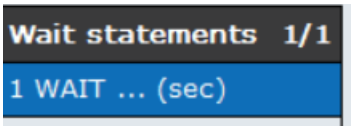
Slika 11.3.20. Dodavanje instrukcija (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

U nastavku se otvara set instrukcija prikazan na slici 11.3.21. Treba odabrati funkciju *WAIT*, kao što prikazuje žuti okvir na istoj slici.



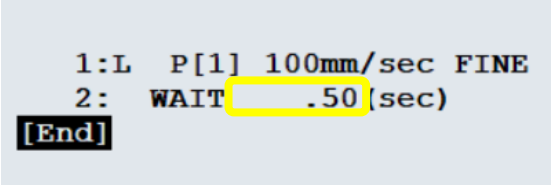
Slika 11.3.21. Set instrukcija (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

U nastavku se bira prvu po redu funkciju *WAIT*, kao što prikazuje slika 11.3.22.



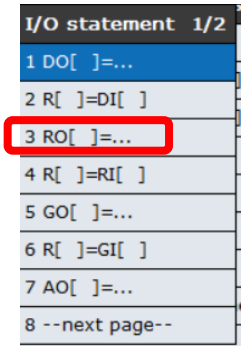
Slika 11.3.22. Funkcija „WAIT“ (snimka zaslona RoboGuide)

U prostoru gdje se upisuju pozicije i instrukcije stvori se instrukcija *WAIT*, kao što prikazuje slika 11.3.23. Na istoj slici žutim okvirom je prikazan prostor u koji je potrebno još upisati željenu vrijednost te potvrditi s *ENTER*. U ovom slučaju vrijednost iznosi 0.5 sekundi.



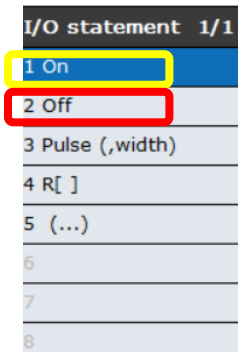
Slika 11.3.23. Vrijednost funkcije WAIT (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Nakon toga dodaje se nova instrukcija, koju označava crveni okvir na slici 11.3.24. U sučelju za unos pozicija i instrukcija pojavi se instrukcija *RO*. U okviru zelene boje na slici 11.3.25. potrebno je upisati brojku 7 i potvrditi s *ENTER*. U zadnjem koraku potrebno je još odrediti da će biti funkcija *ON* (otvoreni krakovi alata). Taj korak je prikazan u žutom okviru na slici 11.3.26.



Slika 11.3.24. Funkcija RO (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Slika 11.3.25. Upis vrijednosti RO (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)



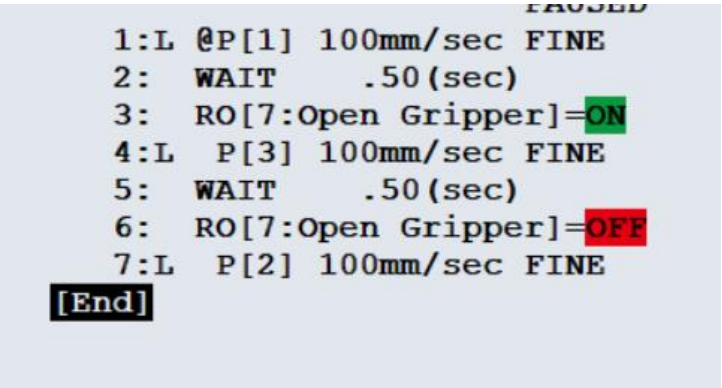
Slika 11.3.26. Funkcije ON-OFF (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Na slici 11.3.27. prikazana je pravilno konfigurirana funkcija za otvaranje robotskih krakova alata.

Slika 11.3.27. Otvoreni alat (snimka zaslona RoboGuide)

Postupak za zatvaranje alata isti je kao i za otvaranje, s razlikom u statusu *OFF* za instrukciju zatvaranja, kao što je prikazano u crvenom okviru na slici 11.3.26.

Na slici 11.3.28. prikazan je primjer jednostavnog programa u kojem je zastupljeno gibanje robotske ruke, te otvaranje i zatvaranje krakova alata.



