

Osijek, 2023.

Krunoslav Grudiček

AUTOMATIZACIJA I POGONSKA TEHNIKA

Priručnik za polaznike

AUTOMATIZACIJA I POGONSKA TEHNIKA

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

Autor: **Krunoslav Grudiček**

Urednik i stručnjak za metodologiju izrade nastavnih materijala: **Mustafa Sharifi**

Recenzent: **Mihael Buhin**

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

Lektorica: **Ivana Previšić**

Naslov: **Automatizacija i pogonska tehnika** (priručnik za polaznike u programu obrazovanja „Stručnjak u području Automatizacije i pogonske tehnike“ – obrazovanje odraslih, razina 5 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 I NJEGOVIH ELEMENATA	6
1.1. Analiza zahtjeva radnog zadatka	7
1.1.1. Hijerarhija sustava automatizacije	9
1.1.2. Zahtjevi	10
1.1.3. SCADA sustav	12
1.2. Odabir odgovarajućih upravljačkih, senzorskih i izvršnih elemenata sustava prema radnom zadatku	13
1.2.1. Upravljački elementi	14
1.2.2. Senzorski elementi	18
1.2.3. Izvršni elementi	21
1.3. Projektiranje sustava	23
1.3.1. Vremenski plan	26
1.3.2. Troškovnik	27
1.3.3. Lista opreme	28
2. KORISNIČKA I TEHNIČKA DOKUMENTACIJA AUTOMATIZIRANIH SUSTAVA	30
2.1. Kreiranje korisničke i tehničke dokumentacije	31
2.1.1. Strojarska dokumentacija	34
2.1.2. Položajni plan	35
2.1.3. Elektro dokumentacija	36
2.1.3.1. Lista signala	37
2.1.4. Aplikacijski program	38
2.1.4.1. Dijagram toka programa	40
2.1.4.2. Binarni logički dijagram	41
2.1.5. Plan testiranja	45
2.2. Mjerna i ostala tehnička dokumentacija	46
2.2.1. Dijagram toka procesa	46
2.2.2. Dijagram procesa i instrumentacije	47
2.2.3. Tehnička specifikacija mjernog uređaja	48
2.3. Izrada uputa za rukovanje i korisničko prilagođavanje sustava/uređaja	49
2.4. Izrada i arhiviranje dokumentacije	55
3. MONTAŽA I UGRADNJA ELEMENATA AUTOMATIZIRANOG SUSTAVA	59
3.1. Zaštita na radu	60
3.2. Elementi automatiziranog sustava	62
3.2.1. Mjerna oprema	62

3.2.1.1. Senzori blizine s fizičkim kontaktom	63
3.2.1.2. Senzori blizine bez fizičkog kontakta	64
3.2.1.3. Mjerni pretvornici.....	68
3.2.2. Procesno računalo	76
3.2.2.1. Procesorska jedinica.....	76
3.2.2.2. Moduli proširenja.....	80
3.2.3. Izvršni elementi	83
3.2.3.1. Releji i sklopnici	84
3.2.3.2. Razvodni ventili i cilindri	85
3.2.3.3. Motori	89
3.2.3.4. Frekvencijski pretvarači	91
3.2.3.5. Elementi za signalizaciju.....	93
3.3. Tehnička dokumentacija elemenata automatiziranog sustava.....	93
3.4. Montaža i ugradnja elemenata automatiziranog sustava	99
3.4.1. Montaža i ugradnja senzora i mjernih pretvornika	99
3.4.2. Montaža PLC sustava.....	100
3.4.3. Montaža izvršnih elemenata	103
4. PARAMETRIRANJE ELEMENATA AUTOMATIZIRANOG SUSTAVA	105
4.1. Mjerna oprema	106
4.2. Programiranje procesnog računala.....	110
4.2.1. Izvršavanje programa PLC-a	110
4.2.2. Programski blokovi i jezici.....	112
4.2.3. Izrada softverskog projekta PLC-a	116
4.2.4. Parametriranje frekvencijskog pretvarača	126
4.2.5. Ručno parametriranje frekvencijskog pretvarača	127
4.2.6. Parametriranje frekvencijskog pretvarača računalom	131
4.3. Povezivanje elemenata sustava.....	139
4.3.1. Spajanje ulaza i izlaza PLC sustava.....	139
4.3.2. Spajanje izvršnih elemenata	147
5. DIJAGNOSTICIRANJE I OTKLANJANJE KVARA NA AUTOMATIZIRANOM SUSTAVU I NJEGOVIH ELEMENTIMA	151
5.1. Puštanje u pogon.....	152
5.1.1. Metodologija tri faze.....	152
5.1.1.1. Priprema	153
5.1.1.2. Implementacija.....	154
5.1.1.3. Završna faza	156
5.1.2. Postupak puštanja u pogon	156
5.2. Dijagnostika u automatiziranim sustavima	158

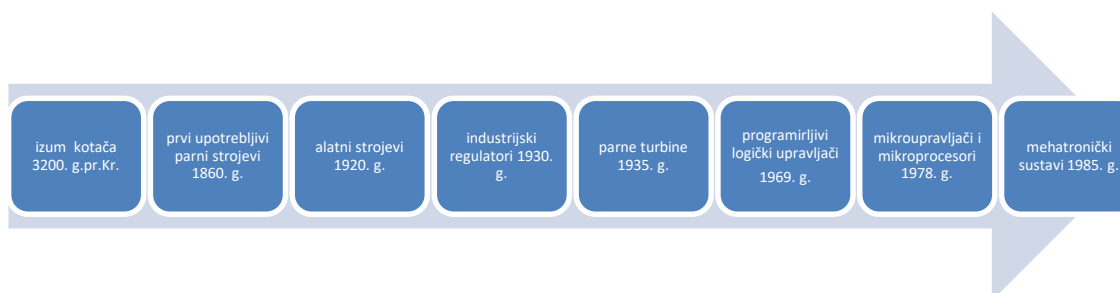
5.3. Mjerenja u automatiziranim sustavima.....	161
5.4. Računalni sustavi za nadzor, mjerenje i upravljanje	165
5.5. Otklanjanje kvarova unutar automatiziranih sustava	171
5.6. Integracija automatiziranog sustava	174
5.7. Održavanje automatiziranog sustava	176
5.7.1. Sustavi, vrste i postupci održavanja	179

1. Projektiranje automatiziranog sustava i njegovih elemenata

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- nabrojiti čimbenike analize zahtjeva
- opisati hijerarhiju i strukture sustava automatizacije
- nabrojiti dijelove SCADA sustava
- nabrojiti zahtjeve za upravljačke elemente
- opisati funkcije upravljačkih elemenata
- nabrojiti zahtjeve za senzorske elemente
- navesti vrste senzorskih elemenata
- nabrojiti zahtjeve za izvršne elemente
- navesti vrste izvršnih elemenata
- nabrojiti i opisati vrste projektne dokumentacije.

Početak automatizacije seže daleko u prošlost; otkad postoji čovjek, postoji i težnja za lakšim obavljanjem raznih poslova. Važniji izumi koji su doveli do razvoja automatizacije prikazani su na vremenskoj lenti.



Slika 1. Razvoj automatizacije (rad autora)

VAŽNO! Automatizacija industrijskih sustava proces je prijenosa rada čovjeka na strojeve. Ona smanjuje potrebu za ljudskom prisutnošću u određenim djelatnostima (npr. ponovljivi poslovi, opasna atmosfera) jer se upravlja strojevima i procesima pomoću autonomnih sustava. Cilj je automatizacije postizanje učinkovitosti tehnološkog procesa uz povećanje proizvodnje, smanjenje troškova proizvodnje i poboljšanje kvalitete proizvoda.

Industrije u kojima se nalaze sustavi automatizacije:

- elektrane,
- industrija papira,
- prehrambena industrija,
- farmaceutska industrija,
- silosi,
- dizala,
- automobilska industrija,
- skladišta,
- proizvodnja čelika,
- i druge.

1.1. Analiza zahtjeva radnog zadatka

Automatizacija industrijskih sustava donosi mnoge prednosti u proizvodnji. Za njezinu uspješnu implementaciju potrebno je zadovoljiti sljedeće čimbenike:

- sigurnost – sustavi trebaju biti izvedeni tako da se spriječe sve moguće neželjene situacije, a prvenstveno nesreće i ozljede ljudi te oštećenja opreme,
- pouzdanost – sustavi trebaju raditi pouzdano, tj. kontinuirano bez kvarova i zastoja,
- poboljšana kvaliteta proizvoda i usluga – sustavi trebaju osigurati optimizaciju proizvodnih procesa i veću produktivnost uz minimizaciju otpada,

- zaštita okoliša – sustavi trebaju imati minimalan a po mogućnosti i nikakav utjecaj na okoliš,
- skalabilnost i interoperabilnost – sustavi se trebaju moći prilagođavati budućem rastu i moći lako povezivati s drugim sustavima i opremom,
- održavanje – sustavi se trebaju redovito održavati radi produljenja životnog vijeka i njihova, i opreme.

Jedan je od prvih i vrlo važnih koraka u automatizaciji sustava **analiza zahtjeva radnog zadatka**. Ona omogućava identifikaciju standardnih i specifičnih potreba sustava te ograničenja. Radni zadatak automatizacije definiran je tehnološkim procesom industrijske proizvodnje. Investitor izrađuje tehnološki opis procesa koji treba automatizirati. U tehnološkom opisu procesa definiraju se i ciljevi zadatka automatizacije. Osobe koje provode automatizaciju trebaju napraviti analizu zahtjeva radnog zadatka na temelju opisa tehnološkog procesa i definiranih ciljeva. Ako se zahtjevi bolje definiraju, postiže se i veći uspjeh u realizaciji zadatka automatizacije. Zbog toga je u analizi zahtjeva potrebno definirati sljedeće:

- ciljevi – definiranje ciljeva koji su potrebni za ostvarivanje svrhe zadatka i postizanje željenih ishoda,
- tehnologija i oprema – odabir tehnologije i opreme potrebne za automatizaciju,
- osoblje – određivanje uloge ljudi u radnom procesu,
- vrijeme – definiranje vremenskog okvira (gantograma) potrebnog za provođenje radnog zadatka,
- informacije – identifikacija podataka važnih na pojedinim razinama sustava te njihovo upravljanje i pohrana,
- sigurnost – definiranje zahtjeva za sigurnost osoblja i opreme,
- troškovnik – definiranje proračuna za cjelokupni proces automatizacije.

Iz navedenoga slijedi zaključak da je za rješavanje zadatka automatizacije sustava potreban multidisciplinarni tim. Svaka osoba u timu zadužena je za određeni dio posla u definiranju zahtjeva radnog zadatka i u njegovoj realizaciji.

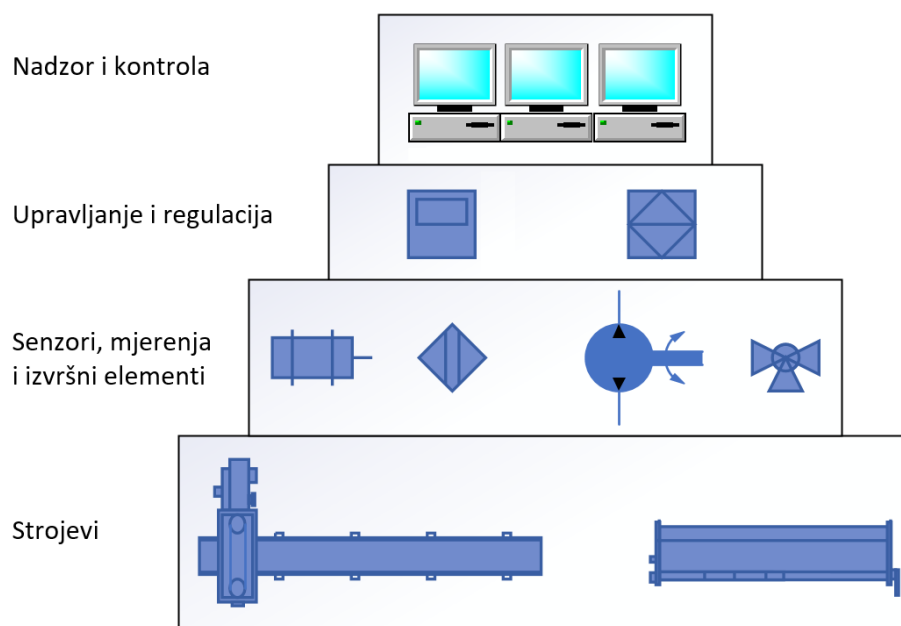
JESTE LI ZNALI? Grčki pisac Homer prvi je upotrijebio riječ „automat“ da bi opisao automatsko otvaranje vrata. Riječ „automat“ latinizirana je od starogrčkog „αὐτόματον“. U antičkoj Grčkoj korišteno je prvo poznato analogno računalo: Mehanizam iz Antikitere.

1.1.1. Hijerarhija sustava automatizacije

Tehnička strana analize zahtjeva radnog zadatka podrazumijeva definiranje **hijerarhije sustava automatizacije** koja će omogućiti realizaciju zadanih ciljeva. Hijerarhija sustava automatizacije obuhvaća sve operativne zadaće od razine strojeva i tehnoloških procesa do sustava za nadzor, kontrolu i prikupljanje podataka (engl. *Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA*). O sustavu SCADA bit će više riječi u nastavku.

Zahtjevi radnog zadatka po hijerarhiji odnose se na:

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



Slika 2. Hijerarhija sustava automatizacije (rad autora)

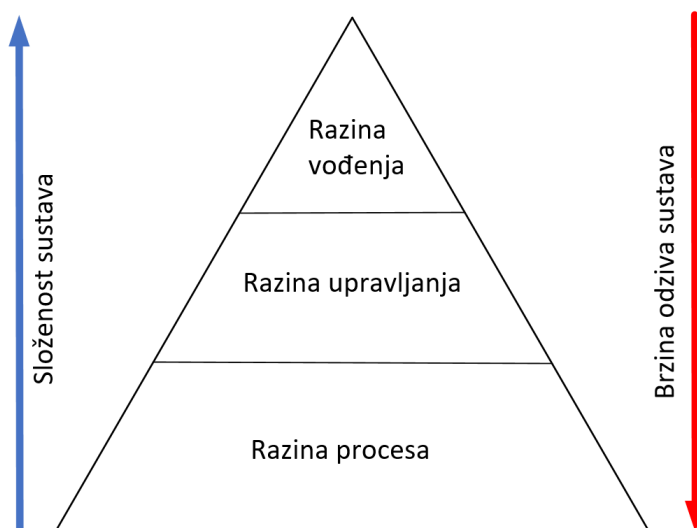
1.1.2. Zahtjevi

Da bi se ispravno definirali zahtjevi sustavu SCADA, važno je znati da je on odgovoran za planiranje, optimiranje, nadzor i kontrolu procesa proizvodnje te obradu podataka iz proizvodnog procesa. Iz zadanih zahtjeva proizlazi potrebna softverska i hardverska oprema toga sustava.

Ovisno o definiranoj tehnologiji proizvodnje daju se zahtjevi upravljačkim sustavima zaduženim za upravljanja i regulacije u sustavu. Na ovoj razini najčešće se koriste programirajući logički upravljači (engl. *Programmable Logic Controller* – **PLC**), kao uređaji za upravljanje i regulaciju. PLC je vrsta digitalnog industrijskoga računala specijaliziranog za automatizaciju industrijskih procesa. O složenosti sustava ovisi veličina PLC-ova, kao i broj i vrsta potrebnih ulaza i izlaza.

Zahtjevi senzorima, mjernim i izvršnim elementima na razini procesa definiraju se u svrhu željene detekcije i mjerenja procesnih veličina te djelovanja na njih. Vrsta senzora, mjernih pretvornika i izvršnih elemenata ovise o veličinama tehnološkog procesa.

U definiranju zahtjeva radnog zadatka potrebno je u obzir uzeti i tok informacija od razine procesa i strojeva prema višim razinama kako bi oni bili ispravno postavljeni. Tok informacija ide u smjeru smanjenja količine podataka iz procesa, a povećanja količine specifičnih informacija. Složenost sustava najveća je na razini vođenja, gdje se nadzire, kontrolira i prikuplja podatke iz procesa, a najmanja na razini procesa. Brzina reakcije sustava na razini vođenja je zbog složenosti manja nego na razini procesa i strojeva, gdje su potrebne brze reakcije kako bi se osigurala njihova pravovremenost zbog preciznosti i točnosti proizvodnje te sigurnosti rada sustava. Brzina reakcije, tj. odziv sustava na razini procesa mjeri se u milisekundama, a na razini vođenja u sekundama i minutama.

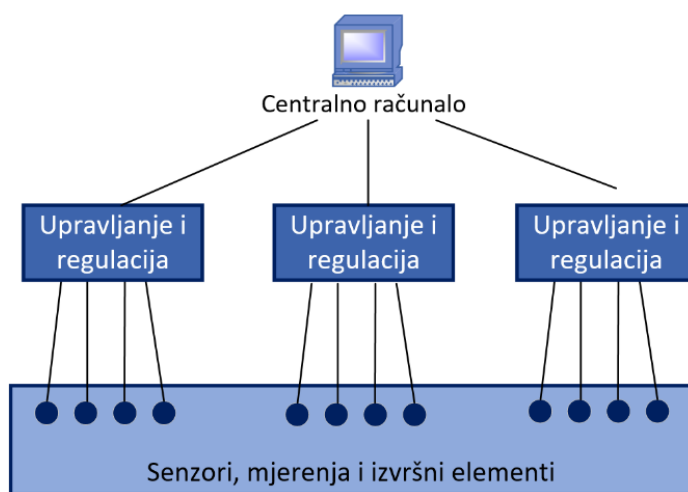


Slika 3. Složenost i brzina odziva sustava (rad autora)

Ovisno o složenosti i veličini sustava automatizacije, potrebno je definirati i strukturu samog sustava automatizacije. Dvije su osnovne strukture koje se koriste:

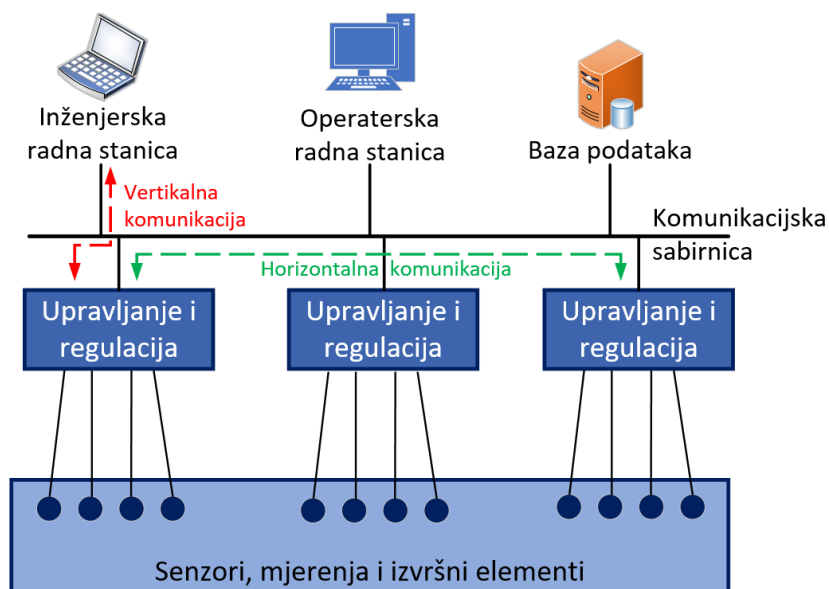
- centralna struktura i
- decentralna struktura.

Centralna struktura koristi se u manjim sustavima u kojima se proces može promatrati kao jedna cjelina. U toj strukturi najčešće se koristi jedno računalo koje serijski obrađuje informacije potrebne za funkcije automatizacije te nadzire i kontrolira rad PLC uređaja. PLC uređaji međusobno komuniciraju pomoću centralnog računala ako su izravno na nj spojeni. Ako su PLC-ovi spojeni u mrežu s centralnim računalom, tada mogu komunicirati i izravno.



Slika 4. Centralna struktura sustava automatizacije (rad autora)

Decentralna struktura koristi se u složenijim sustavima u kojima se proces raščlanjuje na više podprocesa. U tom slučaju koristi se više namjenskih računala koja paralelno obavljaju različite funkcije automatizacije. Svi PLC uređaji u ovoj strukturi mogu komunicirati izravno i ravnopravno posredstvom komunikacijske sabirnice.



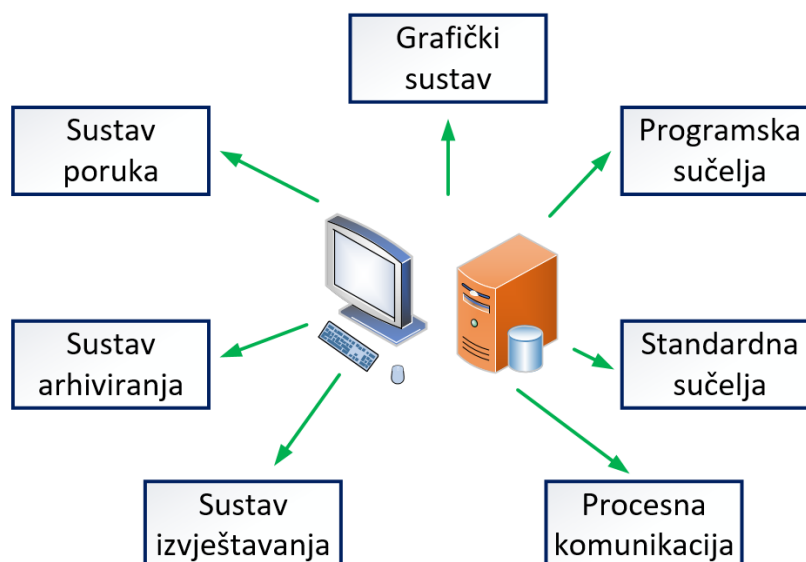
Slika 5. Decentralna struktura (rad autora)

1.1.3. SCADA sustav

SCADA sustav za nadzor, kontrolu i prikupljanje podataka sastoji se od više različitih podsustava. Definiranjem zahtjeva ovom sustavu određuje se koji podsustavi trebaju biti uključeni kako bi se realizirao zadani radni zadatak.

SCADA podsustavi su:

- grafički sustav – služi za vizualizaciju sustava,
- sustav poruka – služi za prikaz poruka i alarma sustava,
- sustav arhiviranja – služi za pohranu podataka i poruka sustava,
- sustav izvještavanja – služi za kreiranje izvještaja o radu sustava,
- procesna komunikacija – sadrži procesna sučelja za veze s različitim PLC-ovima,
- standardna sučelja – sadrži standardna sučelja za povezivanje s PLC-ovima za koje nisu definirana procesna sučelja,
- programska sučelja – sadrži softverska sučelja prema drugim programskim alatima s kojima se razmjenjuju podaci.



Slika 6. Dijelovi SCADA sustava (rad autora)

ZADATAK. Istraži na internetu koji su najčešće korišteni SCADA sustavi.

1.2. Odabir odgovarajućih upravljačkih, senzorskih i izvršnih elemenata sustava prema radnom zadatku

U svrhu odabira i nabave elemenata nekog sustava automatizacije potrebno je dobro poznavati tehnološki proces koji je rezultat automatizacije. Poznavanjem tehnološkog procesa mogu se detaljno definirati tehnički opisi i zahtjevi sustavu, a iz čega proizlaze potrebni elementi sustava.

Osim **tehničkog opisa**, potrebno je napraviti detaljne **specifikacije zahtjeva hardveru i softveru elemenata sustava**. Te specifikacije definiraju:

- potrebne konfiguracije hardvera i softvera,
- odgovarajuće operativne sustave,
- programske jezike,
- mreže i komunikacije te
- izgled i rad aplikacijskih programa.

Analizom zahtjeva radnog zadatka određuje se vrsta upravljačkih, senzorskih i izvršnih elemenata sustava.

1.2.1. Upravljački elementi

Glavni dio sustava automatizacije čini upravljački element, koji je zadužen za upravljanje i regulaciju procesnih veličina. U današnje vrijeme za tu funkciju najčešće se koriste programirljivi logički upravljači ili PLC-ovi.

Na temelju definiranih zahtjeva radnog zadatka proizlazi vrsta i potreban broj senzorskih i izvršnih elemenata sustava. Senzorski elementi spajaju se na ulaze upravljačkog elementa, a izvršni elementi spajaju se na izlaze upravljačkog elementa. Vrsta i broj senzorskih i izvršnih elemenata određuje sljedeće zahtjeve za upravljački element:

- broj i vrstu digitalnih ulaza PLC-a (npr. 24V DC ulazi, 230V AC ulazi),
- broj i vrstu digitalnih izlaza PLC-a (npr. 24V DC tranzistorski izlazi, relejni izlazi),
- broj i vrstu analognih ulaza PLC-a (npr. strujni 4 - 20 mA, naponski -10 - +10 V),
- broj i vrstu analognih izlaza PLC-a (npr. strujni 0 - 20 mA, naponski 0 - 10 V),
- broj i vrstu specijaliziranih ulaza PLC-a (npr. brzi ulazi za signale kodera),
- broj i vrstu specijaliziranih izlaza PLC-a (npr. impulsni izlazi za kontrolu gibanja motora).

Vrsta i broj senzorskih elemenata određuje koliko kojih vrsta ulaza treba imati PLC uređaj, a vrsta i broj izvršnih elemenata određuje koliko kojih vrsta izlaza treba imati PLC uređaj.

Tehnologija procesa sustava automatizacije određuje sljedeće zahtjeve za upravljački element:

- broj i vrstu upravljačkih krugova (npr. diskretno ili kontinuirano upravljanje),
- broj i vrstu regulacijskih krugova (npr. ON/OFF, PI ili PID regulacija),
- potrebe obrade podataka (npr. skaliranje podataka, filtriranje podataka),
- vremenske i ostale funkcije (npr. tajmeri, brojači),
- načine rada sustava (npr. ručni način, automatski način).

Hijerarhija sustava automatizacije određuje sljedeće zahtjeve za upravljački element:

- broj i vrstu komunikacijskih priključaka (npr. *Profinet*, *Profibus*),
- potrebe ugrađene dijagnostike (npr. dijagnostika softverskih i hardverskih grešaka PLC sustava).

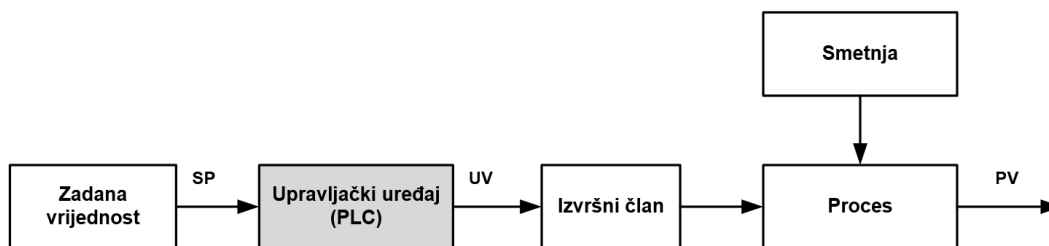
ZADATAK. Istraži na internetu koji je proizvođač PLC-ova najzastupljeniji u Europi.

Upravljački elementi mogu na procesne veličine (tlak, temperatura, protok, razina, i dr.) djelovati u otvorenom i zatvorenom krugu.

Otvoreni krug je onaj u kojemu je **upravljanje**. To znači da se zadavanjem željene vrijednosti procesne veličine i određenim upravljačkim algoritmom djeluje na tu procesnu veličinu. Hoće li procesna veličina postići zadanu veličinu, ovisi o upravljačkom algoritmu te najviše o smetnji, tj. poremećaju koji djeluje na sustav. Otvoreni krug u većini slučajeva ne može postići jednakost željene i stvarne procesne veličine. No, on se ipak često koristi tamo gdje nije potrebna regulacija jer ga je lakše i brže implementirati u PLC. Osim toga, otvoreni krug, tj. upravljanje troši manje resursa PLC-a i ostalih elemenata sustava automatizacije pa se time smanjuju troškovi automatizacije.

Dijelovi otvorenog kruga su:

- zadana vrijednost (SP) – veličina koju zadaje operater ili sustav automatski, a na koju se želi postaviti procesna veličina (PV),
- upravljački uređaj – element koji na temelju zadane vrijednosti (SP) i upravljačkog algoritma daje upravljački signal (UV) izvršnom članu,
- izvršni član – element koji na temelju upravljačke veličine (UV) daje energetski signal procesu (objektu upravljanja) u svrhu promjene procesne veličine (PV),
- proces (objekt upravljanja) – sustav kojim se upravlja u svrhu promjene procesne veličine (PV) na zadanu vrijednost (SP),
- smetnja (poremećaj) – vanjska ili unutarnja veličina koja utječe na promjenu procesne veličine (PV).

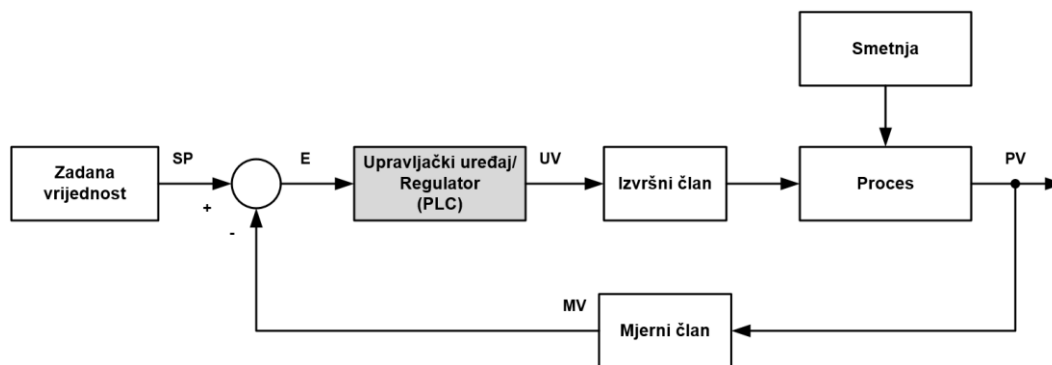


Slika 7. Otvoreni krug (rad autora)

U zatvorenom krugu je **regulacija**. To znači da se može postići da regulirana procesna veličina bude jednaka zadanoj vrijednosti, tj. da se djelovanjem vanjskih poremećaja ne mijenja ili se mijenja vrlo malo. To je moguće zbog signala povratne veze preko mjernog člana jer na taj način regulator ima informaciju o odnosu zadane (SP) i stvarne procesne veličine (PV).

Dijelovi zatvorenog kruga su:

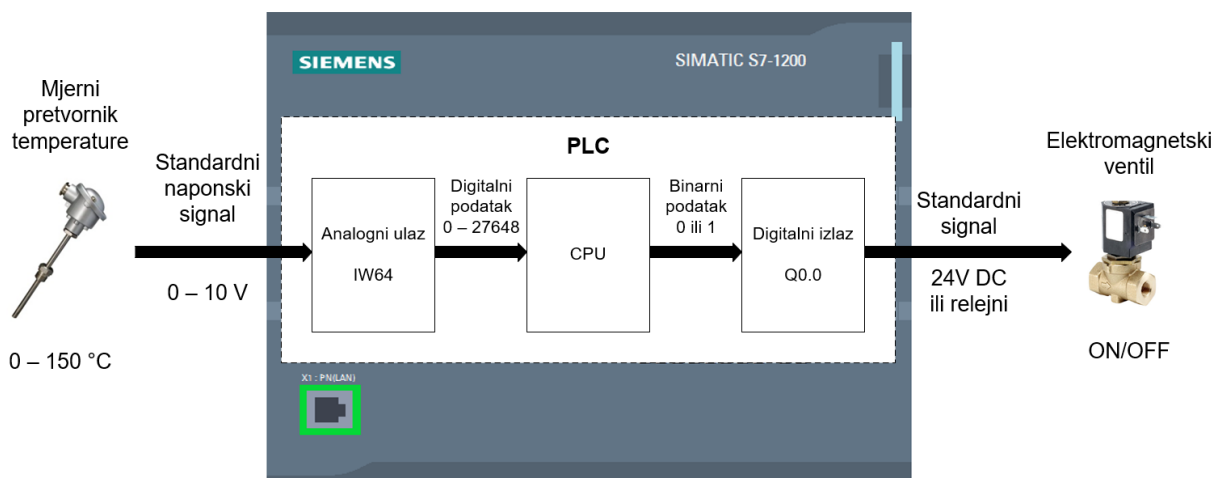
- zadana vrijednost (SP) – željena veličina koju zadaje operater ili sustav automatski, a na koju se želi postaviti procesna veličina (PV),
- regulacijsko odstupanje (E) – razlika između zadane (SP) i mjerene procesne veličine (MV),
- upravljački uređaj (PLC) – element koji na temelju regulacijskog odstupanja (E) i algoritma regulacije daje upravljački signal (UV) izvršnom članu,
- izvršni član – element koji na temelju upravljačke veličine (UV) daje energetski signal procesu (objektu upravljanja) u svrhu promjene procesne veličine (PV),
- proces (objekt upravljanja) – sustav kojim se upravlja u svrhu promjene procesne veličine (PV) na željenu vrijednost (SP),
- smetnja (poremećaj) – vanjska ili unutarnja veličina koja utječe na promjenu procesne veličine (PV),
- mjerni član – mjerni pretvornik koji mjeri iznos procesne veličine (PV) i daje mjerenu vrijednost te veličine (MV).



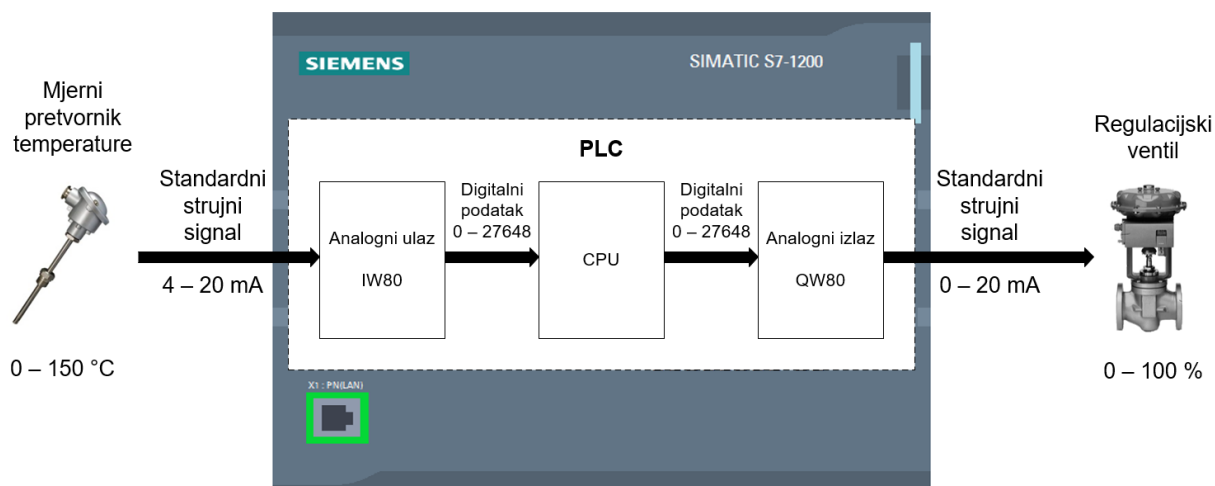
Slika 8. Zatvoreni krug (rad autora)

PLC-ovi, kao upravljački elementi, imaju mogućnost diskretne ili kontinuirane regulacije. Pri tome se najčešće koriste standardni regulatori:

- ON/OFF,
- PI,
- PID.



Slika 9. Princip diskretne regulacije PLC-om (rad autora)



Slika 10. Princip kontinuirane regulacije PLC-om (rad autora)

Koje metode regulacije će se koristiti u određenom radnom zadatku automatizacije sustava, ovisi o tehnološkom procesu sustava.

ZADATAK. Istraži koju vrstu upravljanja ili regulacije ima tvoj sustav grijanja u kući ili stanu.

Imajući u vidu sve navedene zahtjeve upravljačkog elementa bira se onaj koji će obuhvatiti sve potrebne stavke i omogućiti realizaciju zadanoga radnog zadatka. PLC upravljački element može se odabrati iz jedne od četiri grupa:

- nano (do 15 ulaza/izlaza),
- mikro (do 128 ulaza/izlaza),
- srednji (do 512 ulaza/izlaza),
- veliki (više od 512 ulaza/izlaza).

Svaka grupa PLC-ova ima drugačija ograničenja tipa i broja ulaza i izlaza, vrsta regulacije, komunikacije i ostalo. Zbog toga je potrebno dobro definirati zahtjeve kako bi se odabrao ispravan tip PLC uređaja.

1.2.2. Senzorski elementi

Senzorski elementi su ulazni elementi u PLC upravljački sustav. Na temelju definiranih zahtjeva tehnološkog procesa radnog zadatka proizlazi vrsta i potreban broj senzorskih elemenata sustava.

Ovisno o definiranim zahtjevima i odabranom upravljačkom elementu odabire se jedan od dva tipa senzorskih elemenata:

- senzor,
- mjerni pretvornik.

Senzor (osjetnik) je element koji detektira određenu veličinu.

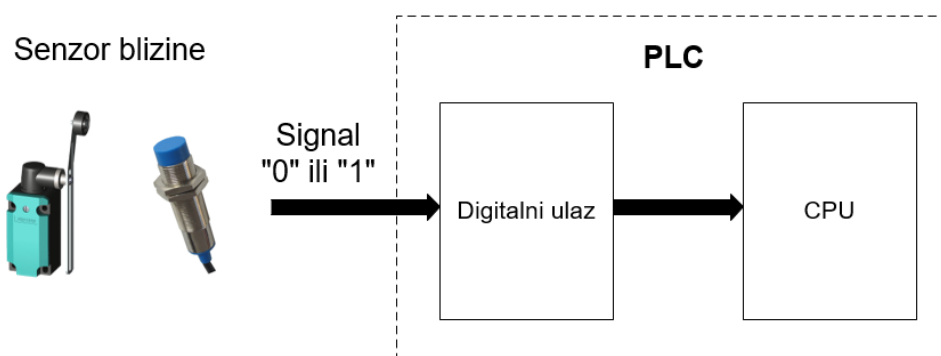
Na temelju zahtjeva senzori se odabiru ovisno o potrebnoj vrsti detekcije:

- senzori blizine – za detekciju blizine stvari i osoba:
 - s fizičkim kontaktom (npr. krajnji prekidač, tipkalo),
 - bez fizičkog kontakta (npr. induktivni, kapacitivni, optički, REED relej),
- senzori tlaka (tlačne sklopke – presostati) – za detekciju određenog iznosa tlaka,
- senzori temperature (temperaturne sklopke – termostati) – za detekciju određenog iznosa temperature,
- senzori protoka (protočne sklopke) – za detekciju određenog iznosa protoka,
- senzori razine (sklopke razine) – za detekciju određenog iznosa razine (npr. vibracijska vilica).

Senzori se, osim za vrstu detekcije, biraju i za željeni tip izlaznog signala. Oni imaju diskretni izlazni signal koji pokazuje ima li ili nema detekcije, a što PLC uređaj vidi kao logički signal 0 ili 1. Kakav će biti tip izlaznog signala, ovisi o konkretnim zahtjevima radnog zadatka, a može biti:

- tranzistorski 24V DC:
 - PNP tip,
 - NPN tip,
- relejni:
 - NO kontakt,
 - NC kontakt,
 - preklopni kontakt.

Prema odabranom tipu izlaznog signala senzora proizlaze zahtjevi za ulaze PLC upravljačkog elementa.

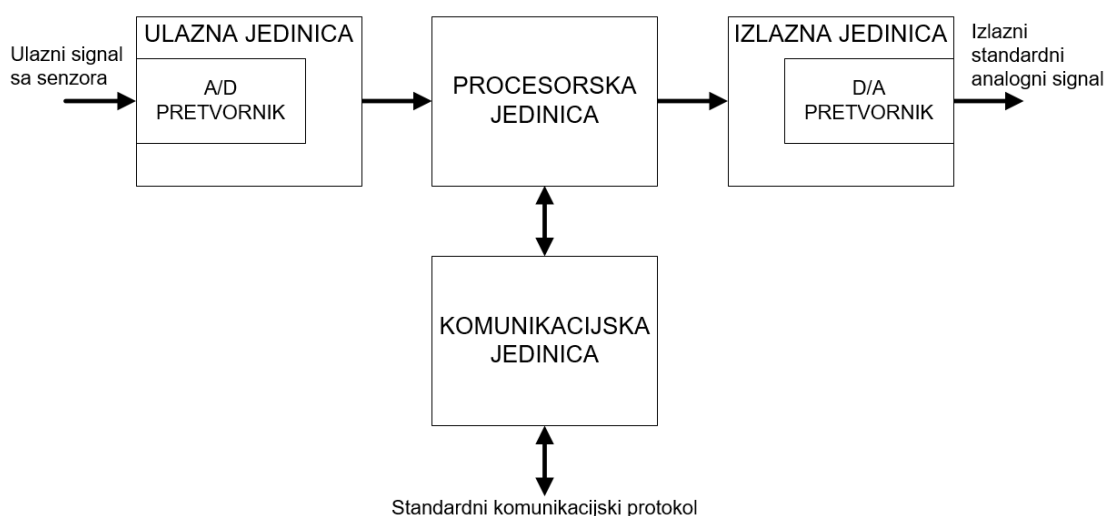


Slika 11. Senzori PLC sustava (rad autora)

Mjerni pretvornik je širi pojam od senzora jer osim senzora uključuje sklopovlje za elektroničku obradu mjerene veličine sa senzora. To je uređaj koji signal sa senzora pretvara u standardni izlazni signal. Obično je to analogni strujni ili naponski signal, a može biti i digitalni koji se šalje određenom vrstom komunikacijskog sučelja.

Na temelju zahtjeva mjerni pretvornici odabiru se ovisno o potrebnoj vrsti mjerenja:

- mjerni pretvornici temperature – npr. termopar, otpornički termometar,
- mjerni pretvornici tlaka – npr. manometar, membranski,
- mjerni pretvornici razine – npr. hidrostatski, diferencijalni, ultrazvučni,
- mjerni pretvornici protoka – npr. ultrazvučni, diferencijalni tlak,
- mjerni pretvornici udaljenosti – npr. mjerne letve, radarski, itd.

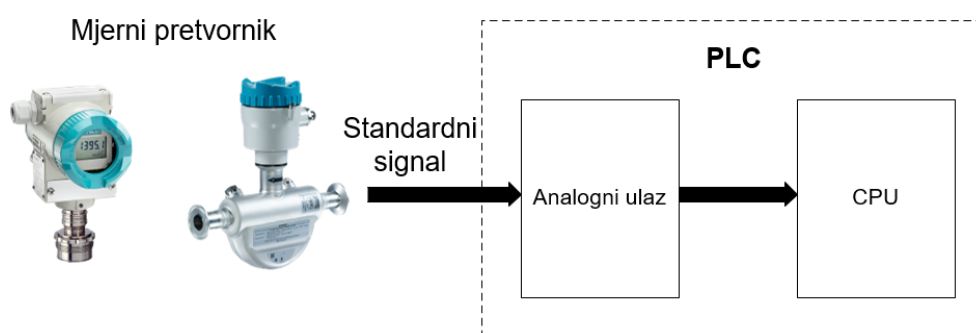


Slika 12. Blok shema mjernog pretvornika (rad autora)

Izlazni signali mjernog pretvornika mogu biti:

- standardni strujni signali – npr. 4 - 20 mA, 0 - 20 mA,
- standardni naponski signali – npr. 0 - 10 V, -10 - +10 V,
- digitalni podaci – npr. *Profinet*, *Profibus*.

Standardni strujni i naponski signali spajaju se na analogne ulaze PLC uređaja, dok se digitalni podaci šalju određenom komunikacijskom vezom. Prema odabranom tipu izlaznog signala mjernog pretvornika proizlaze zahtjevi za ulaze ili komunikaciju PLC upravljačkog elementa.



Slika 13. Mjerni pretvornici PLC sustava (rad autora)

Imajući u vidu sve prije navedeno i poštujući zahtjeve za senzorske elemente radnog zadatka, biraju se oni senzori i mjerni pretvornici koji će obuhvatiti sva potrebna mjerenja i detekcije.

1.2.3. Izvršni elementi

Izvršni elementi su izlazni elementi iz PLC upravljačkog sustava. Na temelju definiranih zahtjeva tehnološkog procesa radnog zadatka proizlazi vrsta i potreban broj izvršnih elemenata sustava.

Ovisno o definiranim zahtjevima i odabranom upravljačkom elementu, odabiru se potrebni izvršni elementi po tipu izlaza:

- diskretni – npr. releji, sklopnici, elektromagnetski ventili, razvodni ventili,
- kontinuirani – npr. frekvencijski pretvarači, regulacijski ventili,
- digitalni podatak – npr. frekvencijski pretvarač, servo pogon.

Elektromagnetski ventili su uređaji koji električni signal iz upravljačkog uređaja (pomoću elektromagneta) pretvaraju u mehaničko gibanje unutar ventila (otvaranje ili zatvaranje), a čime se vrši upravljanje protokom tekućina ili plinova. Koriste se u sustavima gdje nije potrebna regulacija protoka, već samo propuštanje ili zaustavljanje toka medija.

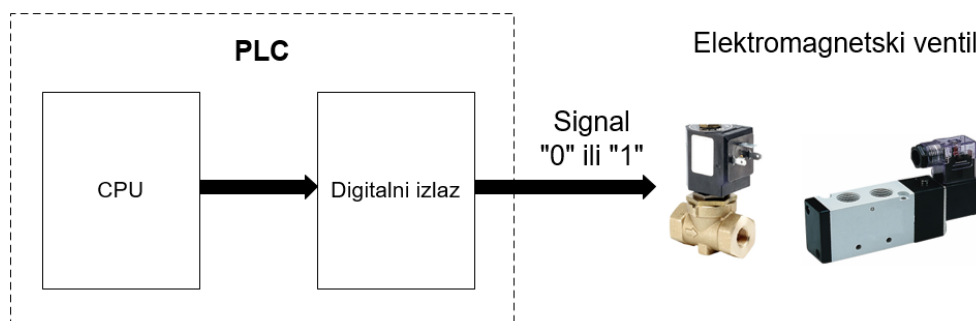
Razvodni ventili su pneumatski izvršni elementi koji služe za usmjeravanje medija na način da propuštaju, zatvaraju ili mijenjaju tok medija. Tip razvodnog ventila određen je brojem priključaka i brojem razvodnih položaja (npr. 4/2 je oznaka razvodnika s 4 priključka i 2 razvodna položaja). Koriste se u pneumatskim sustavima, a najčešće u kombinaciji s radnim cilindrima za guranje, izbacivanje, premještanje i slično.

Regulacijski ventili su izvršni članovi koji se često susreću u industrijskim aplikacijama. To je vrsta uređaja koji služe za podešavanje protoka fluida na temelju upravljačkog signala PLC-a te se time utječe na vrijednost procesne veličine. Koriste se u sustavima gdje je potrebna regulacija protoka medija kako bi se precizno djelovalo na proces.

Frekvencijski pretvarači su izvršni elementi koji služe za upravljanje brzinom vrtnje izmjeničnih asinkronih motora. Osim funkcije upravljanja imaju funkciju kontrole i signalizacije rada motora. Koriste se za upravljanje svim vrstama izmjeničnih asinkronih motora i pumpi u transportu krutih ili tekućih tvari.

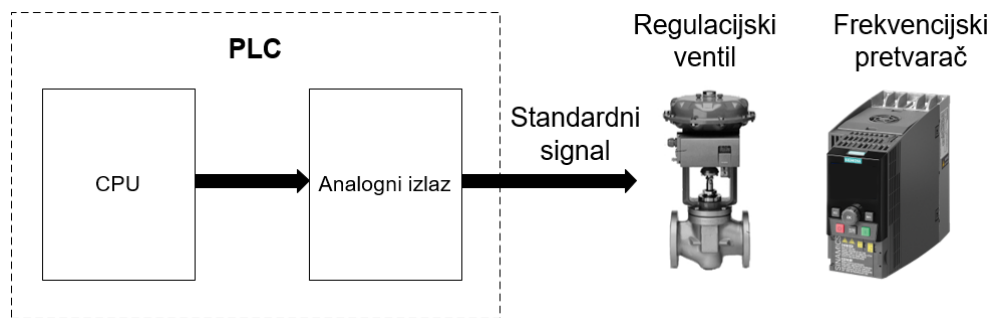
Diskretni izvršni elementi upravljani su signalom logičke 0 i 1 iz PLC-a pomoću digitalnih izlaza tipa:

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



Slika 14. Diskretni izvršni elementi PLC sustava (rad autora)

Kontinuirani izvršni elementi upravljani su standardnim strujnim ili naponskim signalom na analognom izlazu PLC-a. U izvršnim elementima s ugrađenom komunikacijom upravljačka veličina s PLC-a šalje se kao digitalni podatak komunikacijskom vezom.



Slika 15. Kontinuirani izvršni elementi PLC sustava (rad autora)

Imajući u vidu sve prije navedeno i poštujući zahtjeve za izvršne elemente radnog zadatka, biraju se oni izvršni elementi koji će obuhvatiti sva potrebna djelovanja za elemente sustava automatizacije.

Odabir odgovarajućih upravljačkih, senzorskih i izvršnih elemenata sustava prema određenom radnom zadatku treba biti sveobuhvatan. Odabir jednog tipa elementa sustava utječe na drugi, i obrnuto. Da bi realizirani sustav bio izvediv i funkcionirao prema željenim zahtjevima, potrebno je odabrati elemente koji su međusobno kompatibilni, a koji osiguravaju sve potrebne mjerne, upravljačke i izvršne signale.

1.3. Projektiranje sustava

Projektiranje sustava prema radnom zadatku podrazumijeva izradu dokumentacije koja će omogućiti realizaciju postavljenog zadatka automatizacije. To je kompleksan posao kojim se generira dokumentacija objašnjena duž poglavlja. Projektna dokumentacija treba sadržavati sljedeće faze razvoja sustava automatizacije:

- projektiranje,
- montažu,
- programiranje i podešavanje,
- puštanje u rad,
- održavanje.

Projektiranje opreme i strojeva sustava automatizacije zahtijeva pridržavanje određenih propisa i normi tijekom projektiranja, izvedbe i nakon izvedbe sustava. Neki od propisa i normi kojih se treba pridržavati su:

- pravilnik o elektromagnetskoj kompatibilnosti – NN 28/16,
- pravilnik o sigurnosti strojeva – NN 28/11,
- norma za postizanje sigurnosti u projektiranju strojeva – ISO 12100:2010,
- pravilnik o zaštiti na radu pri uporabi radne opreme – NN 18/17,
- pravilnik o pregledu i ispitivanju radne opreme – NN 16/16,
- zakon o tehničkim zahtjevima za proizvode i ocjenjivanju sukladnosti – NN 126/21,
- i drugo.

Za sustav automatizacije potrebno je definirati procesne tokove prema tehnološkom opisu procesa proizvodnje. Osim **tokova informacija** koji omogućavaju komunikaciju i rad svih elemenata sustava, potrebno je definirati i **tok energenata** potrebnih za taj sustav. To je prvenstveno tok električne energije, a zatim plina, vode, komprimiranog zraka i ostalog. Da bi se proizvodnja mogla odvijati, potreban je i **tok materijala i sirovina** u promatranom sustavu automatizacije.

Projektiranje sustava automatizacije podrazumijeva izradu više vrsta dokumentacije, a u većini slučajeva to su:

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

Dokumentacija za nabavu sadrži:

- tehnički opis sustava i procesa,
- specifikaciju zahtjeva hardvera,
- specifikaciju zahtjeva softvera,
- specifikaciju za nabavu.

Specifikacija za nabavu sadrži više dokumenata koji obuhvaćaju:

- opis elemenata nabave,
- opseg potrebnih poslova,
- sadržaj dokumentacije,
- propise koji trebaju biti zadovoljeni,
- zahtijevane specifikacije elemenata,
- dokaze o podrijetlu i kvaliteti elemenata,
- zahtijevane garancije.

U tehničkom opisu vrlo je važno navesti način označavanja signala, elemenata i dokumentacije. Uz sve regularne načine rada sustava, važno je navesti i sva neregularna stanja kako bi se realizacijom sustava spriječio nastanak štete. Također je potrebno navesti i sigurnosne zahtjeve rada samog sustava. Osim tehničkog opisa, potrebno je napraviti detaljne specifikacije zahtjeva hardvera i softvera željenog sustava. Te specifikacije daju željene konfiguracije hardvera i softvera, s operativnim sustavima, programskim jezicima, mrežama i komunikacijom te izgledom i radom aplikacijskog programa i vizualizacije.

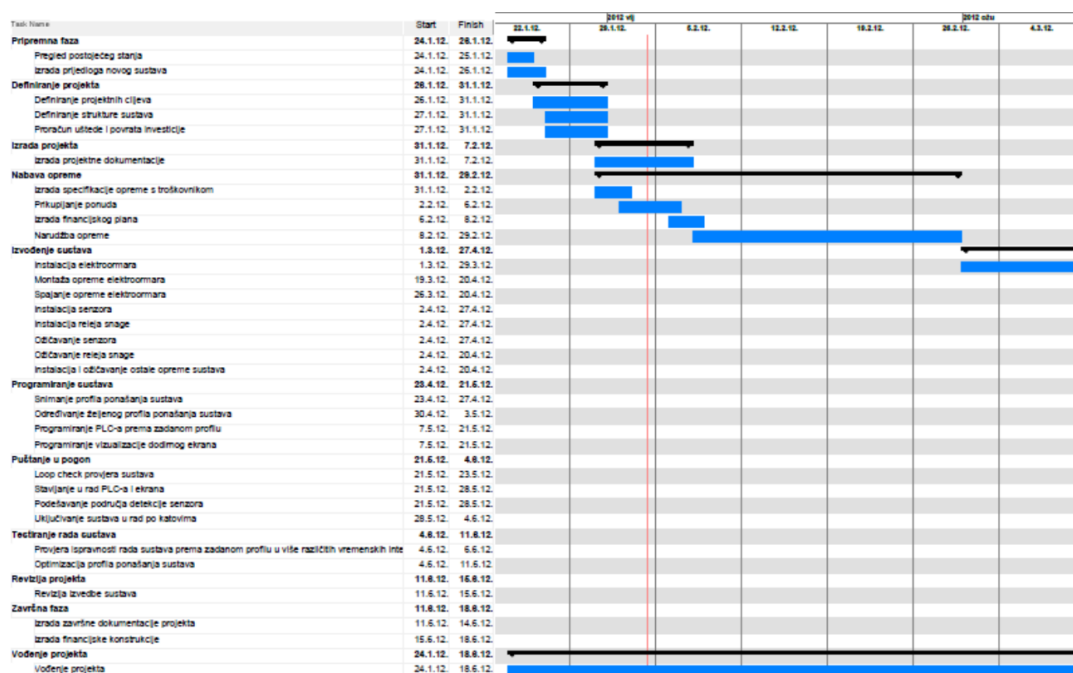
Dokumentacija za izvođenje radi se na temelju dokumentacije za nabavu. Prvi i najvažniji dokument je specifikacija sustava automatizacije u kojemu se definira potpuna funkcionalnost cijelog sustava automatizacije, a na temelju danog tehnološkog opisa procesa (želja investitora). Da bi taj sustav automatizacije mogao biti ispravno smješten unutar tvornice, izrađuje se položajni plan. Strojarska dokumentacija sadrži nacрте strojarskih elemenata sustava automatizacije. Elektro dokumentacija sadrži sheme elektro ormara i ostalih elektro elemenata sustava automatizacije. Aplikacijski program sadrži detaljnu specifikaciju funkcioniranja softvera i ispis programa programirljivih logičkih upravljača. Plan testiranja obuhvaća dokumentaciju potrebnu za testiranje sustava tijekom izrade te u fazi puštanja u pogon.

Dokumentacija za rad i održavanje radi se pri kraju procesa automatizacije te sadrži upute za rad i za održavanje sustava.

1.3.1. Vremenski plan

JESTE LI ZNALI? Gantogram je izumio početkom 20. stoljeća američki inženjer Henry Laurence Gantt.

Kako bi se osigurala pravilna i pravovremena izvedba projekta sustava automatizacije, potrebno je napraviti vremenski plan ili gantogram (engl. *Gantt chart*) za njegovu realizaciju. Gantogram predstavlja vizualni prikaz rasporeda projekta, a obuhvaća sve zadatke projekta s vremenskim okvirima unutar kojih će pojedini zadaci biti izvedeni. Na njemu je jasno definirana vremenska traka projekta koja prikazuje datum početka i završetka cijelog projekta automatizacije. Nazivi zadataka trebaju biti precizno definirani i dobro organizirani. Uz svaki zadatak vezane su i osobe koje su za nj zadužene. Na taj način svaka osoba unutar projektnog tima u svakom trenutku zna što i u kojem roku treba odraditi. Neki zadaci mogu se preklapati, tj. odvijati u isto vrijeme. Moguće je da u pojedinim zadacima sudjeluju iste ili različite osobe. Postoje zadaci koji se nužno moraju završiti prije nego se počne s novim zadatkom. Pravilno planiranje i organizacija te raspodjela resursa vrlo su bitni kako bi se projekt uspješno realizirao. Vremenski plan rada bitan je svim sudionicima u projektu, voditelju i timu, jer omogućava praćenje napretka u realizaciji projekta. Na donjoj slici prikazan je primjer jednoga vremenskog plana.



Slika 16. Primjer vremenskog plana (rad autora)

1.3.2. Troškovnik

Na temelju završene analize zahtjeva radnog zadatka može se izraditi troškovnik koji ulazi u ponudu za izvedbu projekta. Njime trebaju biti obuhvaćeni svi aspekti izvedbe projekta.

To su:

- analiza sustava,
- izrada dokumentacije,
- izrada aplikacijskog softvera,
- testiranje,
- puštanje u pogon,
- izrada uputa,
- edukacija operatera,
- troškovi putovanja i smještaja,
- ostali troškovi.

Troškovnik prikazuje sve troškove povezane s realizacijom projekta te omogućava voditelju projekta identificirati elemente troškovnika koji se eventualno mogu smanjiti.

Na donjoj slici prikazan je tipični primjer troškovnika automatizacije jednog stroja.

SUBJECT: Automatizacija postrojenja			
<u>AUTOMATION ENGINEERING:</u>			
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
Dnevica 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 17. Primjer troškovnika (rad autora)

Nakon što investitor prihvati ponudu prema definiranom troškovniku, započinje proces kreiranja korisničke i tehničke dokumentacije sustava automatizacije.