Slika 11.3.28. Jednostavni program (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

PITANJA ZA PONAVLJANJE:

1. Što je to koordinatni sustav?
2. Nabroji koordinatne sustave spomenute u poglavlju?
3. Zašto je važno pravilno odabrati koordinatni sustav prilikom programiranja?
4. Koji se tip koordinatnog sustava koristi za programiranje u primjerima u priručniku?
5. Kako se zove opcija koja izvršava program samo za jedan korak?
6. Koja je preporučena brzina kretanja robota u početničkom programiranju?
7. Što je potrebno napraviti prije spuštanja alata prema klinu?
8. Koje opcije omogućavaju otvaranje krakova alata?
9. Koja opcija omogućava zatvaranje krakova alata?
10. Zapiši vrijednosti koordinate pozicije u kojoj robot prihvaća klin.
11. Pronađi slike u poglavlju na kojima nije preporučljiva brzina kretanja robota.
12. Objasni postupak kreiranja novog programa ručnim kontrolerom.
13. Objasni postupak kreiranja i korekcije pozicije robota.
14. Objasni postupak otvaranja i zatvaranja krakova alata robota.

12. Montaža automatiziranog sustava s robotom

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

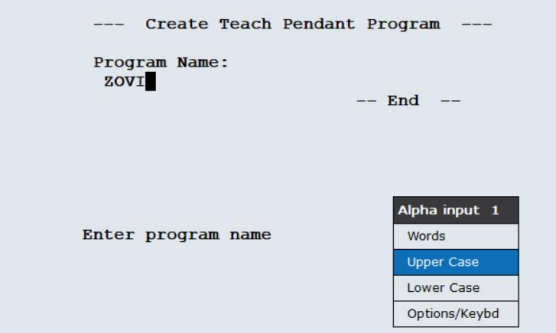
- objasniti na jednostavnom primjeru montažu automatiziranog sustav s robotom
- objasniti i provesti simulaciju stanja digitalnog ulaza robota.

Industrijski su roboti u današnje vrijeme implementirani u mnogim postrojenjima i mogu funkcionirati kao zasebne jedinice ili su dio automatizacijskih procesa. Primjerice, u autoindustriji postoji visoki stupanj automatizacije, u koju je uključen veliki broj industrijskih robota. Funkcioniraju u simbiozi s ostalim komponentama automatizacije, kao što su PLC industrija računala i slično. Na slici 12.1. prikazani su roboti u autoindustriji.

Slika 12.1. Roboti u autoindustriji (Freepik, 2023.)

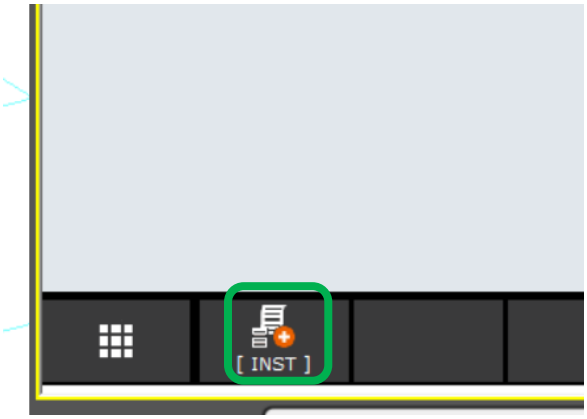
U nastavku se pokazuje na jednostavnom primjeru kako se robot može uključiti u automatizacijski sustav. Koriste se digitalni ulazi robota, pomoću kojih se mogu zadati robotu jednostavne naredbe poput pokretanja određenog programa i slično.

Pomoću ručnog kontrolera potrebno je kreirati novi program kako je opisano u prethodnom poglavlju. Program je nazvan *ZOVI*. Na slici 12.2. prikazano je sučelje za kreiranje novog programa.