1.3.3. Lista opreme

Lista opreme sadrži detaljan popis opreme, dijelova i materijala sustava automatizacije. Ona također ulazi u ponudu za izvedbu projekta, kao materijalni dio troška. Na donjoj slici prikazan je dio liste opreme sustava za umjeravanje vodomjera. Na temelju funkcionalnog opisa sustava može se napraviti popis elemenata potrebnih za njegovu realizaciju. Taj se popis naziva lista elemenata. Ona sadrži nazive elemenata, njihove oznake, količine, lokacije u sustavu i funkcije koje obavljaju. Na temelju nadopunjene liste elemenata u koju se dodaju serijski brojevi ili šifre i dobavljači radi se narudžba elemenata. S druge strane, na temelju te liste i funkcionalnog opisa sustava, izrađuje se elektro dokumentacija.

OPIS	PROIZVOĐAČ / DOBAVLJAČ	NARUŽBENA 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 rastavljivim 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
Zvezda-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
Pomoćni 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	19V1,19V2,19V3,19V4
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 #40 crvena; 1NC+1NO;	TELEMECANIQUE	XB4-BS6445	Katalog 2005	2,00	6S3,6S1
Tipka svjetleća-ZELENA, 24VDC; 1NO+1NC; komplet sa LED; #22	TELEMECANIQUE	XB4-BW33B5	Katalog 2005	1,00	6S2/6H1
Sigurnosni modul za nadzor nužnog isklopa 3NO 24VDC	TELEMECANIQUE	XP5AC5121P	Katalog 2005	1,00	6A1

Slika 18. Primjer liste opreme (rad autora)

Programski alati potrebni u projektiranju sustava automatizacije sljedeći su:

- alat za obradu teksta – npr. *MS Word*, *LibreOffice Writer*,
- alat za rad s tablicama i proračunima – npr. *MS Excel*, *LibreOffice Calc*,
- alat za izradu grafikona i crteža – npr. *MS Visio*, *LibreOffice Draw*.

Pitanja za ponavljanje:

1. Opiši što je automatizacija i čemu služi.
2. Navedi faktore koji utječu na uspješno rješavanje radnog zadatka.
3. Navedi koje je čimbenike potrebno uzeti u obzir kod analize zahtjeva radnog zadatka.
4. Opiši hijerarhiju sustava automatizacije.
5. Opiši strukture sustava automatizacije.
6. Objasni čemu služi SCADA sustav.
7. Navedi koji su dijelovi SCADA sustava.
8. Pojasni zahtjeve za upravljačke elemente.
9. Objasni otvoreni i zatvoreni krug upravljačkog sustava.
10. Navedi podjelu PLC-ova po grupama.
11. Opiši senzore i mjerne pretvornike.
12. Navedi koji su tipovi izvršnih elemenata.
13. Opiši projektiranje sustava.
14. Navedi dokumentaciju kod projektiranja sustava automatizacije.
15. Opiši vremenski plan (gantogram).
16. Opiši troškovnik.
17. Opiši listu opreme.

2. Korisnička i tehnička dokumentacija automatiziranih sustava

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- nabrojiti dijelove korisničke i tehničke dokumentacije
- navesti strojarsku dokumentaciju
- navesti i objasniti elektro dokumentaciju
- objasniti izradu i dijelove aplikacijskog programa
- opisati plan testiranja
- nabrojati i opisati dijelove mjerne dokumentacije
- rastumačiti izradu uputa za rukovanje i korisničko prilagođavanje sustava/uređaja
- opisati izradu i arhiviranje dokumentacije.

Glavni je dio projekta sustava automatizacije dokumentacija za izvedbu. Dokumentacija za izvedbu sastoji se od dokumenata po kojima se izrađuju uređaji i strojevi sustava automatizacije, a to su povezivanje uređaja i strojeva u sustav automatizirane proizvodnje te aplikacijski program koji omogućava njihov rad. Dokumentaciju izrađuje tim osoba različitih struka. Koje sve struke su potrebne, zavisi od zadatka automatizacije. Automatizirana proizvodnja zahtijeva ugradnju određene tehnologije u sustav automatizacije. Tehnologija proizvodnje određuje koje struke treba biti tehnolog proizvodnje, osoba u timu. Na primjer, ako se radi o prehrambenoj industriji, potreban je prehrambeni tehnolog, a ako se radi o kemijskoj industriji,

kemijski tehnolog. Osim tehnologa potrebni su članovi tima strojarske struke za izradu strojarske dokumentacije te članovi elektro struke za izradu elektro dokumentacije. Programeri su zaduženi za izradu aplikacijskih programa strojeva i uređaja. Voditelj tima zadužen je za koordinaciju i vođenje tima u postupku izrade i arhiviranja dokumentacije. Nakon završene izvedbe sustava obučava se osoblje za rad na strojevima i uređajima te se izrađuju upute za njihovo rukovanje kako bi bile uvijek dostupne osoblju koje radi na stroju za siguran i ispravan način rada.

2.1. Kreiranje korisničke i tehničke dokumentacije

Projektiranje sustava automatizacije podrazumijeva izradu projektne dokumentacije koja se sastoji od različitih vrsta korisničkih i tehničkih dokumenata. Najvažniji dijelovi projektne dokumentacije su:

- procesni dijagrami,
- strojarska dokumentacija,
- položajni plan,
- elektro dokumentacija,
- aplikacijski program,
- plan testiranja.

Prilikom izrade dokumentacije sustava automatizacije uvijek treba paziti da **rizik za ljude i okolinu projektiranoga sustava bude manji od graničnog rizika**, tj. u području u kojemu je sustav siguran za rad. Rizik je vjerojatnost nastanka događaja koji dovode do šteta. Granični rizik je najveći dozvoljeni rizik određenoga tehničkog procesa. Prelazak preko toga vodi u područje velikog rizika, tj. opasnosti.

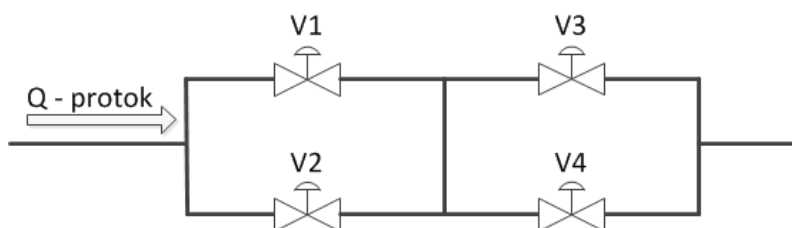


Slika 19. Sigurnost sustava (rad autora)

Dokument koji se izrađuje u svrhu procjene rizika naziva se **analiza opasnosti i ocjena rizika**. Analiza opasnosti i ocjena rizika predstavlja sustavan pristup u prepoznavanju opasnosti pri procjeni rizika s ciljem njihova spuštanja ispod graničnog, gdje neće dovesti do štetnog događaja. Metode koje se pritom koriste usmjerene su na uzroke i posljedice djelovanja elemenata u smislu pouzdanosti i funkcionalnosti te na opasne radnje u odnosu na osoblje koje radi na stroju.

U projektiranom sustavu automatizacije treba **identificirati komponente koje mogu kritično djelovati na sustav**. Takvi dijelovi sustava projektiraju se robusno i predimenzioniraju se kako bi se povećala pouzdanost i sigurnost.

Cilj je da projektirani sustav ima visoku razinu pouzdanosti kako bi se smanjila vjerojatnost ispada sustava iz radnog stanja. Takva razina pouzdanosti ima negativnu stranu jer zahtijeva višu cijenu sustava automatizacije.



Slika 20. Primjer povećanja pouzdanosti redundancijom ventila (rad autora)

Kako bi se osigurala pouzdanost i sigurnost sustava, **potrebno je eliminirati sljedeće pogreške**:

- pogreške pri specifikaciji zahtjeva sustava,
- pogreške u dokumentaciji,
- pogreške u projektu sklopovlja,
- pogreške u projektu programske podrške,
- pogreške u pisanju programskog koda.

U sustave automatizacije potrebno je ugraditi sve elemente zaštite koji su propisani za projektirani sustav.

Često korišteni elementi zaštite su:

- tipkalo za isključivanje u slučaju nužde,
- laserski skener,

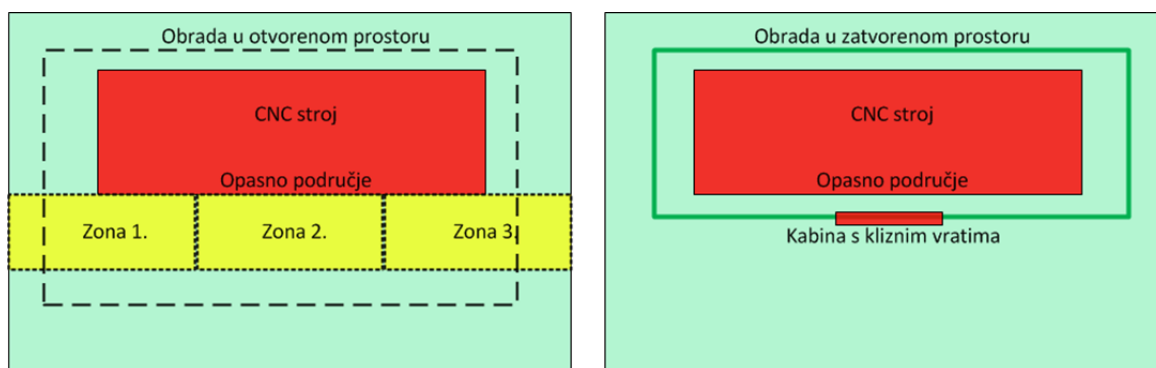
- svjetlosna zavjesa,
- krajnji prekidač,
- zaštitna ograda,
- pokretna zaštitna vrata.



Slika 21. Tipkalo za isklup u slučaju nužde (rad autora)

Područje koje se štiti ovisi o zahtjevima pojedine radne stanice te o zadaćama koje izvodi. Potrebno je izvesti zaštitu prema prioritetu. Najviši prioritet zaštite odnosi se na ljude, zatim na postrojenja, i na kraju na opremu. Tako se, npr. šine za napajanje vozila koja se po njima kreću štite samo od kratkog spoja osiguračima, dok su sklopnici zaduženi za uključivanje i/ili isključivanje napona napajanja. Radne stanice koje se sastoje od pokretnih dijelova, i u čijoj se blizini nalazi radnik, štite se maksimalnom mogućom zaštitom (roboti, okretni stolovi, CNC strojevi, dizala, i dr.).

Da bi sustav automatizacije bio funkcionalan i pouzdan, potrebno je odabrati pravilne uređaje i elemente zaštite. Pravilno odabrani elementi i projektirani sustav rezultat su dugogodišnjeg rada, znanja i iskustva projektanta.



Slika 22. Primjer - numerički upravljani strojevi (CNC) – Sigurnost u radu (rad autora)

U CNC obradi na otvorenom prostoru operater može biti fizički u kontaktu sa samim elementom obrade. Kada stroj radi, operater se mora udaljiti na određenu sigurnu udaljenost. Ispred radnog prostora nalaze se rješenja za povećanje sigurnosti, poput laserske zrake koja ako se prekine za vrijeme rada stroja, trenutno zaustavlja njegov rad. Drugo rješenje je sigurnosni tepih osjetljiv na dodir koji onemogućava približavanje stroju ili dijelu stroja za vrijeme obrade. Prednost je korištenja tepiha u višezonskoj obradi, pri čemu je do jednog dijela stroja za vrijeme obrade omogućen pristup kako bi se izvršile radnje koje su sigurne, a da se cijeli proces obrade ne mora bespotrebno zaustaviti.

U CNC obradi u zatvorenom prostoru operater je fizički odvojen od stroja za vrijeme njegova rada. Odvajanje je najčešće kliznim vratima koja su ili u potpunosti prozirna, ili s velikim prozorom za nadgledanje rada stroja. Ovim pristupom operater je u potpunosti siguran.

CNC stroj ne zahtijeva prisustvo operatera u samom procesu obrade, izuzev nadgledanja. Stoga se CNC smatra sigurnim strojem za rad uz uvjet da su mjere sigurnosti ispravno implementirane.

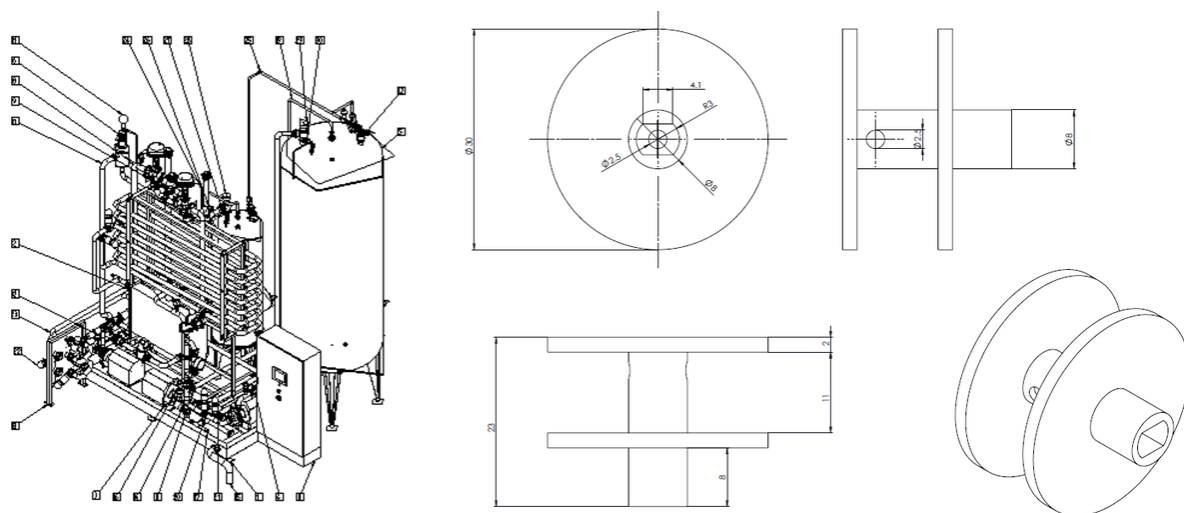
2.1.1. Strojarska dokumentacija

Strojarska dokumentacija sadrži:

- tehničke specifikacije elemenata i uređaja,
- strojarske proračune,
- detaljne nacрте (2D i 3D) elemenata, uređaja i strojeva,

- upute za sastavljanje i montažu,
- tehničke ilustracije dijelova sustava automatizacije.

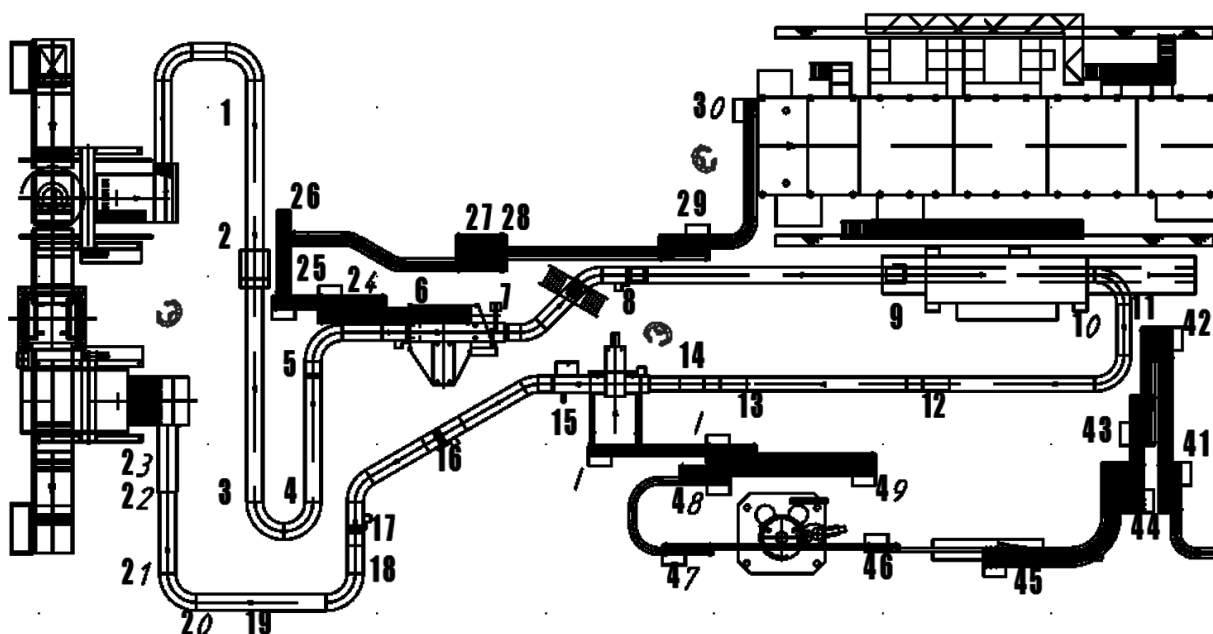
Svrha je strojarke dokumentacije izrada i povezivanje elemenata sustava automatizacije. Na slici 2.4. prikazan je primjer 3D nacrtu jednog stroja za temperaturnu obradu pića i 2D nacrt dijela stroja.



Slika **Pogreška! U dokumentu nema teksta navedenog stila.**23. Primjer dijela strojarke dokumentacije – 3D nacrt (lijevo) i 2D nacrt (desno) (rad autora)

2.1.2. Položajni plan

Položajni plan daje prikaz elemenata sustava automatizacije unutar proizvodne hale. On sadrži smještaj strojeva (npr. transportera), elemenata (npr. spremnika, cjevovoda) i ostalog što sustav sadrži. Njime je dan pregled udaljenosti između pojedinih elemenata sustava pa se može izračunati potrebna dimenzija proizvodne hale, očekivana transportna kašnjenja, duljina ožičenja, duljina komunikacijske mreže i drugi parametri sustava. Na slici 2.5. prikazan je položajni plan jedne proizvodne linije.



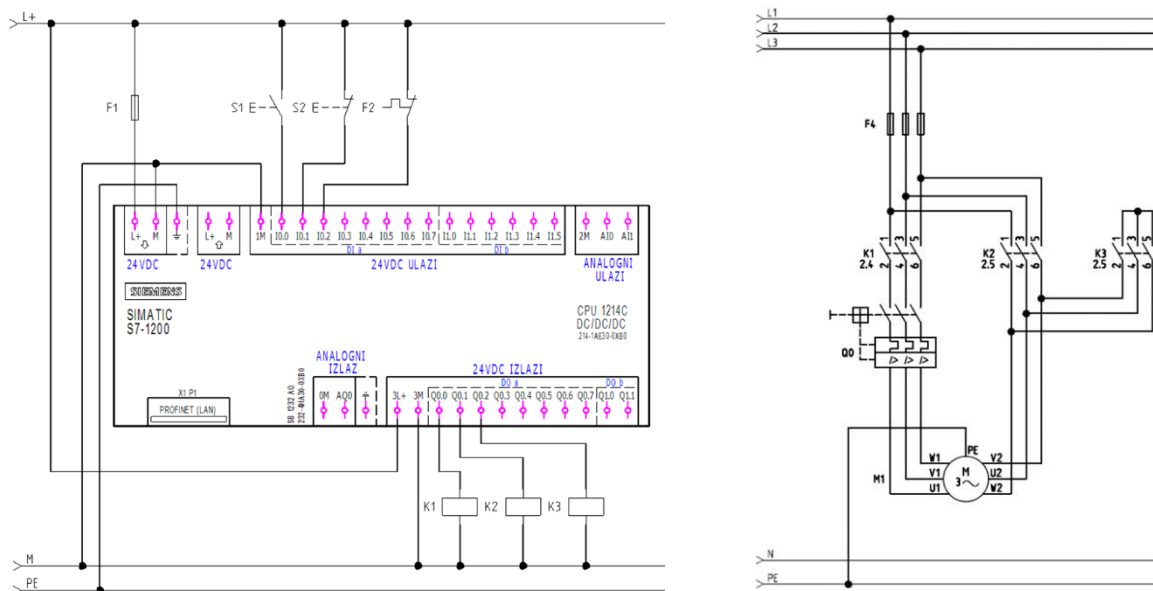
Slika 24. Primjer položajnog plana (rad autora)

2.1.3. Elektro dokumentacija

Elektro dokumentacija sadrži sheme elektro ormara i ostalih elektro elemenata sustava automatizacije. Prije izrade samih shema potrebno je izraditi elektrotehničke proračune. Proračuni su potrebni kako bi se na ispravan način definirale snage zaštitnih elemenata i uređaja, presjeci kablova i žica za spajanje te sve potrebno. Na temelju elektro dokumentacije vrši se definiranje, narudžba i ožičenje električkog dijela sustava. Ova dokumentacija sadrži sheme glavnih i pomoćnih vodova energije. Elektro dokumentacija služi i kao podloga potrebna u izradi PLC projekta. Ona sadrži sve sheme potrebne električarima za ožičenje PLC sustava i programerima za programiranje PLC-ova. Dokumentacija sadrži **jednopolne i trole polne sheme**, koje obuhvaćaju napajanje, digitalne ulaze/izlaze, analogne ulaze/izlaze, izvršne elemente i slično. Obično se sastoje od dva dijela, **upravljačkoga i energetskega**. Na temelju shema rade se priključni planovi, liste kabela i druga dokumentacija.

Na slici 2.6. prikazan je primjer upravljačke sheme spoja PLC-a (napajanje, ulazi, izlazi) za jednostavnu zadaću upravljanja preklapanjem spoja zvijezda-trokut kod uključivanja motora (na slici lijevo). Desno na slici prikazana je trole polna shema energetskega dijela. Iz primjera je vidljivo da su elementi shema upravljačkog dijela i energetskega dijela povezani. Tako su, na primjer, svici releja snage K1, K2 i K3 na shemi upravljačkog dijela, a njihovi trole polni kontakti K1, K2 i K3 na shemi energetskega

dijela. Programera PLC-a zanimaju sheme upravljačkog dijela na kojima se vidi kojim se ulazima i izlazima vrši zadaća automatizacije, dok energetska dio nije toliko bitan. Razlog tome je što programer piše programski kod PLC-a koji izravno upravlja elementima sa sheme upravljačkog dijela, a neizravno s elementima sa sheme energetske dijela.



Slika 25. Primjer elektro dokumentacije (rad autora)

2.1.3.1. Lista signala

Na temelju elektro dokumentacije sustava radi se popis elemenata spojenih na PLC sustav. Taj se popis naziva lista signala. **Lista signala**, tj. ulaza/izlaza PLC-a radi se kao podloga za tablicu varijabli PLC-a, odnosno kao podloga za pisanje programa. Programer na temelju elektro dokumentacije radi listu kako bi olakšao posao programiranja i kasnije nadogradnje, izmjene i održavanja programa. Lista sadrži apsolutne adrese fizičkih ulaza/izlaza na koje su spojeni ulazni/izlazni elementi (tipkala, sklopke, senzori, releji, itd.) i pridružene im simboličke adrese te opisi. Svrha je korištenja simboličkih adresa lakša izrada projekta a kasnije promjene i održavanja sustava. Na primjer, ako je na fizički ulaz I0.1 spojeno stop tipkalo koje je u elektro dokumentaciji označeno S2, onda je u programu PLC-a bolje koristiti simboličko ime S2 za pripadni ulaz I0.1.

Kada je puno ulaza i izlaza, vrlo je teško pamti koja fizička adresa predstavlja koji element. Zato je potrebno koristiti jedinstveno označavanje simbolima pa kada se

pogleda tipkalo na panelu elektro ormara, i vidi S2 u elektro dokumentaciji i PLC programu, bude jasno o kojem elementu se radi. Na taj način olakšava se dijagnostika, promjene i održavanje, osobito protekom vremena od realizacije projekta.

Na slici 2.7. prikazana je lista ulaza/izlaza i varijabli PLC-a za jednostavnu zadaću upravljanja preklapanjem spoja zvijezda-trokut prilikom uključivanja motora.

PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/DC] ▶ PLC tags ▶ Default tag table [20]

	Name	Data type	Address	Retain	Visible..	Acces...	Comment
1	S1	Bool	%I0.0	☐	☒	☒	Start tipkalo s radnim kontaktom
2	S2	Bool	%I0.1	☐	☒	☒	Stop tipkalo s mirnim kontaktom
3	F2	Bool	%I0.2	☐	☒	☒	Bimetalna zaštita motora (mirni kontakt)
4	K1	Bool	%Q0.0	☐	☒	☒	Glavni relej snage
5	K2	Bool	%Q0.1	☐	☒	☒	Relej snage spoja trokut
6	K3	Bool	%Q0.2	☐	☒	☒	Relej snage spoja zvijezda
7	<Add new>			☐	☒	☒	

Simbolička adresa	Apsolutna adresa ulaza/izlaza	Opis
S1	I0.0	Start tipkalo s radnim kontaktom
S2	I0.1	Stop tipkalo s mirnim kontaktom
F2	I0.2	Bimetalna zaštita motora (mirni kontakt)
K1	Q0.0	Glavni relej snage
K2	Q0.1	Relej snage spoja trokut
K3	Q0.2	Relej snage spoja zvijezda

Slika 26. Primjer liste signala (rad autora)

2.1.4. Aplikacijski program

Funkcionalni opis sustava početni je dokument na temelju kojeg se radi ostala dokumentacija PLC projekta koja omogućava izradu **aplikacijskog programa**. U njemu je dan detaljan opis rada i zadaća PLC sustava, tj. opisana je tehnologija rada sustava. Osim regularnog rada sustava, potrebno je obratiti pažnju i na neregularna stanja, s naglaskom na sigurnost rada sustava. U njemu se također opisuju i različiti načini rada, a najčešće su to automatski i ručni način rada sustava. Primjer u nastavku predstavlja pojednostavljen funkcionalni opis sustava koji ima jednostavnu zadaću upravljanja preklapanjem spoja zvijezda-trokut pri uključivanju motora.

PRIMJER. Funkcionalni opis sustava

Sustav treba upravljati uključivanjem motora i preklapanjem njegova spoja zvijezda-trokut pomoću PLC-a S7-1200. Na PLC je potrebno spojiti start tipkalo (s radnim kontaktom), stop tipkalo (s mirnim kontaktom) te bimetalnu zaštitu motora (s mirnim kontaktom) na njegove digitalne ulaze te je potrebno spojiti tri releja snage.

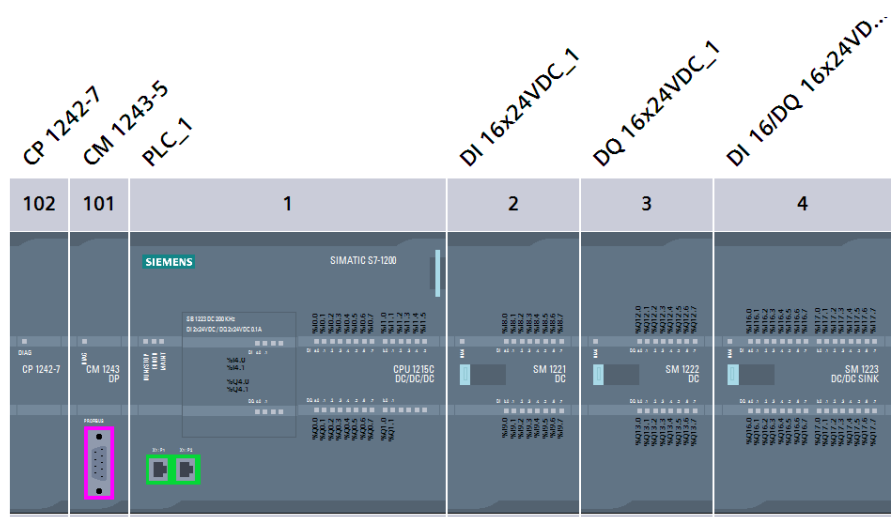
U sustavu je potrebno realizirati program koji će zadovoljiti sljedeću funkcionalnost:

- pritiskom na start tipkalo uključuju se glavni relej snage napajanja i relej snage motora za spoj zvijezda,
- nakon 10 sekundi od uključivanja glavnog releja snage napajanja isključuje se relej snage motora za spoj zvijezda,
- 2 sekunde nakon isključenja releja snage motora za spoj zvijezda, uključuje se relej snage motora za spoj trokut (kašnjenje od 2 s samo je u edukacijske svrhe, tj. da se stigne uočiti promjena),
- ako se u bilo kojem trenutku pritisne stop tipkalo ili ako izbací bimetalna zaštita motora, svi releji snage trebaju se isključiti.

Aplikacijski program sustava automatizacije sastoji se od sljedećih dijelova:

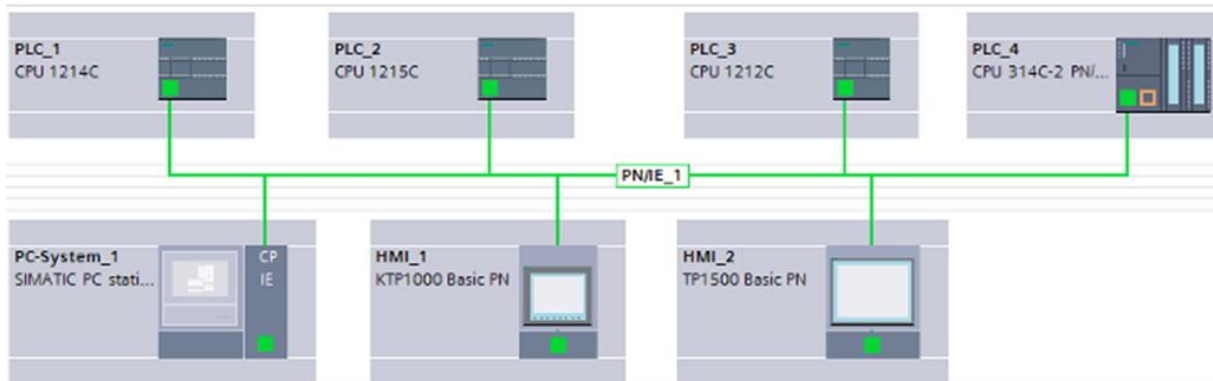
- konfiguracija sklopovlja i mreže,
- upravljački program PLC-a,
- program vizualizacije sustava.

U elektro dokumentaciju treba uključiti i položajni nacrt procesora i modula PLC-a. To je potrebno (osim shema za ožičenje PLC-a) električaru koji vrši spajanje, da može montirati na DIN šinu na odgovarajuću lokaciju procesor i module PLC-a u elektro ormar. Nakon što montira sve elemente, slijedi ožičenje montiranog PLC sustava.



Slika 27. Primjer konfiguracije sklopovlja PLC-a (rad autora)

Na kraju izrade elektro dokumentacije potrebno je napraviti i **shemu mreže PLC sustava**. Ona obuhvaća sve PLC-ove, ekrane, računala i ostale elemente sustava koji se spajaju u mrežu. To je potrebno napraviti za sve vrste mreža da bi se znala povući komunikacijska mreža za fizičko spajanje elemenata sustava. Na temelju toga radi se softverska konfiguracija mreže kako bi se mogla programirati komunikacija među elementima sustava određenom vrstom mreže. Najčešće mreže koje se danas koriste su *Profibus*, *Ethernet*, *Profinet*.

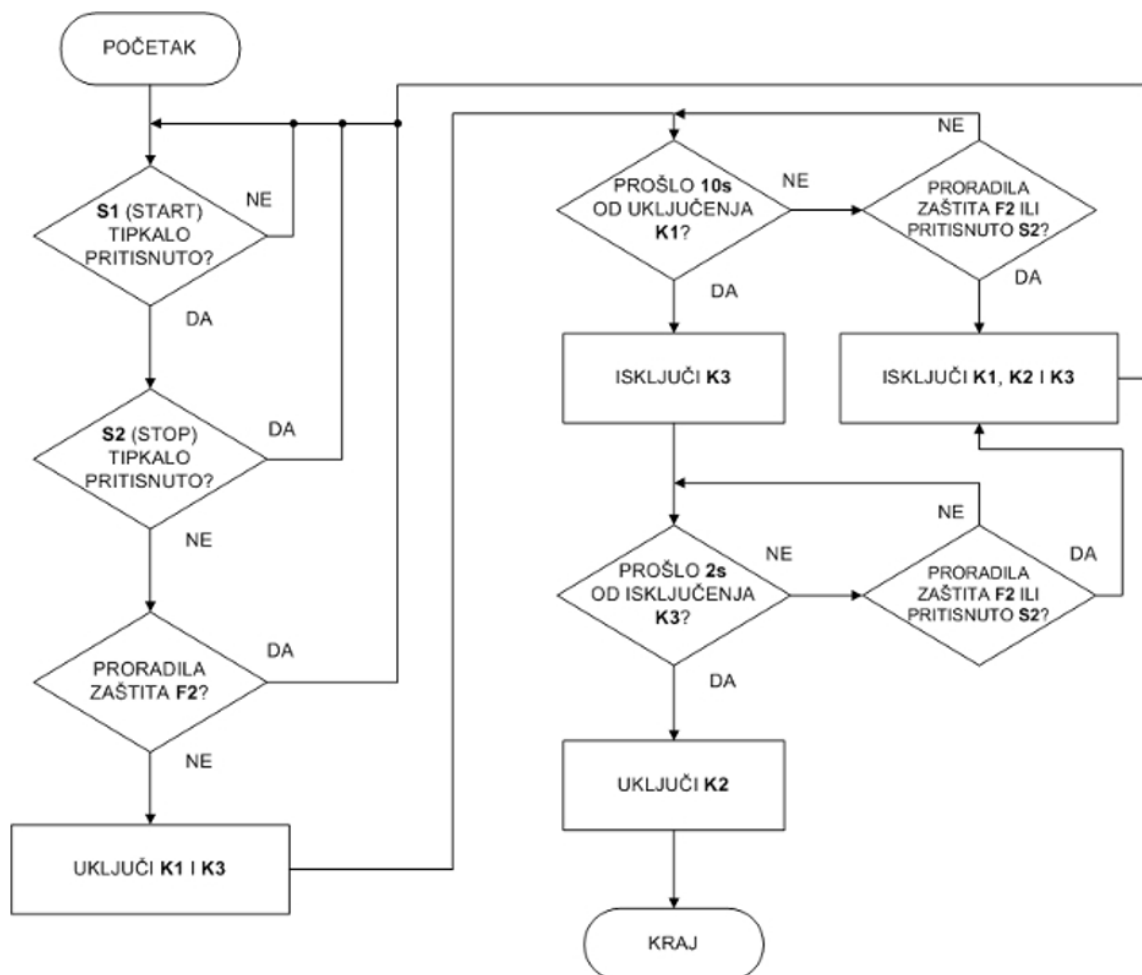


Slika 28. Primjer mreže sustava (rad autora)

2.1.4.1. Dijagram toka programa

Dijagram toka predstavlja podlogu za pisanje PLC programa. Na temelju dijagrama toka izrađuje se program PLC-a. To je način pomoći koji se koristi i u izradi klasičnih

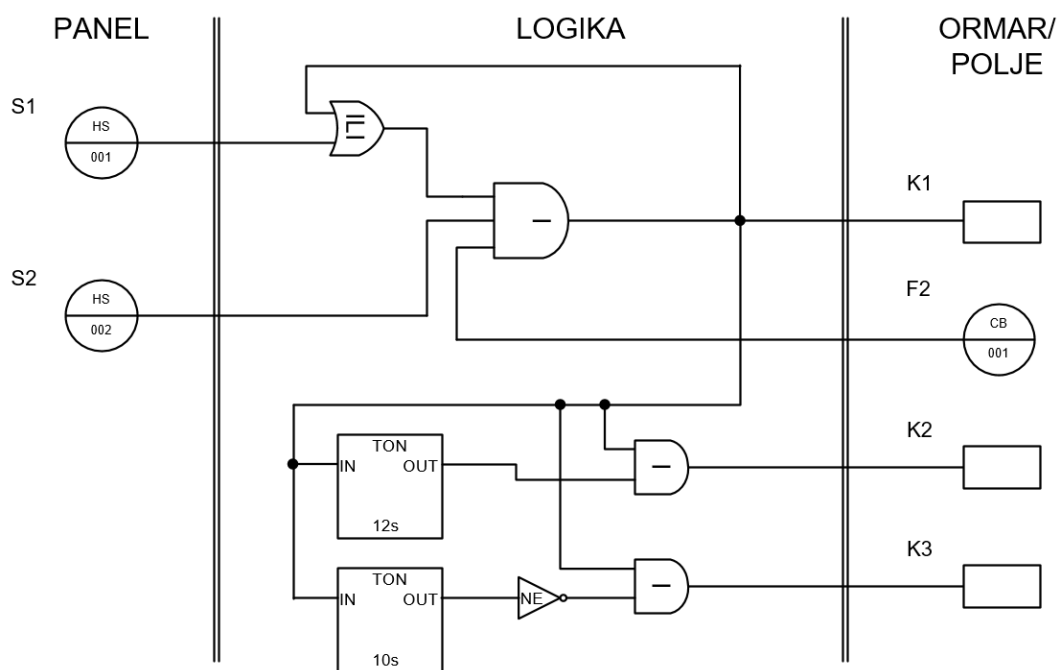
programa. Dijagram toka prikazuje odvijanje procesa i prihvatljiv je za osobe koje nisu po struci inženjeri ili tehničari automatizacije, a poznaju tehnologiju rada procesa i sustava koji se automatiziraju te za klasične programere. U primjeru na slici 2.10. prikazan je dijagram toka za jednostavnu zadaću upravljanja preklapanjem spoja zvijezda-trokut prilikom uključivanja motora.



Slika 29. Primjer dijagrama toka programa (rad autora)

2.1.4.2. Binarni logički dijagram

Binarni logički dijagram bliži je inženjerima ili tehničarima automatizacije jer se prikazuje elementima logičke algebre, a povezuje ulazne i izlazne elemente PLC-a s programskom logikom. U primjeru na slici 2.11. prikazan je binarni logički dijagram za jednostavnu zadaću upravljanja preklapanjem spoja zvijezda-trokut prilikom uključivanja motora.

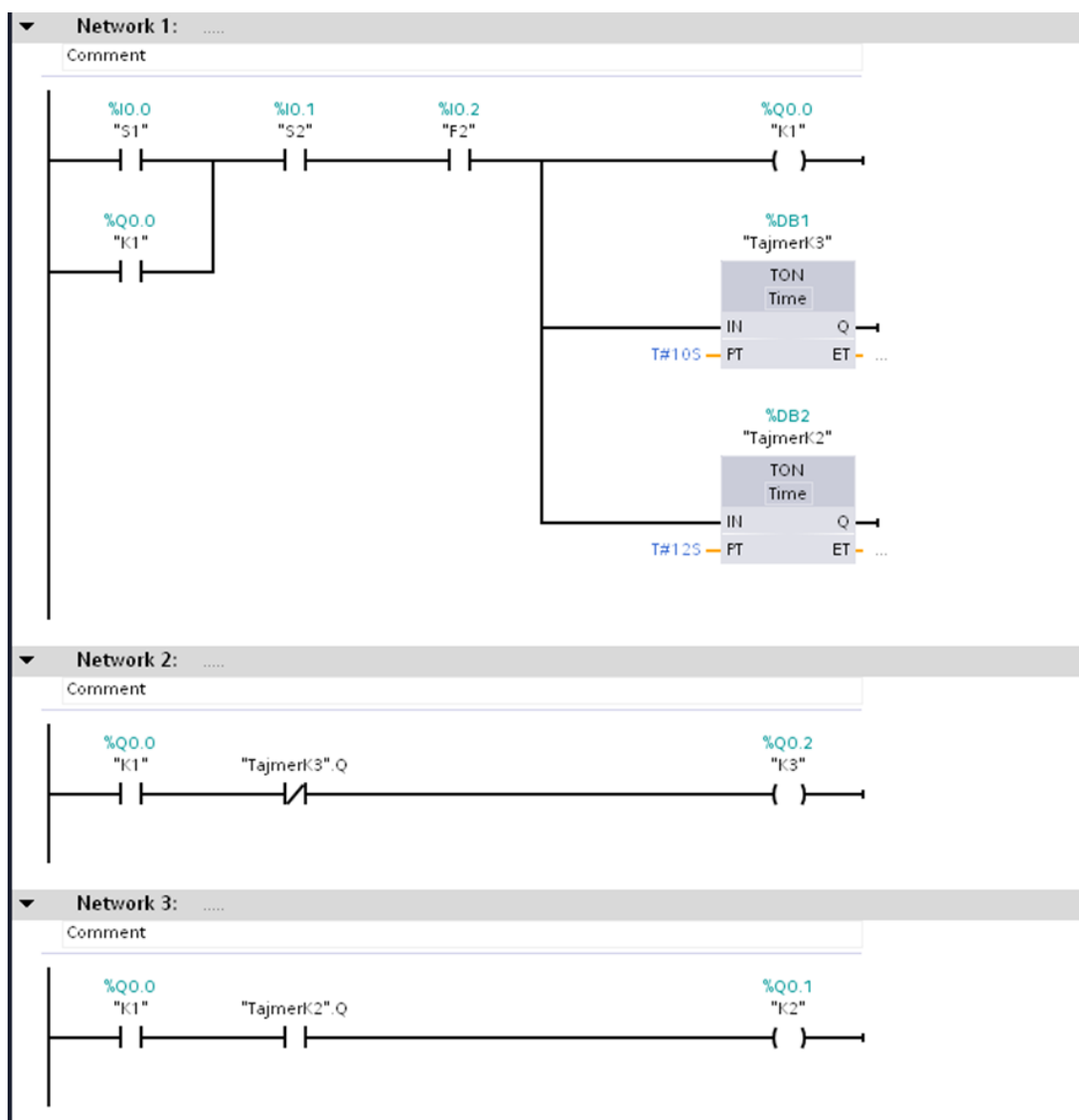


Slika 30. Primjer binarnog logičkog dijagrama (rad autora)

Na temelju gotovih podloga može se napisati **PLC program** u softverskom razvojnom okruženju *TIA Portal*. PLC program sadrži svu potrebnu upravljačku logiku potrebnu za obavljanje zahtijevanih zadataka automatizacije te za komunikaciju sa svim elementima sustava s kojima se želi komunicirati. Ispis izrađenog PLC programa također ulazi u dokumentaciju PLC projekta.

Program PLC-a izrađuje se u softverskom razvojnom okruženju određenog proizvođača, u jednom od jezika za programiranje PLC-ova. Najčešće korišten jezik za programiranje PLC-ova je LAD (kontaktni plan). Dakle, program PLC-a služi za upravljanje i regulaciju u sustavu automatizacije.

Na slici 2.12. prikazan je programa PLC-a S7-1200 u softverskom razvojnom okruženju *TIA Portal* za jednostavnu zadaću upravljanja preklapanjem spoja zvijezda-trokut prilikom uključivanja motora.



Slika 31. Primjer programa PLC-a (rad autora)

Drugi je dio aplikacijskog programa sustava automatizacije **program vizualizacije**. Program vizualizacije izrađuje se u softverskom razvojnom okruženju određenog proizvođača. On predstavlja grafički prikaz sustava u svrhu praćenja, signalizacije i vođenja procesa. U dokumentaciju PLC projekta ulaze i prikazi, i opisi ekrana vizualizacije procesa te njihova struktura. Ekрани trebaju biti smisleno i funkcionalno strukturirani. Grafički ekрани trebaju prikazivati logičke dijelove ili cijele procese, i ne smiju biti prenatrpani informacijama.

Naručitelj ima veliku ulogu u definiranju grafičkih prikaza jer on odlučuje, prema svojim željama i potrebama, kako će izgledati ekрани. Zbog toga programer mora biti u

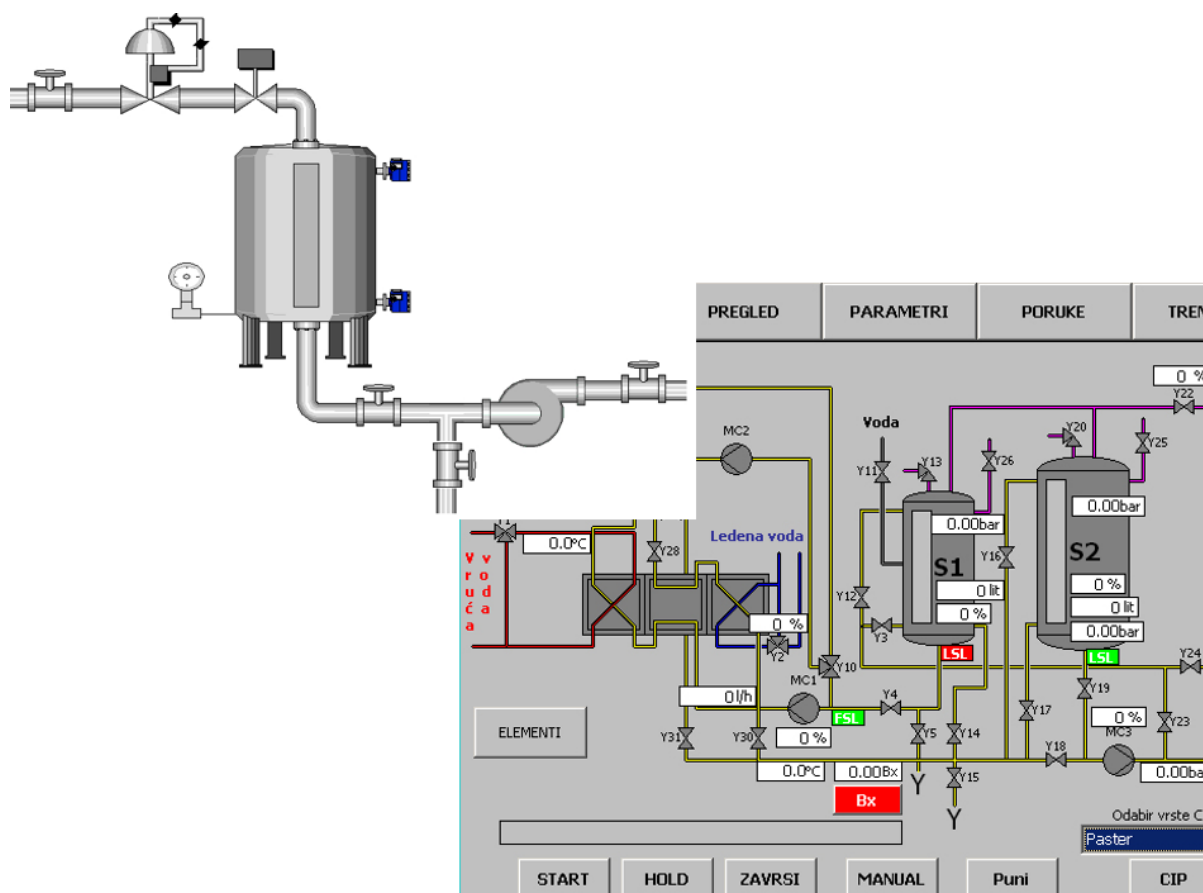
kontaktu s njime tijekom izrade ekrana. Ekran se, kao i program PLC-a, rade u softverskom razvojnom okruženju *TIA Portal*.

Za grafičke prikaze ulaznih i izlaznih elemenata potrebno je definirati sva stanja i statuse koji se javljaju u radu sustava. Njih je potrebno prikazati i opisati u dokumentaciji kako bi osobe koje će raditi sa sustavom poznavale njegovo ponašanje. Tri su osnovna stanja binarnih elemenata na digitalnim ulazima/izlazima:

- uključeno (ON),
- isključeno (OFF),
- greška (alarm).

Osim ovih osnovnih stanja mogu se definirati i druga. **Statusi elemenata mijenjaju se ovisno o programskoj logici, a na ekranu vizualizacije razlikuju se po tekstu i boji elementa.** Kod izrade PLC programa i ekrana vizualizacije, potrebno je još definirati i poruke o (regularnom) radu sustava. Primjerice, **poruke o početku proizvodnje, koracima i kraju proizvodnje.** Lista poruka o radu sustava dio je dokumentacije PLC projekta. Poruke se definiraju unutar softverskog razvojnog okruženja *TIA Portal*.

Također je potrebno definirati i **alarmne poruke** o (neregularnom) radu sustava. Primjerice, poruke o zastoju proizvodnje, grešci u radu nekog elementa, prekoračenju dozvoljene vrijednosti temperature. Ova vrsta poruka dijeli se na poruke upozorenja i poruke grešaka. Lista alarma u radu sustava dio je dokumentacije PLC projekta. Alarmi se definiraju unutar softverskog razvojnog okruženja *TIA Portal*.



Slika 32. Primjer programa vizualizacije (rad autora)

2.1.5. Plan testiranja

Nakon izrade softvera PLC-a i programiranja PLC sustava potrebno je testirati rad sustava u svrhu utvrđivanja njegova pravilnog rada. Stoga je potrebno napraviti **plan testiranja**. On predstavlja definirani skup postupaka za testiranje cijelog sustava i upravljačkog softvera PLC-a. Potrebno je testirati rad svih elemenata i sve funkcije koje su ugrađene u PLC softver te verificirati njihovu pravilnost, u okviru definiranih kriterija. Postoji nekoliko faza testiranja softvera tijekom realizacije projekta. Dva su najvažnija testiranja koja treba napraviti: FAT i SAT. **FAT** (eng. *Factory Acceptance Test*) je tvornički test prihvatljivosti koji se radi kod naručitelja, prije isporuke, tako da se simulira rad sustava. Nakon što je test prošao i naručitelj je zadovoljan, te nakon što je sustav fizički instaliran, radi se **SAT** (eng. *Site Acceptance Test*) test, tj. konačni test prihvatljivosti na realnom sustavu.

Naziv stanice:

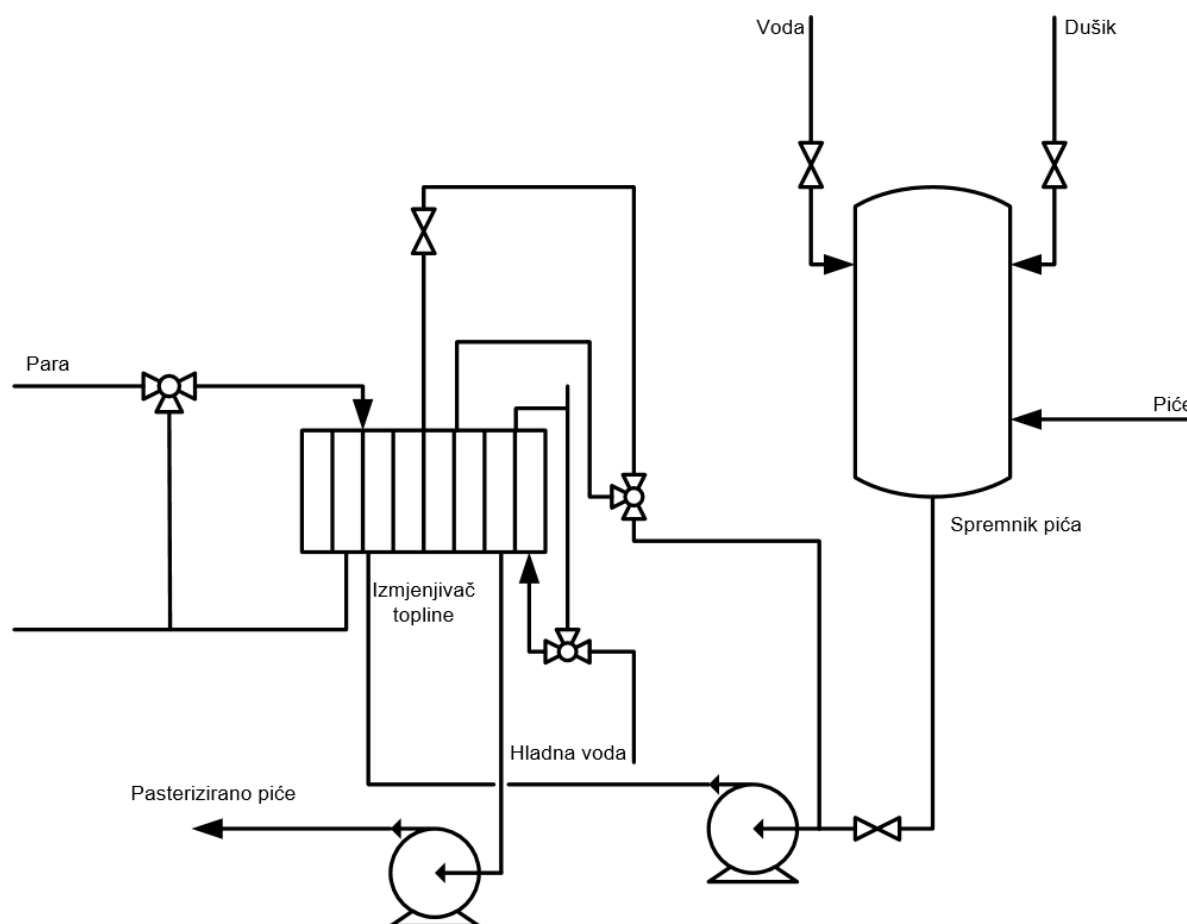
R.br.	Provjera	Valjano	Nevaljano	Komentari
1	Izgled i konstrukcija elektro ormara			
2	Vizualni pregled komponenata sustava			
3	Uzemljenje elektro ormara			
4	Napajanje elektro ormara 230V AC			
5	Napajanje PLC sustava 24V DC			
6	Ožičenje elektro ormara - vizualni pregled			
7	PLC arhitektura - vizualni pregled			
8	Pokretanje PLC-a			
9	Sigurnosni elementi i blokade sustava			
10	Funkcionalna provjera digitalnih ulaza PLC sustava			
11	Funkcionalna provjera digitalnih izlaza PLC sustava			
12	Funkcionalna provjera analognih ulaza PLC sustava			
13	Funkcionalna provjera analognih izlaza PLC sustava			
14	Port za komunikaciju i programiranje PLC-a			
15	Funkcionalnost HMI-a			
16	Online konfiguracija PLC sustava			
17	Programska logika PLC-a			
18	Funkcionalnost pogona			
19	Mogućnosti proširenja ulaza/izlaza PLC-a			
20	Funkcionalnost isključivanja/ponovnog pokretanja			

Slika 33. Primjer plana testiranja (rad autora)

2.2. Mjerna i ostala tehnička dokumentacija

2.2.1. Dijagram toka procesa

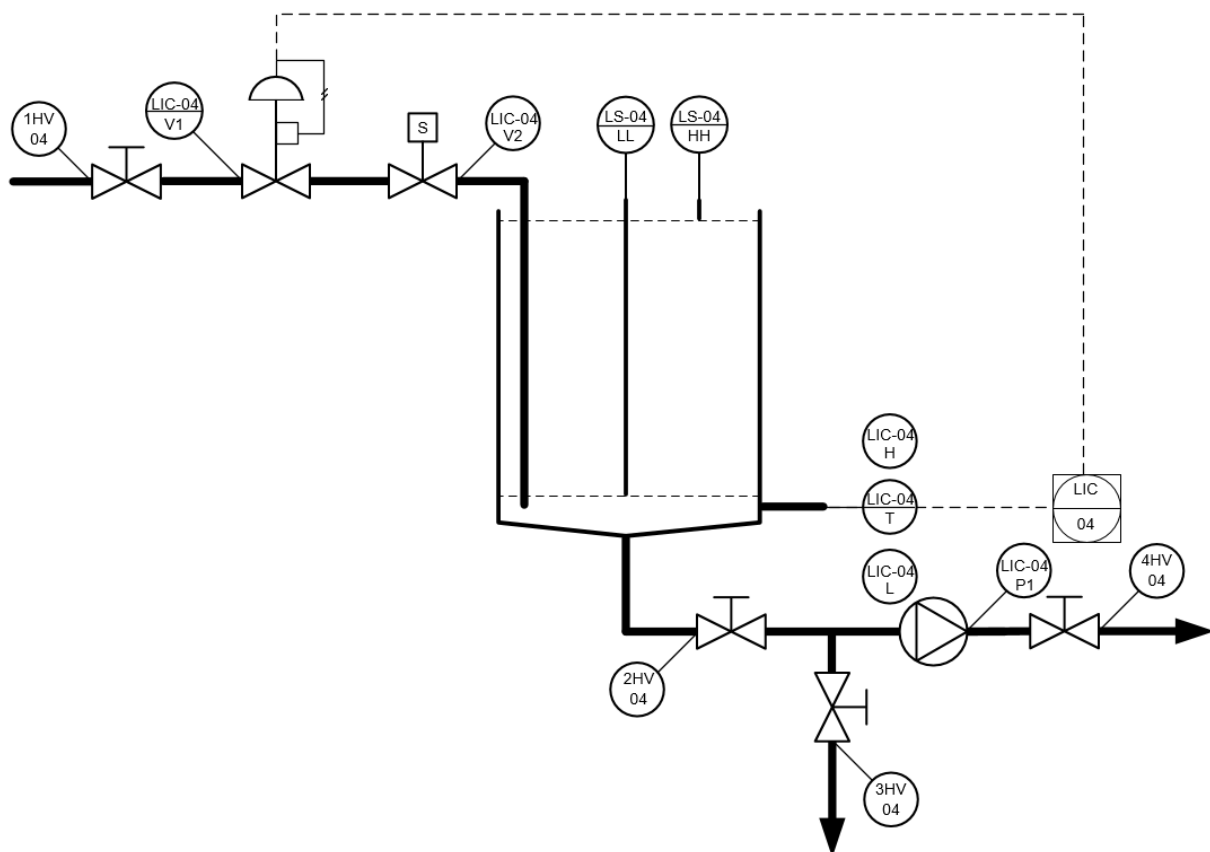
Dijagram toka procesa (engl. *Process Flow Diagram – PFD*) pokazuje odnose među glavnim komponentama opreme sustava automatizacije. On uključuje i očekivane radne uvjete, i ciljanu brzinu i količinu proizvodnje. Predstavlja osnovni dizajn procesa s pretpostavljenim podacima kao što su radni tlak i temperatura u spremniku, protok u cjevovodu i slično. Za razliku od instrumentacijskih dijagrama, ne sadrži mnogo detalja o cjevovodima i instrumentaciji. Na slici 2.15. prikazan je primjer dijagrama toka procesa pasterizacije pića.



Slika 34. Primjer dijagrama toka procesa (rad autora)

2.2.2. Dijagram procesa i instrumentacije

Na temelju PFD dijagrama definira se shematski prikaz procesa, tj. razmještaj mjernih i upravljačkih uređaja i time nastaje **dijagram procesa i instrumentacije** (engl. *Process & Instrumentation Diagram – P&ID*). P&ID je temeljni dokument mjerno upravljačkog sustava koji osim mjesta elementa u procesu, prikazuje i njegovu funkciju. Na primjer, definira se mjerni pretvornik koji odgovara radnim uvjetima te tip i veličina ventila. Svaki uređaj ima svoju jedinstvenu oznaku definiranu standardom kako bi se lakše identificirao prilikom narudžbe i montaže. Na slici 2.16. prikazan je primjer P&ID sustava regulacije razine u spremniku.



Slika 35. Primjer proces i instrumentacijskog dijagrama (rad autora)

2.2.3. Tehnička specifikacija mjernog uređaja

Za sve elemente **proces i instrumentacijskog dijagrama** potrebno je izraditi tehničku specifikaciju prema kojoj će se elementi nabavljati. **Tehnička specifikacija mjernog uređaja ili instrumenta daje njegove detaljne tehničke karakteristike uključujući procesne uvjete u kojima će se uređaj koristiti te uvjete koje uređaj može podnijeti.** Primjer dijela tehničke specifikacije mjernog pretvornika tlaka dan je na slici 2.17.

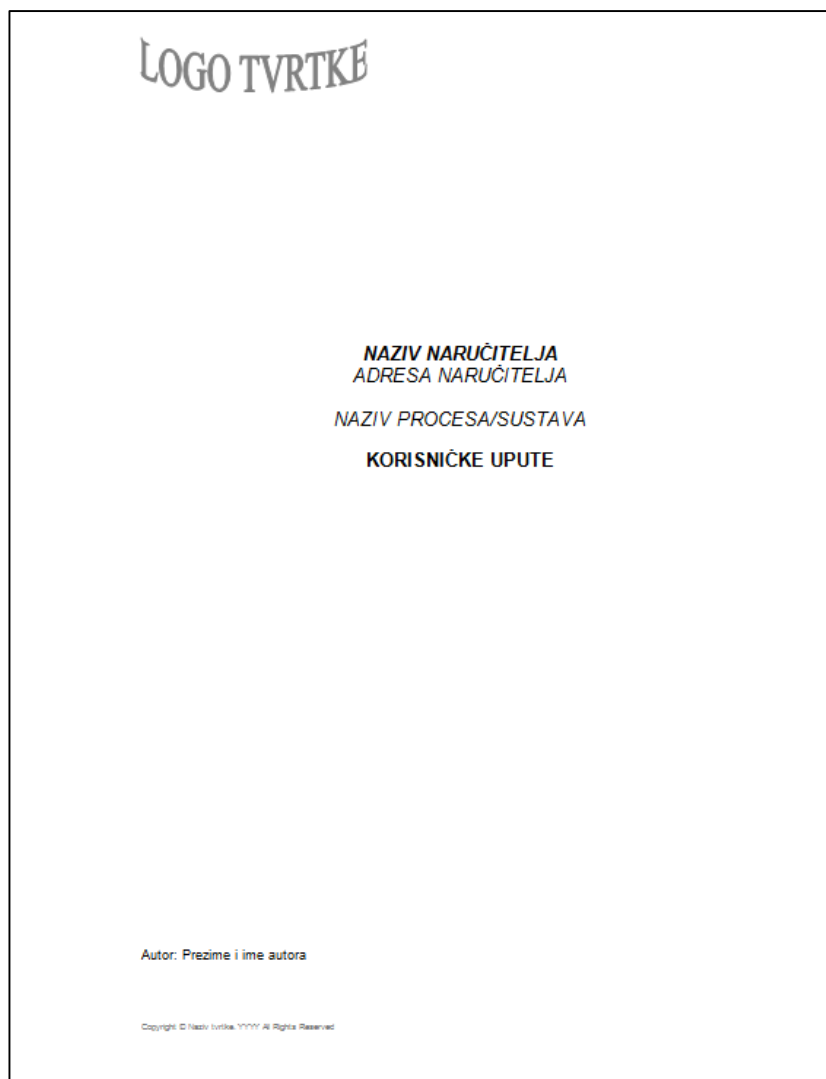
Mjerni pretvornik tlaka - Tehnički list						Broj projekta					
						Naziv projekta					
						Narudžbenica/Ponuda					
OPĆENITO						FUNKCIONALNA LOKACIJA					
1	Broj oznake					25	Servis				
2	P&ID broj					26	Lokacija				
3	Broj opreme					27	Klasifikacija opasnih područja				
4	Broj nacrt za spajanje					28	Minimalna vrsta zaštite				
5						29					
PROCESNI UVJETI						UVJETI OKOLINE					
6		Jedinica	Min.	Radno	Maks.	30		Jedinica			
7	Radni tlak	barg				31	Temperatura okoline	°C	Min.		Maks.
8	Projektni tlak	barg				32	Raspon vlage	%			
9	Radna temperatura	°C				33	Visina	m			
10	Projektna temperatura	°C				34	Kategorija korozivnosti				
11	Naziv fluida					35					
12	Stanje fluida					KUĆIŠTE					
13	Fluid sadrži krutine	Abrazivnost				36	Materijal kućišta				
14						37	Zaštita od prodora				
SENZOR						38	Ulaz kableske uvodnice				
15	Tip elementa					39					
16	Tip tlaka					MJERNI PRETVORNIK					
17	Radna temperatura	°C	Min.		Maks.	40	Mjerni raspon	bar			
18	Maks. radni tlak					41	Kalibrirani raspon	bar			
19	Tlak pucanja					42	Referentna točnost (% raspona)				
20	Procesna veza					43	Ponovljivost				
21	Materijal dijafragme					44	Stabilnost				
22	Materijal prirubnice					45	Napajanje	Vdc	Min.		Maks.
23						46	Izlazni signal				
24						47	Komunikacija				

Slika 36. Tehnička specifikacija mjernog uređaja (rad autora)

2.3. Izrada uputa za rukovanje i korisničko prilagođavanje sustava/uređaja

Upute za rukovanje uređajem ili strojem sadrže:

- upute za siguran način rada,
- upute za rukovanje upravljačkim ormarom i sustavom,
- upute operateru za rad na stroju,
- upute za rukovanje sustavom nadzora i vođenja.



Slika 37. Primjer naslovne stranice uputa (rad autora)

Upute za rukovanje i korisničko prilagođavanje sustava/uređaja počinju **uputama za siguran način rada**. Sigurnost operatera, tj. osoblja uvijek je najvažniji čimbenik. U mnogim slučajevima sustavi/uređaji sadrže pokretne dijelove. Pomicanjem pokretnih dijelova osoblje može doći u opasnost. To se prvenstveno može dogoditi prilikom kvarova i programskih grešaka, ali i tijekom normalnog rada ako operater nije upoznat s načinom rada sustava.

Stoga je potrebno identificirati i opisati sve moguće opasnosti i rizike rada na sustavu/uređaju kako bi operateri bili upoznati s njima.

Oprema i uređaji ne smiju biti važniji od sigurnosti i zdravlja operatera sustava.

Najčešće vrste opasnosti proizlaze iz:

- mehaničkih opasnosti – npr. oštri, nezaštićeni i nepričvršćeni dijelovi,
- opasnosti upravljačkog sustava – npr. programske greške PLC-a, greške zbog smetnji,
- opasnosti okoline – npr. kemikalije, zračenja, plinovi,
- ljudskih pogrešaka – npr. nedovoljno poznavanje opreme, namjerne pogreške (vandalizam).

U uputama za siguran način rada trebaju biti opisane sve opasnosti u korištenju sustava/uređaja te reakcije osoblja na njih. Također moraju biti navedena i upozorenja za sve moguće rizike kako bi ih osoblje čim uspješnije izbjegavalo i zaštitilo se u najvećoj mogućoj mjeri.

Sigurnost strojeva regulirana je dvama standardima: EN/ISO 13849-1 i EN/IEC 62061. Oba standarda usklađena su s EU direktivom o strojevima 2006/42/EC, kojom se definiraju osnovni zdravstveni i sigurnosni zahtjevi za strojeve. Sustavi projektirani prema tim standardima imaju implementirane sigurnosne funkcije koje također trebaju biti opisane u korisničkim uputama. Sigurnosne funkcije opisuju reakcije sustava na pojavu određenog događaja. Na primjer, otvaranje zaštitnih vrata nekog stroja sigurnosni će sustav opaziti i zaustaviti rad stroja. Način na koji će se stroj nakon takvog događaja pokrenuti opisan je u priručniku kako bi operater na stroju znao je li dovoljno samo zatvoriti zaštitna vrata ili je potrebno pritisnuti još i tipku za potvrdu, tj. resetiranje nastale greške u radu stroja.

Upute za rukovanje upravljačkim ormarom i sustavom sadrže opis uključenja u rad / isključenja iz rada upravljačkog ormara i sustava. U njima je prikazana konfiguracija sustava, tj. elementi koje sustav sadrži. Opisi elemenata i načini uključenja/isključenja svakog elementa i dovođenje u radno stanje također su navedeni. Na slici 2.19. prikazan je primjer konfiguracije upravljačkog sustava s dva elementa. To su PLC i dodirni ekran koji predstavlja 'sučelje čovjek-stroj' (engl. *Human Machine Interface – HMI*), kojim operater utječe na rad sustava.



Slika 38. Primjer konfiguracije upravljačkog sustava (rad autora)

Primjer opisa pokretanja PLC uređaja:

1. prekidač PLC-a prebaci se iz položaja STOP u položaj RUN,
2. sve lampice PLC-a trepere nekoliko sekundi,
3. lampica RUN svijetli zeleno i PLC je spreman za rad.

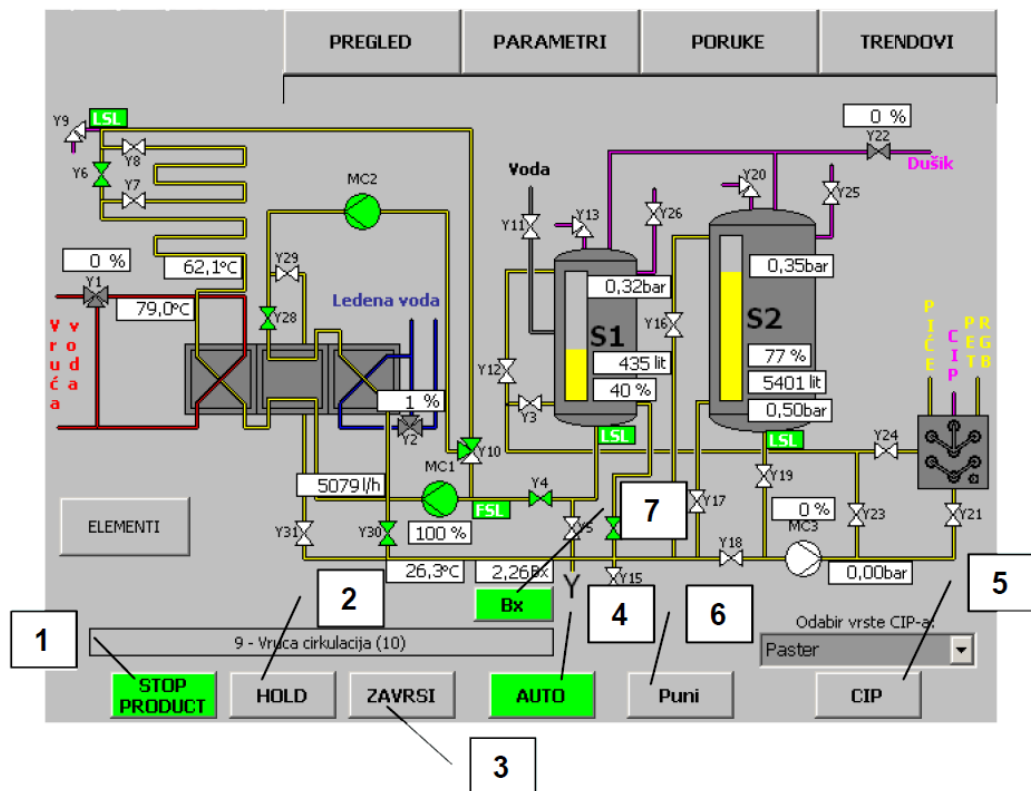
Ukoliko nakon provedenog postupka lampica RUN ne svijetli zeleno, utoliko je potrebno ponoviti postupak od koraka 1, a svijetli li crveno ERROR lampica, potrebno je izvršiti dijagnostiku PLC-a.

Upute operateru za rad na stroju sadrže:

- upute za rad s HMI sučeljem,
- opis svih ekrana i funkcija HMI-a,
- opis svih regularnih i neregularnih (alarmi, upozorenja) stanja,
- opis rada u svim ugrađenim načinima rada.

Operateru koji radi na određenom sustavu/uređaju u uputama su opisani svi ekrani operatorskog panela (HMI-a) kojim upravlja radom sustava. Način pokretanja sustava, redoslijed pritisaka tipki, kretanje između ekrana i sve potrebno treba biti definirano u uputama.

Na slici 2.20. prikazan je ekran na kojemu su brojevima označeni dijelovi opisani u uputama ispod slike tog ekrana.



Slika 39. Primjer opisa ekrana HMI-a (rad autora)

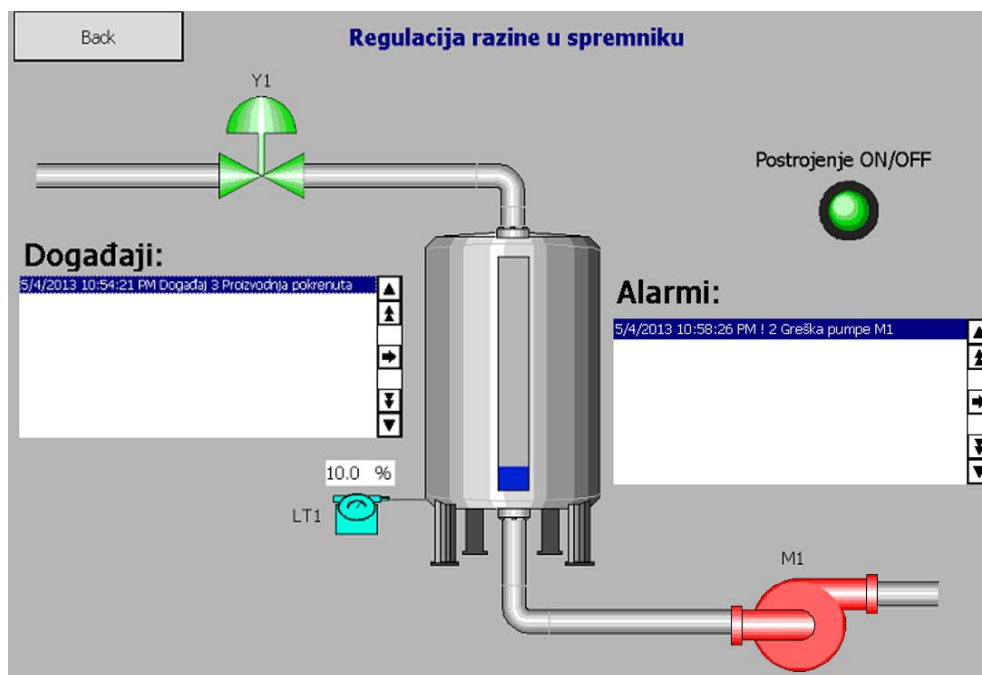
Opis u svim ugrađenim načinima rada treba biti čim kraći i jednostavniji kako bi ga operater lako slijedio. Sustavi obično imaju minimalno dva ugrađena načina rada:

- ručno – operater pomoću ekrana djeluje na svaki element sustava zasebno,
- automatski – operater pritiskom na tipku pokreće automatsko djelovanje sustava na elemente.

Primjer opisa pokretanja sustava za operatera:

1. zatvori ventil Y1,
2. provjeri ručno ventil Y2 za dovod dušika,
3. na ekranu PARAMETRI uključi automatski rad sustava na tipki AUTO/MANUAL,
4. u izborniku RECEPT odaberi recept željenog proizvoda te ga potvrdi pritiskom na tipku ODABERI_RECEPT,
5. na glavnom ekranu klikni na gumb START za početak automatske proizvodnje,
6. itd.

Tijekom rada na ekranu se pojavljuju poruke o regularnom načinu rada sustava, tj. o koracima u kojima se trenutno sustav nalazi u proizvodnom procesu. Pojavljuju se i poruke o neregularnom radu sustava, tj. upozorenja na kvarove i greške. U uputama treba biti jasno i nedvosmisleno definiran značaj i prikaz tih poruka te način reakcije operatera na njih. Sva signalizacija na ekranima treba operateru jasno pokazati u kakvom je stanju pojedini element sustava ili radni proces.



Slika 40. Primjer poruka u radu sustava (rad autora)

Upute za rukovanje sustavom za nadzor i vođenje sadrže:

- opis rada s parametrima sustava,
- opis rada s prikazom mjernih signala,
- opis rada s analizom i izvještajima.

Taj dio uputa opisuje rad sa sustavom za nadzor, kontrolu i vođenje proizvodnog procesa. Iznad razine operatera koji pokreće proizvodni proces nalaze se tehnolozi i drugo osoblje zaduženo za rad s parametrima koji određuju proizvodni proces. Kako bi se parametri unosili u sustav ispravno te kasnije mijenjali po potrebi, treba biti za to propisana procedura. Proizvodnja se prati i mjerni signali se spremaju u arhivu te prikazuju na ekranima. Rad s grafovima i prikazom mjernih signala, kao i opis rada sa sustavom, u cilju analize podataka iz proizvodnje te izradu i ispis izvještaja, također je dio ovih uputa.

2.4. Izrada i arhiviranje dokumentacije

Način izrade i arhiviranja dokumentacije treba biti definiran i propisan u projektu automatizacije.

Softverski alati za izradu dokumentacije i programa također trebaju biti definirani. Vrlo često se definiraju predlošci koje koriste svi članovi tima, čime se osigurava da svaki član projektnog tima koristi odgovarajuće alate i načine izrade dokumentacije. Preporuka je unutar tvrtke koja se bavi automatizacijom sustava izraditi interni standard za izradu projektne dokumentacije, a to čini voditelj projekta ili tima.

Izrada projektne dokumentacije odvija se u nekoliko faza:

1. izrada dokumenata,
2. ažuriranje dokumenata,
3. pregled i odobravanje dokumenata,
4. arhiviranje dokumenata.

Dokumentaciju je potrebno izrađivati prema zadanom vremenskom planu kako bi izvedba projekta tekla u skladu s tim okvirima. Zato je bitno dokumente pripremiti unaprijed da ne bi dolazilo do čekanja i kašnjenja u provedbi pojedinih faza projekta. Izrađenu dokumentaciju potrebno je tijekom provedbe projekta održavati i ažurirati prema potrebi. Za pregled i odobrenje zadužene su ovlaštene osobe. Da bi dokumentacija bila pravilno sačuvana tijekom projekta i po završetku, potrebno ju je arhivirati.

Dokumenti koji se izrađuju u okviru projekta automatizacije trebaju sadržavati:

- naslovnicu,
- sadržaj,
- tijelo dokumenta.

Ako se radi o dokumentima koji zahtijevaju pregled i odobravanje, tada se na radne listove dokumenata stavljaju i sljedeći podaci:

- izradio – osoba koja je izradila dokumentaciju,
- pregledao – osoba koja je pregledala dokumentaciju,

- odobrio – osoba koja je odobrila dokumentaciju kao izvedbenu.

Uz imena osoba stavljaju se i nadnevcici kada je dokument izrađen, pregledan i odobren.

Svaki član projektnog tima zadužen za izradu dokumentacije brine o **dnevnom arhiviranju dokumenata** koje izrađuje.

Arhivira se obično na lokalno korisničko računalo te na **serversko računalo** u mapu projekta i korisnika, koja služi za dnevno arhiviranje, kao npr.: \\Server\NazivProjekta\Korisnici\ImeKorisnika. U vlastitu mapu korisnik arhivira verzije dokumentacije i programa za koje smatra da je to potrebno, dok se na kraju radnog dana obavezno stavlja **zadnja verzija dokumentacije i programa** u korisničku mapu na serveru. Arhive koje se nalaze na serveru dostupne su svim članovima tima te im je time olakšana suradnja na projektu sustava automatizacije.

Arhiviranje se može obavljati:

- **ručno** od strane korisnika ili
- **automatski** korištenjem sinkronizacijskog softvera.

Arhiva projekta automatizacije treba sadržavati:

- zadnju verziju tehničkih opisa,
- zadnju verziju strojarskih ili elektro nacрта,

zadnju verziju aplikacijskog programa,

- zadnju verziju uputa za rukovanje,
- svu ostalu korisnu dokumentaciju (lista opreme, lista signala, procesni dijagrami).

Korisnik koji izrađuje pojedini dio dokumentacije i programa, kreirat će arhivu s jednim ili više gore navedenih dijelova, a ovisno o tome za što je zadužen.

Naziv arhive definira se u projektnoj dokumentaciji, a obično sadrži sljedeće elemente:

- naziv investitora,
- naziv projekta,
- dan u mjesecu,
- mjesec u godini,

- godina,
- broj revizije dokumenta ili programa.

Na primjer, arhiva može biti sljedeća:

- Elektra_Zagreb_SrednjiNaponMreza_15_Svibanj_2023_rev01

NAPOMENA. Nepisano je pravilo da se hrvatske znakove ć, č, đ, š i ž izbjegava u nazivima arhiva.

Dnevno arhiviranje najvažniji je dio arhiviranja dokumenata i programa tijekom provedbe projekta. Osim dnevnog arhiviranja može se u okviru projekta definirati tjedno i mjesečno arhiviranje, ovisno o potrebama i trajanju projekta. Po završetku projekta izrađuju se konačne verzije arhiva koje je potrebno dugoročno čuvati zbog toga, ali i budućih sličnih projekata.

Dijelovi projektne dokumentacije koje je potrebno imati u papirnatom obliku, ispisuju se i pohranjuju u arhivu izvođača i investitora.

Programski alati potrebni u izradi i arhiviranju dokumenata sustava automatizacije sljedeći su:

- alat za planiranje i vođenje projekta – npr. *MS Project, ProjectLibre*,
- alat za obradu teksta – npr. *MS Word, LibreOffice Writer*,
- alat za rad s tablicama i proračunima – npr. *MS Excel, LibreOffice Calc*,
- alat za izradu dijagrama – npr. *MS Visio, LibreOffice Draw*,
- alat za 2D/3D strojarsku dokumentaciju – npr. *AutoCAD, LibreCAD, Solidworks, FreeCAD*,
- alat za elektro dokumentaciju – npr. *EPLAN, QElectroTech*,
- alat za aplikacijske programe – npr. *TIA Portal, EcoStruxure Machine Expert*,
- alat za sinkronizaciju datoteka – npr. *Microsoft OneDrive, Google Drive*.

Pitanja za ponavljanje:

1. Navedi pogreške koje treba eliminirati kod izrade projekta sustava automatizacije.
2. Navedi elemente zaštite radnih stanica.
3. Navedi elemente strojarske dokumentacije.
4. Opiši položajni plan.
5. Objasni izradu elektro dokumentacije.
6. Opiši listu signala.
7. Objasni dijelove i izradu aplikacijskog programa.
8. Opiši dijagram toka i binarni logički dijagram.
9. Objasni plan testiranja.
10. Navedi i opiši mjernu dokumentaciju.
11. Navedi i opiši dijelove uputa za rukovanje uređajem/strojem.
12. Objasni način arhiviranja dokumentacije.

3. Montaža i ugradnja elemenata automatiziranog sustava

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- opisati zaštitu pri radu s opremom
- navesti i opisati mjernu opremu
- objasniti procesno računalo
- navesti i opisati izvršne elemente
- navesti i opisati tehničku dokumentaciju elemenata
- izvesti montažu i ugradnju elemenata sustava.

Montaža i ugradnja elemenata automatiziranog sustava ključan su korak u automatizaciji te je stoga vrlo važno da se izvrše pažljivo i precizno, prema uputama i specifikacijama proizvođača. Tim se postupkom osigurava optimalan i dugotrajan rad sustava. Pritom je vrlo važno poznavanje tehničke dokumentacije, postupka montaže i ugradnje te samog načina rada elemenata. Kako bi se izbjegle neugodne situacije i nezgode, bitno je pridržavati se propisanih mjera zaštite na radu s opremom.

3.1. Zaštita na radu

Opća načela zaštite na radu su:

- opasne radnje zamijeniti neopasnim ako je to moguće,
- postoji li opasnost od ozljede, radnika treba udaljiti s tog područja,
- ograđivanje dijelova koji su opasni zaštitnom ogradom,
- uporaba zaštitnih sredstava i opreme tamo gdje je to potrebno.

Zaštita na radu uređena je zakonima, pravilnicima i normama. Kako bi se osigurala sigurnost u radu s opremom, važno je biti upoznat s potencijalnim opasnostima koje se mogu pojaviti. Izvori opasnosti u radu s opremom mogu biti različite prirode, a najčešće se svrstavaju u nekoliko skupina, pri čemu su mehanički i električni izvori opasnosti najznačajniji. Stoga, potrebno je razumjeti kako ovi izvori opasnosti mogu utjecati na rad i na radnike te poduzeti odgovarajuće mjere zaštite kako bi se smanjio rizik od ozljeda i nezgoda. Ozljede koje nastaju zbog mehaničkih i električnih opasnosti variraju od lakih površinskih do smrtonosnih ozljeda. Mehanički izvori opasnosti su češći i uzrokuju mehaničke ozljede nastale zbog djelovanja uređaja i njihovih dijelova, bilo u stanju mirovanja, bilo u stanju gibanja. Opasnosti od mehaničkih ozljeda javljaju se pri rukovanju oštrim i šiljastim predmetima i predmetima koji se gibaju pravocrtno ili rotirajuće. Svrha je zaštite na radu smanjenje broja nezgoda, a ne ozljeda.

Općenito se mehanički izvori opasnosti dijele na:

- opasnosti od dijelova koji miruju,
- opasnosti od dijelova koji se gibaju.

Iako je oprema najčešće prepoznata kao izvor opasnosti kada je u pogonu, važno je naglasiti da postoji rizik i kada oprema miruje jer postoje određeni izvori opasnosti na opremi od elemenata koji su šiljasti ili koji strše, a ponekad im se ne posvećuje dovoljno pažnje. To su većinom oštri rubovi dijelova opreme na koje se može lako ozlijediti krivim pokretima. Naročito je opasno spuštanje glave ispod razine opreme te ponovno podizanje jer se u tom slučaju često ne vide dijelovi koji su iznad glave osobe, a koji mogu izazvati ozljede.

Opasnosti prilikom gibanja dijelova opreme ne ovise samo o brzini gibanja, ali se očekuje povećanje opasnosti s povećanjem brzine. Obično se postavlja zaštitna ograda oko pokretnih dijelova, tj. onih koji se gibaju i koji bi mogli izletjeti ili ispasti, i tako uzrokovati ozljede. Ako postoji rizik od kontakta s tim dijelovima, važno je spriječiti pristup takvim područjima. Zaštitna ograda može biti izrađena od različitih materijala, poput pleksiglasa, žičane mreže ili lima.

Radna oprema treba biti ugrađena i postavljena u skladu s uputama proizvođača te korištena na način da su rizici za korisnika opreme i za druge osobe svedeni na minimum. **Oprema se smije koristiti samo u svrhu koju je predvidio proizvođač, i na propisan način.** Između pokretnih dijelova opreme i pomičnih ili nepomičnih dijelova i njihove okoline treba osigurati dovoljno prostora. Oprema mora imati elemente za sigurno i potpuno zaustavljanje koji su jasno i vidljivo označeni te dostupni i razumljivi osobama koje rade s opremom. Svaka radna stanica složenijeg automatiziranog sustava mora imati elemente za zaustavljanje stanice ili čitavog sustava, ovisno o opasnosti koja prijeti. **Elementi za zaustavljanje trebaju imati prednost pred elementima za pokretanje radne stanice.** U slučaju zaustavljanja radne stanice ili njezinih opasnih dijelova, treba se isključiti dovod energije pripadnim izvršnim elementima. Elementi za zaustavljanje radne stanice trebali bi imati najmanje jedan element za zaustavljanje stanice u slučaju nužde. U tu svrhu najčešće se koristi gljivasto tipkalo za isklup u slučaju nužde.

Prije početka rada s opremom preporučljivo je da je stručna osoba zadužena za rad s opremom pregleda kako bi se potvrdila njezina sigurnost, pouzdanost te ispravan rad. Provjeru opreme potrebno je pregledati u beznaponskom stanju kako bi se spriječile moguće ozljede. Za tu svrhu, oprema se mora odvojiti od izvora napona te osigurati od slučajnog ponovnog uključivanja. Posebnu pozornost treba obratiti na električne vodiče koji nisu propisno položeni ili im je oštećena izolacija te na nezaključane razvodne ormare. Nakon provjere opreme u beznaponskom stanju, slijedi provjera s uklopljenim napajanjem i ispravnim radom sigurnosnih funkcija implementiranih u automatiziranom sustavu.

3.2. Elementi automatiziranog sustava

Automatizirani sustav čine sljedeći elementi:

- mjerna oprema (senzori i mjerni pretvornici),
- procesno računalo,
- izvršni elementi (aktuatori).

Centralni je dio automatiziranog sustava **procesno računalo**. Procesno računalo u industriji koje se najčešće koristi jest programirajući logički upravljač (PLC). PLC je već spomenut u cjelinama 1.1. i 1.2. ovog priručnika. Na ulaze PLC-a spaja se mjerna oprema, a na temelju upravljačkog algoritma u PLC-u, upravlja se radom izvršnih elemenata.

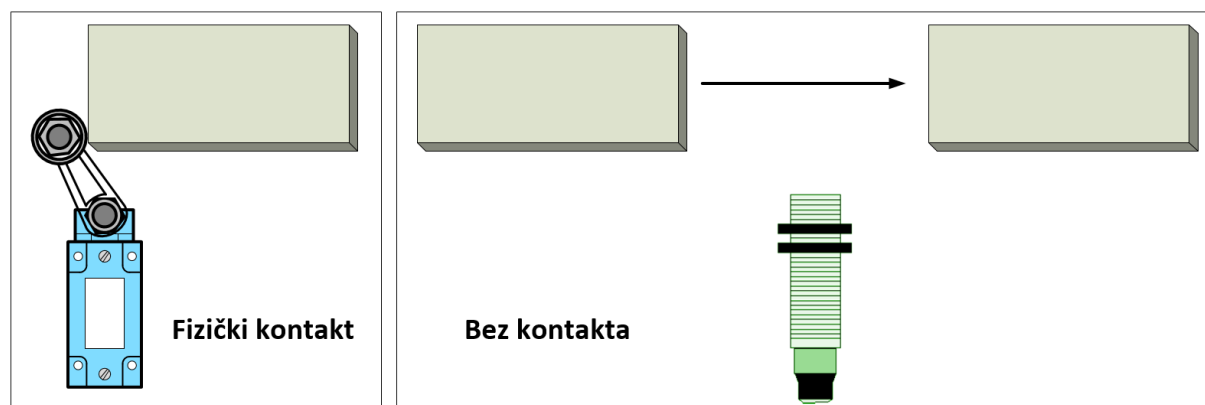
3.2.1. Mjerna oprema

U automatiziranim sustavima susreću se različiti senzorski elementi s binarnim tipom izlaznog signala. To su ulazni elementi u procesno računalo koji na svom izlazu daju signal napona od 24 V ili 0 V. Procesno računalo tu vrstu signala vidi kao binarni signal logičke jedinice (napon prisutan na ulazu) ili logičke nule (napon nije prisutan na ulazu). Najčešće korištena vrsta senzora u industriji su **senzori blizine** koji detektiraju prisustvo predmeta ili osobe u svojoj okolini.

Senzori blizine dijele se na :

senzore blizine s fizičkim kontaktom,

senzore blizine bez fizičkog kontakta.



Slika 41. Senzori blizine (rad autora)

Senzori blizine bez fizičkog kontakta imaju sljedeće prednosti:

nije potreban fizički kontakt,
nema pokretnih dijelova koji se mogu istrošiti ili uništiti,
brži su od kontaktnih,
nema iskrenja i titranja kod promjene stanja senzora.

Senzori blizine s fizičkim kontaktom imaju sljedeće prednosti:

vode veće struje,
sigurniji su kad su kontakti otvoreni jer postoji zračna praznina između priključaka kontakata.

Složenija mjerna oprema, tj. mjerni pretvornici, služi za kontinuirano mjerenje fizikalnih veličina. **Mjerni pretvornici** su ulazni elementi u procesno računalo koji na svom izlazu daju standardni opseg signala struje ili napona. Procesno računalo tu vrstu signala vidi kao digitalni signal u određenom rasponu koji ovisi o tipu procesnog računala. Često korištene vrste mjernih pretvornika u industriji su mjerni pretvornici tlaka, temperature, razine i protoka.

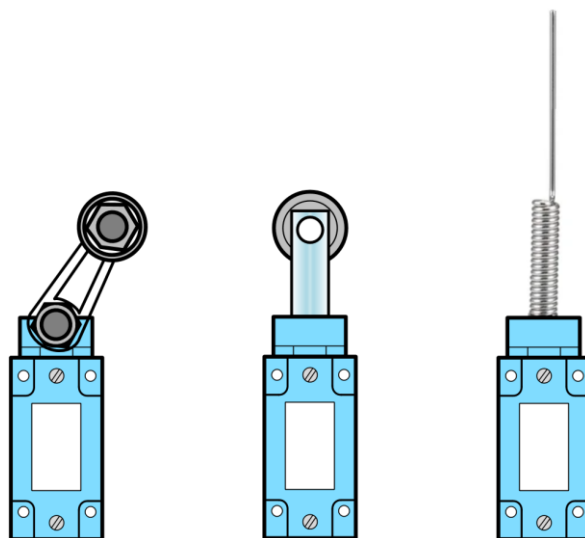
3.2.1.1. Senzori blizine s fizičkim kontaktom

Glavni predstavnici senzora s fizičkim kontaktom su **krajnji prekidači** (engl. *limit switches*). Krajnji prekidači služe za određivanje mehaničkog položaja tijela koje se giba, tj. pretvaraju mehaničko gibanje u električne upravljačke signale. Smještaju se na određenu poziciju na putu predmeta koji se giba, a kad predmet u gibanju dođe na tu poziciju, aktivira krajnji prekidač (otvori ili zatvori kontakt krajnjeg prekidača).

Krajnji prekidači dijele se na:

- **tip poluge** (slika 3.2. lijevo) – služi za detekciju kružnog gibanja; koriste se u 90% aplikacija; kad tijelo u gibanju više ne djeluje na polugu krajnjeg prekidača, ona se pomoću opruge vraća u prvobitni položaj i kontakti se deaktiviraju,
- **tip klipa** (slika 3.2. sredina) – služi za detekciju linearnog gibanja; koristi se u kratkim gibanjima predmeta ili kad nema dovoljno mjesta za polugu,

- **tip mačjeg brka** (slika 3.2. desno) – služi za detekciju gibanja u više smjerova; prikladni su za detekciju i brojanje predmeta kod transportera.



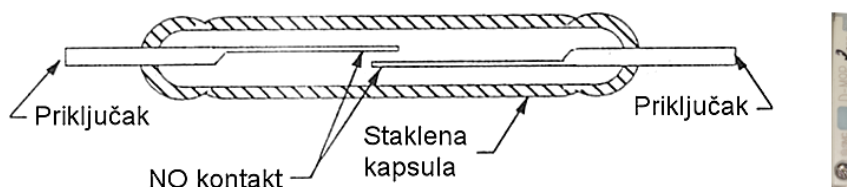
Slika 42. Krajnji prekidači (rad autora)

3.2.1.2. Senzori blizine bez fizičkog kontakta

Glavni predstavnici senzora bez fizičkog kontakta su:

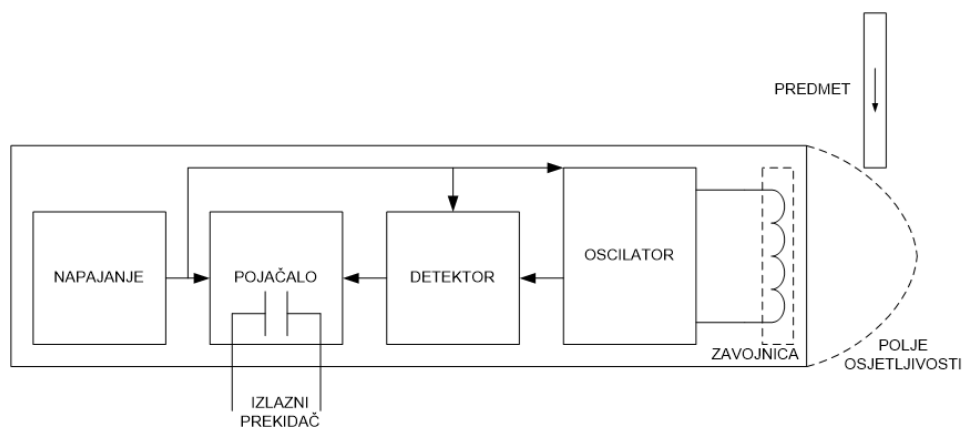
- reed releji,
- induktivni senzori,
- kapacitivni senzori,
- optički senzori.

Reed releji detektiraju samo magnetska polja pa se ne može dogoditi da se detektira blizina bilo kojeg predmeta, već samo onog koji ima magnetska svojstva. Reed relej ima dvije male feromagnetske cjevčice hermetički zatvorene u staklenoj kapsuli, koje se preklapaju i ne dodiruju. Kad se kapsuli približi permanentni magnet ili elektromagnet, feromagnetske cjevčice dobivaju suprotna magnetska svojstva i privlače jedna drugu čineći kontakt i zatvarajući strujni krug. Najčešća je primjena reed releja na pneumatskim cilindrima u svrhu detekcije krajnjih položaja klipa cilindra, tj. uvučenog i izvučenog stanja klipa te na linearnim i rotacijskim pogonima za detekciju krajnjih pozicija.



Slika 43. Reed relej (rad autora)

Induktivni senzori služe za detektiranje blizine metalnih predmeta, a rade na principu oscilatora. Oscilator i zavojnica stvaraju visokofrekventno elektromagnetsko polje u kojemu se ulaskom predmeta induciraju vrtložne struje, a koje stvaraju elektromagnetsko polje koje se suprotstavlja polju zavojnice, što dovodi do smanjenja amplitude oscilacija. Ta promjena se detektira i prenese na pojačalo koje aktivira izlazni kontakt, tj. zatvori ga ili otvori.

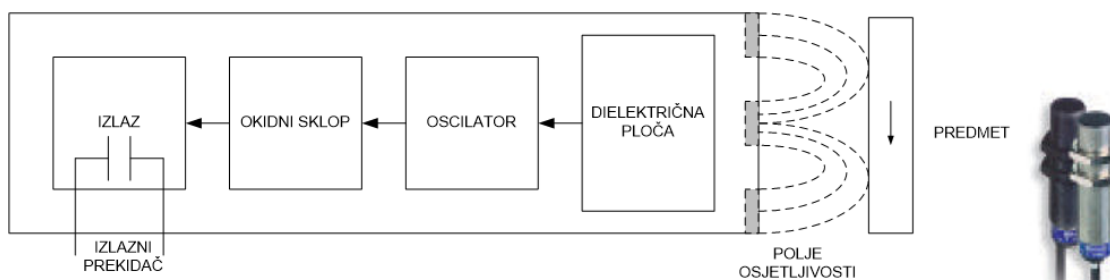


Slika 44. Induktivni senzor (rad autora)

Kapacitivni senzori služe za detektiranje blizine nemetalnih (većinom) i metalnih predmeta, a rade na principu oscilatora, slično kao i induktivni, ali s glavnim razlikom što proizvode elektrostatsko polje umjesto elektromagnetskog.

Površina osjeta se formira pomoću dvije metalne elektrode neomotanog kondenzatora koje su koncentričnog oblika. Predmet koji dolazi u blizinu senzora služi kao dielektrik pa je predmete s većom dielektričnom konstantom lakše detektirati. Kada se predmet približi senzoru i uđe u elektrostatsko polje, kapacitet u krugu oscilatora se mijenja zbog prisutnosti dielektričnog materijala (koji ima veću dielektričnu konstantu od zraka). Kao rezultat, počinje oscilacija u krugu oscilatora. Okidni sklop čita amplitudu oscilacija i kad se postigne određena amplituda, aktivira se izlaz senzora, tj. promijeni

se stanje. Kako se predmet udaljava od senzora tako se amplituda oscilacija smanjuje, i izlaz se vraća u prvobitno stanje.

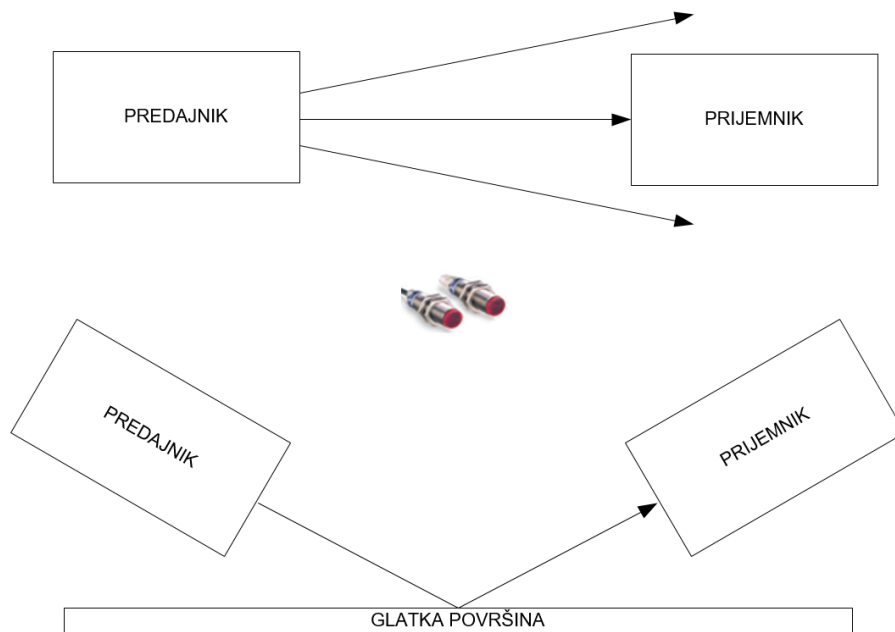


Slika 45. Kapacitivni senzor (rad autora)

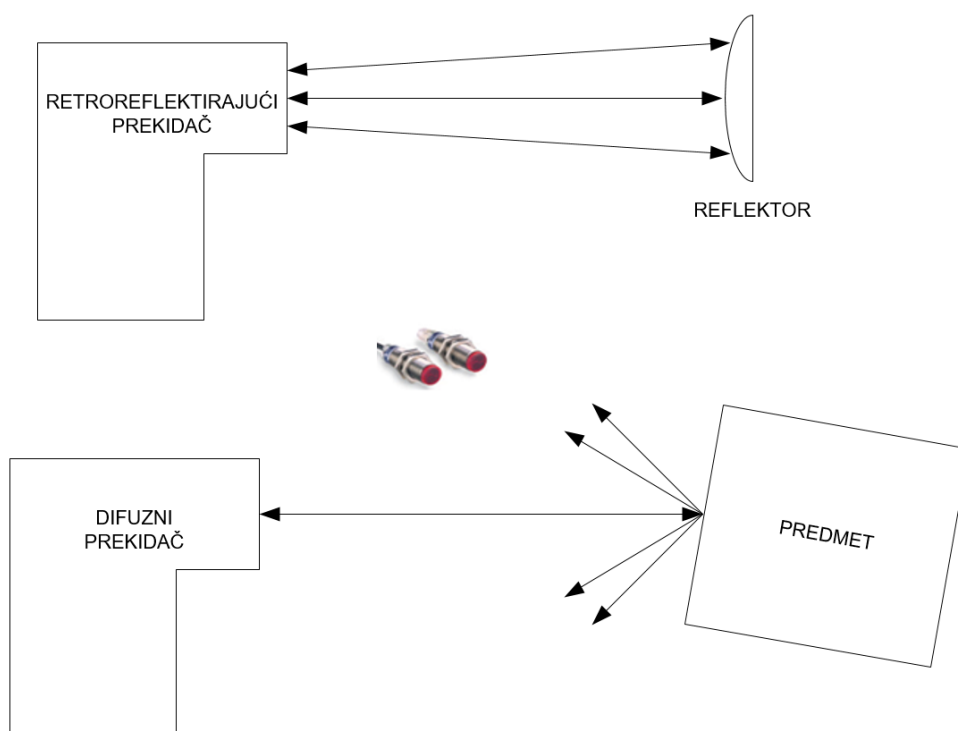
Optički senzori služe za detektiranje prisustva svih vrsta predmeta pomoću svjetlosnih zraka, bilo u vidljivom ili infracrvenom dijelu spektra, ili pomoću laserske zrake. Sastoje se od predajnika (izvora svjetlosti) i prijemnika (detektora svjetlosti) koji mogu biti smješteni u isto kućište ili u odvojena kućišta.

Postoje četiri osnovne konfiguracije optičkih senzora:

- senzori s izravnim snopom zraka svjetlosti (engl. *thru-beam*) – slika 3.6. gore,
- senzori s reflektirajućim snopom zraka svjetlosti (engl. *specular*) – slika 3.6. dolje,
- senzori s retroreflektirajućim snopom zraka svjetlosti (engl. *retroreflective*) – slika 3.7. gore,
- senzori s difuznim snopom zraka svjetlosti (engl. *diffuse*) – slika 3.7. dolje.



Slika 46. Optički senzori 1. dio (rad autora)



Slika 47. Optički senzori 2. dio (rad autora)

3.2.1.3. Mjerni pretvornici

Mjerni pretvornici dijele se na:

- mjerne pretvornike temperature,
- mjerne pretvornike tlaka,
- mjerne pretvornike razine,
- mjerne pretvornike protoka, i druge.

Mjerni pretvornici daju na svom izlazu standardizirane signale:

- napona – opsezi 0 – 10 V, -10 – +10 V, 0 – 5 V, itd.,
- struje – opsezi 4 – 20 mA, 0 – 20 mA.

Osim standardnih naponskih i strujnih signala, moderniji mjerni pretvornici imaju mogućnost digitalne komunikacije s procesnim računalom, a time i slanje podataka odgovarajućim industrijskim komunikacijskim protokolom, npr. *Profinet* i *Profibus*.

U industrijskim primjenama postoje različiti zahtjevi za točnošću, brzinom odziva, mjestom ugradnje, svrhom primjene i cijenom mjernog pretvornika pa postoji više vrsta mjernih pretvornika koji se koriste u svrhu automatizacije sustava.

Veličina koja se detektira mjernim pretvornikom naziva se **procesna veličina** (PV), a njoj mjerni pretvornik pridružuje **mjerenu veličinu** (MV). **Mjerno područje** (engl. *range*) PV-a i MV-a određeno je odgovarajućim maksimalnim i minimalnim vrijednostima: PVmin do PVmax i MVmin do MVmax. **Širina mjernog područja** (engl. *span*) za PV i MV određena je razlikom maksimalnih i minimalnih vrijednosti: PVmax - PVmin i MVmax - MVmin. Mjerena veličina prenosi se kao standardni signal na ulaz procesnog računala koje matematičkim proračunom izračunava iznos procesne veličine.

Primjer. Mjerni pretvornik temperature može imati ulazno područje -50 - +150 °C, a izlazno 4 - 20 mA. Taj mjerni pretvornik temperature ima ulazni raspon od 200 °C, a izlazni od 16 mA.



Slika 48. Simbolički prikaz mjernog pretvornika (rad autora)

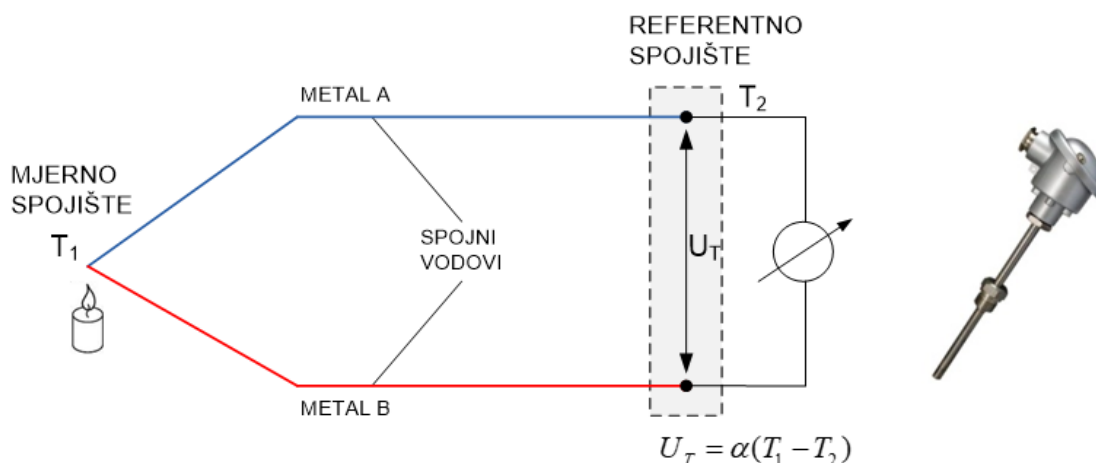
Mjerni pretvornici temperature proizvode se u više izvedbi, a dvije najčešće su:

- termopar,
- otpornički termometar.

Obje izvedbe predstavljaju kontaktni način mjerenja temperature, što znači da je senzor u kontaktu (izravnom ili neizravnom) s materijom čiju temperaturu mjeri.

Termopar radi na principu zatvorenog kruga, sastavljenog od dvije žice od različitih metala koje su spojene na obje strane. Kada se jedan kraj zagrije, struja počinje teći kroz krug. Kad se krug otvori na kraju koji se ne zagrijava, dobije se napon U_T . Taj napon ovisi o vrstama metala od kojih su žice napravljene i razlici temperature spojenog i otvorenog kraja. Napon koji se dobije na izlazu ima iznos reda veličine mV. Mana je termoparova što nemaju veliku točnost, dok su prednosti sljedeće:

- robusni su,
- imaju širok raspon mjerenja,
- ne trebaju dodatno napajanje,
- postojani su na starenje.

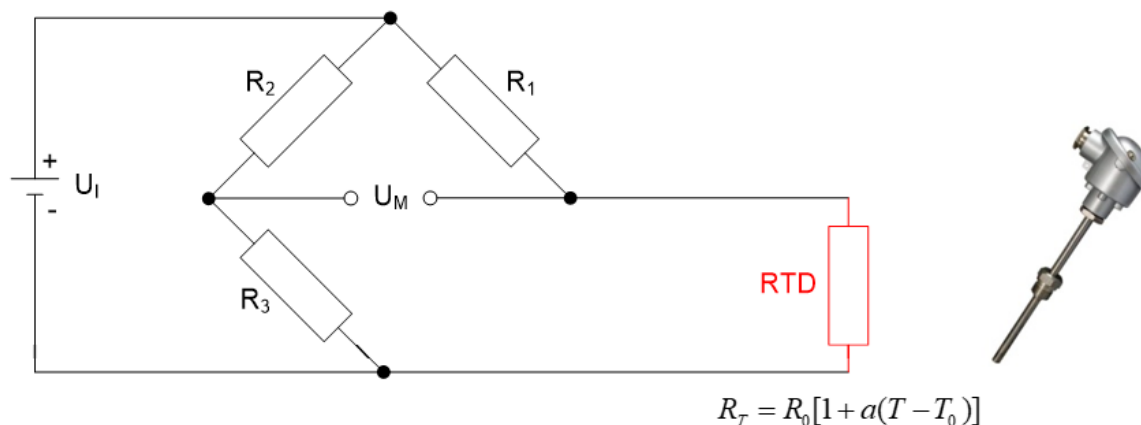


Slika 49. Princip izvedbe termopara (rad autora)

Otpornički termometar (RTD) je mjerni pretvornik kod kojeg se promjenom temperature mijenja otpor senzora. Kod metalnih otporničkih termometara specifični otpor materijala se linearno mijenja s promjenom temperature, pa se i otpor R_T mijenja linearno. Otpornički termometri se pri mjerenju spajaju u neuravnotežen *Wheatstoneov* most kako bi se smanjila pogreška zbog otpora vodiča. Na dijagonali mosta javlja se diferencijalni napon kada uslijed temperature RTD mijenja svoju vrijednost u odnosu na nominalnu. Standardni otpornički termometar izrađen je od platine i pri 0 °C ima vrijednost otpora od 100 Ω pa se zbog toga naziva PT100.

Otpornički termometri imaju sljedeće prednosti:

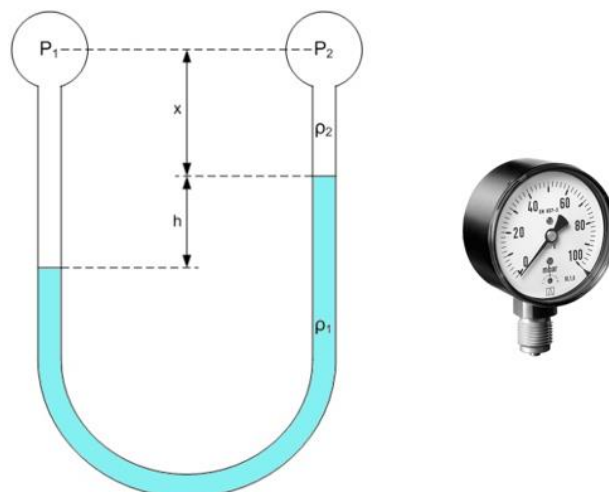
- linearna karakteristika,
- velika točnost,
- stabilnost.



Slika 50. Princip izvedbe otporničkog termometra (rad autora)

Mjerni pretvornici tlaka mjere tlak kao diferencijalnu veličinu, tj. razliku između mjerenog tlaka i referentnog tlaka. Kao referenti tlak najčešće se uzima standardni atmosferski tlak. Tlak koji je veći od atmosferskog, i koji se mjeri u odnosu na atmosferski, zove se **relativni tlak**. Ukupan tlak, tj. zbroj atmosferskog i relativnog tlaka, zove se **apsolutni tlak**. Tlak koji je manji od atmosferskog, a mjeri se u odnosu na njega, zove se **tlak vakuuma**. Ta se tri tlaka: relativni, apsolutni i tlak vakuuma najčešće mjere u industriji. Uz njih mjeri se još i **diferencijalni tlak**, tj. razlika između dva različita tlaka.

Mjerni pretvornici tlaka izvode se u više različitih varijanti. Tlak se mjeri na temelju dva principa: mjerenje pomoću U-cijevi ili pomoću membrane. Mjerenjem s U-cijevi mjerni instrument prikazuje razliku tlaka nekog medija (plina ili kapljevine) i referentnog tlaka (obično atmosferskog). Tlak se mjeri tako da se jedan kraj instrumenta priključi na uređaj ili element u kojemu treba izmjeriti tlak (P_1), a na drugom je kraju poznati tlak (P_2). U-cijev punjena je tekućinom te se u njoj vidi u pomaku tekućine razlika tlaka P_1 u odnosu na P_2 , na način da je u lijevom stupcu, gdje je veći tlak, manje tekućine, a u desnom više. Ima nekoliko različitih izvedbi cijevi, a najčešća je *Bourdonova* cijev. Manometar je, pak, najčešći predstavnik instrumenata za mjerenje tlaka pomoću U-cijevi.



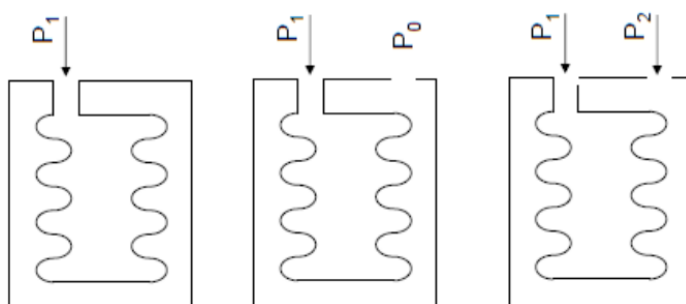
Slika 51. Princip mjerenja tlaka s U-cijevi (rad autora)

Drugi je princip mjerenja korištenje membrane kao senzora koji pretvara tlak u fizičko gibanje. Kada je jedna strana membrane izložena tlaku zbog njezine elastičnosti, dolazi do njezina otklona, a ovisno o veličini tlaka.

Membrana služi za mjerenje:

- apsolutnog tlaka (slika 3.12. lijevo),
- relativnog tlaka (slika 3.12. sredina),
- diferencijalnog tlaka (slika 3.12. desno).

Tlak se mjeri tako da se jedan kraj membrane (ili oba) priključi na uređaj ili element u kojemu treba izmjeriti tlak (P_1 i P_2). Tlak djeluje na membranu tako da veći tlak pomiče čelnu površinu membrane u stranu u koju on djeluje.

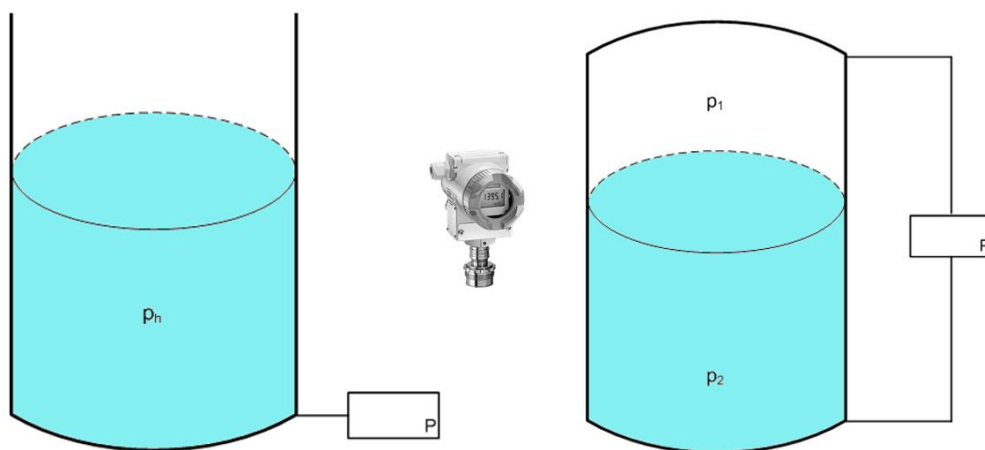


Slika 52. Princip mjerenja tlaka membranom (rad autora)

Mjerni pretvornici razine služe za mjerenje razine fluida ili krutih tvari u spremnicima.

Mjerenje se vrši u odnosu na referentnu površinu, a to je obično dno spremnika.

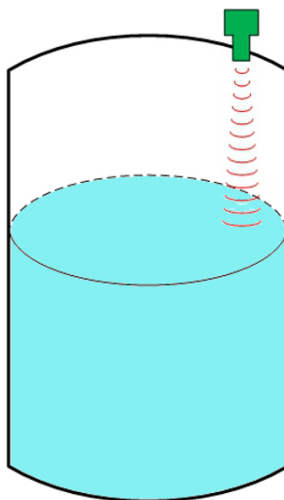
Hidrostatski princip (slika 3.13. lijevo) koristi se za mjerenje razine tekućina u otvorenim spremnicima, pri čemu se mjeri hidrostatski tlak koji fluid uslijed svoje težine stvara na dnu posude. Iz formule za hidrostatski tlak, uz poznatu gustoću fluida, izravno se izračuna visina fluida u spremniku.