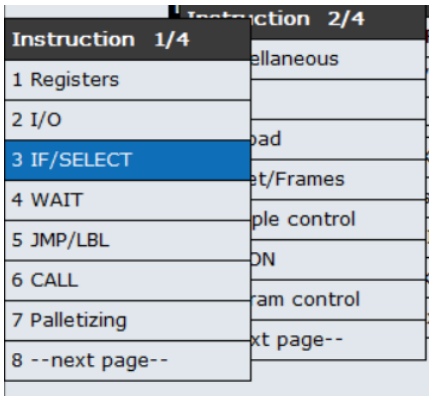
Slika 12.2. Kreiranje programa ZOVI (snimka zaslona RoboGuide)

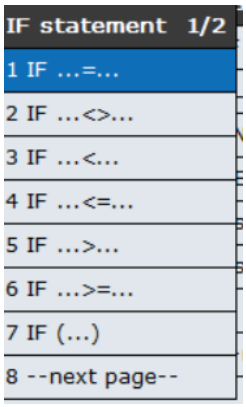
U program se uključi nova instrukcija klikom na *INST*, kako je prikazano na slici 12.3. u zelenom okviru.



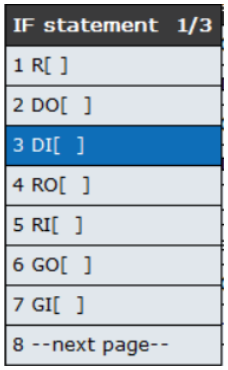
Slika 12.3. Dodavanje instrukcije (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Nakon toga bira se funkcija *IF/SELECT*, kao što je označeno u plavom okviru na slici 12.4., te nakon toga funkcija *IF* u izborniku, što je prikazano na slici 12.5. Na kraju se odabere *DI*, kao što je prikazano na slici 12.6.



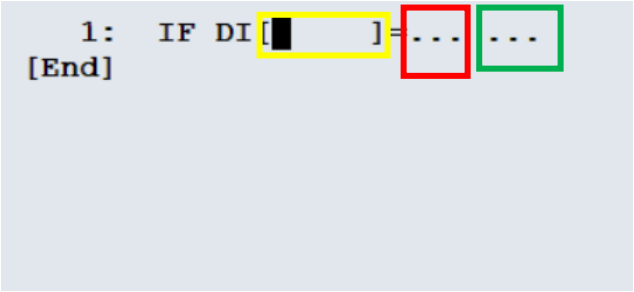


Slika 12.4. IF/SELECT (snimka zaslona RoboGuide) Slika 12.5 IF (snimka zaslona RoboGuide),



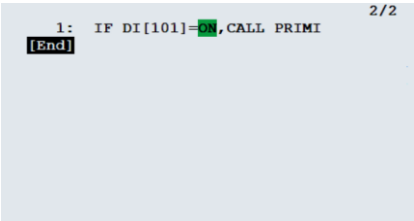
Slika 12.6 Funkcija DI (snimka zaslona RoboGuide)

U sučelju za programiranje prikaže se birana funkcija kojoj se još moraju dodati određeni parametri, kao što je prikazano na slici 12.7. U žuti se okvir unese vrijednost *101* (korišteni digitalni ulaz), u crveni okvir status *ON*, a u zeleni okvir naredba *CALL program*. Prilikom odabira *CALL program*, u izborniku su ponuđeni programi koji se mogu pozvati. Označi se željeni program te je konfiguracija završena.



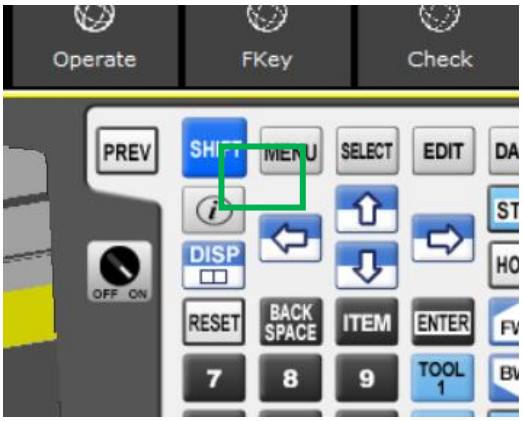
Slika 12.7. Konfiguracije funkcije CALL (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Na slici 12.8. prikazana je funkcija za pozivanje programa pomoću digitalnog ulaza.