Slika53. Hidrostatski i diferencijalni princip mjerenja razine (rad autora)

Diferencijalni princip (slika 3.13. desno) koristi se za mjerenje razine tekućina u zatvorenim spremnicima. Mjeri se razlika tlaka na dnu i vrhu spremnika, što kao rezultat daje hidrostatski tlak koji fluid uslijed svoje težine stvara na dnu posude. Iz formule za hidrostatski tlak, uz poznatu gustoću fluida, izravno se izračuna visina fluida u spremniku.

Osim pomoću tlaka, razina se mjeri i ultrazvučnim principom. Mjerni pretvornik odašilje ultrazvučne impulse (frekvencije u kHz području) koji se odbijaju od površine i vraćaju u uređaj. Vrijeme koje je potrebno za povratak reflektiranog impulsa je proporcionalno udaljenosti od uređaja (vrh spremnika) do površine. Uz poznatu brzinu (iz frekvencije impulsa) i geometriju spremnika te mjereno vrijeme, može se izračunati razina u spremniku.



Slika 54. Ultrazvučni princip mjerenja razine (rad autora)

Ukoliko je fluid u spremniku takve vrste da se stvara pjena na njegovoj površini, utoliko se ultrazvučni signal odbija od pjene i dobiva se pogrešno mjerenje. U tom slučaju se umjesto ultrazvučnog principa koristi radarski princip mjerenja. Radarski mjerni pretvornici mjere kao i ultrazvučni, a razlikuju se po tome što se šalju mikrovalovi frekvencije u GHz području.

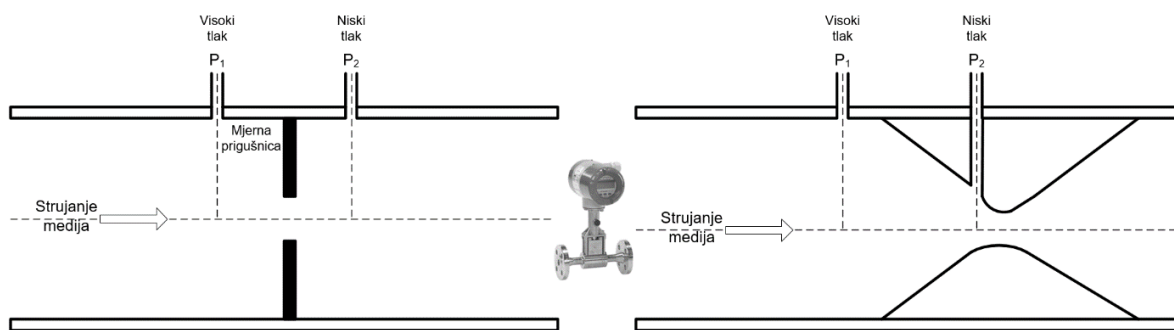
Mjerni pretvornici protoka mjere protjecanje fluida u sustavu. Količina fluida koja protječe u jedinici vremena je protok. Mjerenje protoka svodi se na mjerenje volumnog i masenog protoka. Volumni protok je volumen fluida što protječe u jedinici vremena. Maseni je protok masa fluida što protječe u jedinici vremena.

Mjerenje protoka na osnovi diferencijalnog tlaka zasniva se na činjenici kada kroz neku cijev struji fluid s konstantnim volumnim protokom, a presjek je cijevi različit na različitim odsječcima, tada je i brzina različita na različitim odsječcima. U tom slučaju vrijedi jednadžba kontinuiteta koja govori da je protok kroz cijev različitih promjera konstantan, a da se brzina protjecanja povećava kako se površina poprečnog presjeka cijevi smanjuje.

U mjerilima protoka koja se zasnivaju na mjerenju diferencijalnog tlaka, protok se određuje na osnovi mjerenja pada tlaka na suženju cijevi. Najčešće korištena mjerila protoka na osnovi diferencijalnog tlaka su mjerna prigušnica (slika 3.15. lijevo) i venturijeva cijev (slika 3.15. desno).

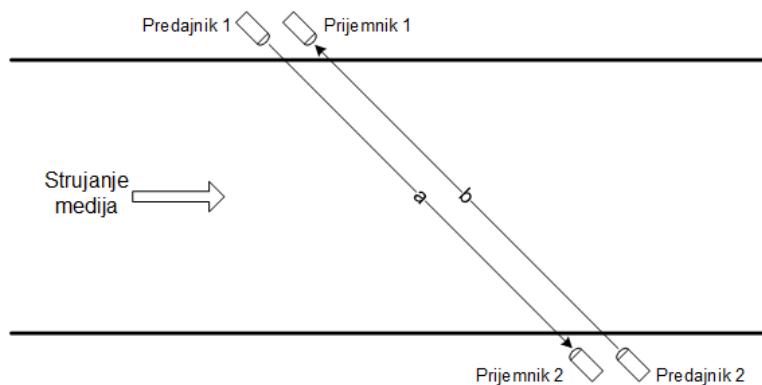
Mjerne prigušnice su najčešće korištena mjerna suženja za mjerenje protoka. Prigušnica se instalira u procesnu liniju i mjeri se diferencijalni tlak, na osnovu čega se izračunava protok. Pomoću ovakve vrste mjernog pretvornika dobije se izlaz proporcionalan diferencijalnom tlaku, a ne protoku, dok je volumni protok proporcionalan s drugim korijenom diferencijalnog tlaka. Ispred suženja pojavljuje se tlak koji je veći od tlaka nakon suženja, a brzina je manja ispred i veća iza suženja.

Venturijeva cijev nema oštih bridova kao mjerna prigušnica već ima konusno suženje, tako da se brzina fluida postupno povećava a tlak smanjuje. Nakon cilindričnog dijela otvor se konusno povećava pa se brzina fluida postupno smanjuje a tlak povećava, tj. nema naglih prijelaza pa se stoga može koristiti za mjerenje prljivih tekućina koje imaju tendenciju taloženja materijala na oštrim prijelazima u cjevovodu.



Slika 55. Princip mjerenja protoka diferencijalnim tlakom (rad autora)

Ultrazvučni mjerni sustav protoka sastoji se od ultrazvučnog odašiljača, prijenosnog medija i ultrazvučnog prijamnika. Najčešće korišteni uređaji za ultrazvučne odašiljače i prijamnike su piezoelektrični elementi zbog reverzibilnosti piezoelektričnog efekta, tj. mehanička energija može se pretvoriti u električnu energiju, i obrnuto (električna energija se može pretvoriti u mehaničku). Piezoelektrični element ultrazvučnog odašiljača pretvara narinuti sinusni napon u mehaničke titraje koji se šire kroz medij kao ultrazvučni val. Piezoelektrični element ultrazvučnog prijamnika pretvara primljeni ultrazvučni val u naponski signal. Rad ultrazvučnog mjerila protoka zasniva se na mjerenju brzine ultrazvuka kroz medij koji struji u cjevovodu. U toj konfiguraciji dva piezoelektrična odašiljača šalju ultrazvučne signale kroz medij koji struji cjevovodom svaki svojem pripadajućem piezoelektričnom prijamniku. Smjer ultrazvučnog snopa je pod nekim kutom α u odnosu na stjenku cijevi. Ako je brzina strujanja medija v , onda se brzina ultrazvuka C za dotični medij od odašiljača 1 prema prijamniku 2 povećava brzinom strujanja medija, i iznosi $C + v \cdot \cos \alpha$. S druge strane, od odašiljača 2 prema prijamniku 1 brzina ultrazvuka za dotični medij C se smanjuje brzinom strujanja medija, i iznosi $C - v \cdot \cos \alpha$. Mjereći razliku frekvencija (vrijeme putovanja) tih dvaju ultrazvučnih valova, može se mjeriti volumni protok.



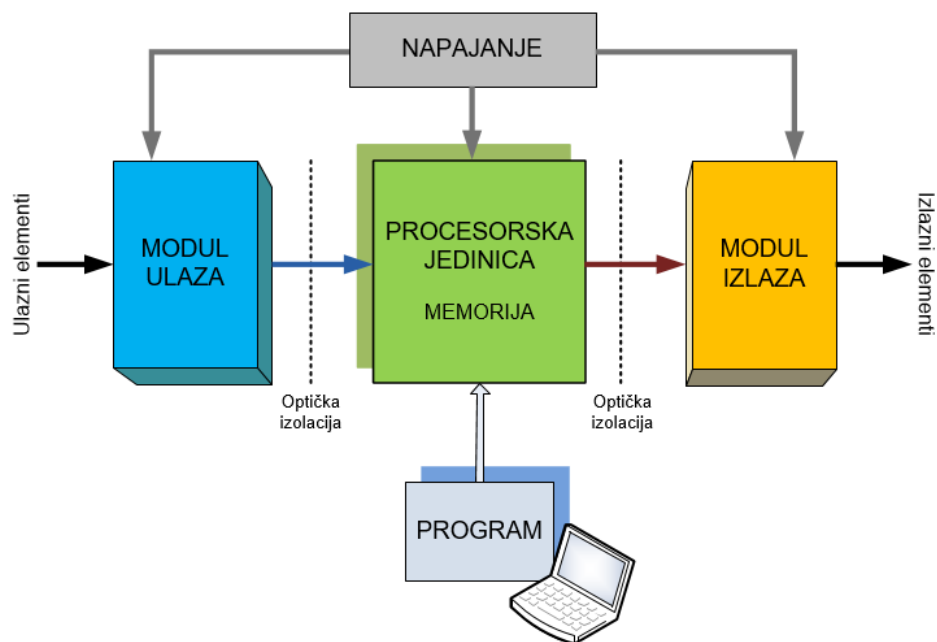
Slika 56. Ultrazvučni princip mjerenja protoka (rad autora)

3.2.2. Procesno računalo

Procesno računalo ima arhitekturu koja je bazirana na istim principima kao i ona u standardnim računalima. U automatiziranim sustavima najčešće se kao procesno računalo koristi **programirljivi logički upravljač (PLC)**. PLC se sastoji od centralne procesorske jedinice (**CPU**), memorije i ulazno-izlaznih modula, koji komuniciraju upravljačkim, adresnim i podatkovnim linijama, kao i u standardnim računalima. Također, PLC za svoj rad koristi operativni sustav i programe. No, za razliku od standardnih računala, njegova upotreba nije široka, već je usko vezana uz primjenu u industriji za automatizaciju strojeva i procesa.

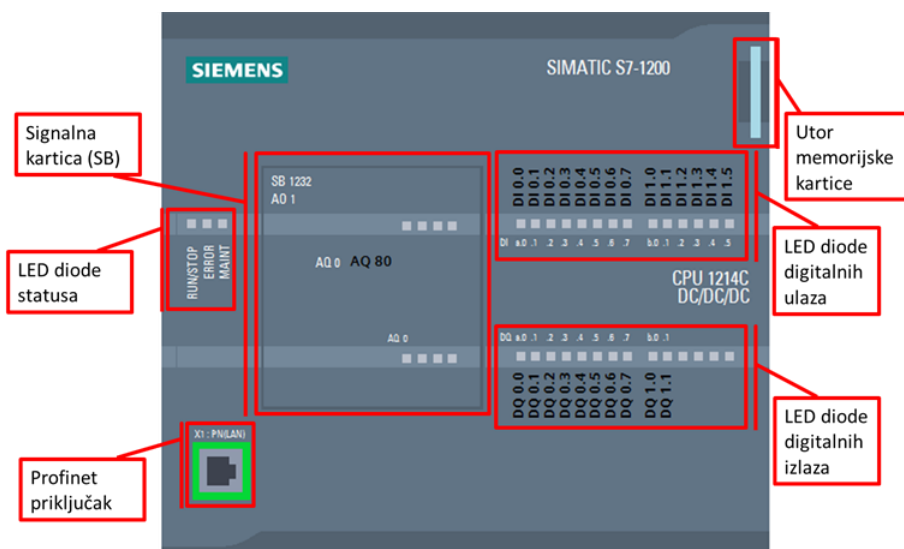
3.2.2.1. Procesorska jedinica

PLC sustav ima ulazne i izlazne module optički izolirane od CPU-a i memorije. Kako su ti moduli odvojeni od CPU-a, potrebno im je, kao i CPU-u, napajanje za njihov rad. Na ulaze i izlaze PLC-a spajaju se različiti senzori, tipkala i ostali ulazni elementi te releji, ventili i ostali izvršni elementi. U slučaju kvara na nekom od tih elemenata, ili u slučaju krivog spoja, može se pojaviti signal, npr. kratki spoj, koji bi mogao prouzročiti kvar CPU-a. Da bi se to spriječilo, optički su izolirani ulazi i izlazi od CPU-a te na taj način štite CPU od uništenja. CPU za svoj rad treba program koji se u memoriju učitava iz uređaja za programiranje specijaliziranim softverom za programiranje PLC-ova.



Slika 57. Blok shema PLC sustava (rad autora)

CPU na kojem se baziraju primjeri u ovom priručniku iz porodice je SIMATIC S7-1200 oznake 1214C DC/DC/DC. CPU 1214C ima na sebi 14 digitalnih ulaza, 2 analogna ulaza i 10 digitalnih izlaza.



Slika 58. Dijelovi CPU-a (rad autora)

Oznaka **DC/DC/DC** u tipu CPU-a označava da je to CPU s istosmjernim napajanjem, istosmjernim ulazima i istosmjernim (tranzistorskim) izlazima. Oznake koje CPU može imati u tipu su:

DC/DC/DC,
AC/DC/Rly,
DC/DC/Rly.

Prvo mjesto označava vrstu napajanja, drugo vrstu ulaza, a treće vrstu izlaza. Tako AC označava izmjenično 110/230 V, a DC istosmjerno 24 V napajanje. DC u ulazu označava istosmjerni ulazni signal od 24 V. DC u izlazu označava istosmjerne tranzistorske izlaze od 24 V, dok Rly označava relejne izlaze.

Na CPU-u se s desne strane može spojiti određeni broj signalnih modula. Taj broj ovisi o tipu CPU-a. Na CPU 1214C može se spojiti 8 signalnih modula.

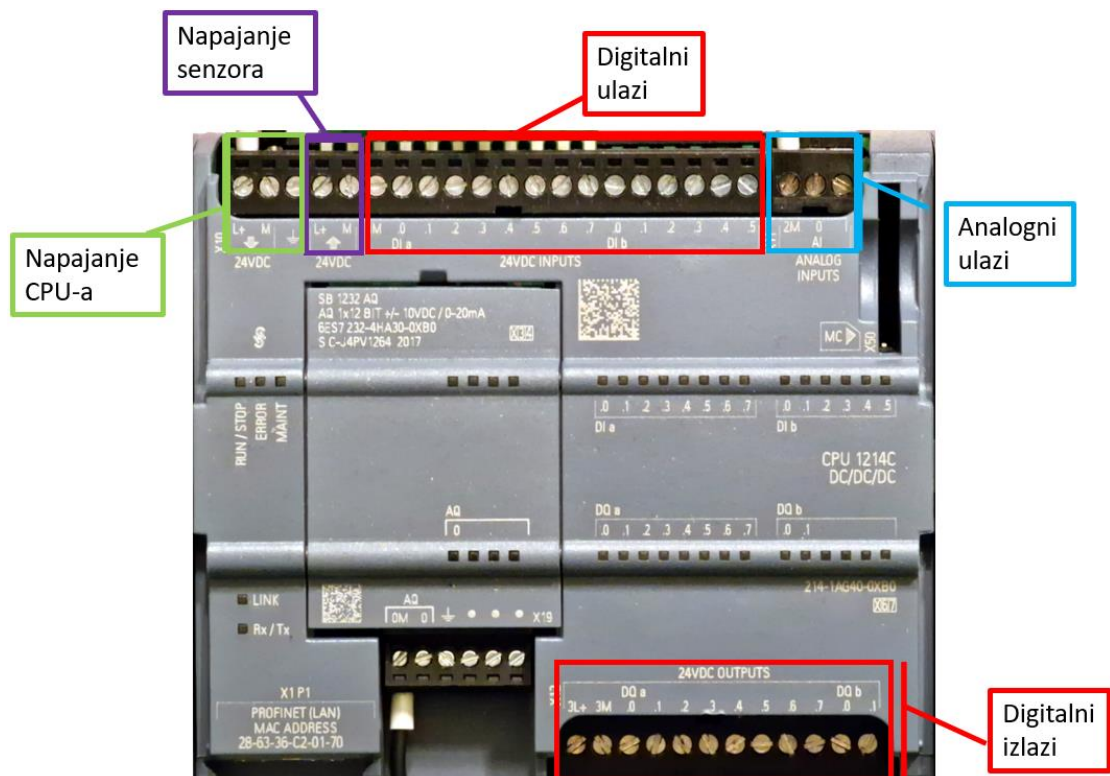
CPU s donje lijeve strane ima *Profinet* priključak kojim se spaja na uređaj za programiranje, ekran, drugi PLC i slično. *Profinet* komunikacija odvija se između CPU-a i uređaja koji također ima *Profinet* priključak. S ostalim uređajima, primjerice osobnim računalom, standardna je *Ethernet* komunikacija.

Iznad *Profinet* priključka nalaze se **svjetleće diode statusa PLC-a**. Te diode pokazuju sljedeća stanja:

- CPU je u radu (RUN/STOP stalno svijetli zeleno),
- CPU je zaustavljen (RUN/STOP stalno svijetli narančasto),
- CPU se pokreće (RUN/STOP trepće zeleno-narančasto),
- CPU je u grešci (ERROR trepće crveno),
- неисправan hardver (ERROR stalno svijetli crveno),
- CPU je u održavanju (MAINT stalno svijetli narančasto),
- umetnuta memorijska kartica (MAINT trepće narančasto).

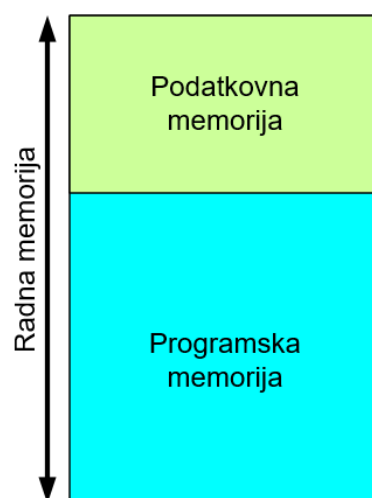
Desno od svjetlećih dioda statusa nalazi se utor za signalnu karticu. Postoje različite vrste signalnih kartica koje se mogu staviti u taj utor. Na slikama 3.18. i 3.19. prikazana je umetnuta signalna kartica analognog izlaza. S desne strane u gornjem dijelu CPU-a nalaze se svjetleće diode i oznake ulaza. Ako se na nekom od ulaza pojavi napon,

svijetli pripadna svjetleća dioda. Iznad njih se nalazi utor za memorijsku karticu, a s desne strane dolje nalaze se svjetleće diode i oznake izlaza CPU-a.



Slika 59. Ulazi i izlazi CPU-a (rad autora)

Na vrhu CPU-a, ispod maske, nalaze se konektori za napajanje CPU-a i senzora te konektori za digitalne i analogne ulaze. Na dnu CPU-a, ispod maske, nalaze se konektori za digitalne izlaze CPU-a.



Slika 60. Radna memorija CPU-a (rad autora)

Memorija CPU-a dijeli se na **memoriju učitavanja** (engl. *load memory*), **radnu memoriju** (engl. *work memory*) i **memoriju za pamćenje** (engl. *retain memory*) u slučaju nestanka napajanja. Veličina memorije ovisi o tipu CPU-a i ugrađenom softveru (engl. *firmware*) CPU-a. Za CPU 1214C V4.5 memorija za učitavanje veličine je 4 MB, radna memorija veličine 100 KB, a memorija za pamćenje 14 KB.

Korisnički program se, uz podatke i konfiguraciju, učitavanjem iz uređaja za programiranje sprema u memoriju za učitavanje CPU-a, koja je neizbrisiva u slučaju nestanka napajanja. Pri pokretanju izvršavanja programa PLC-a taj se program, zajedno s potrebnim podacima, kopira u radnu memoriju u kojoj se nalazi za vrijeme izvršavanja programa. Ta memorija je izbrisiva i u slučaju nestanka napajanja gube se podaci trenutnog izvršavanja. Ako su ti podaci potrebni, onda ih se treba proglasiti podacima za pamćenje te će u slučaju nestanka napajanja biti pohranjeni u memoriji za pamćenje.

Kako radnu memoriju dijele podaci i program, nije precizno određeno koliki dio može biti za program a koliki za podatke. Taj omjer je fleksibilan, i ovisi o samoj korisničkoj aplikaciji, a zauzećem memorije upravlja operativni sustav PLC-a.

3.2.2.2. Moduli proširenja

Mogućnosti PLC sustava povećavaju se **modulima za proširenje**, kojima se u prvom redu povećava broj ulaznih i izlaznih signala, a time i elemenata koji se mogu povezati na PLC sustav.

Signalni moduli digitalnih ulaza i izlaza imaju izvedbe:

- samo ulazi,
- samo izlazi,
- kombinacija ulaza i izlaza.

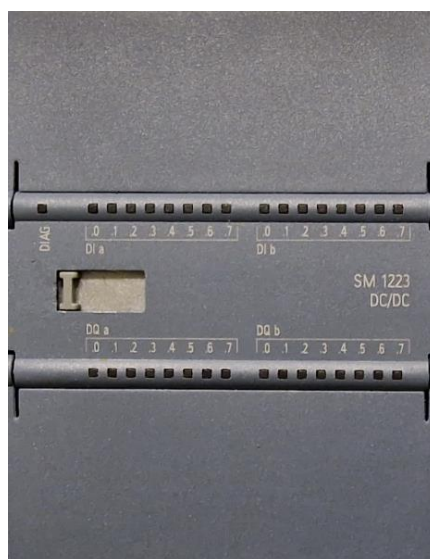
U procesoru se prisustvo signala na ulazima modula digitalnih ulaza manifestira kao logička jedinica (1). Ako napon nije prisutan na ulazu, onda se to u procesoru manifestira kao logička nula (0). Za izlaze koje procesor treba uključiti šalje se logička

jedinica (1) modulima digitalnih izlaza, a za izlaze koji trebaju ostati isključeni, šalje se logička nula (0).

Signalni moduli digitalnih ulaza služe za spajanje ulaznih elemenata PLC sustava, kao što su senzori, tipkala, sklopke i slično. Njima se dovode binarni signali iz sustava u CPU, koji na temelju njih i korisničkog programa upravlja sustavom. Dolaze u izvedbama s 8 ili 16 ulaza. Prihvaćaju signal od 24 V istosmjernog napona.

Signalni moduli digitalnih izlaza služe za spajanje izlaznih elemenata PLC sustava kao što su releji, ventili i slično. Njima se dovode binarni signali iz procesora u sustav, a na temelju izvršavanja korisničkog programa. Dolaze u izvedbama s 8 ili 16 izlaza. Izlazi mogu biti izvedeni kao tranzistorski od 24 V istosmjerno ili kao kontakti releja. Posredstvom kontakata releja mogu se spajati istosmjerni ili izmjenični potrošači. Tranzistorski izlazi obično se spajaju na releje posredstvom kojih se onda uključuju potrošači. To je varijanta koja se češće susreće u industriji jer u slučaju da pregori kontakt releja, lakše je zamijeniti relej koji je spojen na izlaz PLC-a, nego relej koji se nalazi u modulu izlaza.

Signalni moduli digitalnih ulaza/izlaza služe za spajanje ulaznih i izlaznih elemenata PLC sustava. Dolaze u izvedbama s 8/8 ili 16/16 ulaza/izlaza.



Slika 61. Modul digitalnih ulaza/izlaza PLC-a (rad autora)

Signalni moduli analognih ulaza i izlaza dolaze u izvedbama:

- samo ulazi,
- samo izlazi,
- kombinacija ulaza i izlaza.

U procesoru se prisustvo unipolarnih signala (standardni signal napona 0 - 10 V ili struje 4 - 20 mA) na ulazima modula analognih ulaza manifestira kao digitalni podatak 0 - 27648. Za izlaze preko kojih procesor treba djelovati na izvršni element šalje se digitalni podatak iznosa 0 - 27648 na module analognih izlaza na kojima se pretvara u unipolarni analogni standardni naponski (0 - 10 V) ili strujni signal (4 - 20 mA). Osim tih unipolarnih vrijednosti signala na analognim ulazima/izlazima mogu se koristiti i bipolarni signali, npr. ± 10 V, a što se u PLC-u manifestira kao digitalni podatak -27648 do +27648.

Signalni moduli analognih ulaza služe za spajanje ulaznih elemenata PLC sustava, kao što su mjerni pretvornici razine, temperature, tlaka, protoka i slično. Njima se dovode standardni analogni signali iz sustava u procesor, koji na temelju njih i korisničkog programa upravlja sustavom. Dolaze u izvedbama s 4 ili 8 ulaza, a razlikuju se po broju bitova rezolucije pretvornika (obično od 10 do 16 bitova). Prihvaćaju standardne signale napona (npr. 0 - 10 V) i struje (npr. 4 - 20 mA). Osim tih signala prihvaćaju i izravno spajanje otporničkih termometara i termoparova.

Signalni moduli analognih izlaza služe za spajanje izlaznih elemenata PLC sustava, kao što su frekvencijski pretvarači, regulacijski ventili i slično. Njima se dovode standardni analogni signali iz procesora u sustav, a na temelju korisničkog programa. Dolaze u izvedbama s 2 ili 4 izlaza, a razlikuju se po broju bitova rezolucije pretvornika (obično od 10 do 16 bitova). Daju standardne signale napona (npr. 0 - 10 V) i struje (npr. 4 - 20 mA).

Signalni moduli analognih ulaza/izlaza služe za spajanje ulaznih i izlaznih elemenata PLC sustava. Dolaze u izvedbama s 4/2 ulaza/izlaza.



Slika 62. Modul analognih ulaza/izlaza PLC-a (rad autora)

3.2.3. Izvršni elementi

U automatiziranim sustavima susreću se različiti **izvršni elementi** posredstvom kojih procesno računalo djeluje na rad sustava u cilju postizanja njegova željenog ponašanja.

Izvršni elementi najčešće su upravljani sljedećim vrstama signala:

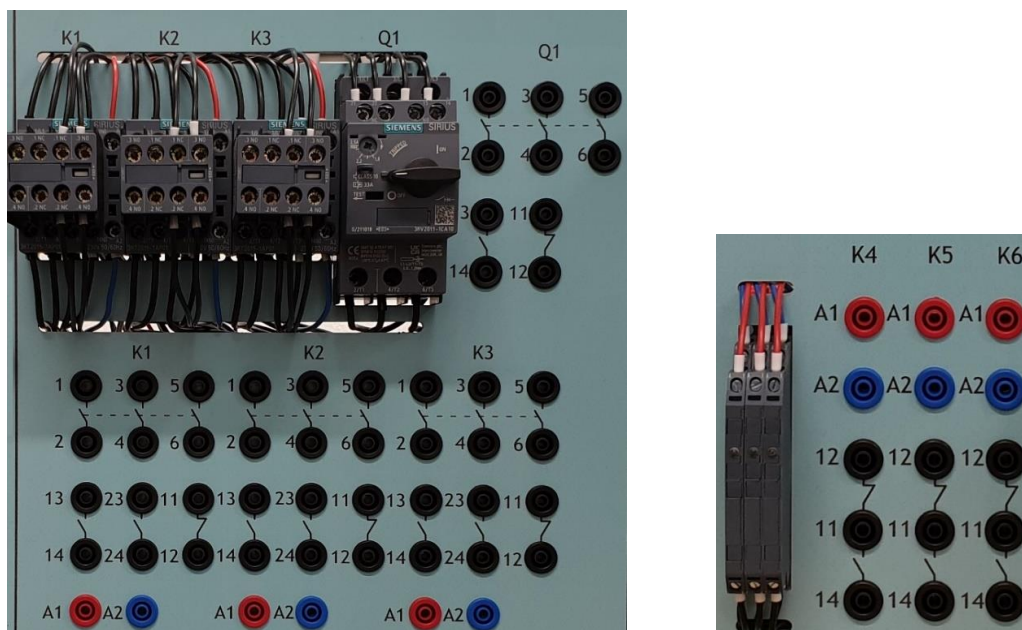
- binarni signal,
- digitalni signal,
- analogni signal.

Najčešći izlazni elementi su:

- elementi za signalizaciju,
- releji,
- sklopnici,
- razvodni ventili,
- frekvencijski pretvarači.

3.2.3.1. Releji i sklopnici

Releji su elektromagnetske sklopke. Prema funkciji dijele se na releje snage i upravljačke releje. Releji snage još se zovu i **sklopnici**. Funkcija je sklopnika da uz relativno malu električnu snagu uključuje potrošače velike snage, pri čemu je jedan od glavnih razloga za njihovo korištenje sigurnost jer se operater odvaja od krugova velikih snaga. Releji i sklopnici upravljani su binarnim signalima preko fizičkih digitalnih izlaza PLC-a. Upravljački releji općenito se zovu samo releji, a koriste se u upravljačkim krugovima malih snaga.



Slika 63. Releji (desno) i sklopnici (lijevo) (rad autora)

Kontakti releja izводе se kao:

- radni (NO),
- mirni (NC),
- preklopni (izmjenični),
- trenutni (prolazni).

Osnovne su vrste releja koje se susreću u praksi:

- standardni,
- vremenski s kašnjenjem pri uključanju,
- vremenski s kašnjenjem pri isključenju.

Prednosti releja:

- lako prilagođavanje različitim naponima,
- visoki otpor između isključenih kontakata,
- moguće uključivanje/isključivanje većeg broja neovisnih električnih krugova,
- prisutno galvansko odvajanje između upravljačkog i glavnog (radnog) električnog kruga,
- jednostavno održavanje.

Nedostaci releja:

- zahtijevaju dosta prostora,
- javljaju se šumovi pri reagiranju (električno zagađenje mreže),
- ograničena brzina reagiranja, tj. sporiji su od elektroničkih sklopki,
- osjetljivi na utjecaj prljavštine.

3.2.3.2. Razvodni ventili i cilindri

Razvodni ventili su pneumatski izvršni elementi koji služe za usmjeravanje medija tako što propuštaju, zatvaraju ili mijenjaju tok medija. Tip razvodnog ventila određen je brojem priključaka i brojem razvodnih položaja (npr. 4/2 je oznaka razvodnika s 4 priključka i 2 razvodna položaja).

Priključci razvodnih ventila označavaju se brojevima, a na sljedeći način:

- radni priključci – 2, 4, itd. (A, B, itd.),
- napajanje – 1 (P),
- odzračivanje – 3, 5 (R, S, T),
- priključci upravljačkih vodova – 12, 14 (X, Y, Z).

Aktiviranje razvodnih ventila može biti:

- ručno,
- mehaničko,

- pneumatsko,
- električno,
- kombinirano.

U pravilu se u sustavima automatizacije koristi elektromagnet za električno aktiviranje razvodnih ventila. Pladanj ventila pričvršćen je izravno na armaturu elektromagneta pa kada je elektromagnet pod naponom, on privuče armaturu silom suprotnom od opruge i otvara ventil, a kad nema napona, opruga vraća armaturu u prvobitni položaj i pladanj sjeda u sjedište te zatvara ventil.

2/2 razvodni ventili imaju dva priključka:

- radni – 2 (A),
- napajanje – 1 (P).

Oni aktiviranjem propuštaju ili ne propuštaju tok medija između priključaka 1 (izvor) i 2 (izlaz prema radnom mehanizmu).

3/2 razvodni ventili imaju tri priključka:

- radni – 2 (A),
- odzračni – 3 (T),
- napajanje – 1 (P).

Oni aktiviranjem propuštaju tok medija između priključaka 1 (izvor) i 2 (izlaz prema radnom mehanizmu) ili između priključaka 2 (radni mehanizam) i 3 (izlaz prema atmosferi).

4/2 razvodni ventili imaju četiri priključka:

- radni – 2 (A) i 4 (B),
- odzračni - 3 (T),
- napajanje – 1 (P).

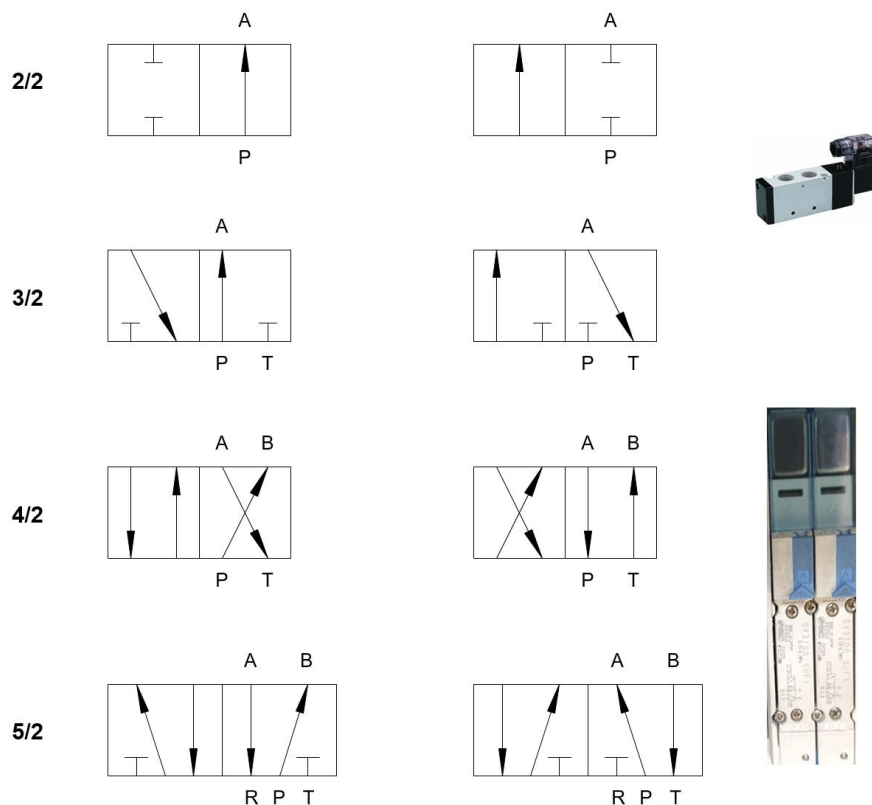
Oni u neaktivnom stanju otvaraju prolaz mediju između jednog radnog priključka i napajanja (1) te između drugog radnog priključka i odzračnika (3). U aktivnom stanju

se promijeni otvorenost prolaza, tj. radni priključak koji je bio spojen na napajanje, spaja se na odzračnik, a onaj koji je bio spojen na odzračnik, spaja se na napajanje.

5/2 razvodni ventili imaju pet priključaka:

- radni – 2 (A) i 4 (B),
- odzračni – 3 (T) i 5 (R),
- napajanje – 1 (P).

Imaju istu funkciju rada kao i 4/2 razvodni ventili. Koriste se kao zamjena za njih jer im je prednost što omogućavaju odzračivanje i u aktivnom i u neaktivnom stanju pa se cilindrima može odvojeno upravljati.

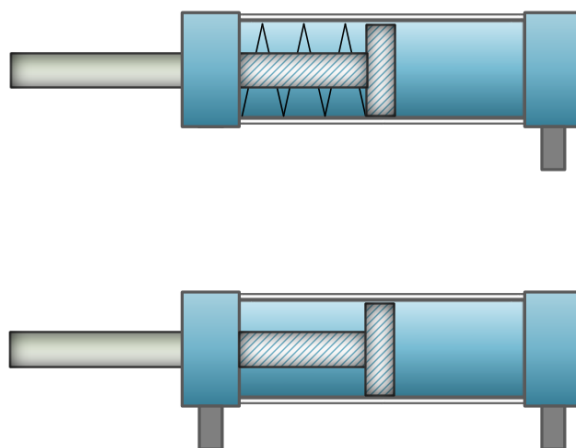


Slika 64. Razvodni ventili 2/2, 3/2, 4/2 i 5/2 (rad autora)

Pneumatski cilindri izvršni su elementi linijskoga (translacijskog) ili zakretnog (rotacijskog) gibanja. Češće se koriste cilindri s linijskim gibanjem. Služe za guranje, premještanje, otvaranje/zatvaranje, povlačenje, stezanje, utiskivanje i slično.

Dvije su osnovne vrste cilindara prema načinu rada:

- jednoradni (slika 3.25. gore),
- dvoradni (slika 3.25. dolje).

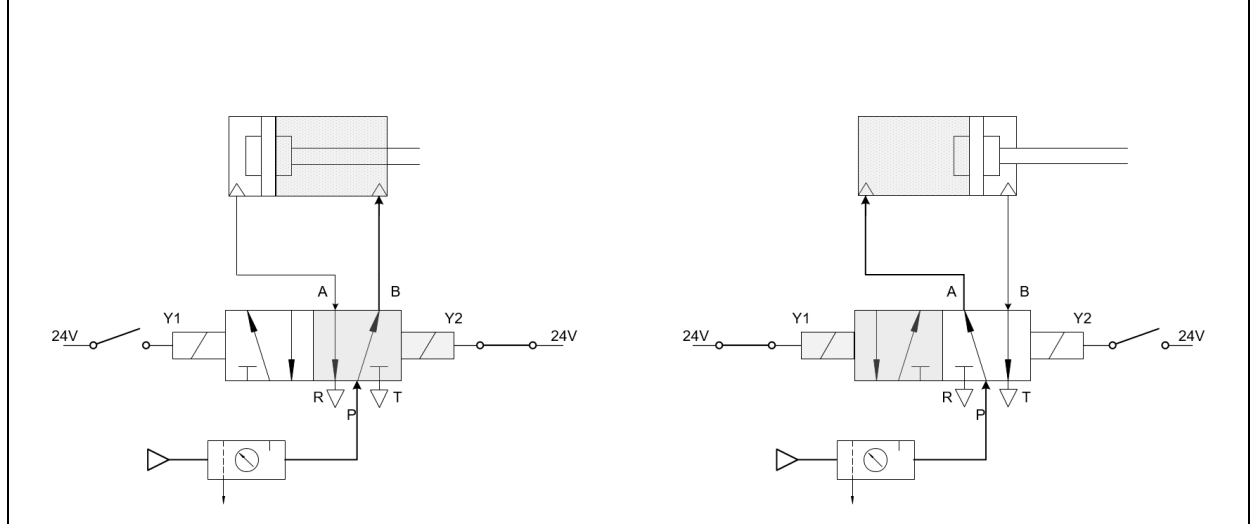


Slika 65. Cilindri (rad autora)

Jednoradni pneumatski cilindri vrše koristan rad samo u jednom smjeru i zato je na njima priključak zraka samo na jednoj strani. Kada je prisutan pneumatski zrak određenog tlaka na priključku cilindra, klip cilindra se izvlači. Povratno gibanje klipa cilindra (uvlačenje) ostvaruje se oprugom u slučaju kada nema prisutnoga pneumatskog zraka na priključku cilindra. Jednoradnim cilindrima upravlja se pomoću 3/2 razvodnih ventila.

Dvoradni pneumatski cilindri vrše koristan rad u oba smjera i zato su na njima priključci na obje strane. Kada na jedan priključak dođe komprimirani pneumatski zrak, klip cilindra se izvlači, a kada dođe na drugi, klip se uvlači. Dvoradnim cilindrima upravlja se pomoću 4/2 i 5/2 razvodnih ventila.

PRIMJER. Upravljanje dvoradnim cilindrom pomoću 5/2 razvodnog ventila prikazano je na slici 3.26. Na slici lijevo prikazano je stanje kada PLC daje signal isključenja razvodnom ventilu pa je cilindar uvučen, a na slici desno prikazano je stanje kada PLC daje signal uključenja razvodnom ventilu pa je cilindar izvučen.



Slika 66. Primjer s 5/2 razvodnim ventilom (rad autora)

3.2.3.3. Motori

Motori su izvršni elementi koji se vrlo često koriste u različitim industrijskim procesima i aplikacijama. Njihova je glavna zadaća pretvorba električne energije u mehaničku energiju. Postoje različite vrste motora, a prema vrsti električnog signala dijele se na:

- izmjenične (AC) i
- istosmjerne (DC).



Slika 67. Asinkroni motor (rad autora)

Izmjenični motori mogu biti jednofazni i trofazni. U industrijskoj praksi češće se susreću trofazni asinkroni motori. Oni se koriste kao zasebni elementi ili mogu biti dijelovi pumpi, ventilatora, miješalica, transportera i slično. Takvim se motorima upravlja na način da se oni vrte konstantnom (obično nominalnom) brzinom ili se brzina njihove vrtnje može mijenjati. U slučaju da se motori vrte konstantnom brzinom, upravljački uređaj (PLC) ih uključuje sklopnicima, a u slučaju da se brzina može mijenjati, onda se upravljaaju frekvencijskim pretvaračima.

Podaci za rad motora specificirani su na natpisnoj pločici koja se nalazi na motoru.

Bitni podaci motora su:

- frekvencija mreže,
- faktor snage,
- nazivni napon,
- nazivna struja,
- nazivna snaga,
- nazivna frekvencija,
- nazivna brzina.

SIEMENS				IE3 [®] CE			
D-90441 Nürnberg		Made in Czech Rep.					
3~MOT 1AV3082B 1LE10030DB222AB4-Z UD 2112/2406926-001-006							
IEC/EN 60034 80M IMB3 IP55				Brake:			
15kg Th.CL 155(F) -20 °C <=TAMB<=40 °C				BFK458-08E			
Bearing				24V DC 1.04A			
		DE 6004-2ZC3		Th.CL 155(F)		10Nm 	
		NE 6004-2ZC3					
V	Hz	A	kW	cosφ	NOM.EFF.	1/min	IE-CL
230 Δ	50	2.20	0.55	0.78	80.8	1440	IE3
400 Y	50	1.26	0.55	0.78	80.8	1440	IE3
460 Y	60	1.25	0.63	0.78	81.1	1740	IE3
460 Y	60	1.15	0.55	0.74	81.1	1750	IE3

Slika 68. Natpisna pločica asinkronog motora (rad autora)

3.2.3.4. Frekvencijski pretvarači

Frekvencijski pretvarači služe za upravljanje brzinom vrtnje izmjeničnih motora. Osim funkcije upravljanja, imaju funkciju kontrole i signalizacije rada motora. Ulaz im je izmjenični signal koji pretvaraju u izlazni signal promjenjive frekvencije i napona, kojim upravljaju radom motora. Koliki će biti napon i frekvencija, ovisi o željenoj brzini vrtnje motora. S obzirom na izvedbu postoji nekoliko vrsta pretvarača. Sve tri najčešće vrste izvedbi pretvarača imaju istosmjerni međukrug između ulaznog i izlaznog signala. On služi tome da se dobije veći iznos napona od ulaznog. Jedna od češće korištenih vrsta pretvarača je onaj sa širinsko-impulsnom modulacijom (PWM). On na izlazu obično ima IGBT tranzistore koji omogućavaju velike brzine uklapanja/isklapanja (oko nekoliko tisuća puta u sekundi) potrebne za dobivanje PWM signala.



Slika 69. Frekvencijski pretvarač (rad autora)

Frekvencijski pretvarači spajaju se s jedne strane na motor energetskim signalima, a s druge strane na upravljački uređaj (PLC) upravljačkim signalima.



Slika 70. Spoj frekvencijskog pretvarača rad autora)

PLC upravlja frekvencijskim pretvaračem pomoću sljedećih signala:

- binarni signal (digitalni izlaz PLC-a) za START/STOP motora,
- binarni signal (digitalni izlaz PLC-a) za NAPRIJED/NAZAD motora,
- analogni signal (analogni izlaz PLC-a) za brzinu vrtnje motora.

Podешavanje frekvencijskog pretvarača i njegovo puštanje u rad podrazumijeva sljedeće parametre, a koji ovise o parametrima mreže i motora na koje je pretvarač spojen:

- frekvencija mreže,
- nazivni napon,
- nazivna struja,
- nazivna snaga,
- nazivna frekvencija,
- nazivna brzina,
- minimalna frekvencija,
- maksimalna frekvencija,
- vrijeme ubrzavanja,
- vrijeme usporavanja.

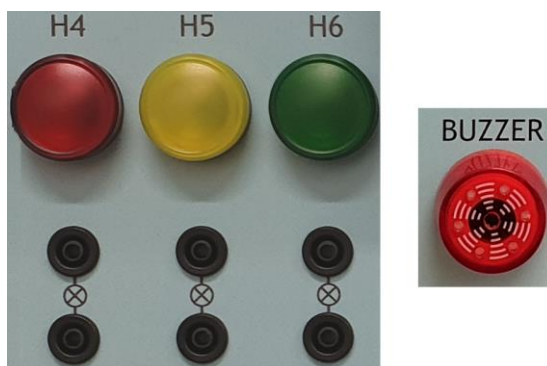
3.2.3.5. Elementi za signalizaciju

Elementi za signalizaciju dijele se na:

- vizualne,
- zvučne.

Vizualni elementi pružaju operateru vizualnu informaciju o tome što se u procesu zbiva. Kao vizualni elementi koriste se tipkala s lampicama, indikatorska svjetla (signalne lampice) i signalni stupovi s više boja. Svrha im je prikazati različita stanja procesa. Zelena boja obično se koristi za normalna radna stanja, narančasta boja za zaustavljena stanja, a crvena za alarmna stanja procesa.

Zvučni elementi pružaju operateru zvučnu informaciju o tome što se u procesu zbiva. Obično se koriste različite sirene, trube i zvona radi signalizacije važnih stanja procesa, a najčešće kao zvučni alarmi u slučaju neželjenih (alarmnih) stanja.



Slika 71. Signalni elementi (rad autora)

3.3. Tehnička dokumentacija elemenata automatiziranog sustava

Proizvođač izdaje tehničku dokumentaciju elemenata i uređaja automatiziranog sustava.

Tehnička dokumentacija sastoji se od sljedećih dokumenata:

- tehnički list,

- izjava o sukladnosti (atest),
- upute za rukovanje,
- ostali dokumenti.

Tehnički list predstavlja tehničku specifikaciju elemenata i uređaja, a sadrži sljedeće:

- općenite informacije o uređaju,
- informacije o električnom napajanju uređaja,
- informacije o potrošnji uređaja,
- ostale specifične informacije o uređaju.

Tehnički list je dokument s malim brojem stranica u kojem su sažeto navedene sve bitne specifikacije uređaja.

PRIMJER. Tehnički list PLC uređaja sadrži sljedeće podatke:

- općenite informacije,
- napon napajanje,
- potrošnja energije,
- memorija,
- procesorsko vrijeme,
- programski blokovi,
- područja podataka i adresna područja,
- digitalni ulazi i izlazi,
- analogni ulazi i izlazi,
- sučelja uređaja,
- komunikacijski protokoli i funkcije,
- statusne informacije,
- test i dijagnostičke funkcije,
- ugrađene funkcije,
- elektromagnetska kompatibilnost,
- certifikati uređaja,
- radni uvjeti okoliša,
- podržani programski jezici,
- zaštita uređaja,
- dimenzije i težina.



Figures similar

SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, compact CPU, DC/DC/DC, onboard I/O:
14 DI 24 V DC; 10 DO 24 V DC; 2 AI 0-10 V DC, Power supply: DC 20.4-
28.8 V DC, Program/data memory 100 KB

General information	
Product type designation	CPU 1214C DC/DC/DC
Firmware version	V4.5
Engineering with	
• Programming package	STEP 7 V17 or higher
Supply voltage	
Rated value (DC)	
• 24 V DC	Yes
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Load voltage L+	
• Rated value (DC)	24 V
• permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
• permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Input current	
Current consumption (rated value)	500 mA; CPU only
Current consumption, max.	1 500 mA; CPU with all expansion modules
Inrush current, max.	12 A; at 28.8 V
I _t	0.5 A ² s
Output current	
for backplane bus (5 V DC), max.	1 600 mA; Max. 5 V DC for SM and CM
Encoder supply	
24 V encoder supply	
• 24 V	L+ minus 4 V DC min.
Power loss	
Power loss, typ.	12 W
Memory	
Work memory	
• integrated	100 kbyte
• expandable	No
Load memory	
• integrated	4 Mbyte
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	with SIMATIC memory card

Slika 72. Tehnički list PLC-a (snimka zaslona dokumenta)

Izjava o sukladnosti (atest) definira prema kojim je normama i direktivama element ili uređaj proizveden te čije tehničke zahtjeve ispunjava. Za uređaje i elemente koji se koriste na području RH potrebna je EU izjava o sukladnosti. Proizvođač je dužan prije stavljanja svojega proizvoda na tržište za taj proizvod sastaviti odgovarajuću EU izjavu o sukladnosti, koja je sastavni dio postupka ocjene sukladnosti. Tom izjavom daje se jamstvo da proizvod zadovoljava bitne zahtjeve iz cjelokupnoga zakonodavstva koje se primjenjuje na taj proizvod. Izjavu mora sastaviti i potpisati proizvođač.

Sastavljanjem i potpisivanjem EU izjave o sukladnosti proizvođač preuzima odgovornost za sukladnost proizvoda.

Doc. No. ALB-TF1U029EN-A



EU DECLARATION OF CONFORMITY

SMC Corporation
4-14-1 Soto-Kanda, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0021 Japan
declares under its sole responsibility, that the following equipment:

Booster Lube
ALB900 series

Japan

Batch codes: UR onwards

is in conformity with the relevant Union harmonisation legislation and has been demonstrated to fulfil the requirements with reference to the harmonised standard(s) as listed below.

Directive	Requirements	Harmonised standards
Pressure Equipment Directive 2014/68/EU	Essential safety requirements set out in Annex I	-

The company named above keeps on file for review the following technical documentation and operates an internal control of production system ensuring that all the manufactured products conform to the specifications indicated therein.

Technical File No. LM#-TFM0019

This declaration is based on Pressure Equipment Directive self-declaration.

Importer/Distributor in EU and EFTA:

Country	Company	Telephone	Address
Austria	SMC Pneumatik GmbH (Austria)	(43) 2262-62280	Girakstrasse 8, AT-2100 Korneuburg
Belgium	SMC Pneumatics N.V./S.A.	(32) 3-355-1464	Nijverheidsstraat 20, B-2160 Wommelgem
Bulgaria	SMC Industrial Automation Bulgaria EOOD	(359) 2 9744492	Business Park Sofia, Building 6-6th Floor, BG-1715 Sofia
Croatia	SMC Industrijska Automatika d.o.o.	(385) 1 370 72 88	Zagrebačka Avenija 104, 10 000 Zagreb
Czech Republic	SMC Industrial Automation CZ s.r.o.	(420) 541-424-611	Hudcova 78a CZ-61200 Brno
Denmark	SMC Pneumatik A/S	(45) 70 25 29 00	Egeskovvej 1, DK-8700 Horsens
Estonia	SMC Pneumatics Estonia OÜ	(372) 651-0370	Laki 12, EE-10621 Tallinn
Finland	SMC Pneumatikka Finland Oy	(358) 207 513 513	PL72, Tietämyksentie 4, SF-02031 Espoo
France	SMC Pneumatique S.A.	(33) 1-6476-1000	1 Boulevard de Strasbourg, Parc Gustave Eiffel, Bussy Saint Georges, F-77607, Marne La Vallée, Cedex 3
Germany	SMC Pneumatik GmbH	(49) 6103-402-0	Boschring 15-15, D-63323 Eggenbach
Greece	SMC Italia Hellas Branch	(30) 210-2717265	Anagenneseos 7-9 - P.C. 14342, Nea Philadelphia, Athens
Hungary	SMC Hungary Ipart Automatizalasi Kft.	(36) 23-511-390	Torodgy u. 19, HU-2045 Tordabalm
Ireland	SMC Pneumatics (Ireland) Ltd.	(353) 1-403-9000	2002 Citywest Business Campus, Naas Road, Saggart, Co. Dublin
Italy	SMC Italia S.p.A.	(39) 02-9271-1	Via Garibaldi, 62, I-20061 Canegrate, Milano
Latvia	SMC Pneumatics Latvia SIA	(371) 781-77-00	Dzelcavas str. 120a, Riga, LV-1021
Lithuania	SMC Pneumatics Lietuva UAB	(370) 5-264-81-26	Oslo g. 1, LT-04123 Vilnius
Netherlands	SMC Pneumatics B.V.	(31) 20-531-8888	De Ruyterkade 120, NL-1011 AB Amsterdam
Norway	SMC Pneumatics Norway AS	(47) 67-12-90-20	Vollveien 13c, Granbyss Newingspark, N-1366 Lysaker
Poland	SMC Industrial Automation Polska Sp. z o.o.	(48) 22 211 96 00	ul. Poloneza 89, PL-02-826 Warszawa
Portugal	SMC Sucursal Portugal, S.A.	(351) 945-184 100	Rua De Eng. Ferreira Dias 452 4100-246 Porto
Romania	SMC Romania S.R.L.	(40) 21-3205111	Str. Funzei, Nr.29, Sector 2 Bucharest
Slovakia	SMC Priemyselna Automatizacia, Spol s.r.o.	(421) 41-321321-1	Fantrianska 1223, Teplicka nad vchom, 01301
Slovenia	SMC Industrijska Avtomatika d.o.o.	(386) 7388 5412	Mimska cesta 7, SI-8210 Trebnje
Spain	SMC España, S.A.	(34) 945-184-100	Zuazobidea 14, 01015 Vitoria
Sweden	SMC Pneumatics Sweden AB	(46) 8-603-12-00	Ethagsvagen 23-31, SE-14171 Segeltorp
Switzerland	SMC Pneumatik AG	(41) 052-396-3131	Dorfstrasse 7, Postfach 117, CH-8484, Weisslingen
United Kingdom	SMC Pneumatics (U.K.) Ltd.	(44) 1908-563888	Vincent Avenue, Crownhill, Milton Keynes, Bucks MK8 0AN

Tokyo, 20 April 2016

DKP50047-F-068A June 2015

Sanae Nakamura
General Manager
Product Development Division - 3

Slika 73. Izjava o sukladnosti (snimka zaslonu dokumenta)

Upute za rukovanje su dokumenti koji na opširan način na većem broju stranica opisuju sve vezano uz rad s uređajem. Iz tog razloga upute za rukovanje sadrže sljedeće opsežne informacije:

- upoznavanje s uređajem,
- opis uređaja,
- instalacija uređaja – mehanička i električna,
- puštanje u rad uređaja,
- postavke i parametrisiranje uređaja,
- programiranje uređaja,
- instrukcije uređaja,
- komunikacija uređaja,
- alarmi, greške i poruke sustava,
- preventivno održavanje uređaja,
- tehnički podaci uređaja.

SIEMENS

SINAMICS

SINAMICS G120C SINAMICS G120C Converters

Operating Instructions

Changes in the current edition

Fundamental safety instructions	1
Introduction	2
Description	3
Installing	4
Commissioning	5
Uploading the converter settings	6
Protecting the converter settings	7
Advanced commissioning	8
Alarms, faults and system messages	9
Corrective maintenance	10
Technical data	11
Appendix	A

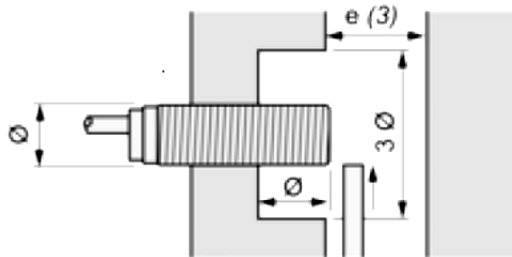
Slika 74. Upute za rukovanje (snimka zaslona dokumenta)

Ostali dokumenti mogu biti priručnici s popisom parametara, upute za programiranje, servisne upute, upute za mehaničku i električnu instalaciju i slično.

3.4. Montaža i ugradnja elemenata automatiziranog sustava

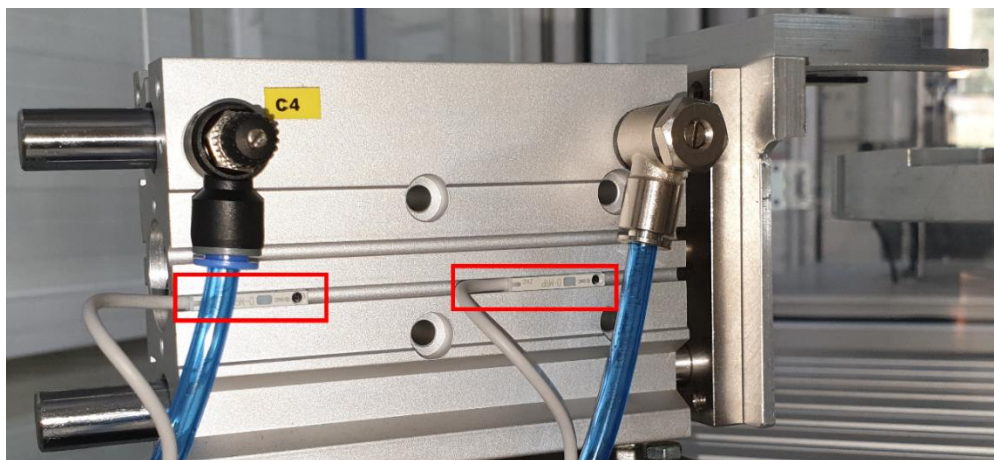
3.4.1. Montaža i ugradnja senzora i mjernih pretvornika

Za dobar i pouzdan rad senzora blizine, osim izbora pravilnih tipova senzora, presudnu ulogu ima i način njihova instaliranja, tj. montaže. U tehničkoj dokumentaciji svakog senzora definiran je pripadajući način njegove instalacije. Tih se preporuka potrebno držati da bi se osigurao pravilan rad senzora i ispravan način njegove detekcije.