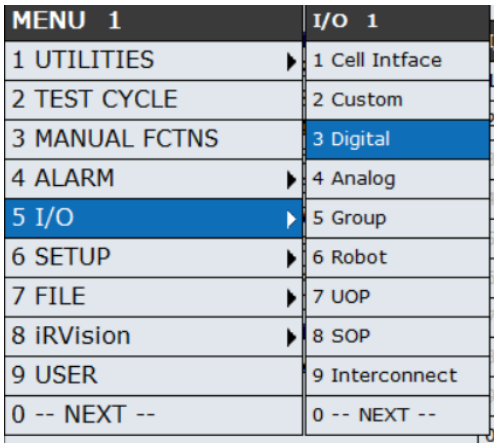


Slika 12.8. Gotova funkcija koja poziva birani program (snimka zaslona RoboGuide)

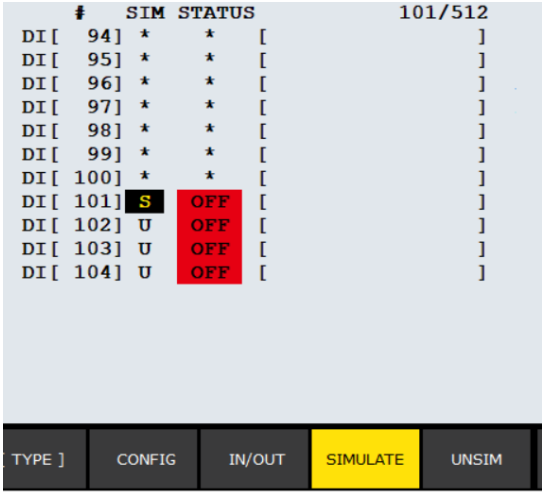
U ovom slučaju neće biti fizičke veze digitalnog ulaza. Simulacija se odvija tako što se na ručnom kontroloru bira tipka *MENU*, koja je označena slici 12.9. u zelenom okviru. Iz izbornika *I/O*, bira se *Digital*, kako je prikazano na slici 12.10., nakon toga treba potražiti *DI [101],* kako je prikazano na slici 12.11.



Slika 12.9. Tipka MENU (snimka zaslona RoboGuide)

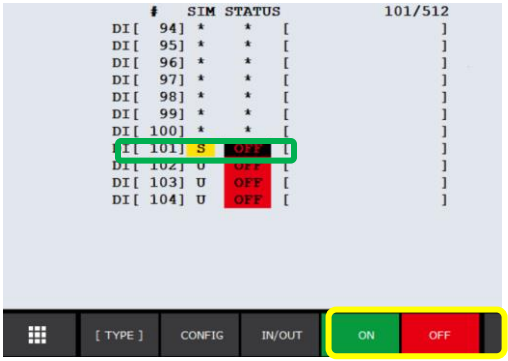


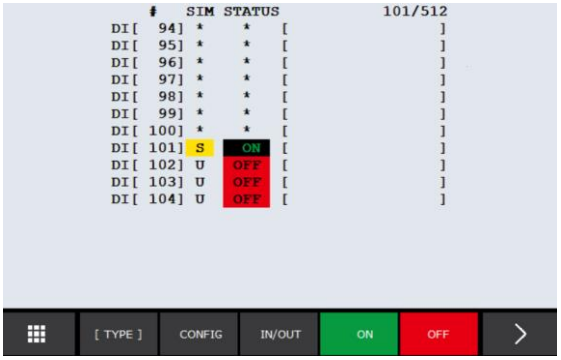
Slika 12.10. Digitalni ulaz (snimka zaslona RoboGuide)



Slika 12.11. Simulacijski prozor (snimka zaslona RoboGuide)

Sada se može mijenjati status odabranog digitalnog ulaza pomoću tipki koje se nalaze u žutom okviru na slici 12.12. Slika 12.12. predstavlja status *OFF* digitalnog ulaza, dok slika 12.13. predstavlja status *ON* digitalnog ulaza.