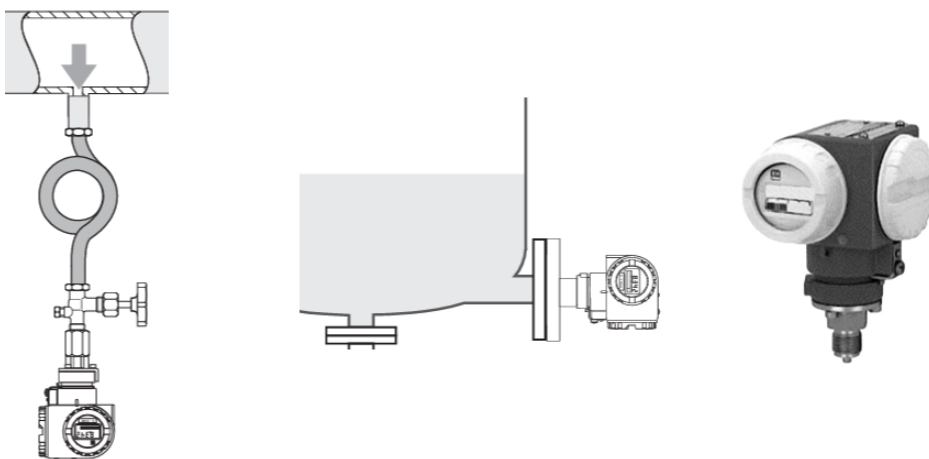


Slika 75. Montaža senzora blizine (rad autora)

Po montaži i ugradnji senzora blizine potrebno je provjeriti detektira li se predmet ili pozicija ispravno. Tako je prilikom ugradnje senzora blizine (reed senzori) na pneumatske cilindre potrebno provjeriti detektiraju li senzori kada je klip u potpunosti uvučen te u potpunosti izvučen. Monteru se može činiti da je ugradio senzor na ispravnu poziciju, no ponekad je i milimetar lijevo ili desno presudan za detekciju senzora.



Slika 76. Reed senzori za detekciju krajnjih položaja klipa cilindra (rad autora)

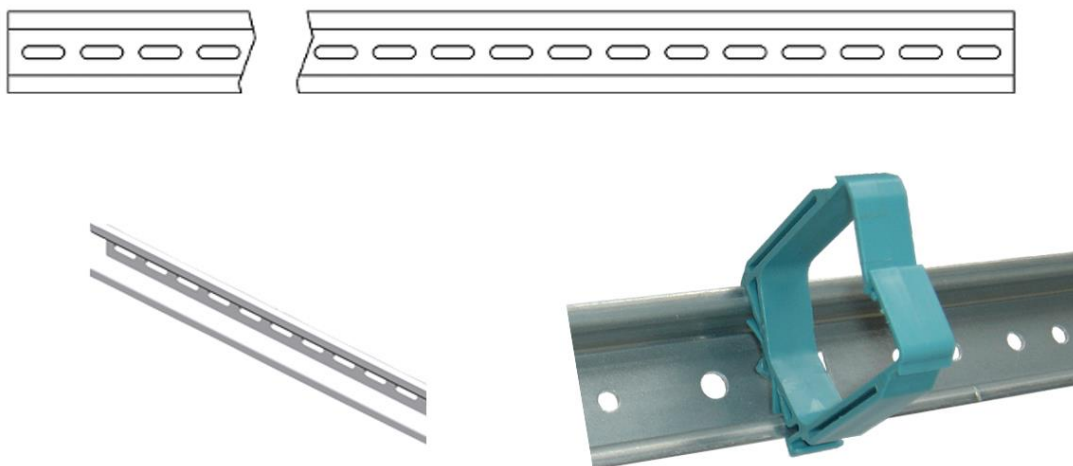


Slika 77. Montaža mjernog pretvornika (rad autora)

Mjerni pretvornici montiraju se prema tehničkim uputama proizvođača, a ovisno o namjeni, tj. vrsti mjerenja. Pravilna montaža i ugradnja definiranim priključcima omogućava mjerenje procesne veličine u punom željenom opsegu. Na slici 3.37. prikazan je primjer montaže mjernog pretvornika tlaka u slučaju kada se mjeri tlak u cijevi kojom prolazi para te primjer montaže kada se tim istim mjernim pretvornikom mjeri razina fluida u spremniku. Za ostale primjene način montaže je drugačiji. U radu s mjernim pretvornicima potrebno je poznavati fizikalne principe mjerenja i dobro proučiti tehničku dokumentaciju mjernog pretvornika kako bi montaža i ugradnja bile uspješno izvedene.

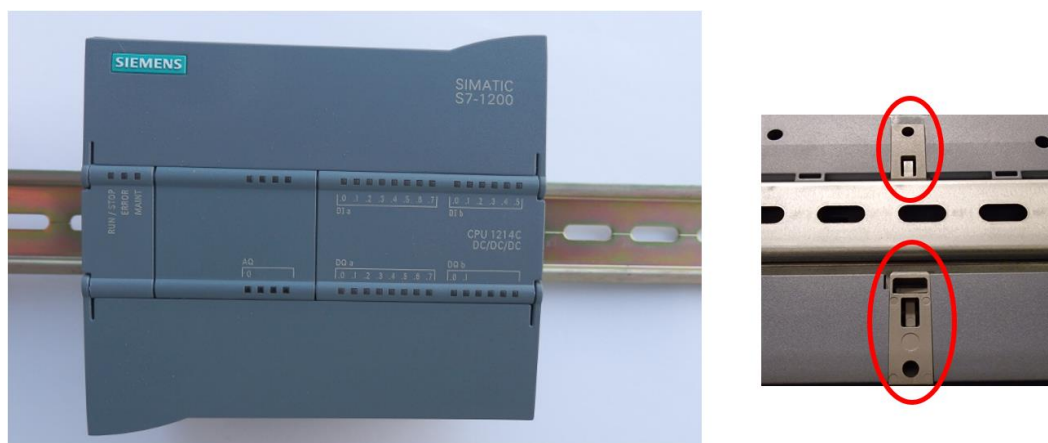
3.4.2. Montaža PLC sustava

Komponente PLC sustava, CPU i ostali moduli, montiraju se na standardnu DIN 35 šinu. Broj 35 označava širinu šine od 35 mm. To je standardna šina koja se koristi u razvodnim elektro ormarima, primjerice za montažu automatskih osigurača, zaštitnih sklopki, releja i sklopnika. Ako se na takvu šinu želi montirati neki od elemenata koji nije za nju predviđen, postoje adapteri za uspješnu montažu i takvog elementa. Montaža na DIN šinu u pravilu se vrši na način da se element prvo zakači s gornje strane šine, zatim se gurne prema šini, a na kraju se zakači s donje strane.



Slika 78. DIN 35 šina za montažu (rad autora)

Za montažu CPU-a na DIN šinu potrebno je prvo zakačiti gornji stražnji dio procesora na gornji dio DIN šine. Tada treba izvući kvačicu za DIN šinu na donjem dijelu procesora kako bi se omogućila montaža na šinu. Zatim je potrebno zakrenuti procesor prema dolje u poziciju na šinu, tj. gurnuti ga na šinu. Na kraju treba gurnuti donju kvačicu da se procesor zakači na šinu s donje strane. Time je postupak montaže završen. Demontaža CPU-a ide obrnuto od navedenog.



Slika 79. Montaža CPU-a (rad autora)

Signalni moduli montiraju se nakon montaže CPU-a. Oni se mogu montirati samo s desne strane procesora.

Sekvenca za montažu signalnog modula je sljedeća:

- odstraniti poklopac konektora s desne strane procesora (staviti odvijač u utor iznad poklopca, nježno podići poklopac pri vrhu i odstraniti ga; poklopac se može zadržati za ponovno korištenje),
- zakačiti signalni modul na gornjoj strani DIN šine,
- izvući kvačicu za DIN šinu na donjem dijelu signalnog modula kako bi se omogućila montaža na šinu,
- zakrenuti signalni modul prema dolje u poziciju na šinu pored procesora i gurnuti kvačicu da se signalni modul zakači na šinu,
- spojiti konektor sabirnice (postaviti odvijač do jezička na gornjem dijelu signalnog modula te povući jezičak do kraja u lijevu stranu kako bi konektor sabirnice dopro u procesor; time se postiže mehanička i električna veza signalnog modula).

Istu proceduru potrebno je slijediti za montažu signalnog modula na signalni modul. Demontaža ide obrnuto od navedenog.



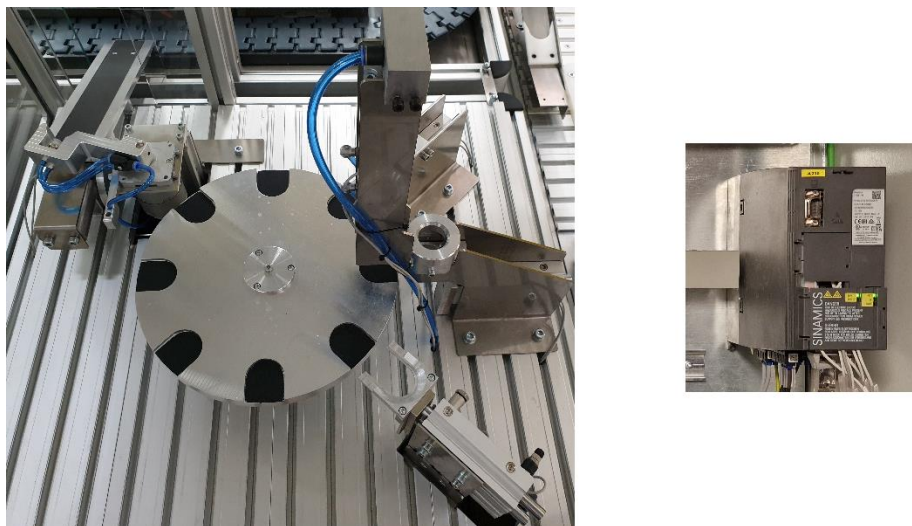
Slika 80. Montaža modula za proširenje (rad autora)

Nakon završene montaže svih elemenata dobije se gotova hardverska konfiguracija PLC-a. Ona sadrži procesor kao središnji i glavni element te signalne module s njegove desne strane. Procesor je sa svim modulima povezan preko sabirnice kojom

komunicira s njima u cilju razmjene podataka i dijagnostike. Takvu istu konfiguraciju hardvera PLC-a (s istim elementima) potrebno je napraviti u softverskom razvojnom okruženju.

3.4.3. Montaža izvršnih elemenata

Frekvencijski pretvarači u većini slučajeva montiraju se na montažnu ploču razvodnog ormara (slika 3.41. desno), a rjeđe na DIN 35 šinu. Prilikom montaže i ugradnje pretvarača potrebno se pridržavati uputa proizvođača o orijentaciji i udaljenosti od ostalih uređaja kako bi se osigurao ispravan način ventilacije uređaja. U protivnom bi moglo doći do pretjeranog zagrijavanja i pregaranja uređaja.



Slika 81. Montaža izvršnih elemenata (rad autora)

Ostale vrste izvršnih elemenata montiraju se i ugrađuju ili u razvodni ormar ili na odgovarajuću poziciju na radnoj stanici, a prema funkciji koju vrše na toj stanici (slika 3.41. lijevo)

Programski alati potrebni kod montaže i ugradnje elemenata sustava automatizacije su sljedeći:

- alat za pregled PDF dokumenata – npr. *Acrobat Reader*, *Foxit PDF Reader*.

Pitanja za ponavljanje:

1. Navedi i opiši opasnosti u radu s opremom u sustavima automatizacije.
2. Opiši radnje koje treba poduzeti za siguran rad s opremom.
3. Navedi elemente automatiziranog sustava.
4. Objasni senzore blizine s fizičkim kontaktom.
5. Navedi i objasni senzore blizine bez fizičkog kontakta.
6. Navedi i objasni mjerne pretvornike.
7. Opiši procesno računalo.
8. Objasni procesorsku jedinicu.
9. Navedi i opiši module proširenja PLC-a.
10. Navedi izvršne elemente.
11. Navedi i objasni pneumatske razvodne ventile.
12. Navedi i opiši pneumatske cilindre.
13. Opiši frekvencijski pretvarač.
14. Objasni vezu frekvencijskog pretvarača i motora.

4. Parametriranje elemenata automatiziranog sustava

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- objasniti postupak parametriranja mjerne opreme
- navesti osnove rada procesnog računala
- opisati postupak programiranja procesnog računala
- provesti postupak izrade PLC projekta
- provesti postupak parametriranja frekvencijskog pretvarača
- prikazati spajanje elemenata automatiziranog sustava.

Automatizirani sustavi sastoje se od više različitih vrsta elemenata, od kojih svaki obavlja odgovarajuću funkciju unutar sustava. Kako bi se funkcije elemenata odvijale na odgovarajući način, potrebno je parametrirati elemente, tj. podesiti njihovo ponašanje prema definiranim zahtjevima. Mjerna oprema, procesna računala i izvršni elementi proizvode se za univerzalnu primjenu u različitim industrijskim sektorima, a parametrizacijom se postiže željeno ponašanje automatiziranog sustava. Ponovnom parametrizacijom moguće je prilagođavati ponašanje automatiziranog sustava prema novim zahtjevima.

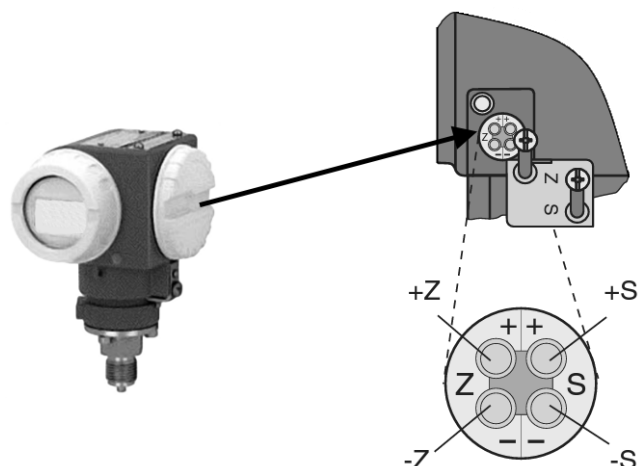
4.1. Mjerna oprema

Mjerna oprema parametrira se lokalno na samoj opremi ili udaljeno računalom.

Lokalno podešavanje mjernog područja mjernog pretvornika provodi se tipkama +Z, -Z, +S i -S, a koje se nalaze na mjernom pretvorniku. Mjerno područje pretvornika određeno je širinom mjernog područja (SPAN – S tipke) i nultom točkom (minimalnim iznosom) mjerenja (ZERO – Z tipke).

Mjerno područje raspona je od vrijednosti nulte točke do vrijednosti koja je od nulte točke veća za širinu mjernog područja, i kao takvo se podešava na mjernom pretvorniku. Pritiskom na tipku +Z povećava se, a pritiskom na tipku -Z smanjuje se iznos vrijednosti nulte točke mjerenja. Pritiskom na tipku +S povećava se, a pritiskom na tipku -S smanjuje se iznos vrijednosti širine mjernog područja. Promjene vrijednosti pri podešavanju vidljive su na ekranu mjernog pretvornika. U tehničkoj dokumentaciji svakog mjernog pretvornika opisan je postupak podešavanja mjernog područja pomoću lokalnih tipaka, te ulaz u način za podešavanje. Tvornički je zadano mjerni pretvornik u načinu mjerenja (normalni način rada), dok se u način podešavanja obično ulazi pritiskom na jednu od tipaka +Z, -Z, +S i -S. Nakon određenog vremena neaktivnosti tijekom podešavanja mjerni pretvornik se automatski vraća u način mjerenja (obično nakon nekoliko sekundi).

PRIMJER. Mjerni pretvornik tlaka proizveden je za mjerno područje od 0 do 16 bar. U automatiziranom sustavu koristiti će se za mjerenje tlaka od 1 do 15 bar. Mjerni pretvornik podešava se za nultu točku iznosa 1 bar i širinu mjernog područja od 14 bar. Time se postiže mjerno područje od 1 do 15 bar. Nulta točka podešava se tipkama +Z i -Z, a širina mjernog područja tipkama +S i -S.



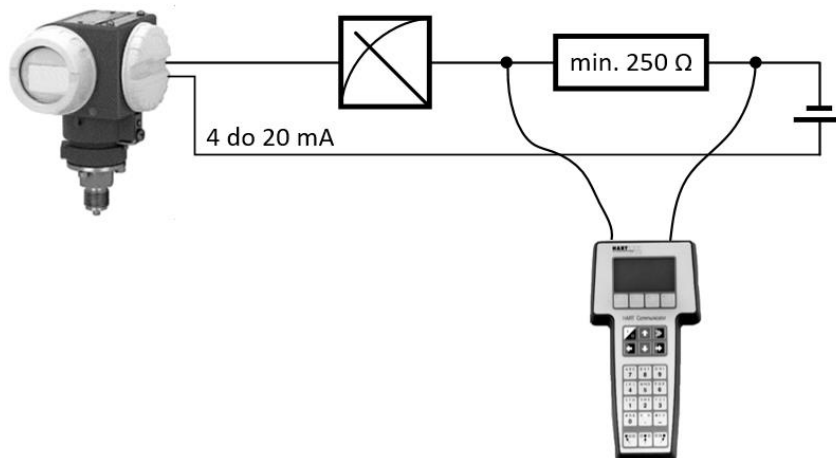
Slika 82. Podešavanje mjernog pretvornika (rad autora)

Lokalno je moguće podešavanje donje i gornje granice mjernog opsega mjernih pretvornika bez potrebe za namještanjem vrijednosti tipkama Z i S, već se to može obaviti prema referentnim veličinama koje se mjere. Postupak se sastoji u dovođenju referentne vrijednosti mjerene veličine na mjerni pretvornik, koja će biti minimalna u sustavu, odnosno biti će minimalna vrijednost (donja granica) mjernog opsega pretvornika. Istovremenim pritiskom na +Z i -Z tipke postavlja se minimalna vrijednost mjernog pretvornika na trenutnu referentnu vrijednost. Zatim se na mjerni pretvornik dovede referentna vrijednost mjerene veličine koja će biti maksimalna u sustavu, tj. koja će biti maksimalna vrijednost (gornja granica) mjerenja pretvornika. Istovremenim pritiskom na +S i -S tipke postavlja se maksimalna vrijednost mjernog pretvornika na trenutnu referentnu vrijednost.

Pametni mjerni pretvornici mogu se udaljeno podešavati računalom nekim oblikom komunikacije za podešavanje i razmjenu podataka. Podešavanje računalom pruža veću fleksibilnost jer omogućava definiranje većeg broja parametara koji utječu na rad mjernog pretvornika, pa se stoga češće koristi. Glavni oblik komunikacije koji se koristi kod mjernih pretvornika je HART protokol. HART protokol je dvosmjerni protokol tipa zahtjev-odgovor, što znači da mjerni pretvornik odgovara na zahtjev koji mu se šalje kao upit. Osnovna funkcija HART protokola je strujna petlja koja koristi standardni opseg 4 - 20 mA te se koristi predajnik, prijemnik i napajanje. HART komunikacija omogućava podešavanje, kalibraciju i testiranje mjernog pretvornika. HART strujne petlje su

pouzdana, robusna i otporna na smetnje. Prednost korištenja HART protokola je što se za komunikaciju koristi postojeća strujna petlja 4 - 20 mA kojom se mjerni pretvornik spaja na analogni ulaz PLC-a. HART protokol koristi iste vodiče koji se koriste za signal 4 - 20 mA od mjernog pretvornika prema PLC-u. Na analogni strujni signal 4 - 20 mA superponira se digitalni signal brzine 1200 bita/sekundi čime se ne prekida i remeti prijenos originalne informacije. Time HART komunikacija omogućava dva istovremena komunikacijska kanala: analogni 4 - 20 mA i digitalni. Korištenjem ove tehnike HART je postao globalni standard za slanje i primanje digitalne informacije analognim vodičima između pametnih mjernih pretvornika i računala. Prednost je HART komunikacije u jednostavnosti, povoljnosti i pouzdanosti, dok je mana što jedna petlja omogućava komunikaciju samo s jednim mjernim pretvornikom.

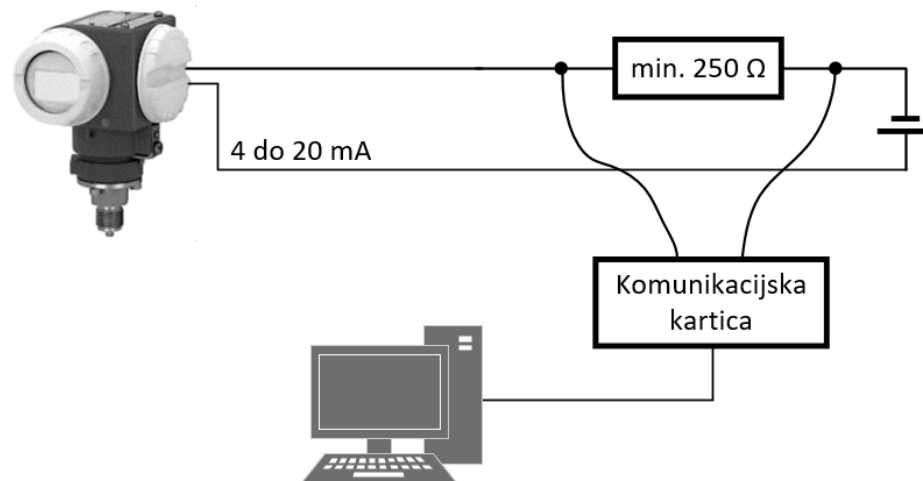
Uređaj za HART komunikaciju naziva se HART komunikator, a njegovo spajanje s mjernim pretvornikom prikazano je na slici 4.2. Za ispravnu komunikaciju potrebno je postaviti otpornik minimalnog iznosa od 250 Ω između napajanja mjernog pretvornika i točaka spajanja komunikatora. **HART komunikator je specijalizirano ručno računalo s ugrađenim sučeljem i aplikacijskim softverom za potrebe HART komunikacije i podešavanja uređaja.**



Slika 83. Podešavanje HART komunikatorom (rad autora)

Mjerni pretvornici se mogu podešavati ne samo pomoću specijaliziranog ručnog računala, već i pomoću prijenosnoga ili stolnog računala. U tom slučaju potrebno je na računalo instalirati aplikacijski softver za HART komunikaciju i podešavanje uređaja te spojiti komunikacijsku karticu sa sučeljem za HART protokol. Način spajanja računala

i mjernog pretvornika prikazan je na slici 4.3. Za ispravnu komunikaciju potrebno je postaviti otpornik minimalnog iznosa od $250\ \Omega$ između točaka spajanja komunikacijske kartice.



Slika 84. Podešavanje računalom (rad autora)

HART komunikatorom ili računalom omogućava se podešavanje različitih parametara mjernog pretvornika, a važniji su:

- mjerna jedinica,
- način prikaza mjerene veličine – prikaz u % ili u definiranoj mjernoj jedinici,
- postavljanje gornje i donje granice mjernog područja – postavljaju se gornja i donja granica mjernog područja, a čime se određuje i samo mjerno područje,
- postavljanje gornje i donje granice mjernog područja pomoću referentne veličine – postavljaju se gornja i donja granica mjernog područja, a uz djelovanje željenog iznosa mjerne veličine (na ulazu) za gornju i donju granicu,
- podešavanje odstupanja – ako pretvornik ne pokazuje nulu za vrijednost nultog signala mjerenja, na ovaj se način može podesiti pokazivanje nule (time se ne utječe na izlaz pretvornika),
- linearizacija – omogućava ručni unos točaka linearizacijske krivulje koja pokazuje ovisnost izlaza o ulazu (u slučaju da nije pravac),

- korekcija nule – ako pretvornik ne pokazuje nulu za vrijednost nultog signala mjerenja, na ovaj se način može podesiti pomicanje krivulje senzora tako da pretvornik pokazuje nulu, a da se i na izlazu dobije signal nule,
- alarmi – postavljanje vrijednosti alarma mjerene veličine,
- postavljanje vremena integracije – definira se brzina reakcije na promjenu mjerene veličine.

4.2. Programiranje procesnog računala

Procesnom računalu potrebno je podesiti parametre za rad te ga programirati kako bi obavljalo željene zadaće. Procesno računalo je u industrijskim sustavima automatizacije programirajući logički upravljač (PLC). PLC ima specifičan način podešavanja parametara i izvršavanja programa te programske blokove i jezike kojima se razlikuje od standardnog računala.

4.2.1. Izvršavanje programa PLC-a



Slika 85. Ciklus PLC-a (rad autora)

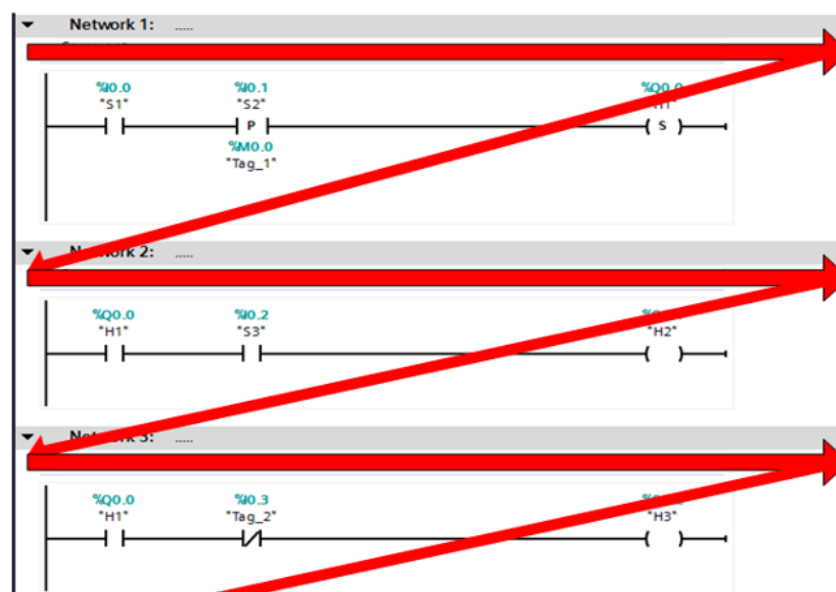
PLC izvršava svoj program u ciklusima. Cikličko izvršavanje programa (ciklus) odvija se u beskonačnoj petlji. Nakon završetka jednog ciklusa programa automatski započinje izvršavanje sljedećeg ciklusa.

U svakom ciklusu programa centralna procesorska jedinica (engl. *Central Processing Unit – CPU*) PLC-a izvodi 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).

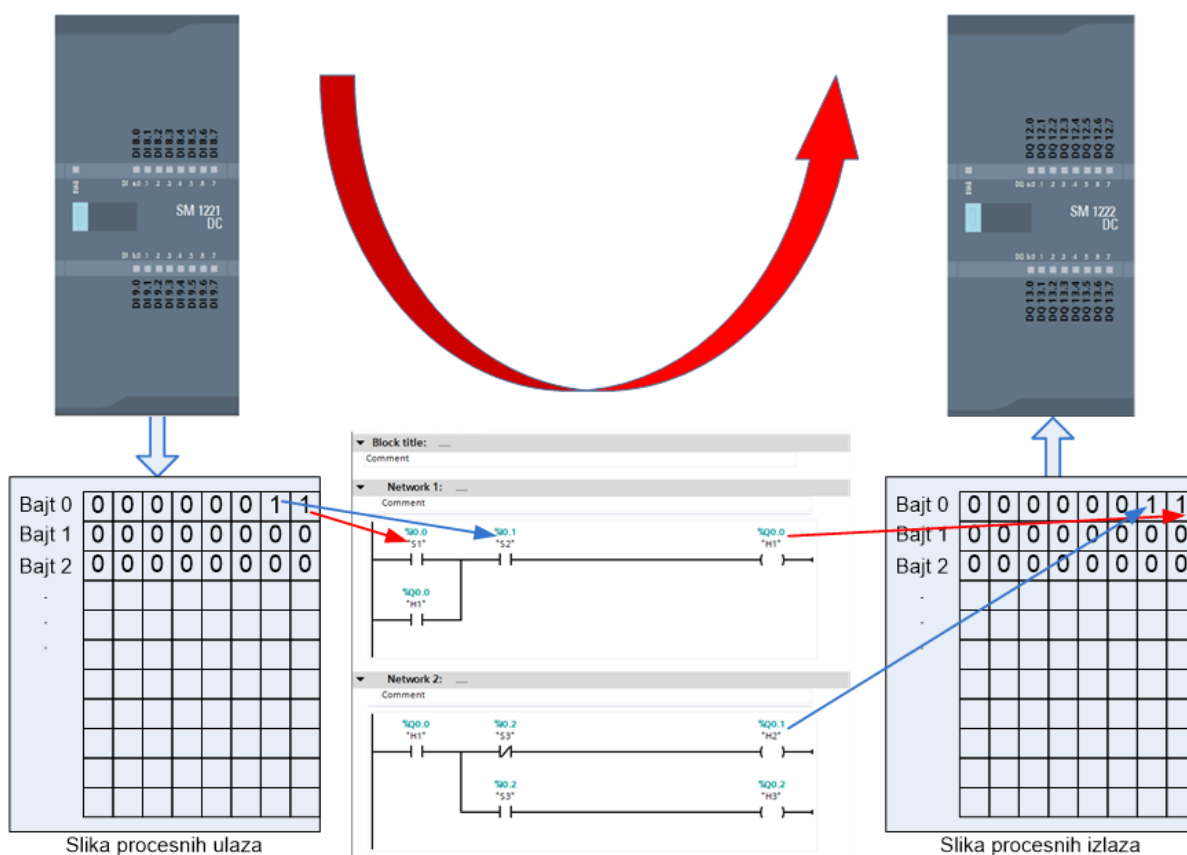
CPU sekvencijalno izvodi naredbe korisničkog programa tj. naredbu po naredbu (jednu iza druge. To radi na način da prolazi po jednoj naredbi s lijeva na desno a kada dođe do kraja te naredbe prelazi na drugu i ponavlja prolaz s lijeva na desno, i to tako od prve do zadnje naredbe a potom ponovno iz početka (ciklički).

U najčešće korištenom programskom jeziku LAD-u (kontaktnom planu) naredba se zove 'mreža' (engl. *Network*) i svaka je označena svojim brojem, počevši od jedan (npr. Network 1).



Slika 86. Izvršavanje programa (rad autora)

PLC tijekom izvršavanja programa ne radi izravno s digitalnim ulazima/izlazima, već sa stanjima u memoriji slike procesnih ulaza i slike procesnih izlaza. Drugim riječima, kao što je prikazano na slici 4.6., procesor PLC-a na početku ciklusa, prije nego počne izvoditi prvu naredbu, pročita stanja svih fizičkih digitalnih ulaza i spremi ih u memoriju predviđenu za to (slika procesnih ulaza). Tijekom izvršavanja programa tamo gdje se nalaze naredbe s ulazima, procesor uzima stanja ulaza iz memorije, a tamo gdje se nalaze naredbe s izlazima, sprema stanja izlaza u memoriju predviđenu za to (slika procesnih izlaza). Po završetku izvođenja zadnje naredbe (kraj ciklusa) stanja izlaza se iz memorije šalju van na fizičke digitalne izlaze.



Slika 87. Rad s ulazima/izlazima (rad autora)

4.2.2. Programski blokovi i jezici

Program PLC-a sastoji se od više vrsta programskih blokova čiji su programski kodovi realizirani u jednom od programskih jezika.

Programski blokovi PLC-a dijele se na sljedeće blokove:

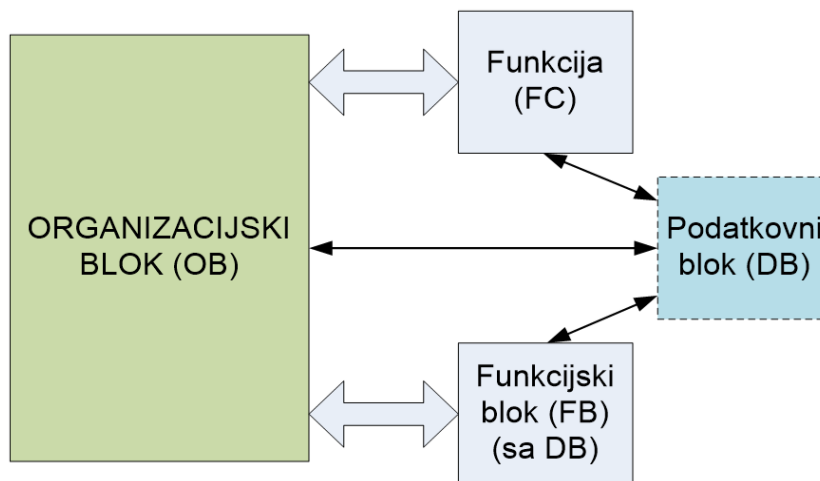
- organizacijski blok (OB),
- funkcija (FC),
- funkcijski blok (FB).

Organizacijski blok (OB) čini sučelje između operativnog sustava PLC-a i korisničkog programa. 'Glavni' (engl. *Main*) organizacijski blok OB1 operativni sustav poziva ciklički. PLC program obično sadrži barem OB1 blok.

Funkcija (FC) sadrži parcijalnu funkcionalnost programa (potprogram) pa su funkcije pogodne za proračune, ponavljajuće funkcionalnosti i slično.

Funkcijski blok (FB) nudi iste mogućnosti kao i funkcija, ali ima svoje vlastito memorijsko područje u obliku instanca podatkovnih blokova. Zbog toga se funkcijski blokovi koriste za programiranje često ponavljajućih i kompleksnih funkcionalnosti. Funkcije i funkcijski blokovi ne pozivaju se od strane operativnog sustava PLC-a pa ih je potrebno pozvati iz organizacijskog bloka, ili iz funkcije, ili funkcijskog bloka, a koji su pozvani iz organizacijskog bloka.

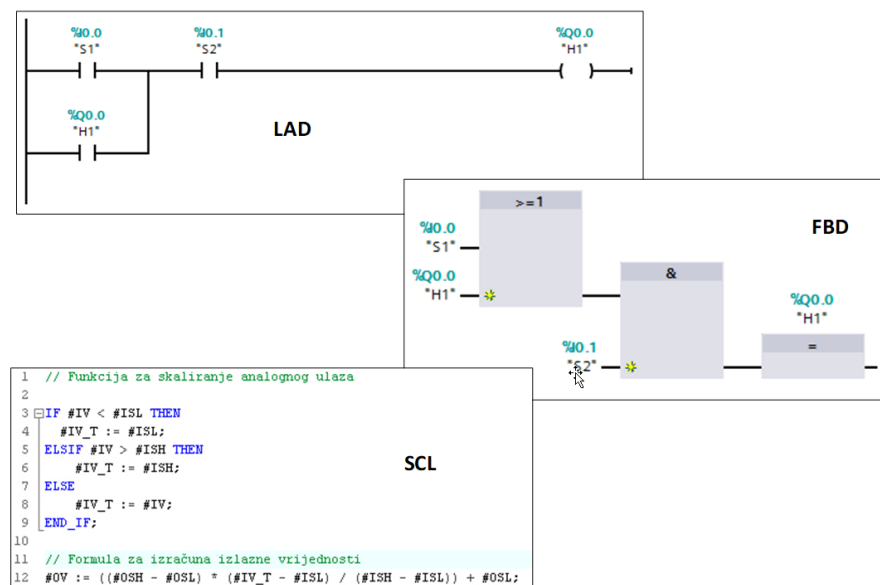
Osim programskih blokova PLC sadrži i **podatkovne blokove (DB)**, koji se koriste za spremanje podataka potrebnih za korisnički program.



Slika 88. Blokovi PLC programa (rad autora)

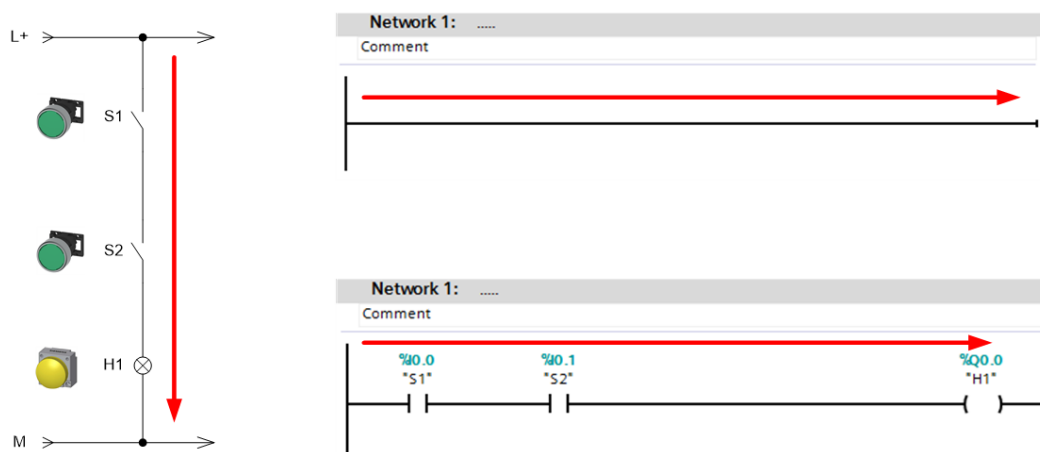
PLC se može programirati različitim programskim jezicima. Najčešće korišten programski jezik je **LAD** (engl. *Ladder Diagram*), tj. kontakti plan. Drugi jezik je **FBD** (engl. *Functional Block Diagram*), tj. funkcijski blok dijagram. Treći jezik je **SCL** (engl.

Structured Control Language), tj. strukturirani upravljački jezik. To je jezik višeg nivoa od dva prethodno spomenuta, napravljen na bazi *Pascal*-a, a razlikuje se od njih jer je tekstualni jezik, dok su oni grafički jezici. Osim tih postoje i drugi programski jezici, ovisno o vrsti PLC-a.



Slika 89. Programski jezici PLC-a (rad autora)

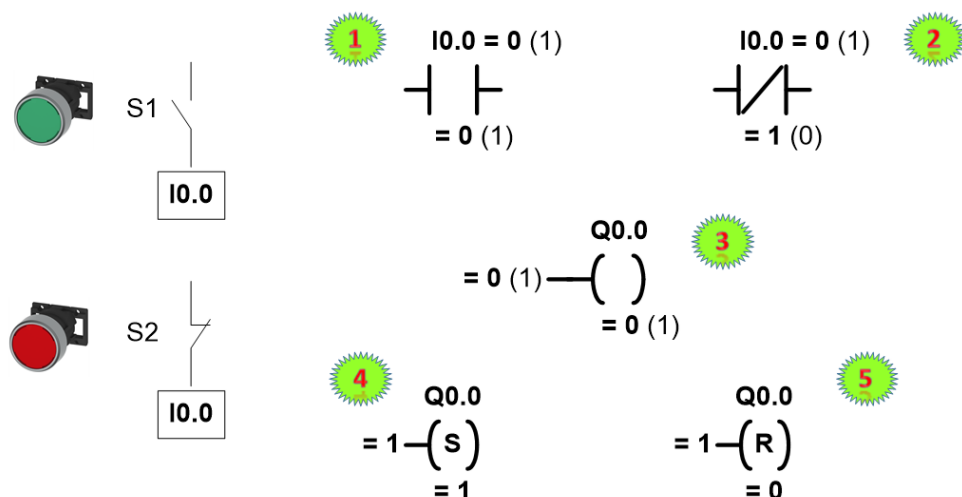
Kako je LAD jezik nastao na temelju relejne logike, zadržana je analogija s njome. Jedna linija naredbe u PLC-u označena je kao mreža s rednim brojem. Logička 1 u PLC programu je isto što i prisustvo napona u relejnoj tehnici. U relejnoj tehnici se u pojedinoj liniji zatvara strujni krug od L+ prema M (označeno crvenom strelicom na slici 4.9. lijevo). Analogno tome se u programu PLC-a u jednoj mreži (liniji) treba prenijeti logička 1 s lijeve (ulazne) na desnu (izlaznu) stranu, tj. s ulaznih elemenata na izlazne (označeno crvenim strelicama na slici 4.9. desno).



Slika 90. Mreža PLC programa (rad autora)

Osnovne naredbe koje se uvelike koriste prilikom pisanja PLC programa, naredbe su za rad s bitovima. To su naredbe koje se često koriste za rad s digitalnim ulazima/izlazima PLC-a. Signali digitalnih ulaza/izlaza PLC-a u biti su binarni signali jer daju signal da je napon prisutan na ulazu ili signal da nema napona na ulazu. Stanje kada ima napona na ulazu predstavljeno je logičkom jedinicom (1) u CPU-u, a kada nema napona logičkom nulom (0).

Fizički binarni elementi (tipkala, sklopke, senzori, itd.) daju na ulazu PLC-a ta dva stanja. Realizacija u programu ovisi o vrsti elementa na ulazu PLC-a i stanju s kojim se tim ulazom nešto želi učiniti. Na primjer, ako je na ulazu I0.0 tipkalo s radnim kontaktom (S1) i želi se nešto učiniti pritiskom na to tipkalo (logička 1) koristit će se naredba na slici 4.10. označena brojem 1. Ta ista naredba može se koristiti ako je na ulazu tipkalo s mirnim kontaktom (S2) i želi se nešto učiniti kad tipkalo nije pritisnuto (također logička 1 na ulazu jer je kontakt zatvoren).



Slika 91. Osnovne bit naredbe (rad autora)

Osnovne bit naredbe su (brojevi kao i na slici 4.10.):

1. normalno otvorena – naredba je u 1 kada je pridruženi joj bit u 1, i propušta logičku 1 s lijeva na desno, a u 0 je kada je pridruženi joj bit u 0, i tada ne propušta logičku 1 s lijeva na desno; drugim riječima ta naredba preslikava stanje pridruženog bita na svoje stanje,
2. normalno zatvorena – naredba je u 1 kada je pridruženi joj bit u 0, i propušta logičku 1 s lijeva na desno, a u 0 je kada je pridruženi joj bit u 1, i tada ne

propušta logičku 1 s lijeva na desno; drugim riječima ta naredba preslikava invertirano stanje pridruženog bita na svoje stanje,

3. prijenos – pridruženom bitu naredbe dodjeljuje se trenutno stanje logičke operacije naredbi ispred ove naredbe izlaza (ako je logička operacija = 1, tada je preneseni bit = 1, i obrnuto) ,
4. postavljanje (S – engl. *Set*) – pridruženom bitu se dodjeljuje stanje 1 ako je logička operacija naredbi ispred jednaka 1, a stanje ostaje nepromijenjeno ako je logička operacija naredbi ispred jednaka 0; drugim riječima, dovoljno je da kratko bude rezultat logičke operacije ispred ove naredbe jednak 1, i pridruženi bit naredbe se postavlja na 1 tako dugo dok se ne obriše (R),
5. brisanje (R – engl. *Reset*) – naredba koja dolazi u kombinaciji s prethodnom naredbom; pridruženom bitu se dodjeljuje stanje 0 ako je logička operacija naredbi ispred jednaka 1, a stanje ostaje nepromijenjeno ako je logička operacija naredbi ispred jednaka 0; drugim riječima, dovoljno je da kratko bude rezultat logičke operacije ispred ove naredbe jednak 1, i pridruženi bit naredbe se postavlja na 0 tako dugo dok se opet ne postavi (S).

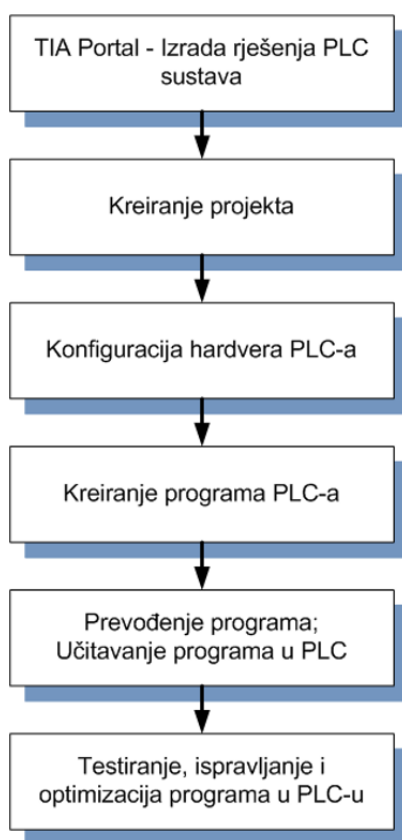
4.2.3. Izrada softverskog projekta PLC-a

Program PLC-a izrađuje programer upoznat s elektro dokumentacijom PLC sustava i željenim funkcioniranjem, tj. radom sustava. Elektro dokumentacija postojećih relejnih upravljačkih sustava koji se moderniziraju treba se preraditi u elektro dokumentaciju PLC sustava. Nova postrojenja i strojevi koji su automatizirani imaju upravo takvu elektro dokumentaciju. Programer mora poznavati elektro dokumentaciju kako bi znao koji se element sustava nalazi na kojem mjestu i kako bi mogao povezati ulaze i izlaze sustava programskom logikom.

Programer PLC sustava u svom radu koristi standardno ili industrijsko računalo na kojem u softverskom razvojnom okruženju izrađuje konfiguraciju i program PLC-a. Nakon što je konfiguracija i programiranje gotovo, konfiguriranom vezom prebacuje konfiguraciju i program u PLC. Zatim pušta i pokreće u rad PLC koji upravlja radom sustava.

Postupak izrade PLC projekta u softverskom razvojnom okruženju TIA Portal sastoji se od koraka prikazanih na slici 4.11.:

- kreiranje projekta – stvara se novi projekt za određeni zadatak,
- konfiguracija hardvera PLC-a – kreira se konfiguracija sklopovlja (CPU, komunikacijski moduli, signalni moduli, signalne kartice, itd.) zadatka,
- kreiranje programa PLC-a – izrada programa zadatka prema funkcionalnom opisu sustava i podlogama za programiranje,
- prevođenje programa – prevođenje (kompiliranje) programskog koda u cilju provjere ispravnosti i otkrivanja grešaka sintakse u programskom kodu,
- učitavanje programa – prebacivanje konfiguracije sklopovlja i programskog koda u PLC,
- testiranje, ispravljanje i optimizacija programa – provjera ispravnosti rada PLC programa na realnom sustavu ili simulatoru, ispravljanje logičkih grešaka u programu i optimiranje rada programa kako bi sustav radio ispravno, efikasno i pouzdano.



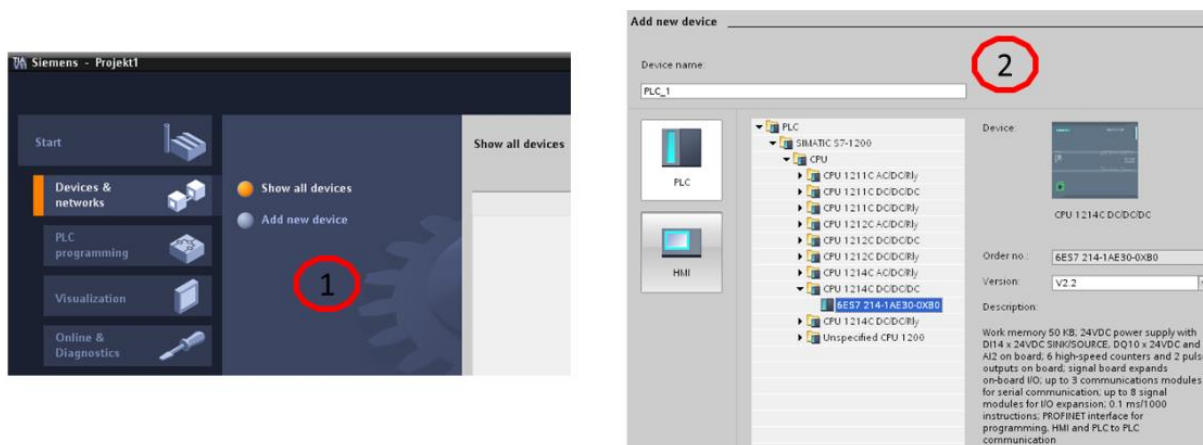
Slika 92. Koraci u izradi projekta (rad autora)

Konfiguraciju hardvera PLC-a potrebno je napraviti u softverskom razvojnom okruženju s potpuno istim elementima kao što je fizički montirana konfiguracija. U softverskom okruženju se, osim CPU-a i modula, definiraju i njihove postavke za rad. Nakon što je konfiguracija napravljena, potrebno ju je učitati u CPU. Da bi to bilo moguće potrebno je uspostaviti vezu između uređaja za programiranje (računala) i CPU-a. CPU i računalo povezuju se oklopljenim ili neoklopljenim standardnim ili industrijskim mrežnim kabelom koji ima RJ45 konektore s obje strane. U industriji se većinom koristi oklopljeni kabel zelene boje s robusnim RJ45 konektorima. Kako bi se veza mogla uspostaviti, PLC i računalo moraju se nalaziti u istoj podmreži, tj. maska podmreže im je jednaka a da su im IP adrese različite. Učitavanjem hardverske konfiguracije u CPU daje se do znanja CPU-u koji moduli su na njega spojeni i s kojim postavkama i jedan i drugi trebaju raditi.

Postupak kreiranja hardverske konfiguracije PLC-a vrlo je bitna radnja koja se mora uvijek nanovo raditi kod svakoga novog projekta. Obično se radi prije kreiranja samog softvera PLC-a.

Prvi korak je pokretanje aplikacije *TIA Portal*. Nakon što se aplikacija pokrene pojavi se dijaloški prozor u kojemu se upisuje ime novog projekta i putanja na kojoj će on biti spremljen. Kad se upišu ti podaci, klikne se na gumb 'kreiraj' (engl. *Create*) i projekt se kreira.

Nakon kreiranja novog projekta može se pristupiti izradi hardverske konfiguracije. Ona započinje klikom na gumb za dodavanje novog uređaja (engl. *Add new device*) u aktivnom dijaloškom prozoru, a zatim odabirom CPU-a PLC-a koji se želi unijeti u konfiguraciju te klikom na gumb za dodavanje (engl. *Add*). Nakon toga otvara se novi dijaloški prozor za hardversku konfiguraciju s umetnutim CPU-om i praznim poljima za ostale module koji se mogu dalje umetati.

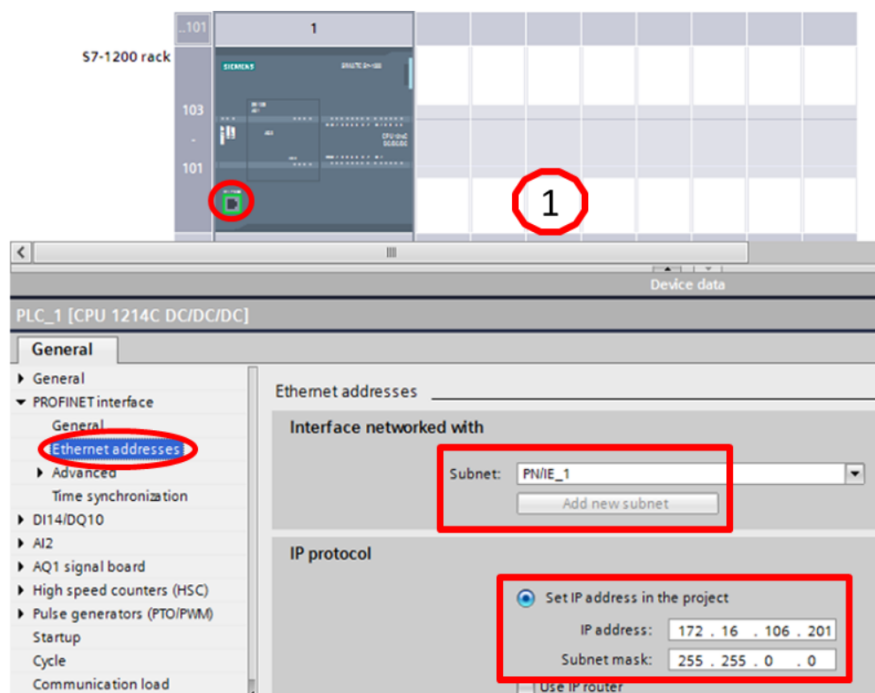


Slika 93. Dodavanje PLC uređaja (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Sljedeći korak je podešavanje svojstava CPU-a kojima se može mijenjati njegovo ponašanje i rad. Klikom na pregled uređaja (engl. *Device overview*) može se vidjeti trenutne postavke CPU-a, a klikom na svojstva (engl. *Properties*) mogu se promijeniti svojstva CPU-a kako bi se postiglo željeno ponašanje. Neke od postavki koje se mogu mijenjati su:

- postavke *Profinet* sučelja,
- postavke digitalnih i analognih ulaza/izlaza,
- postavke brzih brojača,
- postavke impulsnih izlaza,
- postavke pokretanja i ciklusa.

Jedna od najvažnijih postavki koja se treba podesiti je Ethernet adresa. Klikom na nju otvaraju se polja u koja je potrebno upisati IP adresu i masku podmreže te kliknuti na dodavanje nove podmreže (engl. *Add new subnet*) kako bi se stvorila nova veza prema PLC-u. Ostale postavke mogu se mijenjati po potrebi, ali to nije nužno. Nema li posebnih zahtjeva, sve ostale postavke CPU-a mogu ostati tvornički definirane.



Slika 94. Mrežne postavke (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

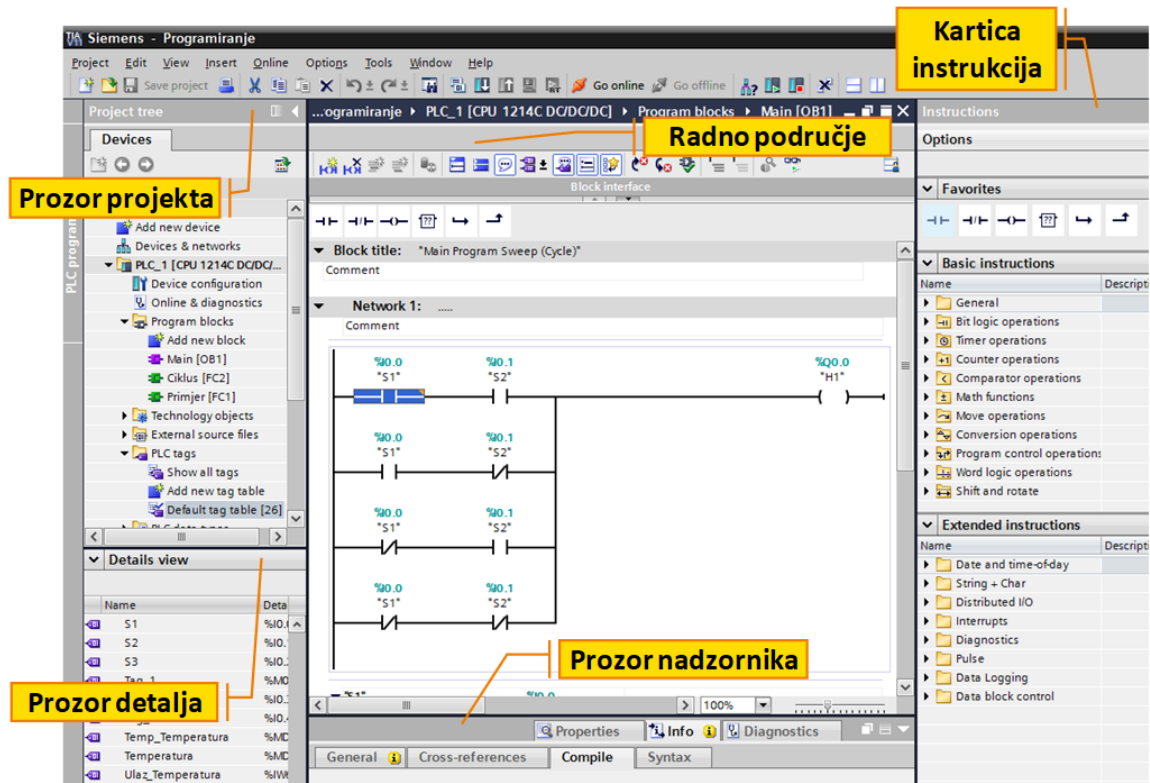
Sljedeći korak je umetanje, po potrebi, signalnih modula proširenja u hardversku konfiguraciju. Signalni moduli dodaju se iz kataloga hardvera, mapa digitalnih i analognih ulaza i izlaza (DI, DQ, DI/DQ, AI, AQ, AI/AQ) u za to predviđena prazna mjesta desno od CPU-a. Kad su moduli jednom dodani, mogu im se mijenjati svojstva kako bi se postiglo željeno ponašanje.

Gotova hardverska konfiguracija čini takozvani PLC okvir koji se učitava iz softvera *TIA Portal* u CPU kako bi realni hardver poprimio željeno ponašanje podešeno u softveru.



Slika 95. Hardverska konfiguracija (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

- prozor projekta,
- radno područje,
- prozor detalja,
- prozor nadzornika,
- kartice zadataka.



Slika 96. Softversko razvojno okruženje (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Prozor stabla projekta (engl. *Project tree*) sadrži sve komponente automatizacijskog rješenja. U njemu mogu biti dodane nove komponente ili se one postojeće uređivati i mijenjati.

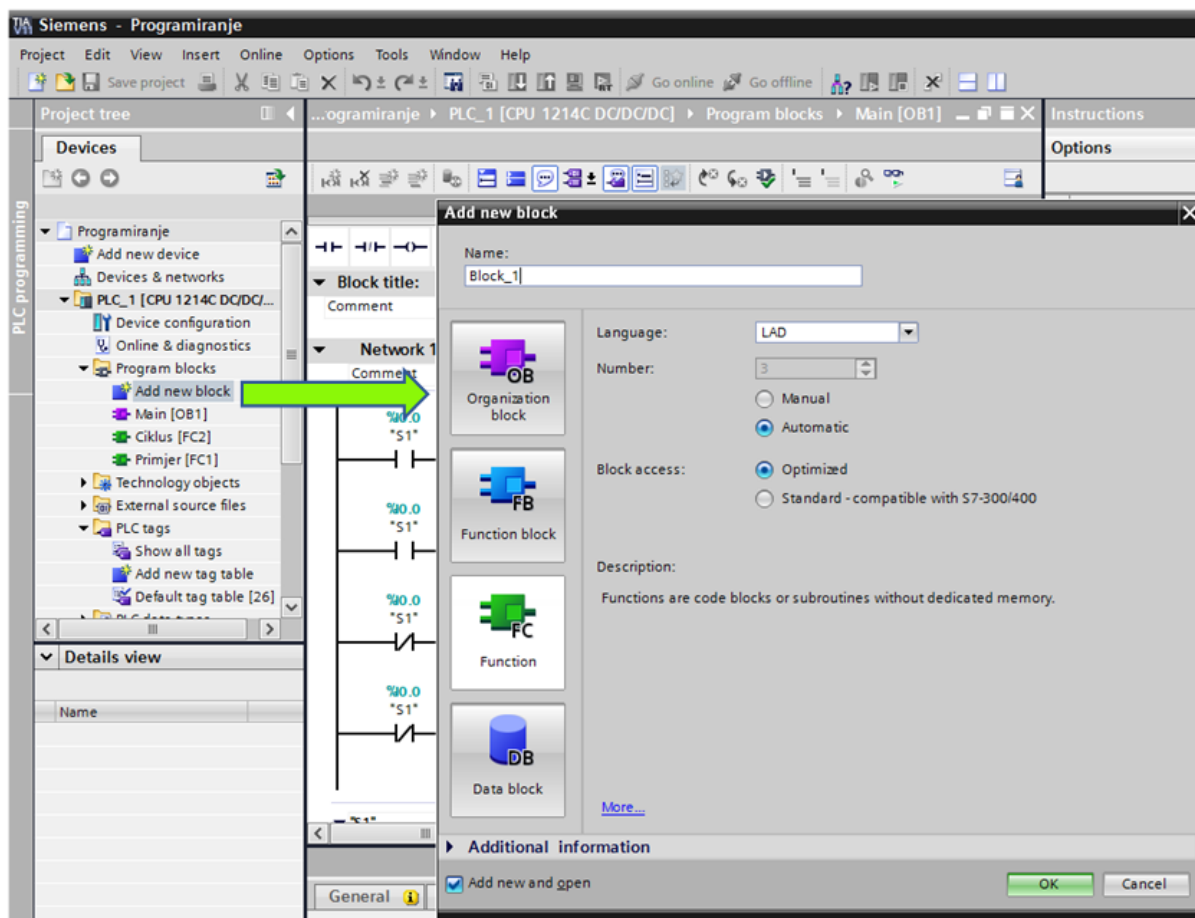
U radnom području prikazuju se objekti koji se mogu otvoriti u svrhu uređivanja. Ti objekti mogu biti hardverske komponente, programski blokovi, tablica varijabli, ekrani HMI uređaja, i drugi.

U prozoru detalja prikazuje se određeni sadržaj odabranog objekta. Mogući sadržaj su, na primjer, tekstualne liste ili varijable.

Prozor nadzornika (engl. *Inspector window*) služi za prikaz dodatnih informacija odabranog objekta ili izvršenih akcija.

Kartice zadataka dostupne su za izvođenje dodatnih akcija, a ovisno o uređivanom ili odabranom objektu. Na primjer, ako je otvorena hardverska stanica, dostupan je katalog hardvera kao kartica zadatake, a ako je otvoren blok programa, kartica zadatake s instrukcijama.

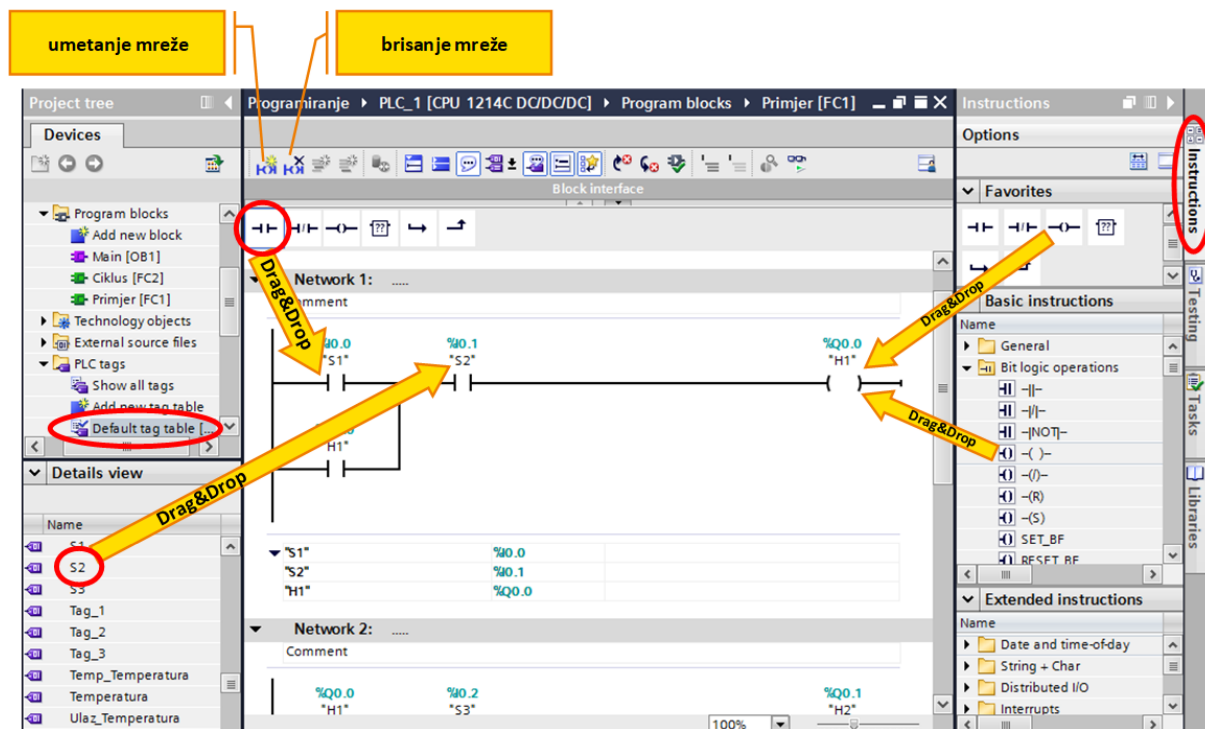
Za vrijeme kreiranja novog projekta uključen je samo jedan programski blok. To je glavni organizacijski blok OB1 koji se izvršava ciklički. Programer, ovisno o zadatku, dodaje različite programske blokove dvostrukim klikom u prozoru projekta na dodavanje novog bloka (engl. *Add new block*) i u novom se dijaloškom prozoru definira tip bloka (OB, FB, FC ili DB), programski jezik, simboličko ime i broj. Brojevi blokova mogu biti pridruženi automatski ili ručno. U dodatnim informacijama (eng. *Additional information*) blok može biti opisan s više detalja, između ostalog brojem verzije i autorom.



Slika 97. Dodavanje novog bloka (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Naredbe unutar programskog bloka mogu biti programirane na dva načina:

- koristeći 'vuci i ispusti' (engl. *drag & drop*) iz favorita ili kataloga instrukcija bilo gdje u program,
- najprije odabirom lokacije u programu te dvostrukim klikom na željenu instrukciju u favoritima ili katalogu instrukcija.

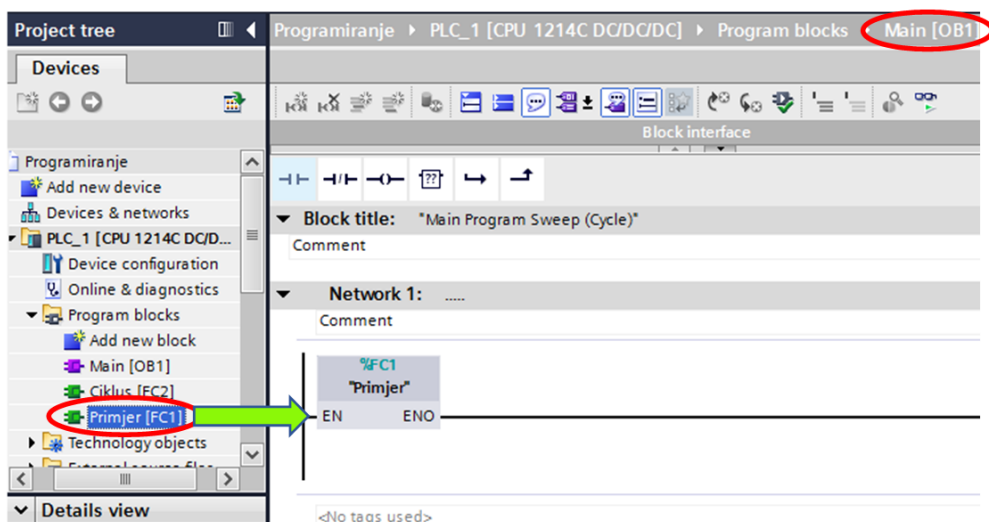


Slika 98. Izrada programa (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Operandi se mogu unijeti s apsolutnim ili simboličkim adresama. Ako je u stablu projekta označena tablica varijabli, mogu se varijable povući iz pogleda detalja (engl. *Details view*) korištenjem 'vuci i ispusti' na željeno mjesto u program.

Favoriti (engl. *Favorites*) su često korišteni elementi, a dostupni su u traci simbola koja se može individualno proširiti korištenjem 'vuci i ispusti' iz kataloga instrukcija.

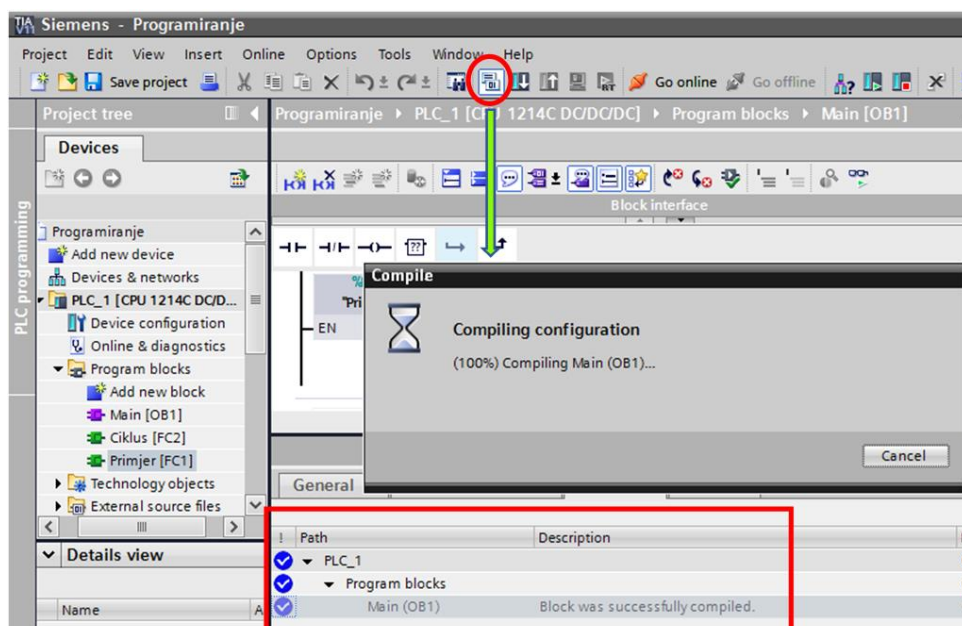
Da bi se programski blokovi funkcija i funkcijskih blokova mogli izvršavati, moraju biti pozvani iz OB1 ili iz nekog drugog bloka koji je već pozvan. Ako programski blok poziva u nekoj mreži drugi blok, izvršavaju se naredbe pozvanog bloka, a kada je izvršavanje pozvanog bloka završeno, izvršavanje ponovo preuzima pozivajući blok i ono nastavlja naredbom koja slijedi iza poziva bloka. Poziv bloka može biti programiran korištenjem 'vuci i ispusti' ili 'kopiraj i zalijepi' (engl. *copy & paste*).



Slika 99. Poziv programskog bloka (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Po završetku pisanja cijelog programa ili nekog programskog bloka potrebno je provjeriti njegovu ispravnost s obzirom na sintaksu klikom na ikonu za kompiliranje (engl. *Compile*). Može se prevoditi (kompilirati) pojedinačne blokove, cijeli program ili cijelu stanicu sa softverom i hardverom.

U prozoru nadzornika *Info -> Compile* prikazuje se status prevođenja. Pojave li se greške tijekom prevođenja, može se dvostrukim klikom na nj izravno skočiti na lokaciju greške.

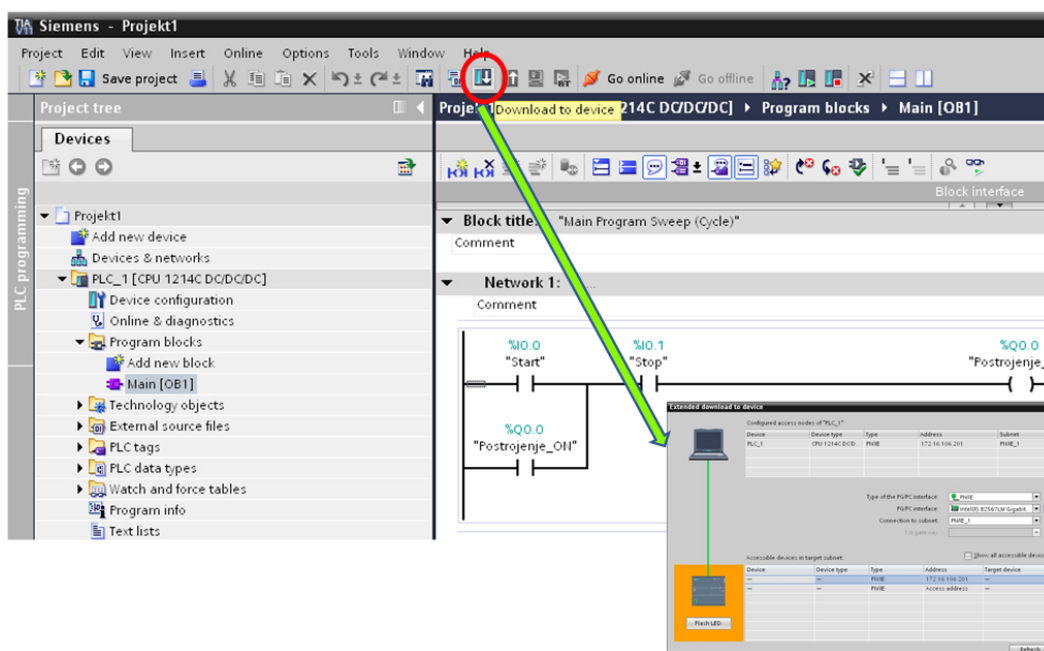


Slika 100. Prevođenje programskog koda (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Program napisan na računalu može se izvršavati u PLC-u tek nakon učitavanja (engl. *Download*) projekta u PLC.

Projektne podatke koji se učitavaju u PLC uređaj podijeljeni su na hardverske i softverske:

- hardverski projektne podatke rezultat su konfiguracije hardvera, mreža i veza. Prvi put se učitavaju svi hardverski projektne podatci, a prilikom kasnijih učitavanja, samo nastale promjene u konfiguraciji,
- softverski projektne podatci obuhvaćaju blokove korisničkog programa. Prvi se put učitavaju svi softverski projektne podatci, a prilikom kasnijih učitavanja može se učitati ili cijeli softver ili samo nastale promjene.



Slika 101. Učitavanje projekta (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Kada je program učitao u PLC, potrebno ga je testirati pokretanjem testne funkcije praćenja bloka (engl. *Monitor block*), koja se koristi za praćenje izvršavanja programa unutar bloka. Statusi ili sadržaji operanda korištenih u bloku za vrijeme izvršavanja programa prikazani su na ekranu.

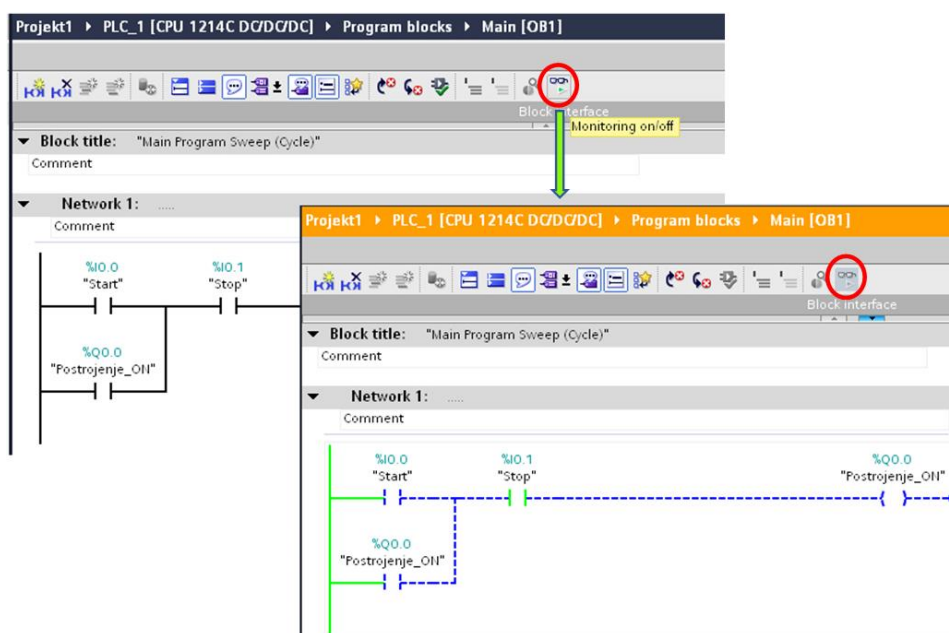
Blokovi se mogu pratiti samo ako postoji *online* veza s CPU-om. Nadalje, *offline* blok mora biti identičan *online* bloku. Ako *offline* blok na računalu ne odgovara *online* bloku

u CPU-u, tada se ili mora otvoriti *online* spremljeni blok u CPU-u, ili *offline* otvoreni blok treba učitati u CPU prije nego se može pratiti blok.

U načinu testiranja statusi su operanda i LAD elemenata prikazani različitim bojama. Postavkama za to može se upravljati u izborniku: *Options -> Settings*.

Zadane postavke su:

- status ispunjen – element je prikazan zelenom bojom,
- status nije ispunjen – element je prikazan plavom bojom.



Slika 102. Testiranje programskog koda (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

4.2.4. Parametriranje frekvencijskog pretvarača

Parametriranje frekvencijskog pretvarača za rad podrazumijeva unos nazivnih podataka motora. Nazivni podaci motora nalaze se na natpisnoj pločici na motoru a odnose se na nazivni napon, struju, snagu i brzinu. Nazivni podaci su prikazani za IEC i NEMA standarde te za spoj motora u zvijezdu ili trokut. Nazivne podatke je potrebno odabrati prema frekvenciji i spoju trokuta.

Podešavanje frekvencijskog pretvarača obuhvaća sljedeće parametre:

- frekvencija mreže,
- nazivni napon elektromotora,

- nazivna struja elektromotora,
- nazivna snaga elektromotora,
- nazivna frekvencija elektromotora,
- nazivna brzina elektromotora,
- minimalna frekvencija,
- maksimalna frekvencija,
- vrijeme ubrzavanja,
- vrijeme usporavanja,
- način upravljanja frekvencijskim pretvaračem,
- vrstu analognog ulaza.

Parametriranje frekvencijskog pretvarača moguće je lokalno ručno operacijskim panelom (BOP-2) ili udaljeno računalom posredstvom softvera *TIA Portal*.

4.2.5. Ručno parametriranje frekvencijskog pretvarača

BOP-2 operacijski panel služi za lakše upravljanje i parametriranje SINAMICS frekvencijskih pretvarača.



Slika 103. BOP-2 panel (rad autora)

Funkcije tipki BOP-2 operacijskog panela prikazane su u donjoj tablici.

Tipka	Funkcija tipke
	• prilikom navigacije kroz izbornik pritiskom na OK potvrđuje se odabir • prilikom podešavanja parametara pritiskom na tipku OK može se podešavati željeni parametar. Ponovnim pritiskom na OK potvrđuje se promjena parametra • kod prikaza greški frekvencijskog pretvarača pritiskom na tipku OK potvrđuju se greške
	• prilikom navigacije kroz izbornik pritiskom na tu tipku pomiče se pokazivač prema gore po prikazanoj listi izbornika • kod podešavanja parametara pritiskom na tipku, vrijednost parametra se povećava
	• prilikom navigacije kroz izbornik pritiskom na tu tipku pomiče se pokazivač prema dolje po prikazanoj listi izbornika • kod podešavanja parametara pritiskom na tipku, vrijednost parametra se smanjuje
	• ako je tipka pritisnuta manje od dvije sekunde, BOP-2 se vraća na prethodni ekran. Kada je promijenjena vrijednost parametra, pritiskom na ESC nova vrijednost nije spremljena. Da bi se nova vrijednost spremila, potrebno je pritisnuti tipku OK • ako je tipka pritisnuta dulje od tri sekunde, BOP-2 se vraća na ekran statusa
	• u automatskom načinu (engl. <i>AUTO</i>) tipka nije aktivna • u ručnom načinu (engl. <i>HAND</i>) pritiskom na tipku, frekvencijski pretvarač pokreće motor te je na ekranu prikazana ikona rada motora
	• u automatskom načinu (engl. <i>AUTO</i>) tipka nije aktivna • ako je tipka pritisnuta dulje od dvije sekunde, pretvarač izvodi funkcije OFF2, tj. motor se zaustavlja • ako je tipka pritisnuta manje od tri sekunde, izvode se sljedeće akcije: • ako je tipka pritisnuta dvaput u manje od dvije sekunde izvode se funkcije OFF2

	• u ručnom (HAND) načinu pretvarač izvodi funkcije OFF1, tj. motor se zaustavlja prema vremenu podešenom u parametru P1121
	Tipka HAND/AUTO prebacuje upravljanje između BOP-2 panela (ručni način) i upravljanje posredstvom <i>Fieldbusa</i> (automatski način): • ako je aktivan ručni (HAND) način rada, tipka HAND/AUTO uključuje automatski (AUTO) način rada pretvarača • ako je aktivan automatski (AUTO) način rada, tipka HAND/AUTO uključuje ručni (HAND) način rada pretvarača

NAPOMENA. Kada se frekvencijski pretvarač prebacuje iz RUČNOG u AUTOMATSKI način rada, te je aktivan signal za start motora, podešena brzina vrtnje postane aktivna i pretvarač automatski zalijeće motor na podešenu brzinu vrtnje. Kada se frekvencijski pretvarač prebacuje iz AUTOMATSKOG u RUČNI način rada, pretvarač pokreće motor na brzinu vrtnje koja je bila prije pritiska tipke HAND/AUTO.

Zaključavanje i otključavanje tipkovnice:

- za zaključavanje BOP-2 tipkovnice potrebo je pritisnuti i držati istovremeno tipke ESC i OK tri ili više sekundi,
- za otključavanje BOP-2 tipkovnice potrebo je pritisnuti i držati istovremeno tipke ESC i OK tri ili više sekundi.

Za brzo puštanje u pogon frekvencijskog pretvarača potrebno je uključiti ga i resetirati na tvorničke postavke na sljedeći način:

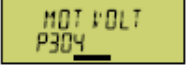
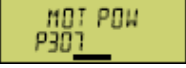
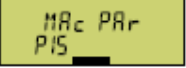
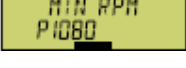
- pritisnuti tipku ESC,
- pomoću strelica doći do izbornika SETUP i pritisnuti tipku OK,
- pomoću strelica odabrati RESET i pritisnuti tipku OK,
- pomoću strelica promijeniti NO u YES i pritisnuti OK.

Nakon resetiranja pretvarača potrebno je odabrati jedno od tri područja primjene frekvencijskog pretvarača, a to su:

- standardno (engl. *Standard drive control*),
- dinamičko (engl. *Dynamic drive control*),
- napredno (engl. *Expert drive control*).

U većini slučajeva dovoljno je standardno upravljanje te je u nastavku opisano upravo takvo podešavanje frekvencijskog pretvarača.

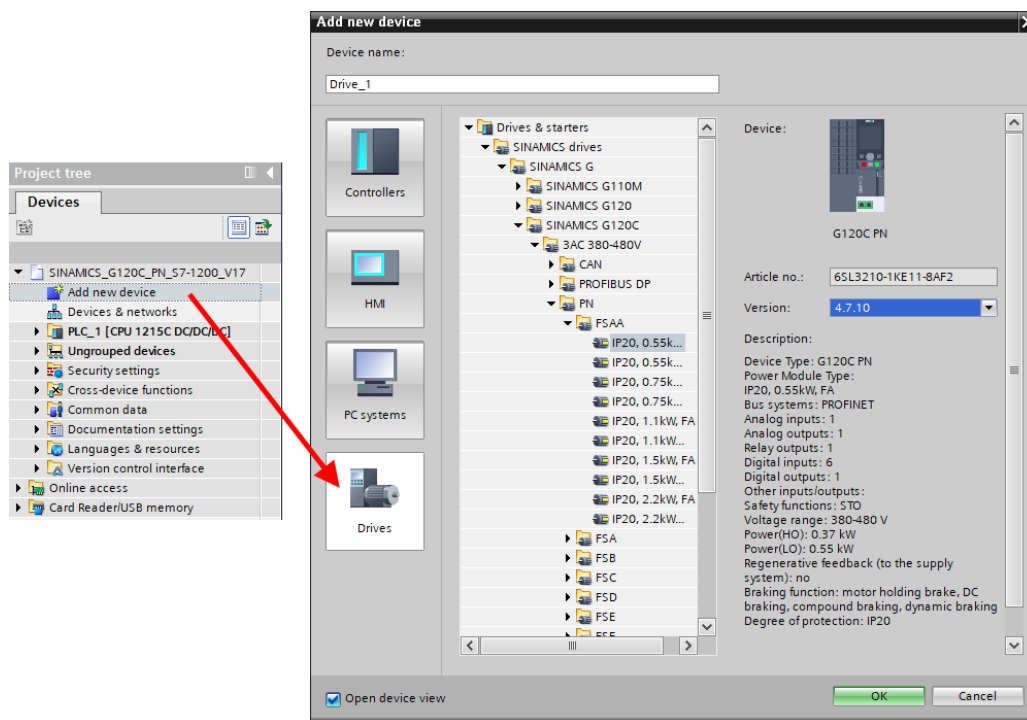
U tablici su prikazani parametri koji se podešavaju u standardnom upravljanju frekvencijskim pretvaračem.

Prikaz ekrana	Podešena vrijednost	Opis
	kW 50 Hz – IEC	Parametar P100 za odabir standarda motora
	400 V	Parametar P210 za podešavanje napona napajanja pretvarača
	INDUCT	Parametar P300 za odabir tipa motora
	400 V	Parametar P304 za podešavanje nazivnog napona motora
	1,26 A	Parametar P305 za podešavanje nazivne struje motora
	0,55 kW	Parametar P307 za podešenje nazivne snage motora
	50 Hz	Parametar P310 za podešenje nazivne frekvencije motora
	1440 o/min	Parametar P311 za podešenje nazivne brzine vrtnje motora
	SELF	Parametar P335 za podešavanje hlađenja motora
	VEC STD: stalno opterećenje	Parametar P501 za odabir vrste tereta motora
	Default setting 12 – upravljanje preko digitalnih ulaza i izlaza	Parametar P15 za odabir postavki ulaza i izlaza za upravljanje
	0 o/min	Parametar P1080 za minimalnu brzinu vrtnje motora

	1440 o/min	Parametar P1082 za maksimalnu brzinu vrtnje motora
	10 s	Parametar 1120 za vrijeme zaleta motora
	10 s	Parametar 112 za vrijeme zaustavljanja motora
	STILL	Parametar P1900 za identifikaciju podataka motora

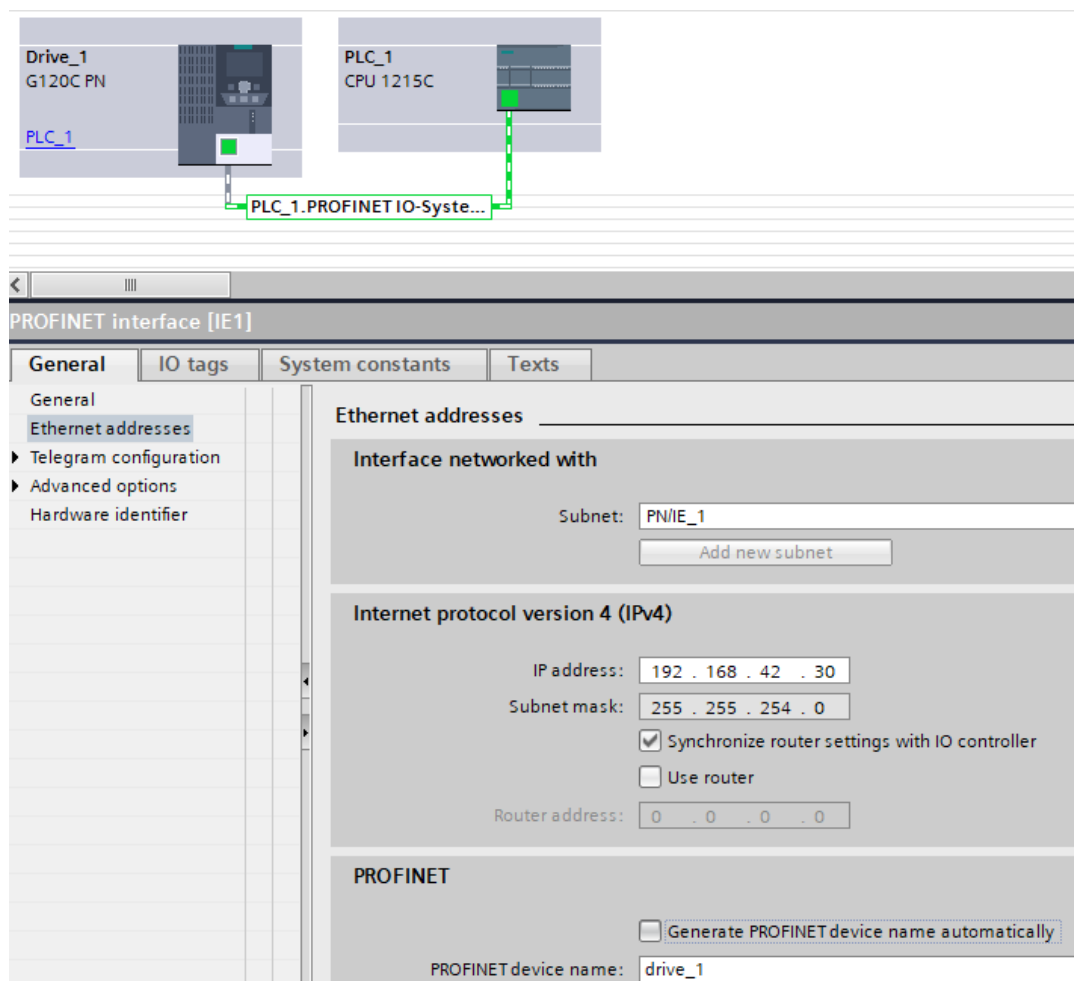
4.2.6. Parametriranje frekvencijskog pretvarača računalom

Parametriranje frekvencijskog pretvarača računalom vrši se pomoću softverskog razvojnog okruženja *TIA Portal*. U projekt u softveru *TIA Portal* potrebno je dodati korišteni frekvencijski pretvarač dvostrukim klikom na gumb za dodavanje novog uređaja (engl. *Add new device*) u stablu projekta i zatim se odabere grupa pogona (engl. *Drives*) i u mapi *Drives & starters* -> *SINAMICS drives* -> *SINAMICS G* -> *SINAMICS G120C* -> *3AC 380-480V* -> *PN* -> *FSAA* odabere se točan tip frekvencijskog pretvarača (kao na slici 4.23.).



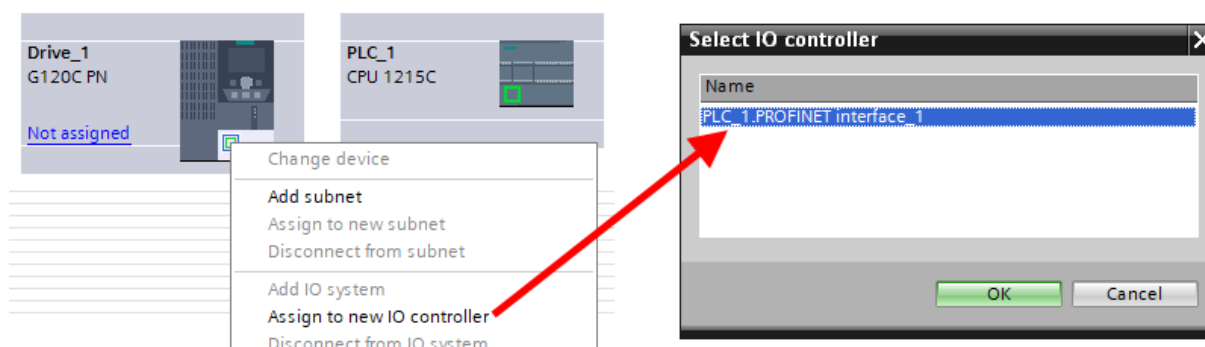
Slika 104. Dodavanje frekvencijskog pretvarača u projekt (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Dodani frekvencijski pretvarač potrebno je povezati u mrežu s PLC uređajem. U tu svrhu potrebno je prvo upisati postavke mrežne veze (*IP address* i *Subnet mask*) u svojstvima *Profinet* sučelja frekvencijskog pretvarača.



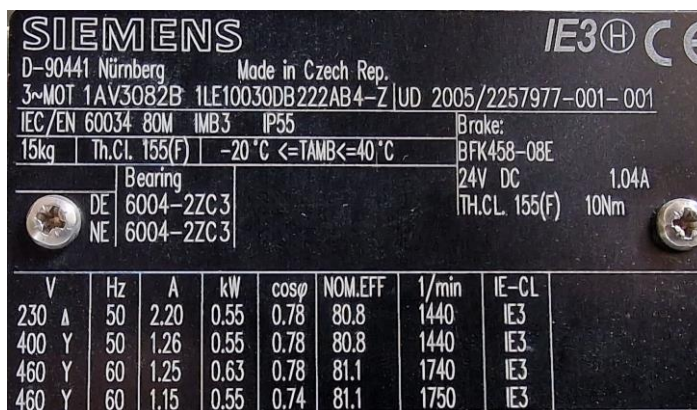
Slika 105. Postavke mreže frekvencijskog pretvarača (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Po definiranju postavki mreže frekvencijskog pretvarača potrebno je dodijeliti ga PLC kontroleru klikom desnom tipkom miša na njega i odabirom opcije dodjele novom kontroleru (engl. *Assign to new IO controller*) te se odabere željeni PLC uređaj.



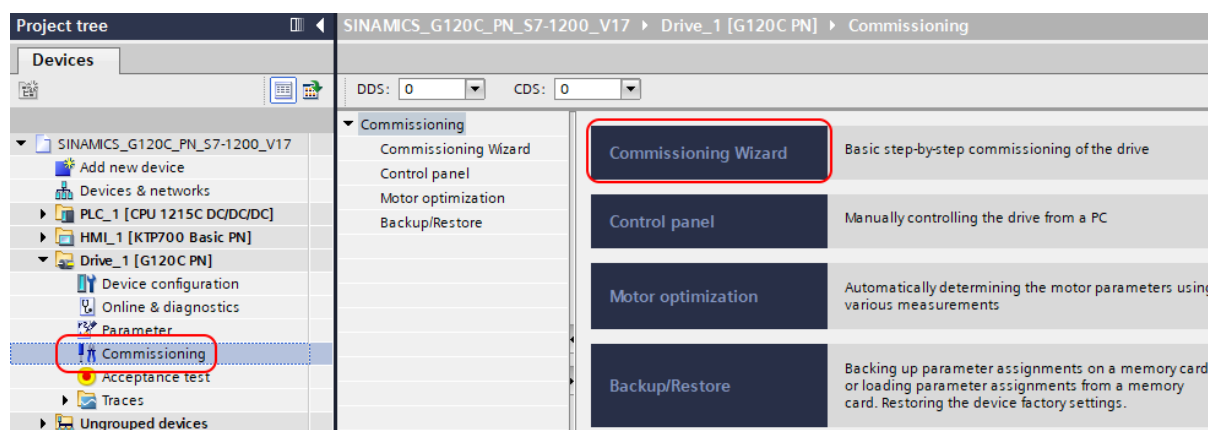
Slika 106. Pridruživanje frekvencijskog pretvarača PLC-u (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Po završenom dodavanju i povezivanju frekvencijskog pretvarača s PLC uređajem, može se pokrenuti parametriranje pretvarača za rad s određenim motorom. U parametriranju prikazanom u nastavku koristi se motor s natpisnom pločicom sa slike 4.26.



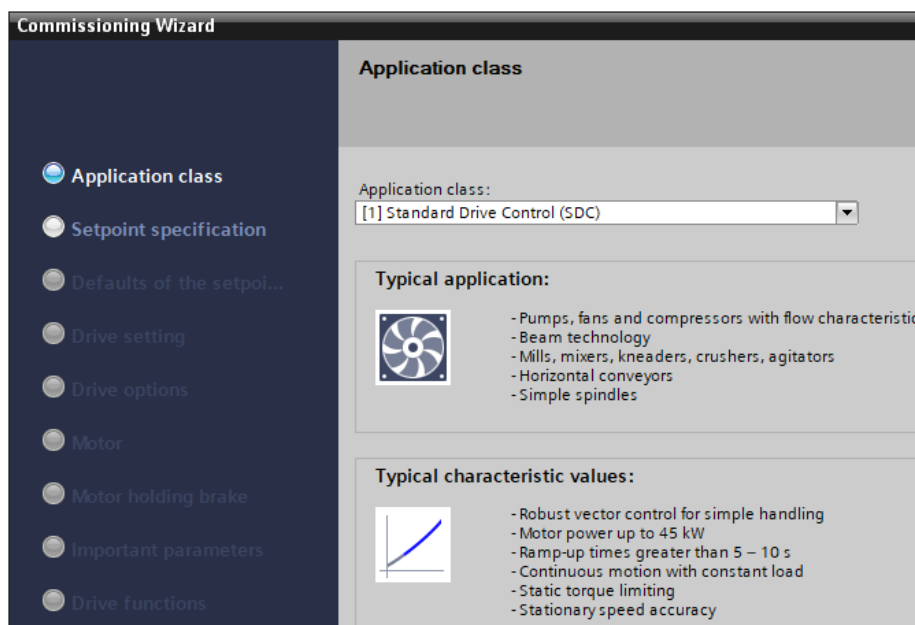
Slika 107. Natpisna pločica motora (rad autora)

Parametriranje frekvencijskog pretvarača pokreće se dvostrukim klikom na puštanje u rad (engl. *Commissioning*) u mapi pogona *Drive_1* u stablu projekta.



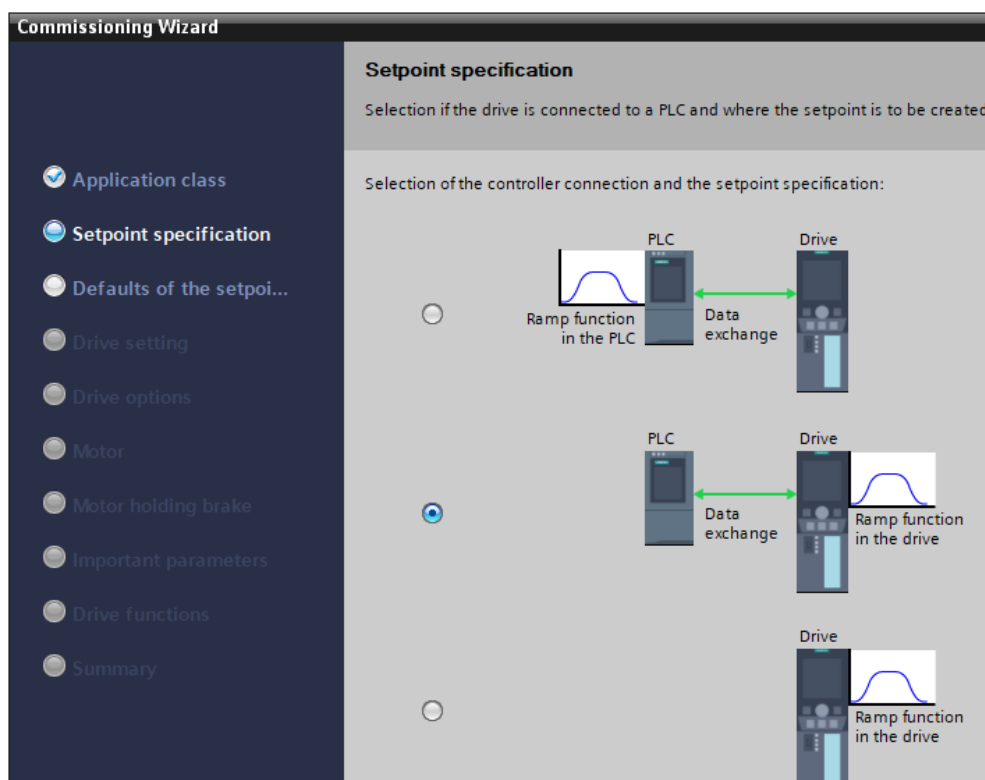
Slika 108. Parametriranje frekvencijskog pretvarača (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Prvi korak parametriranja je odabir klase aplikacije motornog pogona.



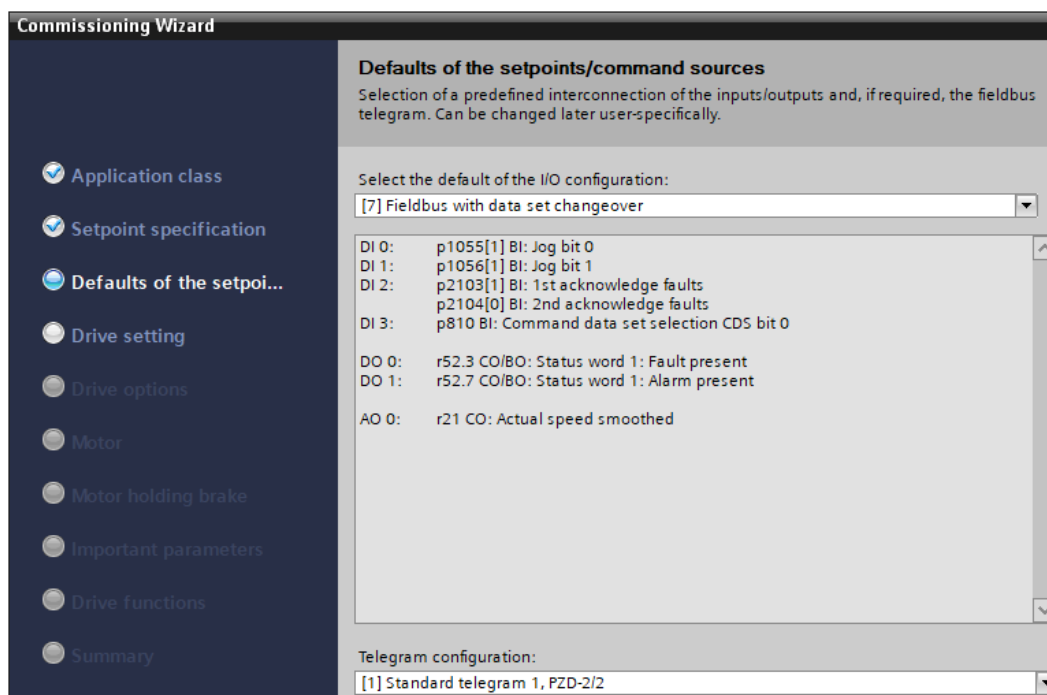
Slika 109. Parametriranje – Korak 1. (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Na svaki sljedeći korak prelazi se klikom na gumb: sljedeći (engl. *Next*). U drugom koraku definira se tip spoja i zadane vrijednosti brzine vrtnje. U ovom slučaju odabire se spoj s PLC-om jer je to najčešći slučaj, a zadana rampa brzine vrtnje postavlja se u frekvencijskom pretvaraču.



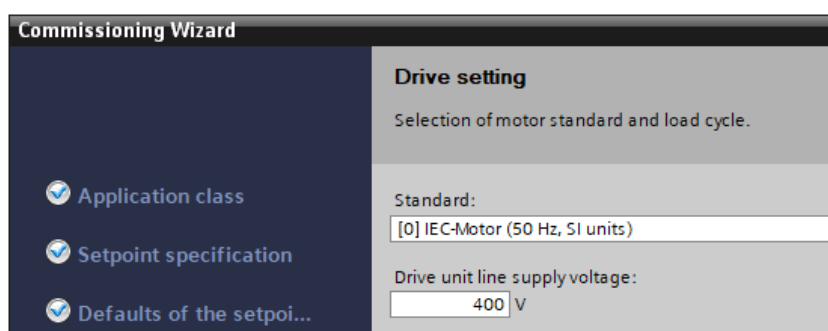
Slika 110. Parametriranje – Korak 2. (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Zatim se odabire izvor kojim će se slati naredbe. Najčešće su to digitalni i analogni ulazi/izlazi ili komunikacija. U ovom slučaju odabire se *Fieldbus with data set changeover* i *Standard telegram 1, PZD-2/2* jer će se koristiti *Profinet* komunikacija za slanje upravljačkih naredbi i podataka.



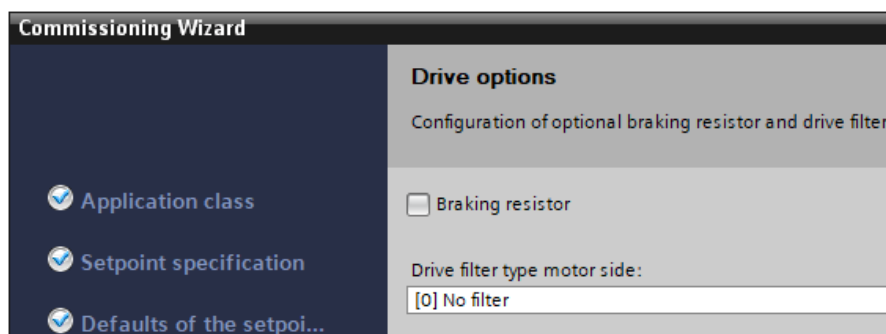
Slika 111. Parametriranje – Korak 3. (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Sljedeći korak je odabir tipa i napona napajanja motora.



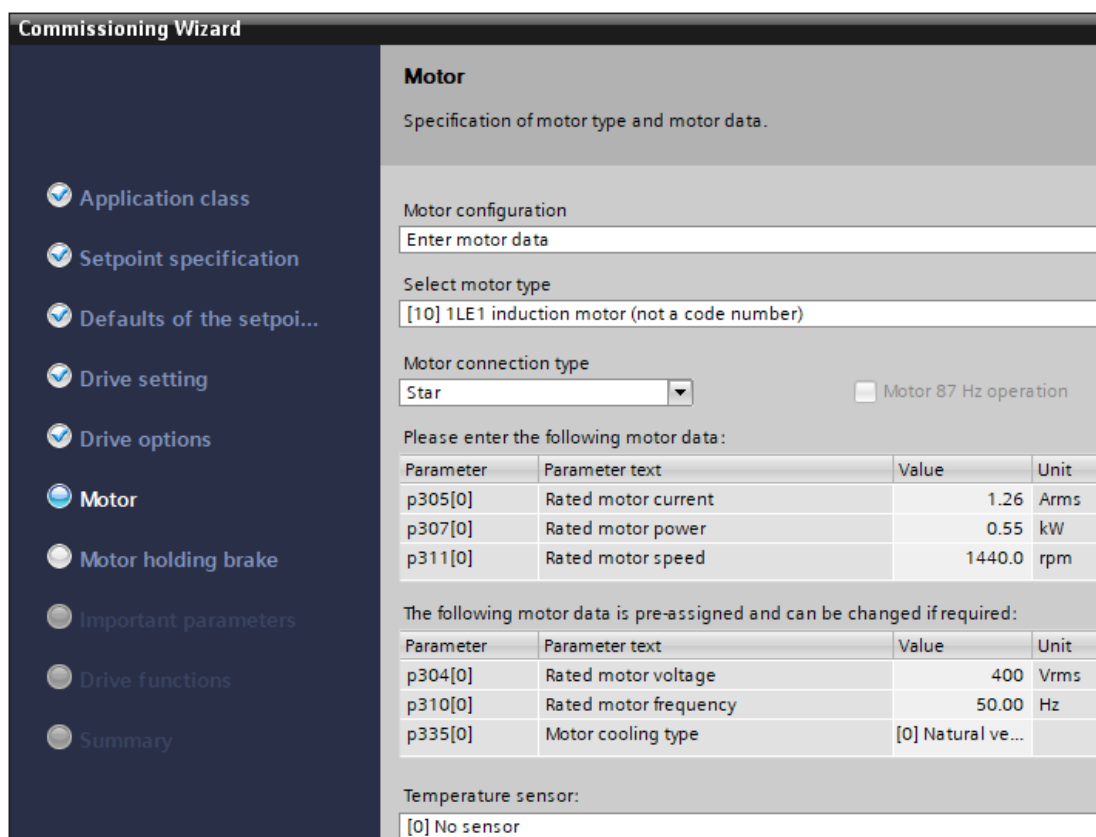
Slika 112. Parametriranje – Korak 4. (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Zatim se odabire filter i otpornik kočnice frekvencijskog pretvarača ako ih ima. Za korišteni pogon i motor ne odabire se ništa, već se ostave zadane postavke.



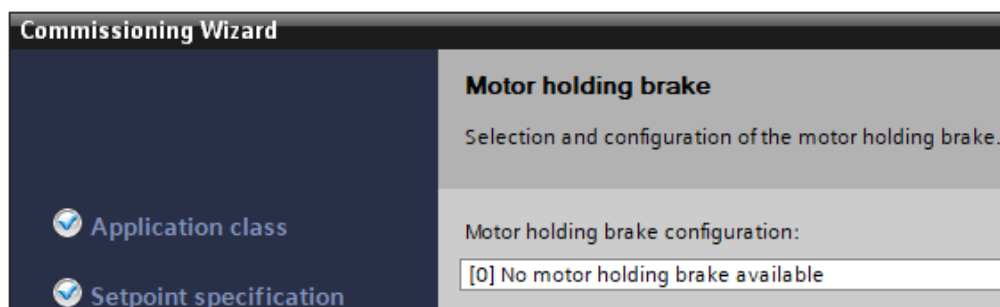
Slika 113. Parametriranje – Korak 5. (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Nakon toga slijedi unos podataka motora s natpisne pločice te se definira korišteni spoj motora.



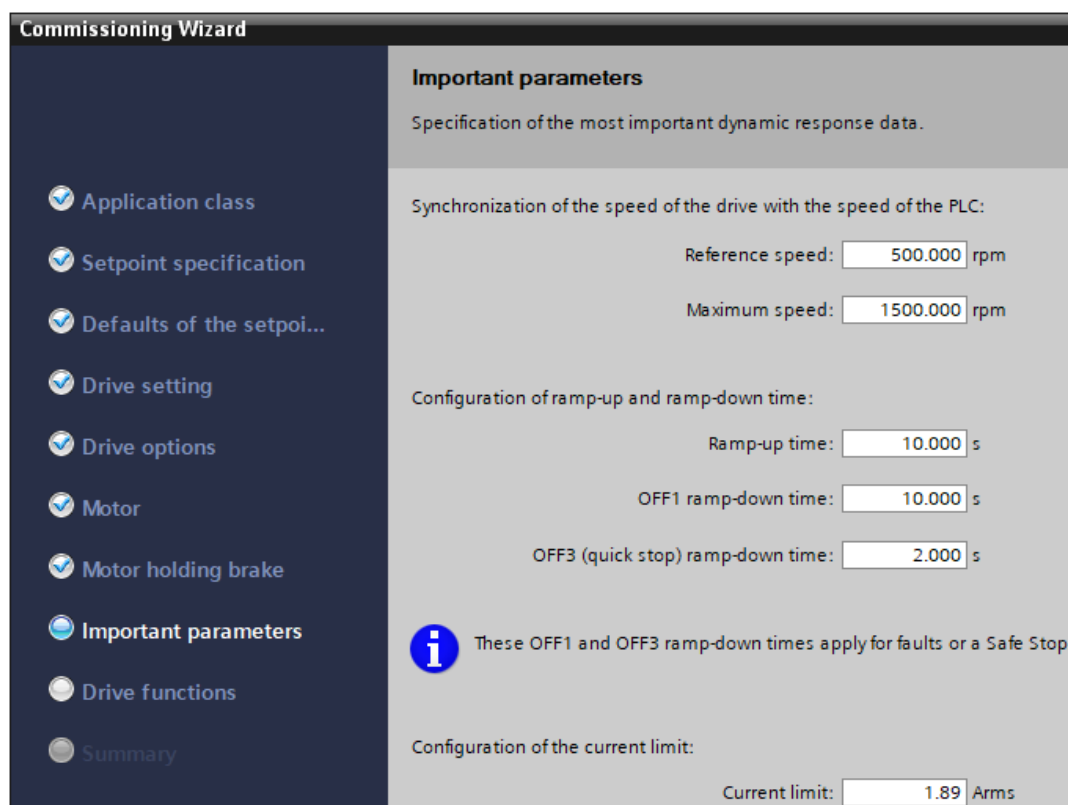
Slika 114. Parametriranje – Korak 6. (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Zatim je potrebno odabrati tip kočnice motora ako ju motor ima. U ovom slučaju motor nema kočnicu.



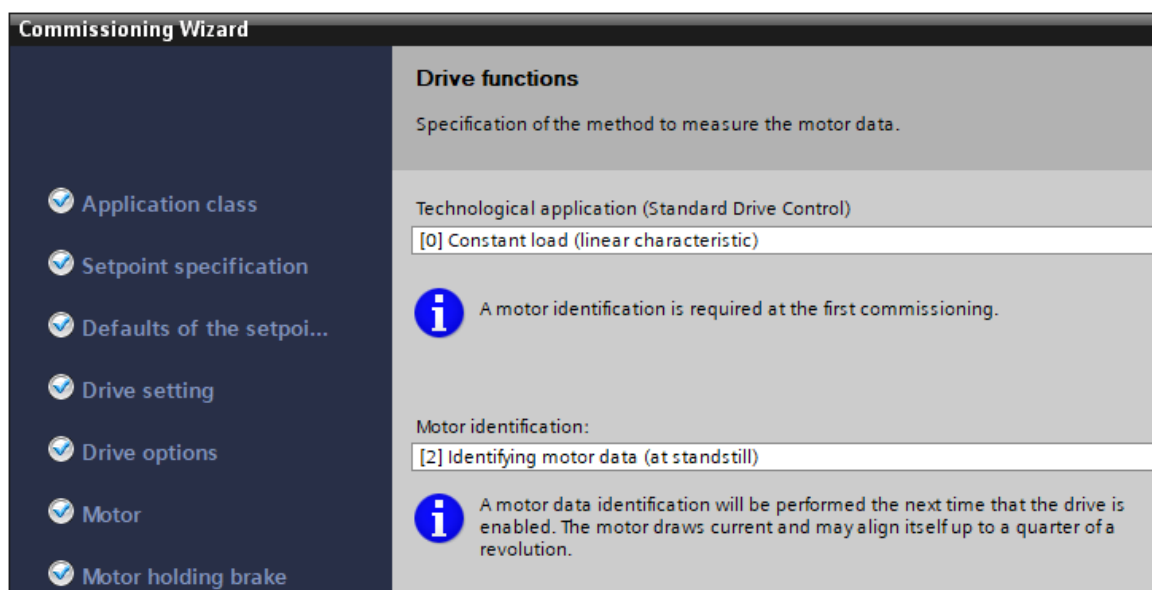
Slika 115. Parametriranje – Korak 7. (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Sljedeći korak je definiranje dinamičkih podataka o brzini vrtnje, ograničenju struje i rampama zalijetanja i zaustavljanja motora.



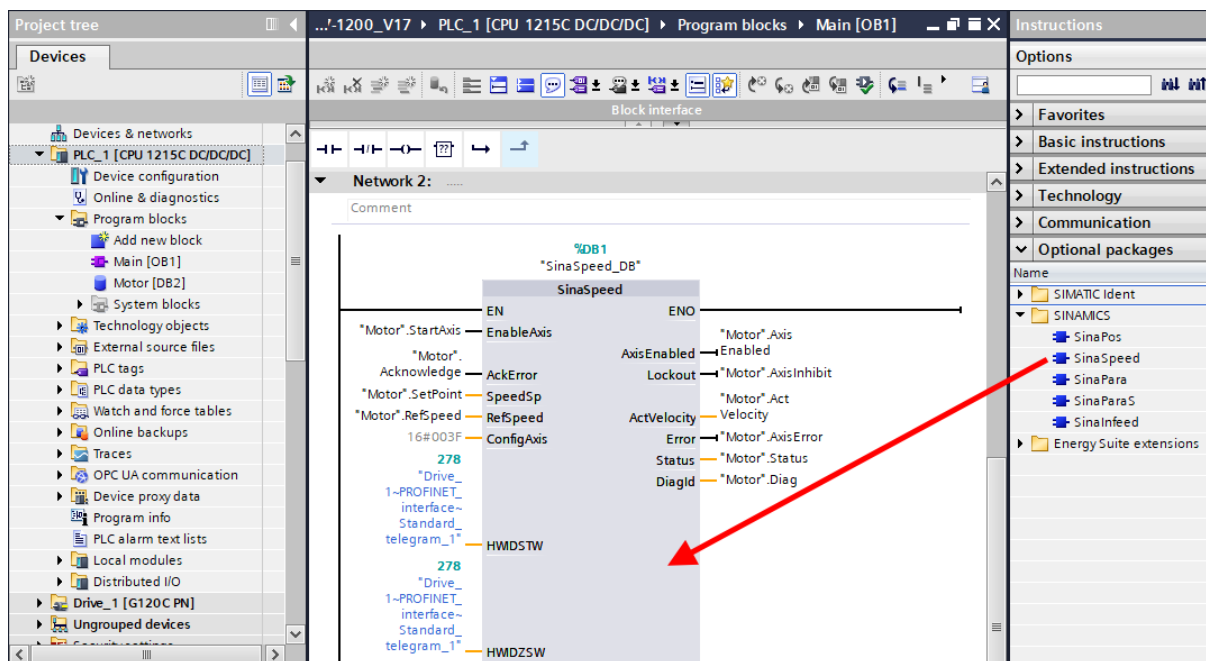
Slika 116. Parametriranje – Korak 8. (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Zadnji korak parametriranja je odabir karakteristike upravljanja motora i mjerenja njegovih podataka.



Slika 117. Parametriranje – Korak 9. (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Po završenom podešavanju pogona potrebno je podešene postavke prenijeti u fizički pogon. To se radi kao i prilikom prebacivanja u PLC i ostale uređaje. U tu svrhu se u stablu projekta označi *Drive_1* i zatim se klikne na ikonu: preuzmi na uređaj (engl. *Download to device*), čime se pokreće proces učitavanja postavki u frekvencijski pretvarač. Da bi PLC uređaj preko frekvencijskog pretvarača upravljao brzinom vrtnje motora, potrebno je napisati programski kod za taj dio. Instrukcija za upravljanje brzinom i smjerom vrtnje motora nalazi se u grupi *Optional packages* u stablu instrukcija u mapi *SINAMICS*. Ta instrukcija ima naziv *SinaSpeed*. Instrukciji je potrebno definirati vrijednost upravljačkog telegrama (*Standard_telegram_1*) frekvencijskog pretvarača. Osim toga potrebno je definirati nazivnu brzinu vrtnje motora, željenu brzinu vrtnje motora, signal za omogućavanje osi pretvarača i za potvrdu greške te parametar konfiguracije osi. Za korišteni frekvencijski pretvarač podaci su prikazani na slici 4.37. Ako se želi motor, a samim time i transporter vrtjeti u jednu stranu, odabire se željena vrijednost brzine vrtnje pozitivnog iznosa, dok se za suprotan smjer vrtnje odabire željena brzina vrtnje negativnog iznosa.