Slika 12.12. Simulirani status OFF (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Slika 12.13. Simulirani status ON (snimka zaslona RoboGuide)

U fizičkom povezivanju jednostavno se mogu povezati digitalni ulazi i izlazi, primjerice na PLC industrijsko računalo. Važno je da se fizičko spajanje stručno izvede prema dokumentaciji proizvođača.

PITANJA ZA PONAVLJANJE

1. Objasni postupak kreiranje funkcije *CALL*.
2. Objasni postupak kreiranja simulacije digitalnog ulaza.
3. Objasni postupak simuliranja digitalnog ulaza.
4. Što može zamijeniti simulaciju digitalnog ulaza?

13. Puštanje pogona s robotom u rad

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- objasniti i provesti puštanje robota u rad pomoću simulacijskoga ručnog kontrolera
- objasniti i provesti fizičko puštanje robota u rad pomoću fizičkog kontrolera uz simulaciju digitalnog ulaza robota
- objasniti i pustiti fizičkog robota u rad u automatskom načinu rada
- objasniti automatizirani sustav s robotom na primjeru premještanja proizvodnih komada.

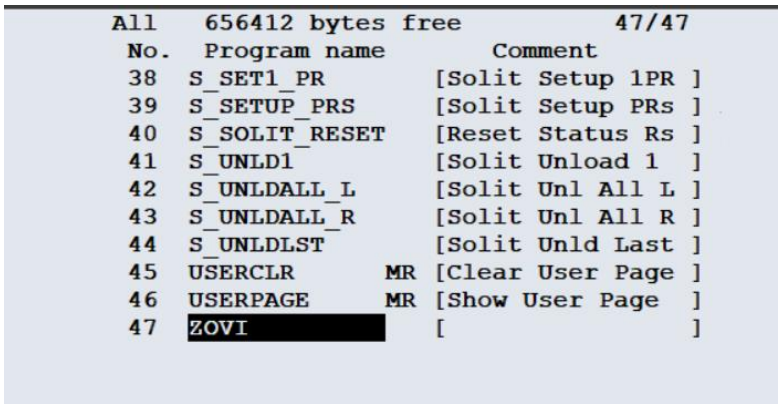
U ovom poglavlju pokazat će se kako se pušta robot u rad. U prvom primjeru će to biti simulacija pomoću ručnog kontrolera, a u drugom primjeru puštanje u rad fizičkoga robota pomoću fizičkoga ručnog kontrolera.

13.1. Puštanje u rad simulacije pomoću ručnog kontrolera

Primjer programa na kojem će se simulacija napraviti iz prethodnog je poglavlja. Pomoću opcije *SELECT* potraži se program *ZOVI*. Opcija *SELECT* prikazana je u okviru crvene boje na slici 13.1.1.

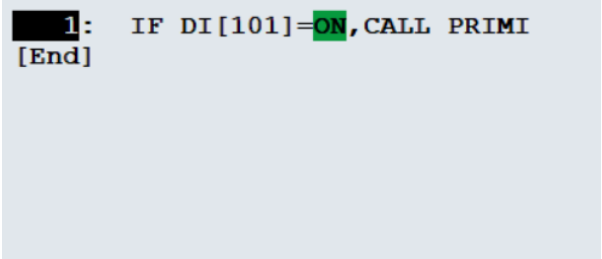
Slika 13.1.1. Opcija *SELECT* (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Na slici 13.1.2. označen je program koji se želi pokrenuti, te se pritisne *ENTER* za odabir.



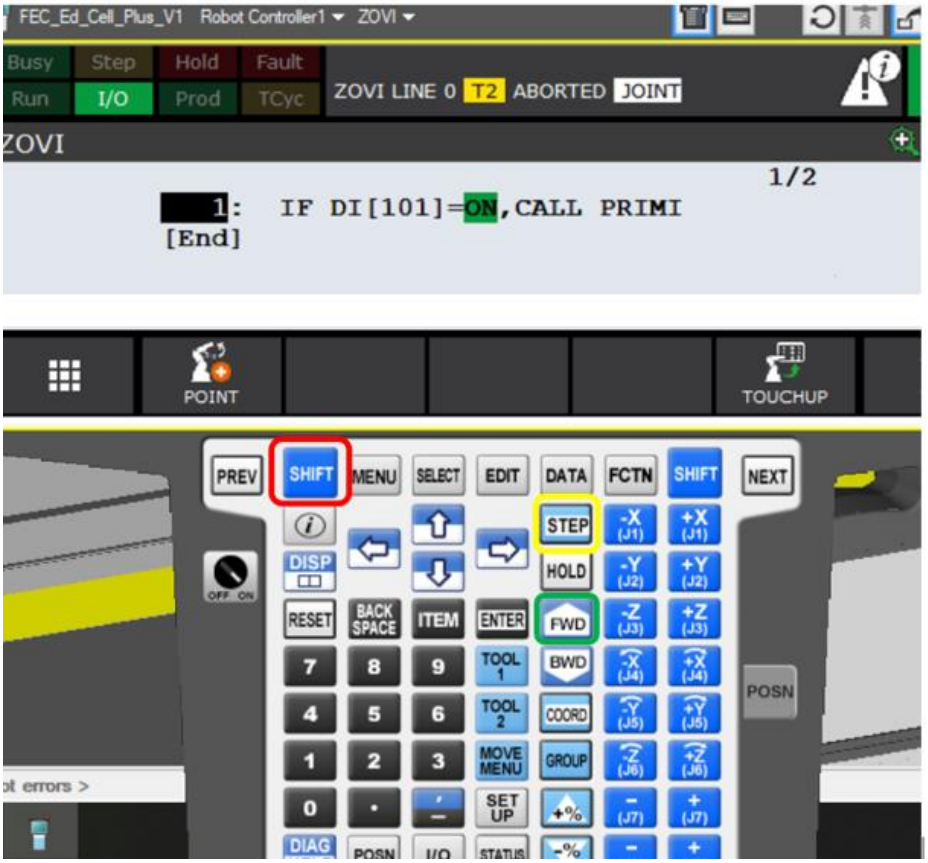
Slika 13.1.2. Označeni program (snimka zaslona RoboGuide)

Na slici 13.1.3. prikazan je program koji se želi pokrenuti.



13.1.3. Program za pokretanje (snimka zaslona RoboGuide)

Pokreće se označavanjem prvoga retka u programu, kako je prikazano na slici 13.1.3. (zacrnjeno područje). Nakon toga je potrebno pritisnuti tipku *SHIFT*, prikazanu u crvenom okviru na slici 13.1.4. te nakon toga *FWD*, prikazanu u zelenom okviru na slici 13.1.4. U tom trenutku program se počinje izvršavati.



Slika 13.1.4. Postupak pokretanja programa (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

Program se može izvršavati korak po korak na način da se uključi dodatna opcija *STEP*, a nalazi se u žutom okviru na slici 13.1.4. U tom se slučaju mora za svaki pokret ili funkciju pritisnuti tipku *FWD* prikazanu u zelenom okviru na slici 13.1.4. Ta je funkcija korisna prilikom testiranja prve verzije programa kada se testiraju pozicije te otvaranje i zatvaranje krakova alata.

Pomoću tipki u crvenom okviru, koji se nalazi na slici 13.1.5., može se podešavati brzina kretanja robota. U početnom je programiranju poželjno da je brzina što manja, te se može postepeno povećavati.

Slika 13.1.5. Brzina gibanja robota (snimka zaslona RoboGuide, rad autora)

13.2. Puštanje fizičkog robota u rad

Puštanje u rad fizičkog robota malo je drugačije, potrebne su dodatne radnje da bi robot ispravno funkcionirao. Postupak odabira programa za pokretanje isti je kao i u prethodnom poglavlju, no samo pokretanje malo je složenije.

POZOR:
Prilikom svakog pokretanja fizičkog robota važno je voditi računa o sigurnosnim i tehničkim uvjetima koje je propisao proizvođač. Robot se mora koristiti na siguran i odgovoran način.