Slika 118. Programski blok za upravljanje motorom (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

4.3. Povezivanje elemenata sustava

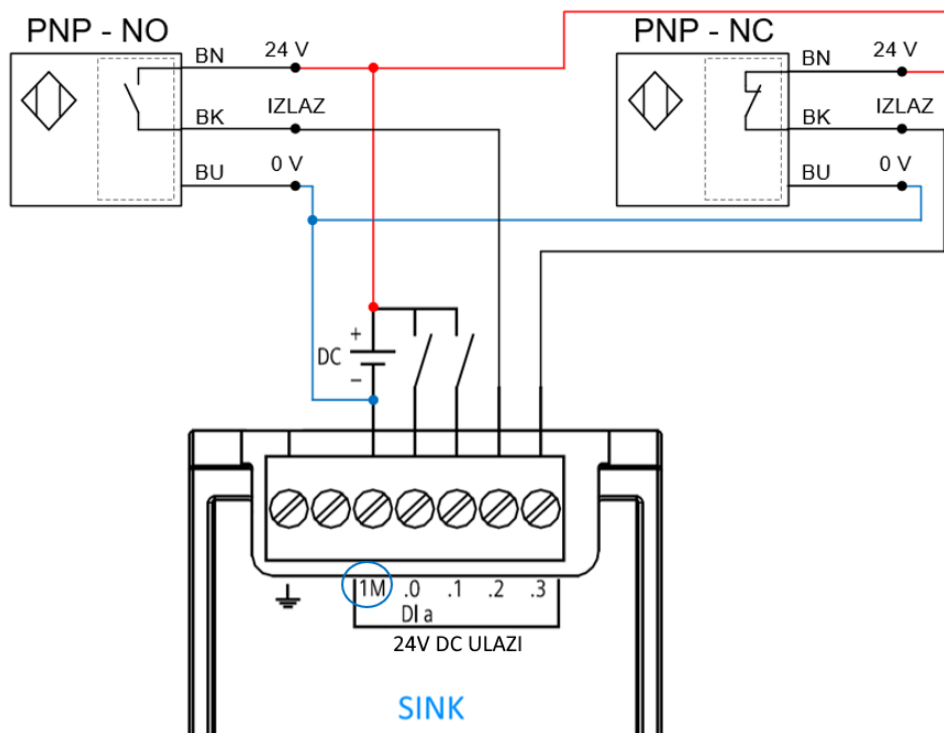
Elemente automatiziranog sustava povezuje centralni dio sustava, a to je procesno računalo ili PLC. Senzori i mjerni pretvornici spajaju se na digitalne i analogne ulaze PLC-a, a izvršni elementi na digitalne i analogne izlaze PLC-a.

4.3.1. Spajanje ulaza i izlaza PLC sustava

Digitalne ulaze procesora i modula za proširenje moguće je spojiti na način da ulazni signal ponire (engl. *sink*) ili izvire (engl. *source*). To znači da ulazni krug omogućava tok struje u bilo kojem smjeru, u modul ili iz modula. Zajednički terminalni priključak spaja se na jedan polaritet, a ulazna točka na drugi polaritet. To je potrebno znati kako bi se na ispravan način spajali elementi na ulaze procesora i signalnih modula.

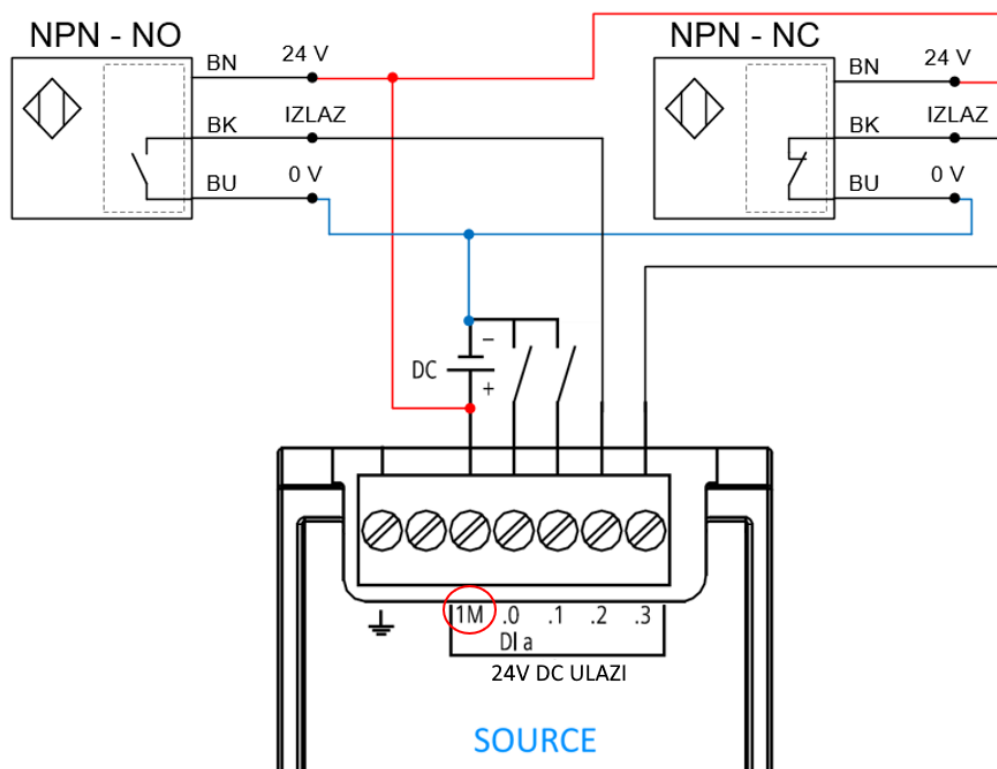
NAPOMENA: Kod ulaznog kruga ponora zajednički terminalni priključak spaja se na minus (-) polaritet napajanja, a ulazne točke na plus (+) polaritet napajanja, tj. struja teče u modul ulaza. Kod ulaznog kruga izvora zajednički terminalni priključak spaja se

na plus (+) polaritet napajanja, a ulazne točke na minus (-) polaritet napajanja, tj. struja teče iz modula ulaza.



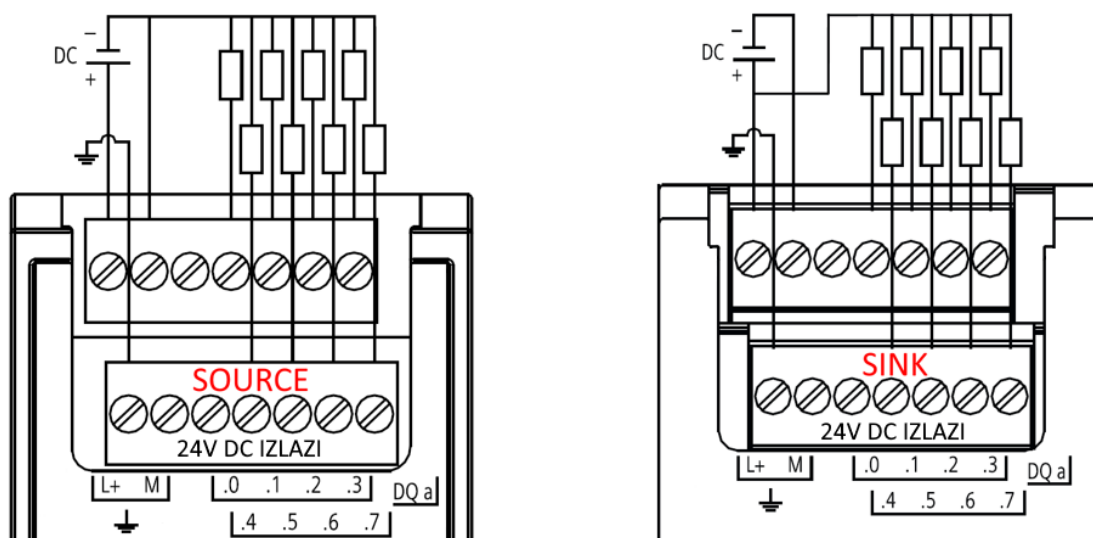
Slika 119. Spajanje senzora blizine PNP tipa (rad autora)

Svejedno je na koji će se način spojiti ulazni elementi tipkala, sklopki i različitih kontakata koji su neovisni o polaritetu. Spajanja senzora koji su ovisni o polaritetu drukčije je jer mogu biti PNP i NPN tipa pa je potrebno znati kako ispravno spojiti te senzore na ulaze procesora i signalnih modula. Ispravan način spajanja navedenih tipova senzora prikazan je na slikama 4.38. i 4.39.



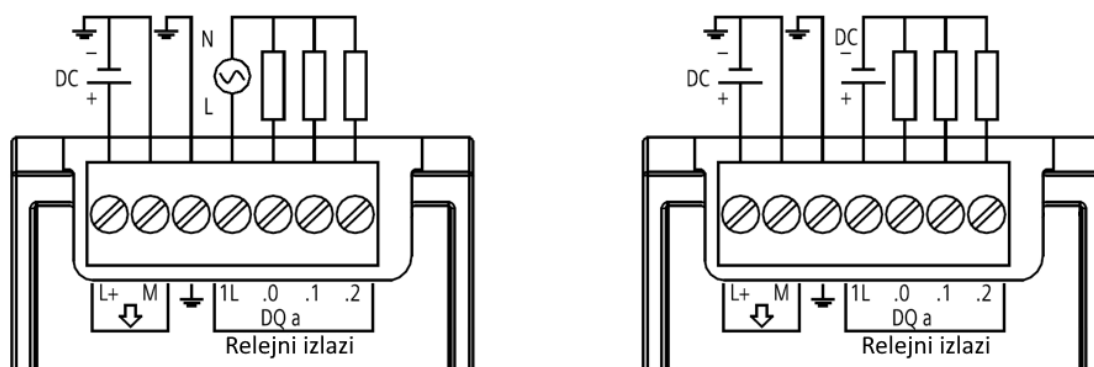
Slika 120. Spajanje senzora blizine NPN tipa (rad autora)

Signalni moduli s tranzistorskim (DC) izlazima postoje u varijanti gdje je njihove izlazne krugove moguće spojiti u spoju gdje izlazni signal izvire ili ponire. To znači da izlazni krug omogućava tok struje u bilo kojem smjeru, iz modula ili u modul. Češći slučaj je varijanta signalnog modula s izlaznim signalima tipa izvora. To je potrebno znati kako bi se na ispravan način spajali elementi na izlaze procesora i signalnih modula.



Slika 121. Spajanje binarnih izvršnih elemenata na tranzistorske izlaze (rad autora)

Moduli s relejnim izlazima postoje u varijanti izlaza s otvorenim (NO) kontaktom, koji su češći, ili s preklopnim kontaktom. Posredstvom kontakata releja moguće je potrošače spajati na istosmjerne (DC) ili izmjenične (AC) izvore napajanja, ovisno o tipu potrošača.

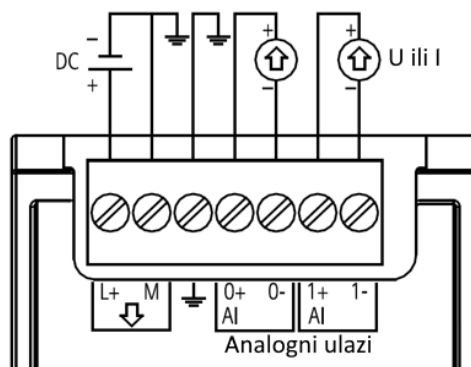


Slika 122. Spajanje binarnih izvršnih elemenata na relejne izlaze (rad autora)

Signalni moduli analognih ulaza služe za spajanje ulaznih elemenata PLC sustava, kao što su mjerni pretvornici razine, temperature, tlaka, protoka, i slično. Njima se dovode standardni analogni signali iz sustava u CPU, a koji na temelju njih i korisničkog programa upravlja sustavom. Dolaze u izvedbama s 4 ili 8 ulaza, a razlikuju se po broju bitova rezolucije pretvornika (obično od 12 do 16 bitova). Prihvaćaju standardne signale napona i struje.

Najčešći rasponi standardnih analognih signala ulaza su:

- ± 10 V,
- ± 5 V,
- ± 2.5 V,
- ± 1.25 V,
- 0 - 20 mA,
- 4 - 20 mA.

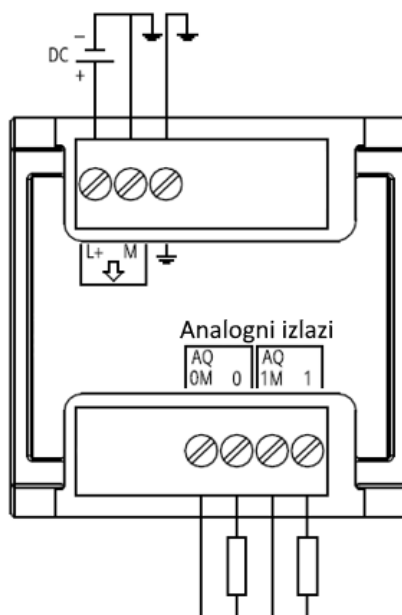


Slika 123. Spajanje mjernih pretvornika (rad autora)

Signalni moduli analognih izlaza služe za spajanje izlaznih elemenata PLC sustava, kao što su frekvencijski pretvarači, regulacijski ventili i slično. Njima se dovode standardni analogni signali iz CPU-a u sustav, a na temelju korisničkog programa. Dolaze u izvedbama s 2 ili 4 izlaza, a razlikuju se po broju bitova rezolucije pretvornika (obično od 12 do 14 bitova). Daju standardne signale napona i struje.

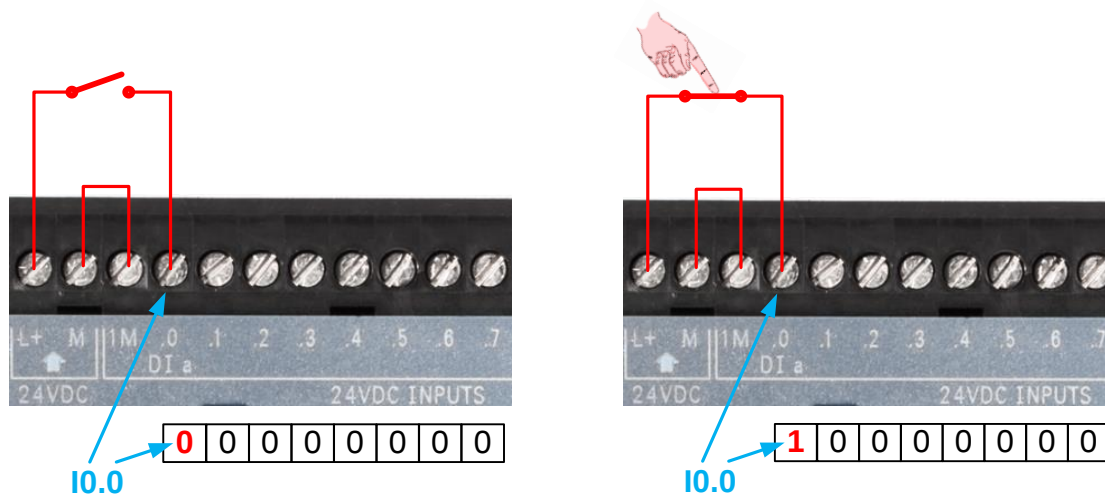
Najčešći rasponi standardnih analognih signala izlaza su:

- ± 10 V,
- 0 - 20 mA,
- 4 - 20 mA.



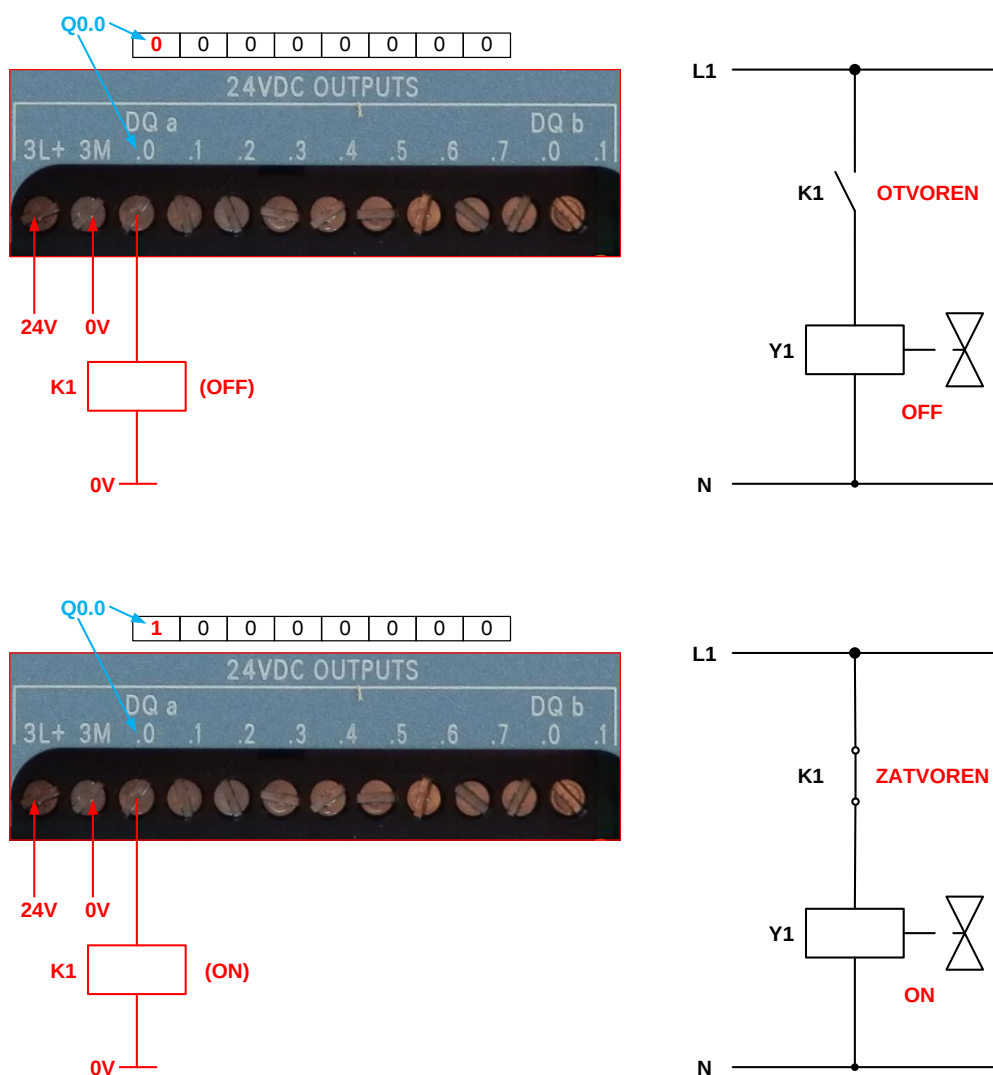
Slika 124. Spajanje analognih izvršnih elemenata (rad autora)

U PLC-u se stanje prisutnog napona na fizičkom ulazu koji čita, predstavlja logičkom jedinicom (1), a stanje kada napon nije prisutan, logičkom nulom (0), u memoriji u slici procesnih ulaza. Tako se na slici 4.44. lijevo u memoriju PLC-a za ulaz I0.0 upisuje 0 jer je kontakt otvoren i nema napona (tipkalo s radnim kontaktom nije pritisnuto), a na toj slici desno se upisuje 1 jer je kontakt zatvoren i ima napona (tipkalo s radnim kontaktom pritisnuto).



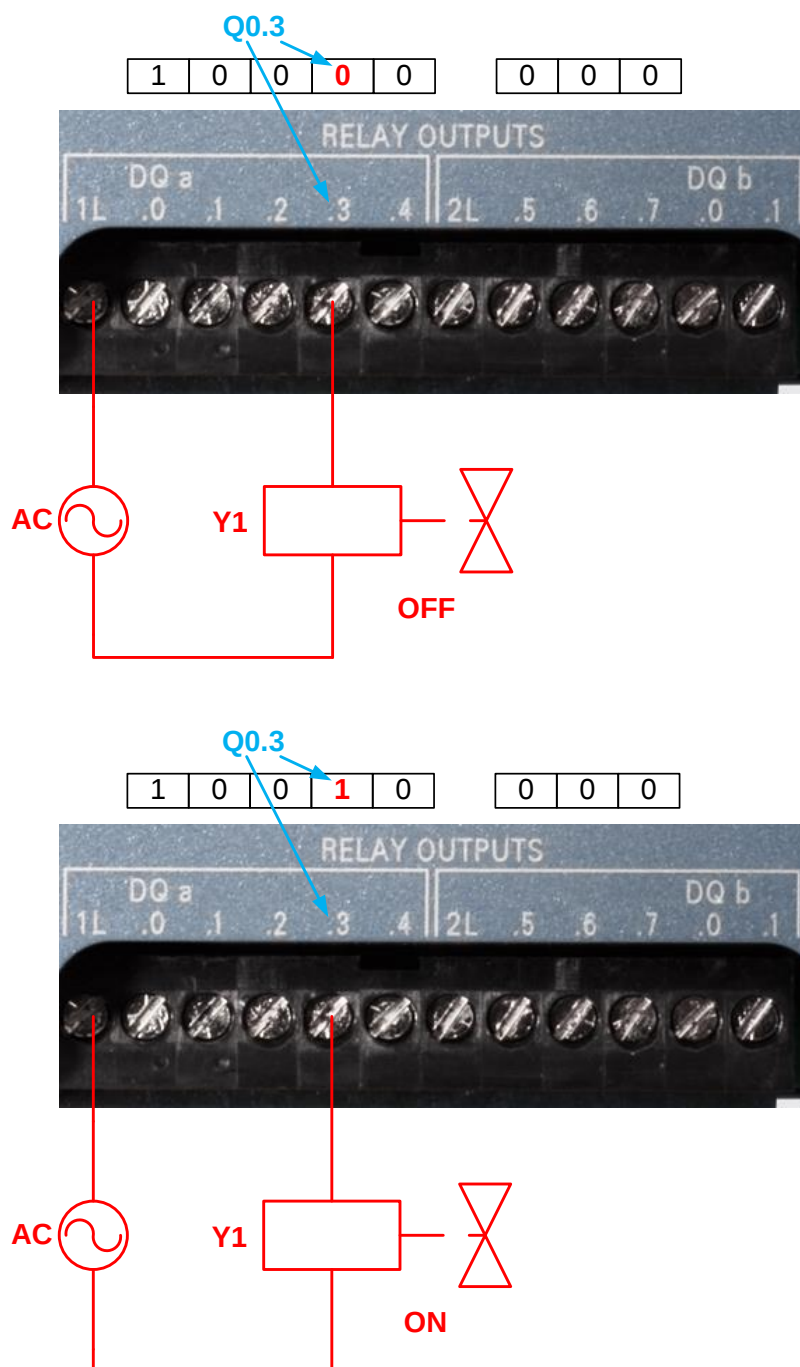
Slika 125. Digitalni ulazi PLC-a (rad autora)

U PLC-u se u memoriji procesnih izlaza stanje logičke jedinice (1) manifestira prisutnim naponom na fizičkom izlazu koji postavlja taj bit, a stanje logičke nule (0) manifestira se odsustvom napona. Tako se na slici 4.45. gore stanje 0 izlaza Q0.0 u memoriji manifestira kao da napon nije prisutan i relej K1 nije aktiviran pa ventil Y1 nije uključen, dok se na toj slici dolje stanje 1 izlaza Q0.0 u memoriji manifestira kao da je napon prisutan na fizičkom izlazu i relej K1 je aktiviran pa je ventil Y1 uključen.



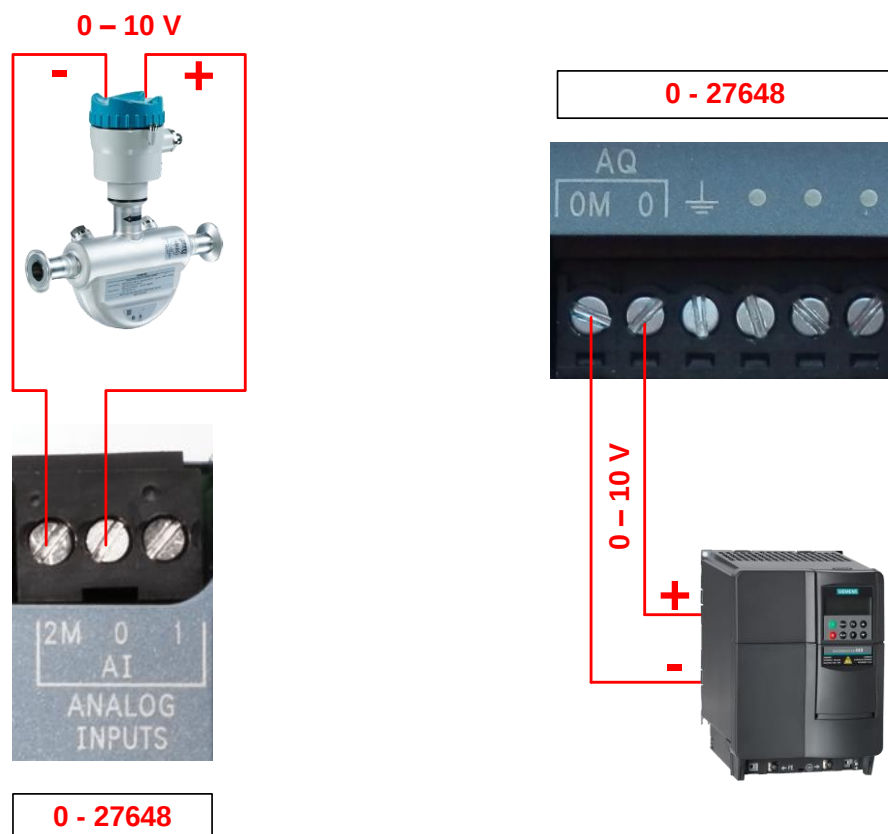
Slika 126. Tranzistorski izlazi PLC-a (rad autora)

Sve navedeno za tranzistorske izlaze vrijedi i za relejne izlaze, osim činjenice da se na tranzistorske izlaze mogu spajati samo istosmjerni potrošači, dok se posredstvom kontakata releja može spojiti potrošače bilo na istosmjerni, bilo na izmjenični napon. Tako se na slici 4.46. gore stanje 0 izlaza Q0.3 u memoriji manifestira kao da kontakt releja Q0.3 nije zatvoren i ventil Y1 nije uključen, dok se na toj slici dolje stanje 1 izlaza Q0.0 u memoriji manifestira kao da je kontakt releja Q0.3 zatvoren na fizičkom izlazu i ventil Y1 je uključen.



Slika 127. Relejni izlazi PLC-a (rad autora)

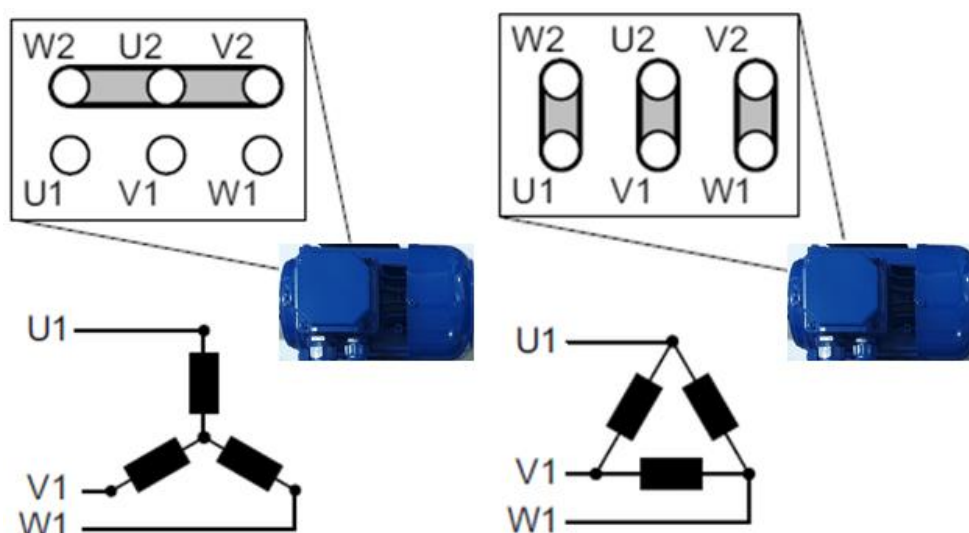
PLC pretvara analognu vrijednost na ulazu (kao što su temperatura, napon ili struja) u digitalni podatak duljine riječi (16 bita) u rasponu 0 - 27648 za unipolarne signale, a u rasponu -27648 - +27648 za bipolarne signale, što PLC na analognom izlazu pretvara u strujni ili naponski signal proporcionalan toj digitalnoj vrijednosti.



Slika 128. Analogni ulazi/izlazi PLC-a (rad autora)

4.3.2. Spajanje izvršnih elemenata

Motor može biti spojen u spoj zvijezda ili spoj trokut. Željeni spoj ostvaruje se kratkospojnicima u priključnoj kutiji motora. U spoju zvijezda svi su namoti spojeni na fazni napon od 230 V, što predstavlja napon za $\sqrt{3}$ manji od linijskoga. Iz tog razloga motor vuče tri puta manju struju pa se stoga taj spoj koristi za pokretanje jačih motora. Spoj trokut obično se koristi za stalni pogon jačih motora. U tom spoju je na svim namotima prisutan linijski napon od 400 V pa motor vuče nazivnu struju. Motori manjih snaga (od 3 do 4 kW) najčešće se spajaju izravno na mrežu i u spoj zvijezda te su građeni za napon od 230 V. Motori većih snaga građeni su za napon od 400 V, a uključuju se u spoju zvijezda-trokut, gdje se motor prvo zalijeće u spoju zvijezda te se zatim trajno prebacuje u spoj trokut.



Slika 129. Spojevi motora (rad autora)

Asinkroni motori manjih i većih snaga mogu se spajati na frekvencijske pretvarače u svrhu upravljanja brzinom vrtnje motora.

Frekvencijski pretvarači spajaju se s jedne strane na motor energetskim signalima, a s druge strane na upravljački uređaj (PLC) upravljačkim signalima. Ulazni napon frekvencijskog pretvarača može biti jednofazni ili trofazni, a izlazni napon je trofazni promjenjive amplitude i frekvencije.

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 130. Upravljački priključci frekvencijskog pretvarača (rad autora)

Ovisno o načinu upravljanja frekvencijskim pretvaračem posredstvom PLC-a, postoji više vrsta postavki pretvarača. Zadane postavke pretvarača koriste se za upravljanje pretvaračem posredstvom digitalnih ulaza i izlaza, a za podešavanje brzine vrtnje posredstvom analognih izlaza PLC-a.

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 131. Zadane postavke priključaka frekvencijskog pretvarača (rad autora)

Programski alati potrebni kod parametriranja elemenata sustava automatizacije sljedeći su:

- alat za parametriranje mjerne opreme – npr. *HART* komunikator,
- alat za programiranje procesnog računala – npr. *TIA Portal*,
- alat za parametriranje frekvencijskog pretvarača – npr. *TIA Portal*, *Starter*.

Pitanja za ponavljanje:

1. Navedi načine podešavanja mjerne opreme.
2. Opiši HART protokol.
3. Skiciraj HART komunikaciju računala i mjernog pretvornika.
4. Opiši izvršavanje programa PLC-a.
5. Navedi programske blokove i jezike PLC-a.
6. Pojasni način izrade softverskog projekta PLC-a.
7. Navedi načine parametriranja frekvencijskog pretvarača.
8. Opiši parametriranje frekvencijskog pretvarača računalom.
9. Navedi koji su podaci motora bitni za podešavanje frekvencijskog pretvarača.
10. Skiciraj spajanje senzora PNP i NPN tipa na PLC uređaj.
11. Objasni razliku spajanja izvršnih elemenata na tranzistorske i relejne izlaze PLC-a.
12. Navedi načine spajanja trofaznih asinkronih motora.

5. Dijagnosticiranje i otklanjanje kvara na automatiziranom sustavu i njegovim elementima

NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

- objasniti i provesti postupak puštanja u pogon automatiziranog sustava
- objasniti i provesti postupak dijagnostike automatiziranog sustava
- objasniti i provesti mjerenja u automatiziranim sustavima
- opisati računalne sustave za nadzor, mjerenje i upravljanje
- opisati otklanjanje kvarova u automatiziranim sustavima
- prikazati i pojasniti integraciju automatiziranog sustava
- navesti elemente i opisati vrste i postupke održavanja.

Dijagnosticiranje i otklanjanje kvarova na automatiziranim sustavima važno je za dugotrajan i optimalan rad sustava. Automatizirani sustav koji je izvan pogona, tj. nije u radu, predstavlja veliki trošak vlasniku sustava. Pravilno puštanje u pogon automatiziranog sustava omogućava rad bez čestih kvarova i ispada, tj. odvijanje proizvodnje nesmetano i bez čestih prekida. Održavanjem sustava postiže se da se kvarovi pojavljuju što je moguće rjeđe te da se u slučaju nastanka kvara, reagira odmah i na pravilan način te se nastali kvar ukloni čim je prije moguće a rad sustava nastavi.

5.1. Puštanje u pogon

Puštanje u pogon posljednji je korak u izvedbi projekta sustava automatizacije nakon kojeg je automatizirani sustav spreman za rad i obavljanje funkcija za koje je projektiran. Postupak puštanja u pogon sastoji se od nekoliko faza u kojima se provjerava i ispituje rad te se vrši optimizacija i završno podešavanje sustava.

5.1.1. Metodologija tri faze

Rad automatiziranog sustava ovisi o radu hardverske opreme i programske podrške. Za pravilan rad neophodno je da su ispravna oba segmenta (hardver i softver), odnosno sklopovski i programski dio. **Kako bi se postigla željena kvaliteta prije nego se sustav trajno pusti u pogon, vrše se testiranja. Testiranje sustava proces je traženja grešaka, a obuhvaća radnje procjene sposobnosti sustava za izvršavanje zadanih funkcija.**

Do kvara ili pogreške u radu sustava dolazi uslijed vanjskog utjecaja ili problema sklopovske i programske podrške. Greške mogu biti zbog opreme ili uzrokovane ljudskim faktorom, primjerice električara, montera i programera. U sustavu mogu biti prisutne i greške nastale u dizajnu, a koje će ostati prikrivene sve dok se u određenom trenutku tijekom korištenja ne pojave.

Otkrivanje grešaka u sustavu automatizacije složena je zadaća, no postoje određeni koraci za otkrivanje očitih greški koje bi mogle utjecati na rad sustava. Dodatni se problemi javljaju zbog mogućeg utjecaja okoline i ljudskog faktora, a koji su sastavni dio testiranja sustava. Velik dio vremena potrebnog za razvoj sustava često se troši na testiranje i otkrivanje grešaka.

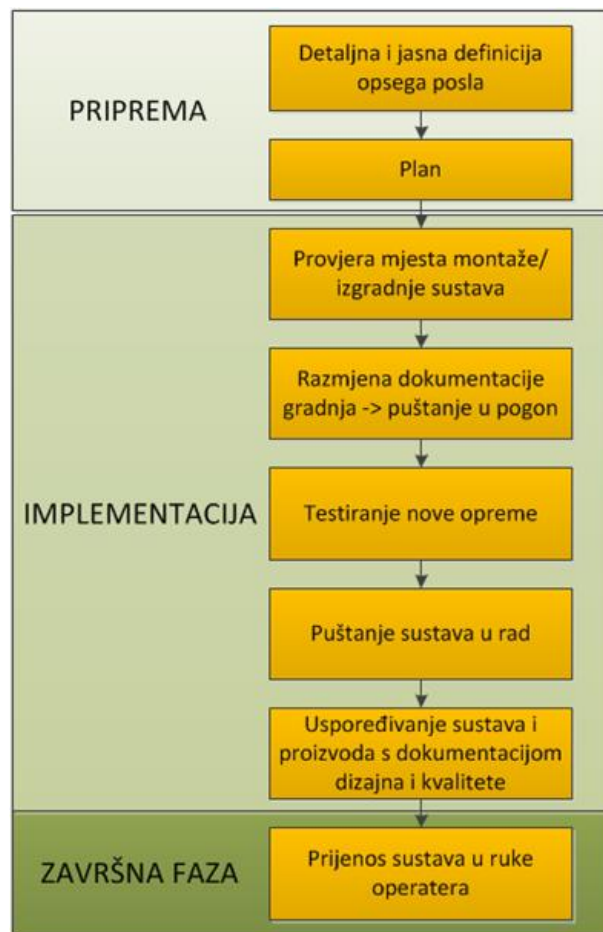
Cilj testiranja je:

- provjera ispravnosti sustava automatizacije,
- procjena pouzdanosti sustava automatizacije,
- smanjenje broja ispada sustava automatizacije,
- poboljšanje kvalitete sustava automatizacije.

Puštanje sustava u pogon prolazi tri faze:

- priprema,
- implementacija,
- završna faza puštanja u pogon.

Koraci svake od tri faza, potrebni za puštanje procesa, prikazani su u blok-dijagramu na slici 5.1., uz napomenu da se neki od njih mogu izvoditi paralelno.



Slika 132. Faze puštanja u rad (rad autora)

5.1.1.1. Priprema

Priprema obuhvaća aktivnosti koje su nužne za puštanje sustava u rad, a to su: prikupljanje podataka, odabir tima, definiranje rasporeda i izrada dokumentacije. To su tipični uredski poslovi.

Uz fazu pripreme vezane su sljedeće radnje:

- imenovanje odgovorne osobe za proces puštanja sustava u pogon,
- definiranje opsega puštanja sustava u pogon,
- definiranje sustava pomoću P&ID dijagrama i druge bitne dokumentacije, poput fizičke raspodjele komponenata, sustava, dijagrama toka i liste opreme,
- sastavljanje procjene proračuna puštanja sustava u pogon,
- proučavanje različitih studija opasnosti,
- sastavljanje standardnih procedura za rad sa sustavom,
- sastavljanje dokumentacije za trening operatera,
- dogovor o sigurnosti sustava sa svim stranama,
- sastavljanje postupaka za puštanje sustava u pogon,
- sastavljanje početnog rasporeda puštanja sustava u pogon.

Jedno od područja koje često izaziva najviše poteškoća jest dokumentacija koja je loše pripremljena ili izvedena. Potrebno je jasno odrediti tko će izraditi operativne postupke i pripreme, a tko paket za trening i obuku. Također je potrebno dokumentirati tko je nadležan za rad s elementima sustava, a tko ima kontrolu nad svim fazama puštanja sustava u pogon.

5.1.1.2. Implementacija

Implementacija je proces puštanja u pogon i uključuje ispitivanje instalacija, provjere prije preuzimanja, suhu i mokru probu te pokretanje nove opreme na licu mjesta u pogon.

Uz fazu implementacije vezane su sljedeće radnje:

- sudjelovanje prilikom dolaska opreme sustava,
- sudjelovanje prilikom rastavljanja postojećeg postrojenja,
- testiranje i čišćenje cjevovoda i opreme,
- početak treninga osoblja,
- kontrola primopredaje dokumentacije izgradnje,
- sudjelovanje u početnim provjerama sigurnosti,

- testiranje propuštanja sustava (cjevovodi),
- ispunjavanje sustava kemikalijama/fluidima,
- definiranje početnih točaka puštanja sustava u rad,
- pokretanje sustava,
- provjera ispravnosti rada sustava, a uz prisutnost tehnologa.

Sudjelovanje prilikom dolaska opreme sustava važno je jer se velik dio posla provjere opreme može završiti u tvornici prije instalacije na mjestu ugradnje. Završetak provjere opreme treba poticati jer ima potencijal smanjiti troškove i vrijeme rada na sustavu. Radnje koje se mogu provesti u tvornici prilikom preuzimanja opreme test je ispravnosti brtvljenja, provjera čistoće i provjera ugradbe. Do pojave grešaka dolazi zbog pogrešno instalirane i nekvalitetne opreme koja može smetati prohodnosti u postrojenju.

Prije nego što se cijevi i oprema puste u rad, bitno je provesti čišćenje kako bi se osiguralo uspješno pokretanje sustava. Ne izvede li se to pravilno prilikom puštanja sustava u pogon, strani materijali unutar cijevi mogu doći do pumpi, ali i u drugu opremu, a time stvoriti velike štete i ispad sustava.

Metode čišćenja su:

- čišćenje upuhivanjem (zrak ili dušik),
- čišćenje parom,
- čišćenje ispiranjem vodom,
- kemijsko čišćenje,
- mehaničko čišćenje,
- vizualni pregled.

Prije uvođenja agresivnih kemikalija u pogon sustava, potrebno je osigurati spremnost sustava za taj proces. Tijekom faze izgradnje vrši se testiranje pod tlakom za provjeru integriteta cijevi, a kod puštanja u pogon, testira se brtvljenje tijekom rada sustava. Tijekom puštanja sustava u pogon potrebno je provjeriti sve sigurnosne sustave, uključujući i alarme, a uz manipulaciju stvarnih procesnih vrijednosti. Provjeravaju se također sva hitna isključivanja sustava te se prate svi neuspjeli koraci.

5.1.1.3. Završna faza

Završna faza puštanja u pogon najčešće je zanemarivana, ali ne bi smjela biti. Ona podrazumijeva da se sva dokumentacija nakon testiranja ažurira i utvrdi da su postrojenje i oprema ostvarili zadane kriterije.

U završnu fazu ulaze sljedeće radnje:

- ažuriranje svih dokumenata,
- potrebne modifikacije sustava nakon puštanja u pogon,
- ažuriranje dokumentacije za trening osoblja.

Završna faza puštanja u pogon podrazumijeva zabilješke svih promjena koje su učinjene s obzirom na početnu dokumentaciju puštanja sustava u rad. Potrebno je ažurirati dokumentaciju samog sustava, kao i za trening osoblja. Taj se korak često preskače pa se tek prilikom sljedećeg ispada doznaje da postojeća dokumentacija ne prati sustav. Kako bi se izbjegla neažurna dokumentacija, osoba zadužena za puštanje u pogon treba bilježiti i javiti sve promjene projektantima sustava, a oni ih unijeti u dokumentaciju.

5.1.2. Postupak puštanja u pogon

Prije prvog puštanja postrojenja u rad korisnik mora izvršiti provjere sklopovlja i veza. Ta provjera oduzima određeno vrijeme, no ono će smanjiti ukupno početno vrijeme puštanja sustava u rad, a posebno u velikim i kompleksnim sustavima s mnogo ulaza i izlaza.

Provjere za vrijeme puštanja u pogon sustava:

- je li sve izvršeno prema tehničkoj dokumentaciji,
- jesu li parametri uređaja podešeni prema tvornički zadanim vrijednostima,
- je li zaštita napona dodira ispravno izvedena,
- je li sva zaštitna oprema ispravno postavljena (osigurači, nadstrujna zaštita, drugo),
- poklapa li se smjer elektromotora sa smjerom strelice na prirubnici motora,

- okreće li se osovina pumpe lako rukom (mogući zastoj rotora),
- jesu li svi ventili otvoreni do kraja (da ne izazovu smetnju unutar sustava),
- jesu li svi kontakti dobro pritegnuti (ako dođe do popuštanja prilikom transporta),
- je li ožičenje ispravno i sigurno izvedeno te prati li standard,
- vizualnu provjeru sustava, provjeru jesu li sve komponente PLC-a na predviđenim mjestima,
- jesu li moduli PLC-a instalirani na predviđenim mjestima te čvrsto montirani,
- poklapaju li se naponski nivoi napajanja sa zadanim i traženim naponskim nivoima,
- jesu li sve komponente ispravno povezane komunikacijskim kablovima,
- radi li 'hitni stop' (isklop u slučaju nužde),
- jesu li svi ulazi i izlazi spojeni na potrebne spojne točke (senzore, tipkala, prekidače, drugo).

Korak puštanja energije obuhvaća provjeru dobivaju li svi elementi sustava energiju te se provjeravaju točke koje ne smiju biti na električnom potencijalu. Svi ulazi sklopnika moraju biti pod naponom, no ako nisu uključeni, tada njihovi izlazi ne smiju biti pod naponom. U suprotnom postoji kvar sustava te je sustav potrebno isključiti i provjeriti ožičenje. Ako PLC pokazuje na svojim signalnim svjetlećim diodama da je sve u redu, može se nastaviti sa sljedećim korakom puštanja sustava u rad. Nakon što je puštena energija na glavne komponente sustava slijedi puštanje energije na panel i PC te provjera radi li sve ispravno. Time su zadovoljeni svi uvjeti za test ulaza i izlaza, tj. krajnjih elemenata sustava i svih senzora

Nakon koraka puštanja energije slijedi **suha proba**. Ovaj se korak radi 'na suho', drugim riječima bez ikakvog medija u sustavu, jer još nije sigurno jesu li svi dijelovi ispravni. Ako neki dio i nije ispravan, šteta će biti ograničenog opsega ili je uopće neće biti. Ovdje se testiraju pumpe, ventilatori, plamenici, miješalice, grijači, odnosno svi elementi vezani na izlaze PLC-a, a provjerava se i sve ulazne elemente i mjerne članove, bili oni digitalni ili analogni.

Nakon suhe probe slijedi korak **mokre probe**. Taj korak je u potpunosti analogan prijašnjem, ali se proces ispunjava medijem. Moglo bi se reći da je to korak do potpunog sustava, odnosno ručni rad sustava. Testira se radi li sustav ispravno kad je

ispunjen, dolazi li do puštanja prilikom rada te ponašaju li se komponente ispravno za vrijeme opterećenja (temperatura, tlak, vlaga).

Nakon mokre probe puštaju se u rad regulatori. Sada se cijeli sustav prepušta automatskom načinu rada te provjerava izvršava li sustav automatizacije uspješno, ispravno i zadovoljavajuće svoju funkciju. Ako regulator ispravno regulira proces, gotovo uvijek ima još mjesta za poboljšanje. U sljedećem se koraku regulatori fino podešavaju za dani proces da se postigne što veća efikasnost i da se sustav ponaša u okviru željenoga.

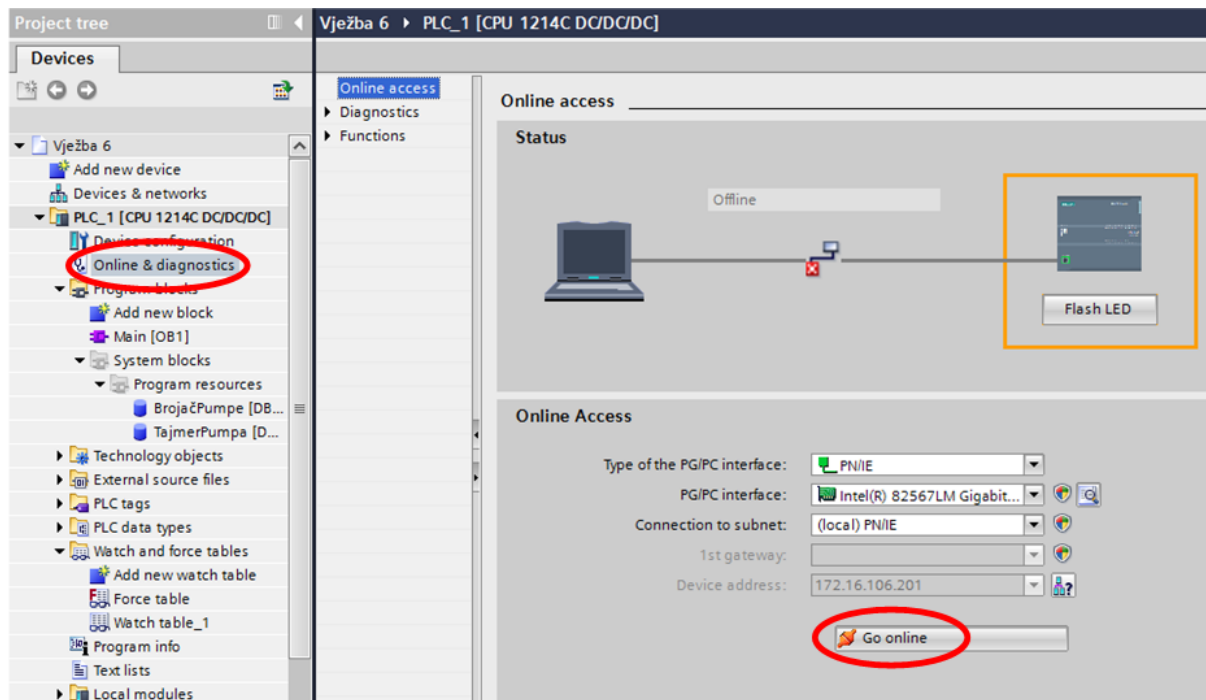
Nakon što je cijeli sustav pušten u pogon i radi ispravno, što se potvrdi navedenim koracima, sustav je spreman za primopredaju. Prije primopredaje potrebno je provesti obuku operatera kako bi ispravno i uspješno mogli sudjelovati u radu sustava automatizacije.

5.2. Dijagnostika u automatiziranim sustavima

Dijagnostika i testiranje važne su funkcije tijekom razvoja projekta PLC sustava, ali i kasnije u radu i održavanju sustava, a u svrhu otkrivanja problema i grešaka.

Program PLC-a dugo vremena može raditi dobro prije nego se pojavi greška u radu koju je načinio programer, a uvjetovana je određenom kombinacijom signala i uvjeta koji se možda rijetko poklapaju. Kako prevoditelj (kompilator) programa otkriva greške sintakse, on ne može otkriti logičke greške koje je programer napravio, a nije ih uočio. Da bi se te greške mogle ispraviti tijekom rada, potrebno je izvršiti dijagnostiku i testiranje sustava jer se bez spajanja softverskim razvojnim okruženjem na PLC, ne može vidjeti što se i na koji način u njemu zbiva.

U softverskom razvojnom okruženju *TIA Portal* spaja se na PLC u svrhu dijagnostike i testiranja klikom na *online* i dijagnostiku (engl. *Online & diagnostics*) u projektnom stablu, a zatim klikom na gumb za *online* vezu (engl. *Go online*), koji se nalazi u dijaloškom prozoru *online* pristupa (engl. *Online access*).



Slika 133. Dijagnostika PLC sustava (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Nakon izvršene dijagnostike i testiranja klikom na gumb za *offline* vezu (engl. *Go offline*), koji se nalazi u dijaloškom prozoru *online* pristupa (engl. *Online access*) u radnom području softvera *TIA Portal*, prekida se spajanje s PLC-om.

Spajanjem na PLC dostupne su različite **dijagnostičke funkcije**:

- općenite informacije,
- dijagnostički status,
- dijagnostički međuspremnik,
- vrijeme ciklusa,
- memorija,
- *Profinet* sučelje.

Općenite informacije (engl. *General*) informiraju o modulu i njegovu proizvođaču.

Iznad *Profinet* priključka nalaze se svjetleće diode statusa PLC-a koje pokazuju sljedeća stanja:

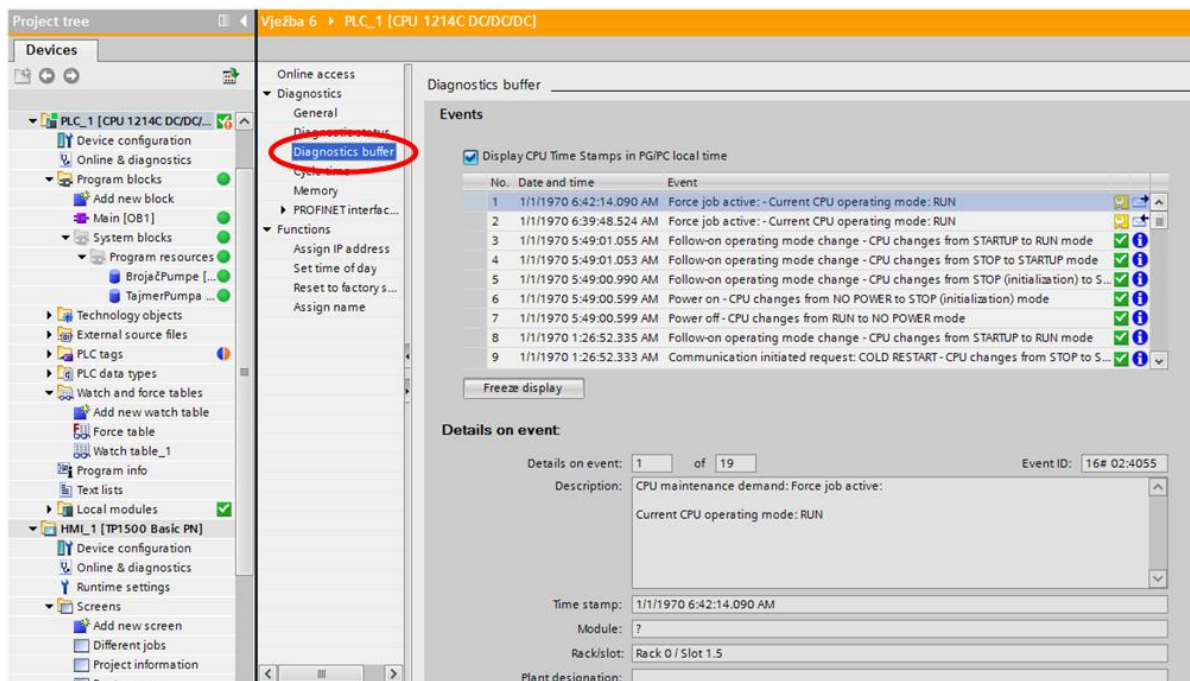
- CPU je u radu (RUN/STOP stalno svijetli zeleno),
- CPU je zaustavljen (RUN/STOP stalno svijetli narančasto),
- CPU se pokreće (RUN/STOP trepće zeleno-narančasto),

- CPU je u grešci (ERROR trepće crveno),
- неисправan hardver (ERROR stalno svijetli crveno),
- CPU je u održavanju (MAINT stalno svijetli narančasto),
- umetnuta memorijska kartica (MAINT trepće narančasto).

Dijagnostički status (engl. *Diagnostic status*) daje dijagnostičke informacije o statusu modula. Kada sve ispravno radi, ispisana je poruka da modul postoji i da je u redu. Javi li se kvar na nekom od modula, ovdje se javlja poruka o statusu greške na određenom modulu.

Vrlo je važna dijagnostička funkcija **dijagnostički međuspremnik** (engl. *Diagnostics buffer*). U njemu se spremaju (sistemske) poruke o (regularnom) radu sustava. Na primjer, uključivanje sustava, promjena načina rada i drugo. Osim njih sadrži poruke o održavanju sustava (na primjer, uključeno forsiranje izlaza).

Najvažnije su poruke o greškama u radu sustava, kao što su greške u korisničkom softveru, konfiguraciji ili na fizičkom hardveru. Uz tekst greške sprema se i datum i vrijeme njezina nastanka. Sprema se samo 50 najnovijih poruka. Uz svaku poruku detaljan je opis i pomoć u rješenju događaja.



Slika 134. Dijagnostički međuspremnik PLC-a (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Sljedeća je dijagnostička funkcija PLC-a **vrijeme ciklusa** (engl. *Cycle time*). U njoj su dane informacije o najkraćem, najduljem i zadnjem vremenu ciklusa izvršavanja programa. U poglavlju 4.2.1. objašnjeno je kako se program PLC-a izvršava ciklički. Vrijeme cikličkog izvršavanja nekad će biti dulje, a nekad kraće, ovisno o toku izvršavanja, a ono o ispunjenim uvjetima u programu.

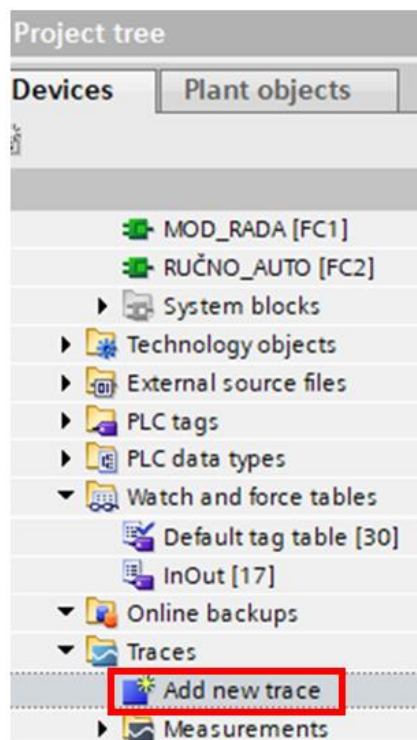
U procesoru PLC-a definira se vrijeme praćenja ciklusa u svrhu sprječavanja da PLC zapne u izvršavanju programa. Postoji li u programu greška koja bi ispunjenjem određenih uvjeta dovela do zastoja, npr. u nekoj petlji, onda bi se nakon 150 ms (vrijeme praćenja ciklusa podešeno tvornički) javila greška zbog prekoračenja vremena ciklusa, te bi ERROR svjetleća dioda treptala crveno. Bez te funkcije PLC program bi se vrtio u petlji, a korisnik bi mislio da se program izvršava normalno.

Dijagnostička funkcija **memorije** (engl. *Memory*) daje informacije o zauzeću memorije učitavanja (engl. *Load memory*), radne memorije (engl. *Work memory*) i memorije za pamćenje (engl. *Retain memory*). Pokuša li se zauzeti više memorije od količine koja u CPU-u postoji, javit će se greška. Ako bi se pokušao učitati program s podacima veći od količine memorije ili ako bi se memorija dinamički punila podacima pa bi se prešla granica, tada bi se također javila greška. Sve su to greške koje korisnik teže može uočiti pa mu je potrebna dijagnostika unutar PLC-a.

Posljednja je dijagnostička funkcija **dijagnostika Profinet sučelja PLC-a**. Tu se nalaze informacije o mrežnom sučelju CPU-a. Često je slučaj da se prilikom konfiguracije pogrešno upiše neki dio mrežne postavke pa se kasnije ne može spojiti na PLC. Tada je potrebno izravno spajanje na PLC i provjera stvarnih postavki, a pomoću ove dijagnostičke funkcije. Drugi slučaj je nepoznavanje adrese PLC-a na koji se dođe nešto raditi, pa se istim postupkom može doći do pronalaska informacija o mrežnom sučelju.

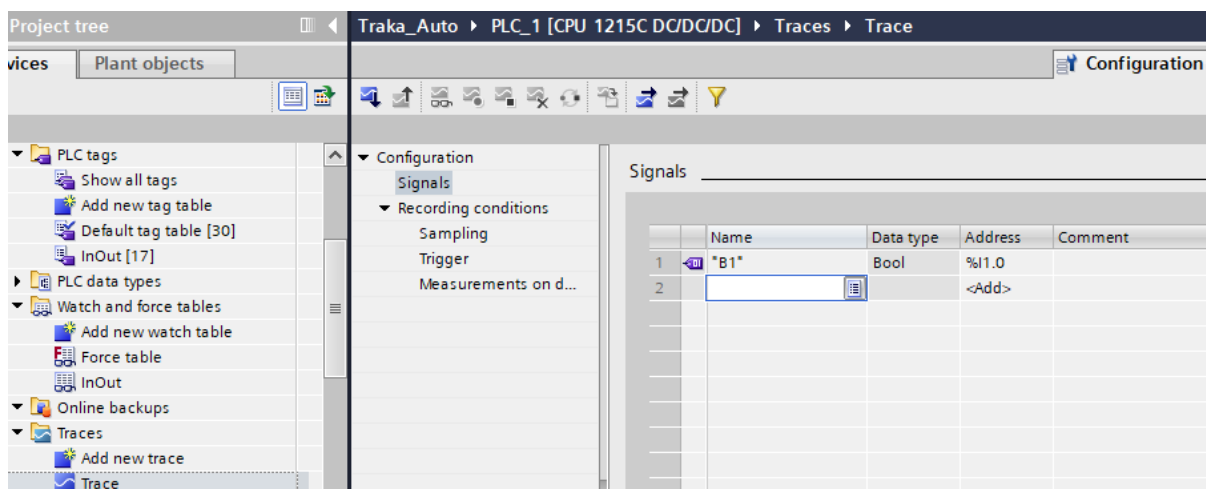
5.3. Mjerenja u automatiziranim sustavima

TIA Portal ima ugrađen alat s funkcionalnošću praćenja i logičkog analizatora signala. Taj je alat posebno pogodan za testiranje i puštanje u pogon signala koji su brzi i kratkog trajanja, a teško ih je pratiti u programskim blokovima i tablici praćenja.



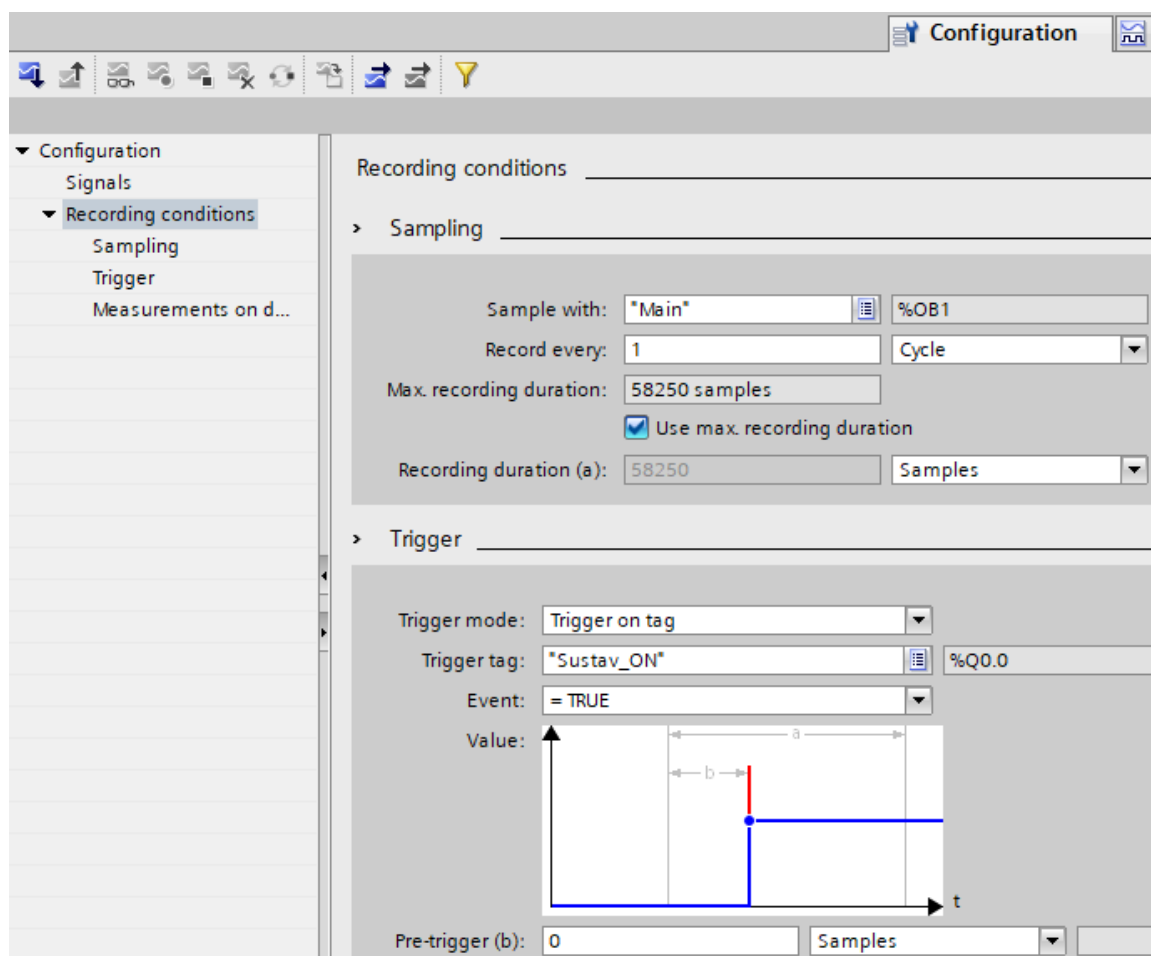
Slika 135. Funkcija praćenja (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Funkcija praćenja (engl. *Trace*) umeće se u projekt dvostrukim klikom na dodavanje novog praćenja (engl. *Add new trace*) u mapi praćenja (engl. *Traces*) u projektnom stablu PLC-a. Prvo što se definira u funkciji praćenja signali su koji će se pratiti i analizirati. U tablicu signali definirani u projektu mogu se upisati svojim simboličkim ili apsolutnim adresama.



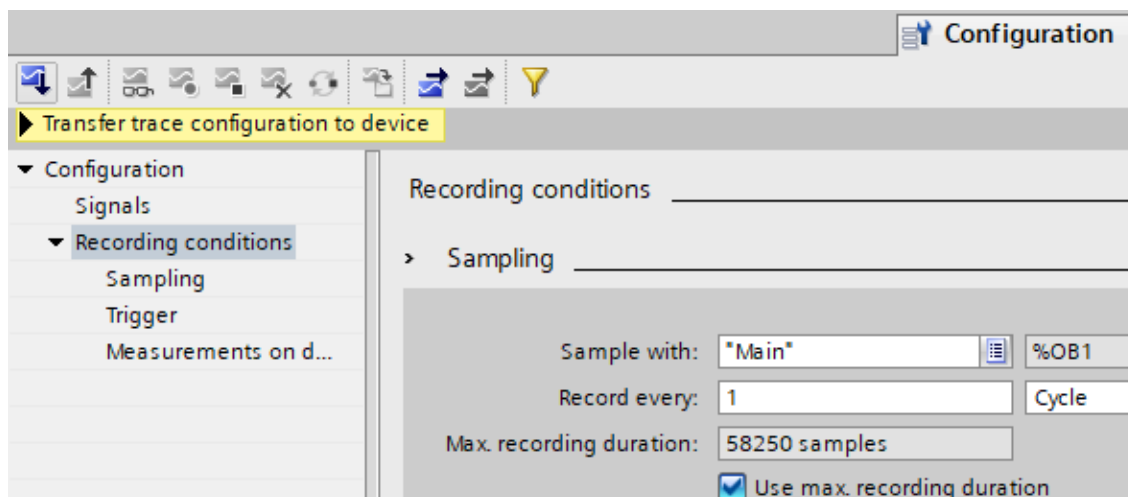
Slika 136. Signali praćenja (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Nakon toga je potrebno podesiti parametre snimanja signala definiranjem organizacijskoga bloka kojim će se uzimati uzorci signala. To može biti glavni (engl. *Main*) organizacijski blok programskog ciklusa (OB1) ili neki drugi organizacijski blok. Osim bloka potrebno je podesiti i svaki koliko ciklusa odabranog bloka će se vršiti uzimanje uzoraka te koliko će se uzoraka uzimati ukupno tijekom snimanja signala. Zadnja postavka koju je potrebno napraviti definiranje je okidača snimanja (engl. *Trigger*). Okidač snimanja može se postaviti na snimanje koje počinje odmah (engl. *Record immediately*) ili na snimanje koje počinje kad određena varijabla poprimi definiranu vrijednost (engl. *Trigger on tag*).



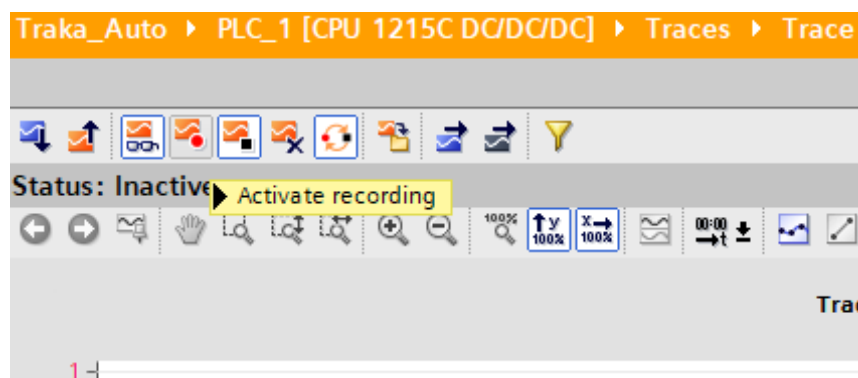
Slika 137. Uvjeti snimanja (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Po završetku konfiguracije funkcije praćenja potrebno ju je prebaciti u PLC uređaj odabirom ikone prijenosa konfiguracije u uređaj (engl. *Transfer trace configuration to device*).



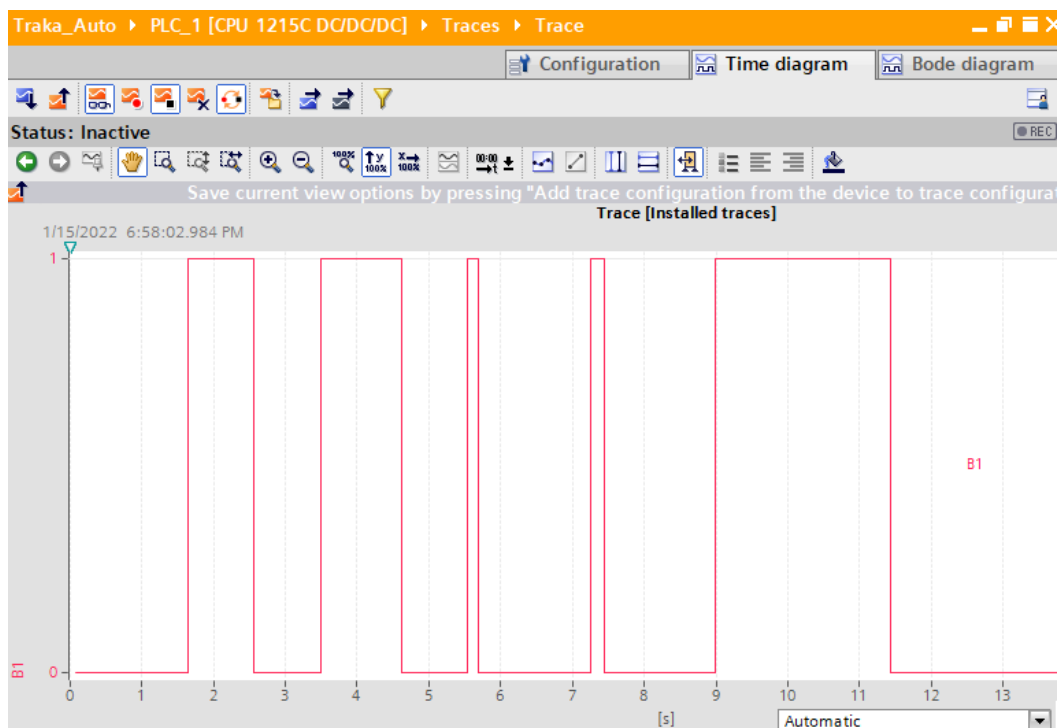
Slika 138. Prijenos funkcije praćenja (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Sljedeći je korak aktivacija snimanja definiranih signala odabirom ikone aktiviranja snimanja (engl. *Activate Recording*).



Slika 139. Pokretanje funkcije praćenja (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Želi li se trajno aktivirati snimanje signala, opcija se može uključiti odabirom ikone automatskog ponavljanja snimanja (engl. *Automatically repeat recording*), kojom se po završetku jednog definiranog ciklusa mjerenja pokreće sljedeći ciklus, tako dugo dok se ne zaustavi funkcija praćenja.



Slika 140. Rezultat funkcije praćenja (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

5.4. Računalni sustavi za nadzor, mjerenje i upravljanje

U poglavlju 1.1.2. i 1.1.3. prikazane su strukture i dijelovi računalnog sustava za nadzor, mjerenje i upravljanje. **Sustav kojim komuniciraju čovjek i stroj naziva se HMI (engl. *Human Machine Interface*) sučelje.** HMI sučeljem operater upravlja radom stroja (npr. pokreće i zaustavlja rad stroja, određuje način rada i parametre stroja) i nadzire njegov rad (prikazanim mjerenim i ostalim podacima sustava).

HMI uređaji se općenito dijele u dvije kategorije:

- ekrani (paneli),
- PC sustavi.

Ekrani se, kao HMI uređaji, češće koriste u odnosu na računala za funkciju vizualizacije rada stroja, procesa ili sustava, stoga što su takvi uređaji smješteni na stroju, ormaru u pogonu, postrojenju i slično te moraju izdržati uvjete temperature, vlage, nečistoća, smetnji i vibracija, koji tamo vladaju. Industrijski dodirni ekrani namijenjeni su za takve

vrste aplikacija, dok se računalni (PC) sustavi češće koriste u kontrolnim sobama za vizualizaciju i nadzor nad cjelokupnim sustavima i procesima.

Različite su varijante ekrana, varirajući u veličini od manjih do većih, te u funkcionalnostima od jednostavnih do složenih. Osim toga, ekrani se mogu razlikovati i jesu li monokromatski ili u boji. Rad s ekranima može biti tipkama ili na dodir. Dodirni ekrani su u današnje vrijeme najčešće u uporabi jer pružaju veću fleksibilnost i naprednije mogućnosti u radu.



Slika 141. Dodirni ekran (rad autora)

U industrijskim sustavima HMI uređaji imaju višestruke funkcije. Primarno se koriste za vizualizaciju procesa radi praćenja same proizvodnje. Koriste ih inženjeri kao radne stanice pomoću kojih mogu mijenjati hardverske i softverske dijelove sustava (većinom PLC-a). Operateri ih koriste kao radne stanice pomoću kojih se upravlja radom sustava i prati sam rad. Zatim se koriste kao stanice za zapisivanje i pohranu podataka mjerenja, kao stanice za vremenski prikaz podataka te za obradu podataka i izvještavanje.

HMI uređaji se u hijerarhiji sustava automatizacije nalaze iznad PLC-a. Posredstvom različitih komunikacijskih sustava (najčešće *Profibus*, *Ethernet* ili *Profinet*) povezani su međusobno i s PLC-ovima. Složenost informacija HMI uređaja veća je nego PLC-ova, a brzina kojom se informacije razmjenjuju manja je u odnosu na PLC-ove.

Postupak rada sa HMI uređajima unutar softverskog razvojnog okruženja *TIA Portal* započinje dodavanjem HMI uređaja klikom na dodavanje novog uređaja (engl. *Add new device*), a zatim na HMI i odabirom željenog HMI uređaja. Nakon toga se pokreće dijaloški prozor čarobnjaka za konfiguraciju HMI uređaja.

Softversko razvojno okruženje *TIA Portal*, za rad s HMI uređajima, podijeljeno je u nekoliko dijelova:

- prozor projekta,
- radno područje,
- prozor detalja,
- prozor nadzornika,
- alati (s osnovnim objektima, elementima, kontrolama i grafičkim elementima).

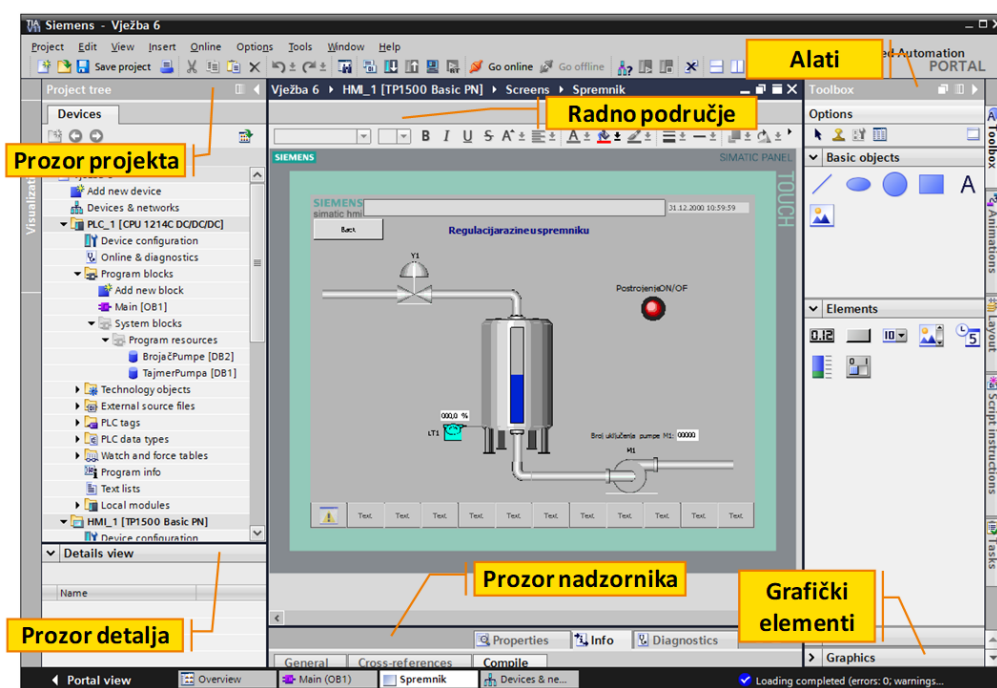
Prozor projekta sadrži sve komponente i podatke automatizacijskog rješenja. U njemu mogu biti dodane nove komponente ili postojeće mogu biti uređivane i mijenjane.

U radnom području prikazuju se objekti koji se mogu otvoriti u svrhu uređivanja. Ti objekti mogu biti hardverske komponente, ekrani, liste, alarmi. Može se otvoriti njih nekoliko, ali je moguće vidjeti samo jedan od tih objekata u radnom području. Svi ostali objekti prikazani su u formi kartica na traci uređivača.

U prozoru detalja prikazuje se određeni sadržaj odabranog objekta. Mogući sadržaj su, na primjer, tekstualne liste ili varijable.

Prozor nadzornika služi za prikaz dodatnih informacija odabranog objekta ili izvršenih akcija.

Alati su skup različitih grupa objekata kojima se kreiraju izgled i elementi ekrana.



Slika 142. Softversko razvojno okruženje (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

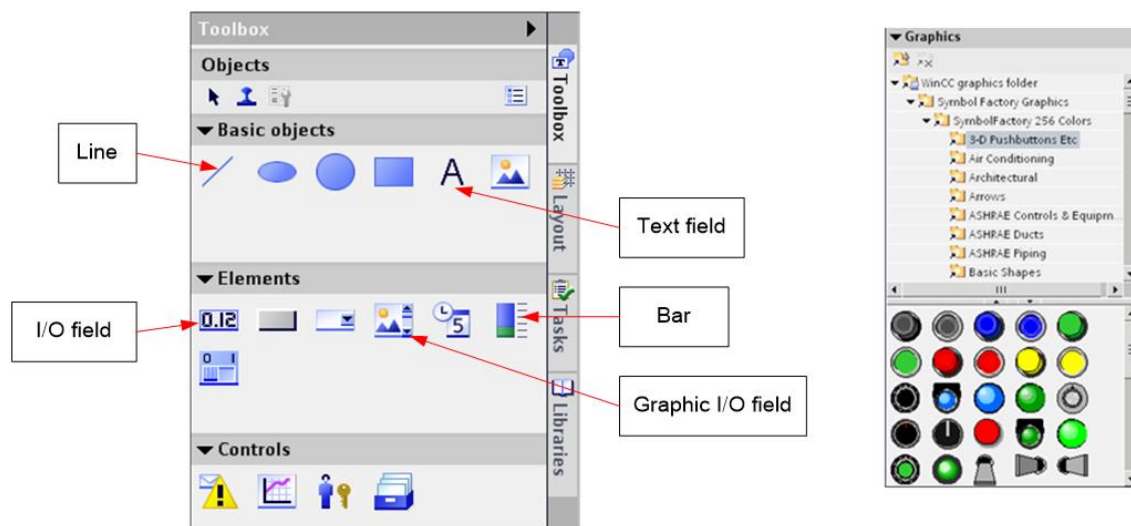
Unutar grupe alata nalaze se **osnovni objekti, elementi, kontrole i grafički elementi**.

Osnovni objekti su elementi kojima se kreira statički dio ekrana. To su, na primjer, linije i polja za tekst.

Elementi se kreiraju dinamički dijelovi ekrana. To su, na primjer, ulazno/izlazno polje podataka, ulazno/izlazno polje grafičkih elemenata i stupčasti prikaz.

Kontrole su također dinamički elementi ekrana, ali su složenije strukture od elemenata. Na primjer, to su kontrole za vremenske grafikone, alarmne prozore i administraciju korisnika.

Grafički elementi sadrže mnoštvo simbola elemenata automatizacije i industrijskih procesa.



Slika 143. Elementi za izradu vizualizacije (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Ekrani HMI uređaja kreiraju se pomoću objekata iz grupe alata. Slika na ekranu, koja nastaje kao rezultat, sastoji se od mnoštva objekata međusobno povezanih u jednu smislenu cjelinu. Slike se obično sastoje više od statičkih elemenata nego od dinamičkih. Budući da dinamički objekti mijenjaju svoj izgled (na primjer, boju, veličinu i vrijednost), ne bi bilo dobro imati ih puno na slici jer bi bilo teško pratiti promjene u sustavu, pa stoga na slici prevladavaju statički elementi.

Nakon kreiranja izgleda ekrana pomoću statičkih i dinamičkih elemenata potrebno je dinamičke elemente povezati s varijablama u PLC-u. Tako dugo dok se dinamički elementi ekrana ne povežu s određenim varijablama u PLC-u, oni ne vrše svoju funkciju i nisu ništa drugačiji od statičkih. Da bi mogli vršiti svoju svrhu, potrebno ih je

pomoću svojstava (engl. *Properties*) povezati s varijablama u PLC-u. Elementi se još mogu povezati s varijablama PLC-a i pomoću metode 'vuci i ispusti', tj. povlačenjem željene varijable iz PLC-a i ispuštanjem na element na ekranu. Time se automatski stvara veza između odabrane varijable i elementa. Tip podatka varijable treba odgovarati tipu podatka dinamičkog elementa kako bi se mogli uspješno povezati.

Kada se dinamički elementi povežu s varijablama PLC-a, uz prethodno podešenu mrežnu vezu, može se HMI uređaj pustiti u rad.

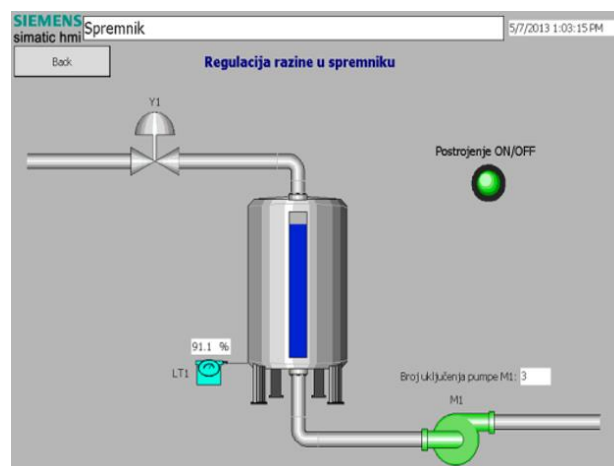
Većina softverskih razvojnih okruženja u kojima se realiziraju projekti HMI uređaja, pa tako i *TIA Portal*, omogućava provjeru rada ekrana:

- simulacijom na računalu bez spojenog PLC-a,
- simulacijom na računalu uz spojeni PLC,
- na stvarnom ekranu.

Simulacija na računalu bez spojenog PLC-a koristi se za provjeru izgleda ekrana HMI uređaja, dok se simulacija na računalu uz spojeni PLC koristi kako bi se, uz izgled, provjerila i funkcionalnost projekta HMI uređaja. Te dvije vrste simulacija koriste se u razvoju samog projekta i za testiranje tijekom izrade projekta.

Rad na stvarnom ekranu provjerava se za vrijeme puštanja u pogon na samom postrojenju.

U primjeru sa slike 5.13. može se vidjeti da su dinamički elementi polja za prikaz vrijednosti razine i brojača, stupčasti prikaz razine, lampica i pumpa promijenili svoje stanje ovisno o varijabli PLC-a. Cijevi kao statički elementi ostaju cijelo vrijeme iste.



Slika 144. HMI ekran u radu (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

HMI uređaji općenito imaju sljedeće funkcionalnosti:

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

Navedene funkcionalnosti razlikuju se od uređaja do uređaja, pri čemu složeniji i skuplji uređaji obično imaju veće i bolje funkcionalnosti.

Grafički sustav služi za izradu ekrana HMI uređaja statičkim i dinamičkim elementima.

Sustav poruka služi za upravljanje porukama HMI uređaja. Poruke kojima se upravlja su systemske poruke, poruke o regularnom radu sustava, poruke upozorenja i poruke o greškama (alarmne poruke).

Sustav pohranjivanja služi za pohranjivanje prije navedenih poruka, ali prvenstveno služi za pohranjivanje mjerenih podataka iz procesa.

Sustav izvještavanja služi za izvještavanje, u određenom obliku, o proizvodnji, događajima i drugom.

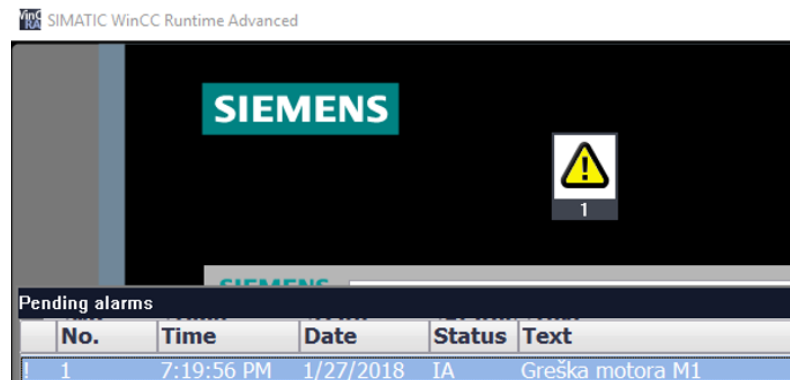
Procesna komunikacija služi za konfiguraciju komunikacije s različitim procesnim uređajima različitih proizvođača. Za sve ostale uređaje za koje ne postoje ugrađeni upravljački programi, komunikacija se vrši **standardnim sučeljima**.

Skripte služe za pisanje vlastitih funkcija u nekom od standardnih skriptnih jezika, obično u VBS (engl. *Visual Basic Script*) ili C jeziku. One se koriste za realizaciju korisničkih funkcija koje nisu standardno realizirane u softveru HMI-ja.

Programska sučelja služe za povezivanje s ostalim *Windows* aplikacijama posredstvom API (engl. *Application Programming Interface*), OLE (engl. *Object Linking & Embedding*) ili COM (engl. *Component Object Model*) objekata i sučelja.

5.5. Otklanjanje kvarova unutar automatiziranih sustava

U automatiziranim sustavima pojava kvarova detektira se PLC sustavom. Poruka o detektiranom kvaru prikazuje se na HMI uređaju. U poruci o kvaru prikazuje se datum i vrijeme nastalog kvara te podaci koji ukazuju na status i mjesto, tj. element na kojemu je kvar nastao. Poruka o kvaru na HMI sustavima naziva se alarmna poruka.

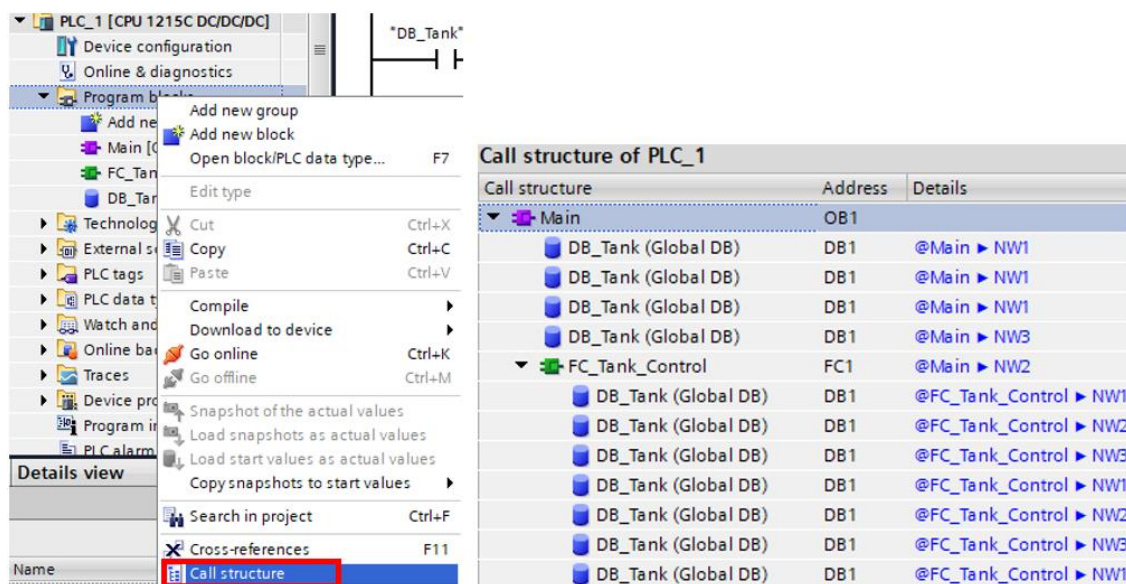


Slika 145. Alarmna poruka sustava (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Pojavom alarmne poruke operateru koji radi na automatiziranom sustavu daje se vizualna signalizacija porukom i rotirajućim crvenim svjetlom te zvučna signalizacija sirenom. Zvučna i svjetlosna signalizacija osiguravaju da operater djeluje pravovremeno na pojavu kvara. Ako poruka o kvaru pokazuje u čemu je problem, operater će pozvati dežurne službe koje će otkloniti kvar. Na primjer, motor M1 prestao je raditi jer je pregorio. Dežurna će elektro služba otkloniti kvar i zamijeniti неисправan motor ispravnim.

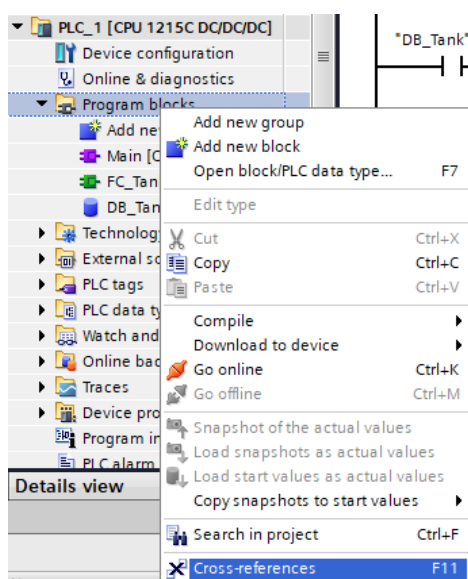
Ako iz same alarmne poruke nije odmah vidljivo u čemu je problem, potrebno je pomoću softverskog razvojnog okruženja i *online* spajanja na PLC sustav utvrditi razlog pojave poruke i vrstu nastalog kvara ili zastoja u radu sustava. Na primjer, jedan je od senzora u sustavu неисправan i ne detektira predmet koji stroj obrađuje pa stroju nedostaje taj uvjet za nastavak rada. Kako bi se detektirala takva vrsta kvara u radu sustava, *TIA Portal* omogućuje prikaz **strukture** svih **poziva** programskih i podatkovnih **blokova**. Ako je za obradu predmeta definiran određeni programski blok, može se lako doći do poziva tog bloka i provjere uvjeta u njemu kako bi se utvrdilo koji nedostaje. Do strukture poziva dolazi se klikom desne tipke miša na programske

blokove (engl. *Program blocks*) u projektnom stablu i zatim na poziv strukture (engl. *Call structure*).



Slika 146. Struktura poziva programskih blokova (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Popis unakrsnih referenci (engl. *Cross-references*) daje uvid u korištenje programskih elemenata (varijabli i blokova) i vrlo je koristan alat u detektiranju kvarova, ispravljanju grešaka ili za unošenje kasnijih promjena u programski kod. Pokreće se klikom desne tipke miša na programske blokove (engl. *Program blocks*) u projektnom stablu i zatim na popis unakrsnih referenci (engl. *Cross-references*). Popisom unakrsnih referenci može se brzo i lako doći do željenog elementa u programskom kodu.



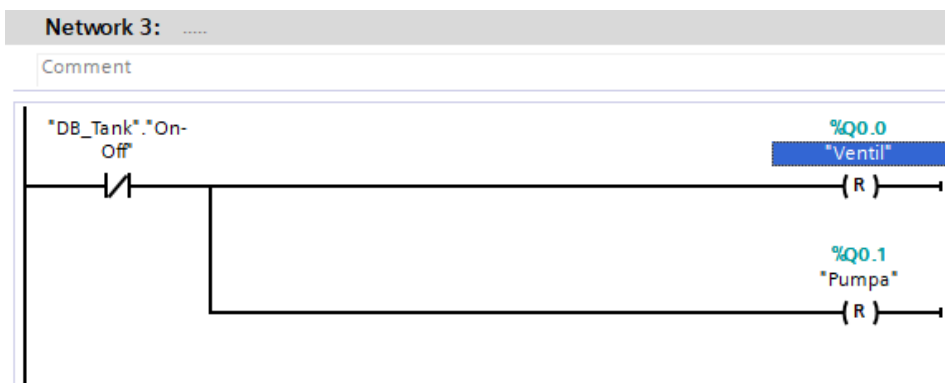
Slika 147. Popis referenci (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

U tablici unakrsnih referenci bit će prikazani svi programski elementi i njihovo korištenje unutar cijelog projekta. Na taj se način lako može otkriti gdje je sve unutar projekta potrebno promijeniti naredbe i sl. kako bi se ispravila greška, promijenila funkcionalnost itd. Pronalaskom traženog elementa u tablici može se provjeriti ima li element zadovoljene uvjete za rad ili ne u programskom kodu te se zbog neispravnog rada elementa može detektirati uzrok zastoja u radu sustava.

Object	Reference location	Reference ..	As	Access	Address	Type
Main					%OB1	LAD-Organization..
FC_Tank_Control					%FC1	LAD-Function
DB_Tank	@Main ▶ NW2	Uses		Call	%DB1	Global DB
Pumpa	@Main ▶ NW3	Uses		Write	%Q0.1	Bool
temp_Ptrig	@Main ▶ NW1	Uses		Read ...	%M0.0	Bool
Ventil	@Main ▶ NW1	Uses		Write	%Q0.0	Bool
FC_Tank_Control	@Main ▶ NW3	Uses		Write		
Main					%FC1	LAD-Function
DB_Tank	@Main ▶ NW2	Used by		Call	%OB1	LAD-Organization..
Lmax					%DB1	Global DB
					%I0.1	Bool

Slika 148. Programski elementi u popisu referenci (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

Iz tablice unakrsnih referenci dolazi se do odabranog programskog elementa klikom na njega (u ovom primjeru za varijablu Ventil na slici 5.17.) u stupcu referentne lokacije (engl. *Reference location*) i sustav će korisnika prebaciti u dio projekta u kojemu se nalazi odabrani element (slika 5.18.).



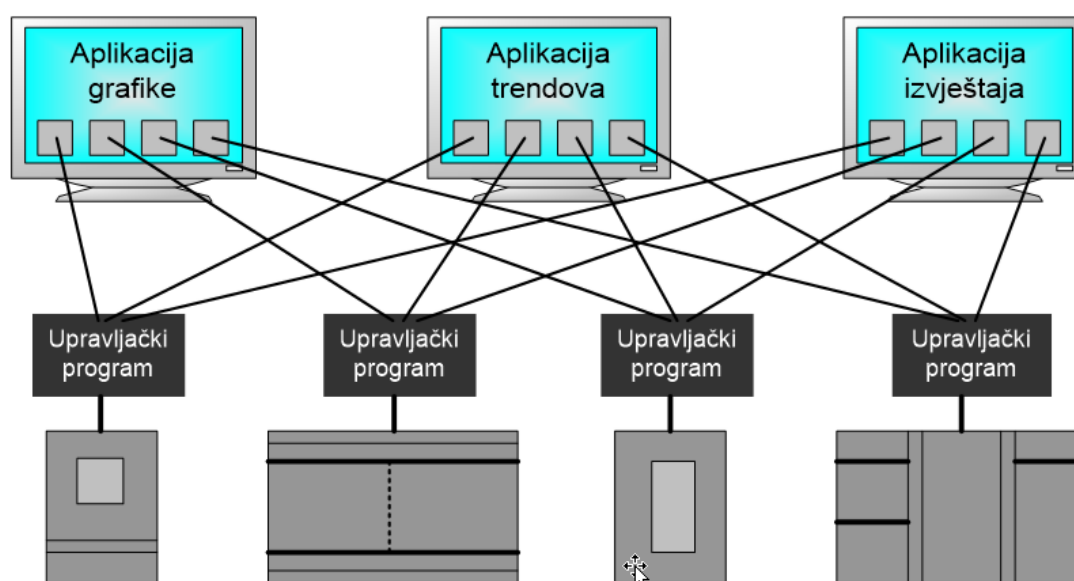
Slika 149. Programski element iz popisa referenci (snimka zaslona iz softvera TIA Portal)

5.6. Integracija automatiziranog sustava

U prošlosti su se sustavi automatizacije, čiji su dijelovi i HMI uređaji, bazirali na komunikacijskim protokolima koji su bili svojstveni sklopovlju uređaja koji su se povezivali. Takav način povezivanja zahtijevao je izradu komunikacijskih programskih sučelja (upravljačkih programa) za svaki uređaj u sustavu. Programska sučelja su se isporučivala u sklopu SCADA (engl. *Supervisory Control and Data Acquisition*) sustava samo za poznatije uređaje te je povezivanje nekih uređaja često predstavljalo nepremostiv problem. U tom slučaju su se koristili različiti pretvarači protokola koji su često bili skuplji od samih uređaja.

Glavni problem bio je isporučivanje uređaja različitih proizvođača s programskim sučeljima koja nisu standardizirana. Zbog toga je za svaki uređaj bilo potrebno izrađivati posebno programsko sučelje, a što je sustav činilo složenijim i skupljim za izvedbu i održavanje.

U blok-shemi na slici 5.19. nalaze se tri HMI uređaja, jedan za grafički prikaz, drugi za vremenske dijagrame signala (trendove), a treći za izvještavanje. Svi ti uređaji povezani su s četiri PLC-a različitih proizvođača. Da bi bila moguća komunikacija i razmjena podataka među svim tim uređajima, potrebno je da svaki HMI uređaj u svojem softveru sadrži upravljačke programe za sve PLC-ove. To zahtijeva složen i skup sustav.



Slika 150. Sustavi automatizacije u prošlosti (rad autora)

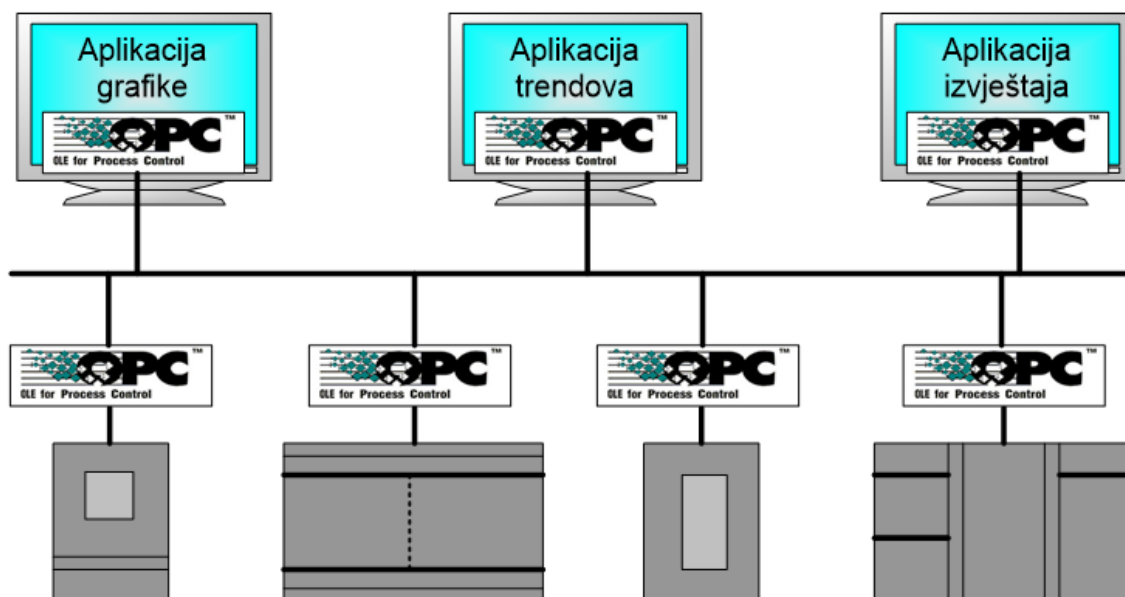
Zbog problema koji su se pojavljivali u takvim sustavima automatizacije, moralo se pronaći novo rješenje. Ono je bilo u razvoju standardnog sučelja koje će omogućiti jednostavnu primjenu, održavanje i sva buduća proširenja.

Takav standard trebao je biti prikladan i za jednostavne i za složene sustave te baziran na otvorenoj i jednostavnoj komunikaciji od najniže razine automatizacije pa sve do složenih informacijskih sustava. Zbog toga je osnovana organizacija koja radi na razvoju takvog standarda za razmjenu podataka pod nazivom *OPC Foundation* (www.opcfoundation.org – od 1995. godine). Tu neprofitabilnu organizaciju čine tvrtke i ustanove koje se bave područjem automatizacije (preko 300 članica). Namjena joj je osiguranje uzajamnog djelovanja u automatizaciji stvaranjem i održavanjem otvorenih specifikacija koje standardiziraju razmjenu podataka (prva specifikacija izdana 1996. godine).

OPC predstavlja povezivanje otvorenim standardima, odnosno standardni mehanizam komunikacije među mnogim izvorima podataka, od uređaja u pogonima do baza podataka u kontrolnim sobama.

OPC primjenjuje *Microsoft OLE* tehnologiju u upravljanju procesima. Ta je tehnologija kompatibilna s *MS Windows* aplikacijama i koristi *COM* (engl. *Component Object Model*) i *DCOM* (engl. *Distributed Component Object Model*) komunikacijske modele. OPC definira standardne objekte, metode i svojstva kako bi se zadovoljio zahtjev uzajamnog djelovanja različitih tipova hardvera i softvera u sustavima automatizacije.

U blok-shemi na slici 5.20. nalaze se tri HMI uređaja, jedan za grafički prikaz, drugi za vremenske dijagrame signala (trendove), a treći za izvještavanje. Svi ti uređaji povezani su s četiri PLC-a različitih proizvođača. Da bi bila moguća komunikacija i razmjena podataka među svim tim uređajima, više ne mora svaki HMI uređaj u svojem softveru sadržavati upravljačke programe za sve PLC-ove, već se komunikacija odvija posredstvom OPC standardnih sučelja. To sustav čini jednostavnijim i jeftinijim.



Slika 151. Sustavi automatizacije u današnje vrijeme (rad autora)

Osim što se koristi za potrebe industrijskih automatiziranih sustava, OPC standard omogućava laku i brzu integraciju u svijet informatičke tehnologije. Time se omogućava protok informacija od najniže razine u industrijskom pogonu do najviše razine menadžmenta i upravljanja tvornicom.

5.7. Održavanje automatiziranog sustava

Održavanje automatiziranog sustava zahtijeva sustavni pristup, određene faze životnog vijeka i troškove održavanja. Održavanje tehničkih sustava (strojeva i uređaja), kao i funkcija procesa proizvodnje, zauzima važno mjesto u proizvodnom sustavu svake tvornice. Na razvoj održavanja utjecao je brz industrijski razvoj, kao i stalni porast automatizacije i povezanosti sustava te nagli porast troškova zbog kompleksnosti izvedbi strojeva i uređaja.

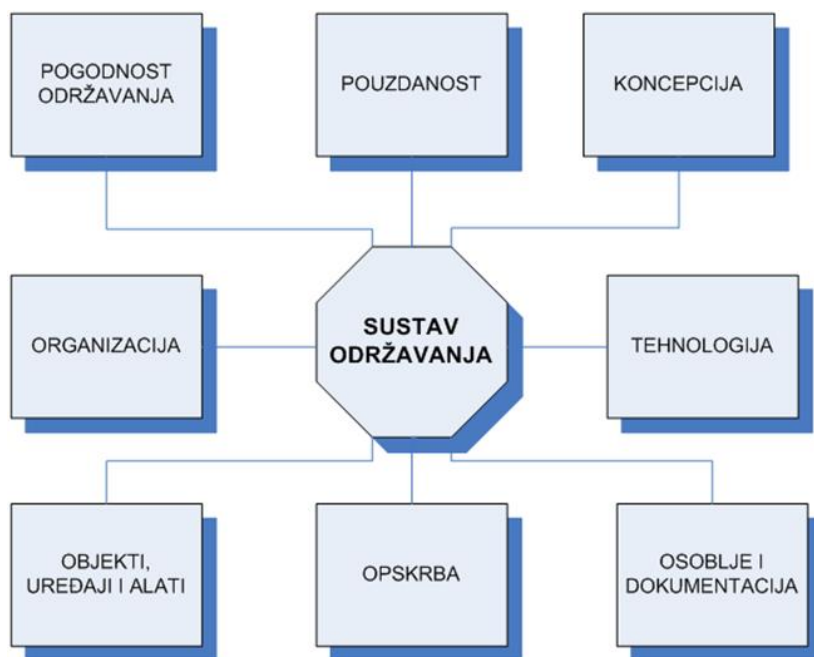
Održavanje se definira kao stalna kontrola nad svim komponentama postrojenja, kao i izvođenje određenih popravaka i preventivnih radova čiji je cilj kontinuirano, funkcionalno osposobljavanje i čuvanje proizvodne opreme, postrojenja i drugih strojeva i uređaja.

Osnovni ciljevi održavanja su:

- minimiziranje troškova zbog zastoja u radu uslijed neplaniranih kvarova na postrojenju,
- sprječavanje, odnosno usporavanje starenja postrojenja, koje nastaje kao posljedica loše kvalitete proizvoda,
- smanjenje troškova rada i materijala u proizvodnji, koji nastaju uslijed kvarova i zastoja u procesu rada,
- pružanje organizirane pomoći svugdje gdje je potrebno održavanje i upravljanje opremom.

Sustav održavanja definiran je sljedećim elementima:

- **pouzdanost automatiziranog sustava** – jedna je od osnovnih karakteristika koja direktno utječe i na sustav održavanja. Ne postoji apsolutno pouzdan automatizirani sustav. Pouzdanost se odnosi na sprječavanje ispada sustava,
- **pogodnost održavanja** – utječe na ukupnu sigurnost rada sustava. Obuhvaća osobine sustava u pogledu mogućnosti za potrebna održavanja,
- **strategija održavanja** (konceptcija) – politika ili koncept održavanja, određuje u kojem trenutku se provode metode preventivnog ili korektivnog održavanja,
- **tehnologija sustava** – dijeli se na mikrotehnologiju (na samom radnom mjestu) i makrotehnologiju (sustav održavanja u cjelini),
- **organizacija sustava održavanja** – predstavlja odnose između radionica ili izvođača koji provode održavanje u smislu podjele nadležnosti, koordinacije te funkcionalne i informatičke integracije,
- **objekti, uređaji i alati** – elementi su bez kojih održavanje nije moguće; najjednostavniji postupci održavanja često se obavljaju bez ikakvih alata i uređaja, dok izuzetno složeni postupci održavanja zahtijevaju posebne i specijalne uređaje i alate,
- **osoblje i dokumentacija** – struktura, starost, obučenost radne snage; upute, katalozi, priručnici, norme,
- **opskrba** – jedan je od najsloženijih dijelova sustava održavanja: opskrba rezervnim dijelovima, energentima, vodom, potrošnim i drugim materijalima; opskrba informacijama i dokumentacijom.



Slika 152. Sustav održavanja (rad autora)

Životni vijek nekog stroja, postrojenja, uređaja ili bilo kojeg drugog dijela automatiziranog sustava ima složenu strukturu. Obuhvaća niz posebnih, ali međusobno povezanih i vremenski usklađenih grupa aktivnosti.

Faze životnog vijeka su:

- strateško i idejno rješenje,
- razvoj i projektiranje,
- proizvodnja i puštanje u rad,
- upotreba i održavanje,
- rashod.

Ukupni troškovi radnog vijeka određuju i prodajnu cijenu tehničkog sustava, kao i nivo njegovih početnih materijalnih ulaganja. Vidljivi troškovi su troškovi nabave, a prikriveni troškovi su: troškovi distribucije, održavanja, obuke, zaliha, tehničke dokumentacije, informatike, pogona te troškovi rashoda.

Troškovi održavanja strojeva i postrojenja pokazuju tendenciju stalnog porasta, zbog performansi, složenosti i većih potreba za održavanjem. Procjena troškova održavanja jedan je od bitnih elemenata objektivnog odlučivanja o projektu sustava i njegovoj izvedbi. Potrebno je identificirati sve vrste troškova i točke njihova nastanka te napraviti usporedbu pojedinih troškova u različitim varijantama promatranog

sustava. Troškovi održavanja u načelu ovise i o karakteristikama pouzdanosti sustava koji se promatra.

Kada se automatizirani sustav proizvede i pusti u pogon, može biti u jednom od dva moguća stanja: stanju rada i stanju ispada. Ako je sustav ispravan i izvršava propisani zadatak, na propisan način i u propisanom vremenu, on je u stanju rada. Ako nije ispravan i zadatak se ne izvršava na propisan način, nalazi se u stanju ispada.

5.7.1. Sustavi, vrste i postupci održavanja

Sustavi održavanja su:

- održavanje prema pouzdanosti,
- ukupno produktivno održavanje.

Održavanje prema pouzdanosti temelji se na postavkama teorije pouzdanosti i sistemskim znanostima.

Ukupno produktivno održavanje temelji se na procjeni trenutnog stanja sustava koji se održava, a ne na određenim empirijskim karakteristikama i zakonima pouzdanosti njegova prethodnog rada. Ono se provodi u trenutku kada je dovoljno jasno da će doći do ispada kako bi se spriječio zastoj u radu strojeva i postrojenja.

Osnovno održavanje obuhvaća sve postupke koje obavlja sam korisnik, bez nekih posebnih tehnoloških zahtjeva, bez specijalnih alata ili drugih uređaja, kao i osnovne postupke (pranje i čišćenje, opskrba gorivom, elementarna podešavanja, pregled stanja sustava, provjera instrumenata).

Održavanje prema stanju vrši se osnovom pregleda pomoću utvrđenih metoda, te je kao takvo efikasno i stvara manje troškove održavanja.

Tehnologija održavanja određuje način na koji se provodi održavanje (kojim alatom, po kojem redoslijedu te kako se provjerava kvaliteta izvršenog održavanja).

Postupci održavanja predstavljaju aktivnosti i operacije potrebne da bi se sustav iz stanja ispada vratio u stanje rada.

Postupci održavanja dijele se na:

- osnovno održavanje,
- nadzor,
- pregled stanja – bez rastavljanja, s potpunim ili djelomičnim rastavljanjem,
- popravci,
- inovacije – poboljšanja sustava.

Dvije su osnovne vrste održavanja:

- preventivno održavanje,
- korektivno održavanje.

Preventivno (plansko) održavanje je održavanje koje se obavlja tijekom rada sustava u unaprijed određenim intervalima s ciljem smanjenja vjerojatnosti kvara i ispada. Ideja je da se provodi u zadanim vremenskim intervalima, ali često neki drugi faktor može odlučivati o provođenju, poput broja radnih sati, broj okretaja nekog elementa, broj prijeđenih kilometara, i drugo.

Na primjer, preventivno održavanje bi se moglo provoditi na pumpama, kompresorima, ventilatorima, motorima, na temelju broja radnih sati, te po potrebi mijenjati ležajeve, filtere i prstenove klipova.

Preventivna zamjena obuhvaća sve postupke koji dovode do veće pouzdanosti, u slučajevima kada je promatrani element u svom životnom vijeku već ušao u period čestih ispada (zbog zamora, habanja, korozije). Kod preventivne zamjene treba voditi računa o tome da je svaka izgradnja ili ugradnja novog ili popravljenog elementa praćena s dvije nepoznanice: je li element koji se ugrađuje dobar i je li ugradnja izvršena dobro. Stoga preventivne zamjene treba vršiti samo onda kada su rizici od ovih nepoznanica manji od pozitivnih efekata koji se ostvaruju.

Zamjena električne žarulje primjer je gdje se najčešće primjenjuje korektivno održavanje, tj. najčešće se žarulje mijenjaju nakon otkaza. Zamjena žarulja strategijom preventivnog održavanja vrši se samo u posebnim slučajevima, tamo gdje su posljedice otkaza žarulje takve da nije dopustivo korektivno održavanje. Žarulja ima vijek trajanja između 500 i 3500 sati rada, što najviše ovisi o tome kako se često uključuje i isključuje. Ako se primjenjuje preventivno održavanje, potrebno je predvidjeti plansku zamjenu žarulje nakon 500 sati rada.

Korektivno održavanje vrsta je održavanja koje se provodi kada je sustav ili dio sustava u potpunosti otkazao, ili je istrošen pa ne obavlja predviđenu funkciju.

Ono se sastoji od nekoliko jednostavnih koraka koji će se najlakše usvojiti praktičnim primjerom, npr. bicikla i kotača, tj. njegova ležaja. Nakon nekog vremena može se primijetiti da prilikom vrtnje kotač zvuči drugačije, stvara buku ili vibracije. U tom trenutku se može posumnjati na neispravnost ležaja. Postavljanjem bicikla na postolje za demontažu te okretanjem kotača u praznom hodu uvjerava se da uistinu nešto nije u redu te se odlučuje popraviti kvar. Navedeni je postupak tipičan primjer korektivnog održavanja.

Preventivno i korektivno održavanje najčešće se koriste u kombinaciji; jedan se dio sustava održava preventivno, a drugi korektivno. Prednosti su ovakvog pristupa u najnižoj cijeni održavanja i najvećoj iskoristivosti sustava. Nedostatak predstavlja otežano planiranje i određivanje kada će sustav ili dio sustava prestati s radom. U kompleksnim sustavima ili sustavima u kojima se ne smije dopustiti ispad, kakvi su nuklearna postrojenja, medicinska oprema i avioni, ne može se provoditi korektivno održavanje jer bi izgubili svoju pouzdanost, a što bi zauzvrat moglo dovesti do katastrofalnih posljedica. Korektivno održavanje primjenjuje se na opremi koja ima ponovljivost kvarova.



Slika.153. Koraci u održavanju (rad autora)

Programski alati potrebni u projektiranju sustava automatizacije sljedeći su:

- alat za obradu teksta – npr. *MS Word, LibreOffice Writer*,
- alat za rad s tablicama i proračunima – npr. *MS Excel, LibreOffice Calc*,
- alat za dijagnostiku mjerne opreme – npr. *HART komunikator*,
- alat za dijagnostiku sustava i pogona – npr. *TIA Portal, Starter*.

Pitanja za ponavljanje:

1. Navedi i opiši faze puštanja u pogon.
2. Opiši postupak puštanja u pogon.
3. Objasni dijagnostiku u automatiziranim sustavima.
4. Navedi dijagnostičke funkcije PLC sustava.
5. Pojasni funkciju praćenja za mjerenja u automatiziranim sustavima.
6. Opiši računalni sustav za nadzor, mjerenje i upravljanje.
7. Navedi funkcionalnosti HMI uređaja.
8. Opiši postupak otklanjanja kvarova u automatiziranom sustavu.
9. Objasni što je i čemu služi OPC standard.
10. Pojasni integraciju automatiziranog sustava.
11. Navedi ciljeve održavanja.
12. Navedi elemente održavanja.
13. Navedi i opiši vrste održavanja.

KLJUČNE RIJEČI

automatizacija, tehnički opis, analiza, zahtjevi, radni zadatak, hijerarhija, SCADA, PLC, upravljanje, regulacija, struktura, senzor, mjerni pretvornik, izvršni element, projektiranje, dokumentacija, gantogram, rizik, pouzdanost, element zaštite, strojarska dokumentacija, položajni plan, elektro dokumentacija, lista signala, aplikacijski program, dijagram toka, plan testiranja, PFD, P&ID, mjerna dokumentacija, upute za rukovanje, arhiviranje, zaštita, mjerna oprema, krajnji prekidač, induktivni, optički, kapacitivni, termopar, otpornički termometar, procesno računalo, CPU, relej, razvodni ventil, cilindar, frekvencijski pretvarač, motor, tehnička dokumentacija, montaža, spajanje, parametriranje, HART, mjerno područje, komunikator, ciklus, OB, FB, FC, LAD, FBD, SCL, *TIA Portal*, konfiguracija, učitavanje, nazivni podaci, panel, programski blokovi, programski jezici, PNP, NPN, tranzistorski, relejni, zvijezda, trokut, puštanje u pogon, dijagnostika, praćenje, HMI, kvar, alarmna poruka, unakrsna referenca, integracija, OPC, održavanje, korektivno, preventivno

LITERATURA:

1. Hughes, T. A. (2002). *Measurement and Control Basics* (3rd Edition). USA: ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society.
2. Perić, N., Petrović, I., Vašak, M. (2013). *Procesna automatizacija*. Preuzeto s
3. [https://www.fer.unizg.hr/download/repository/Skripta_Proaut_veljaca_2013\[1\].pdf](https://www.fer.unizg.hr/download/repository/Skripta_Proaut_veljaca_2013[1].pdf)
4. Process Measurement and Analysis Volume 1. (2003). U B. G. Lipták (Ur.) *Instrument Engineers' Handbook (4th Edition)*. USA: ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society.
5. Siemens. (2021) SIMATIC S7-1200 Programmable controller System Manual.
6. Siemens. (2020) SINAMICS G120C Operating Instructions Manual.

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.