U prvom primjeru pokazat će se kako se fizički robot pokreće korak po korak.
Najprije je potrebno prebaciti glavnu sklopku u položaj *ON*, sklopka se nalazi u zelenom okviru na slici 13.2.1.
Preklopka na upravljačkoj jedinci, koja se nalazi na slici 13.2.1. u crvenom okviru, mora biti u položaju T1.
Na ručnom kontroleru potrebno je sklopku koja se nalazi u žutom okviru na slici 13.2.2. prebaciti u položaj *ON*. Nakon toga označi se program koji se želi pokrenuti, kao što je prikazano na slici 13.2.2. U nastavku se pritisne tipka *STEP* (crveni okvir na slici 13.2.2.), zatim *ENTER* (zeleni okvir na slici 13.2.2.).

Slika 13.2.1. Upravljačka jedinica (rad autora)

Slika 13.2.2. Ručni kontroler (rad autora)

Slika 13.2.3. Tipka Deadman (rad autora)

U sljedećem koraku potrebno je resetirati sva sigurnosna upozorenja koja se prikazuju crvenom bojom na vrhu kontrolera (slika 13.2.2.).

Da bi se resetirala sva upozorenja, potrebno je pritisnuti barem jednu tipku na poleđini, kako je prikazano u crvenom okviru na slici 13.2.3. Tipka se mora pritisnuti samo do prvog klika, jačim pritiskom ponovo bi se aktivirala upozorenja. Ta se tipka naziva *Deadman*.

Tipka se mora držati u položaju prvog klika, a na prednjoj strani treba pritisnuti tipku *RESET*, koja se nalazi u žutom okviru na slici 13.2.2.

Tipku *Deadman* i dalje treba držati, njoj se pridružuje jedna od tipki *SHIFT*, prikazana u smeđem okviru na slici 13.2.2. Obje tipke treba držati čitavo vrijeme i na kraju, za početak gibanja robota treba pritisnuti tipku *FWD*, prikazanu u crnom okviru na slici 13.2.2.

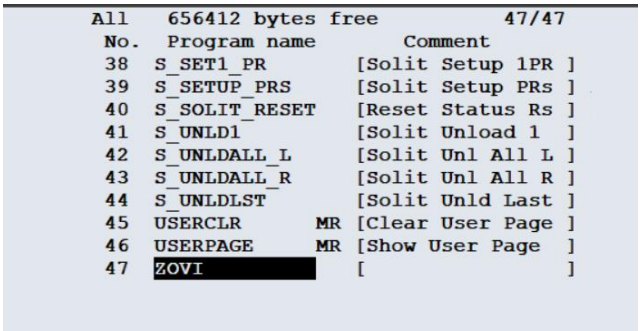
Zbog načina *STEP*, za svaki novi red programa izvršavanja, potrebno je pritisnuti tipku *FWD*.

Ukoliko se želi izvršiti cijeli ciklus naredbi, utoliko je potrebno isključiti opciju *STEP*.

13.3. Puštanje fizičkog robota u automatskom načinu rada

Na sljedećem primjeru pokazat će se kako pustiti robota da sam odradi slijed naredbi iz programa. Kao primjer koristi se program napravljen u trećem poglavlju.

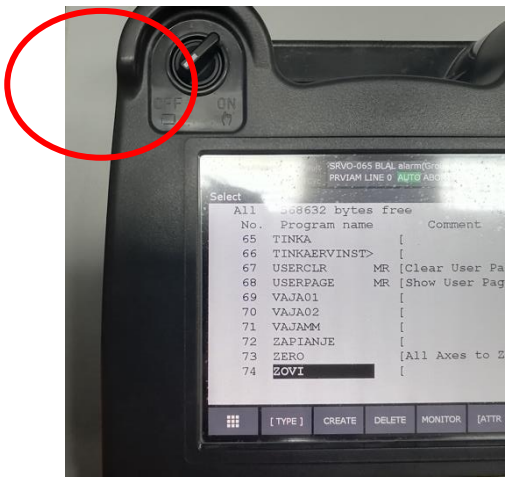
Na početku je potrebno označiti program koji se želi pustiti u rad, kao što je prikazao na slici 13.3.1.



Slika 13.3.1. Označeni program (snimka zaslona RoboGuide)

Preklopku na upravljačkoj jedinici potrebno je prebaciti u položaj *AUTO*, kako je prikazano na slici 13.3.2.

Slika 13.3.2. Način AUTO (autriski rad)



Slika13.3.3. Preklopka ručnog kontrolera (rad autora)

Na prednjoj strani ručnog kontrolera potrebno je preklopku, koja se nalazi u crvenom okviru na slici 13.3.3., prebaciti u položaj *OFF*. Nakon toga treba poništiti sva upozorenja pomoću tipke *RESET*. U zadnjem koraku potrebno je pritisnuti na upravljačkoj jedinici tipku *CYCLE START*, koja je prikazana u žutom okviru na slici 13.3.4. Ako se upali zeleno svijetlo, znači da je procedura dobro odrađena i da robot kreće u automatsko izvršavanje programa.

Slika 13.3.4. Pokretanje automatskog ciklusa (rad autora)

Na slici 13.3.5 i slici 13.3.6 prikazan je fizički robot koji u automatskom modu izvršava zadani program.

Slika 13.3.5 Prikaz robota u gibanju (rad autora)

Slika 13.3.6 Robot prihvaća klin (rad autora)

Koriste li se fizički digitalni ulazi i izlazi povezani na PLC računalo, može se izvesti primjer premještanja komada. Na primjer PLC industrijsko računalo posredstvom digitalnog ulaza pošalje robotu signal za početak izvođenje programa. Robot preseli komade na novu poziciju, te kad završi, on pošalje digitalni signal na PLC, koji registrira stanje robota, i upali signalizaciju. Takvi jednostavni primjeri mogu se izvoditi u okviru vježbi, te se postepeno mogu nadograđivati novim elementima i funkcijama.

PITANJA ZA PONAVLJANJE

1. Objasni postupak puštanja fizičkog robota u pogon u modu T_1.
2. Objasni postupak puštanja fizičkog robota u pogon u modu AUTO.
3. Objasni primjer jednostavnog automatizacijskog sustava koji uključuje digitalne ulaze i izlaze robota u kombinaciji s PLC industrijskim računalom.

LITERATURA

1. Perić, N., Petrović,I.,Vašak,M.(2013): Procesna automatizacija (https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Skripta_Proaut_veljaca_2013[1].pdf) ISA – The Instrumentation Systems and Automation Society; USA 2003.
2. Siemens. (2021) SIMATIC S7-1200 Programmable controller System Manual
3. Siemens. (2020) SINAMICS G120C Operating Instructions Manual
4. Grudiček, K. (2023.): Automatizacija i pogonska tehnika
5. Fanuc. (2018) FANUC Robot LR Mate 200iD Operator manual
6. Zdenko Kovačić, Stjepan Bogdan, Vesna Krajči: OSNOVE ROBOTIKE (GRAPHIS AGREB) (http://www.graphis.hr/news/robotika/robotika_39.pdf)
7. (https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=53100)
8. Slika Prikaz članaka i baze robota: https://www.freepik.com/free-vector/robotic-arm_714906.htm#page=3&query=industrial%20robots&position=10&from_view=search&track=ais
9. Slika Zglobovi: https://www.freepik.com/free-vector/robotic-arm_714906.htm#page=3&query=industrial%20robots&position=10&from_view=search&track=ais
10. Slika Koordinatni sustav *Joint:* https://www.freepik.com/premium-psd/industrial-robotic-arm-isolated-equipment-used-automotive-industry_6653856.htm#page=2&query=induatrial%20robots&position=36&from_view=search&track=ais
11. Slika Roboti u autoindustriji: https://www.freepik.com/free-photo/modern-technology-assembly-cars-plant-automotive-industry-shop-production-assembly-machines-top-view-process-welding-parts-car_26150948.htm#query=industrial%20robots&position=25&from_view=search&track=ais

Svi logotipi i nazivi prikazani u ovom priručniku su vlasništvo respektivnih kompanija.

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.
Za više informacija o EU fondovima molimo pogledajte web-stranicu
Ministarstva regionalnoga razvoja i fondova Europske unije.
www.strukturnifondovi.hr

Sadržaj publikacije isključiva je odgovornost RCK ELPROS.

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.