



# Automatizacija u proizvodnji



[www.esf.hr](http://www.esf.hr)



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

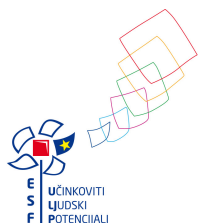


## Sadržaj

<b>1. Uvod</b>	<b>6</b>
1.1. Osnovni pojmovi	7
1.1.1. Povratna veza	7
1.1.2. Automatska regulacija	7
1.1.3. Upravljanje	8
1.1.4. Vođenje sustava	8
1.1.5. Signali, sustavi i procesi	10
1.2. Osnovni regulacijski krug	12
1.2.1. Senzori	16
1.2.2. Struktura regulacijskog kruga	18
<b>2. Pneumatika i pneumatsko upravljanje</b>	<b>19</b>
2.1. Fizikalne osnove	20
2.1.1. Zadatak – fizikalne osnove	21
Rješenje zadatka	21
2.2. Pneumatsko upravljanje	22
2.2.1. Zadatak – direktno upravljanje operaterom	23
Rješenje zadatka	23
2.2.2. Zadatak – posredno upravljanje operaterom	25
Rješenje zadatka	25
2.2.3. Zadatak – jednoradni i dvoradni cilindar	26
Rješenje zadatka	26
2.2.4. Zadatak – bistabilni razvodnik i automatsko vraćanje	27
Rješenje zadatka	27
2.2.5. Zadatak – pneumatska logika	28
Rješenje zadatka	28
2.2.6. Zadatak – pneumatsko memoriranje	29
Rješenje zadatka	29
2.2.7. Zadatak – slijedne operacije	30
Rješenje zadatka	30
2.3. Blokirajući signal pneumatskog upravljanja	31



2.3.1. Zadatak – poništavanje blokirajućeg signala .....	31
Rješenje zadatka .....	32
Alternativna rješenja zadatka.....	32
2.4. Elektropneumatsko upravljanje.....	34
2.4.1. Zadatak – direktno elektropneumatsko upravljanje .....	34
Rješenje zadatka .....	34
2.4.2. Zadatak – posredno elektropneumatsko upravljanje.....	35
Rješenje zadatka .....	35
2.5. Spoj relejnog samodržanja.....	36
2.5.1. Zadatak – monostabilni i bistabilni razvodnik te spoj samodržanja .....	37
Rješenje zadatka .....	37
2.5.2. Zadatak – elektropneumatska logika .....	38
Rješenje zadatka .....	38
2.5.3. Zadatak – slijedne operacije .....	39
Rješenje zadatka .....	39
2.5.4. Zadatak – taktna metoda .....	40
Rješenje zadatka .....	40
<b>3. Hidraulički sustavi .....</b>	<b>41</b>
3.1. Ručno upravljanje hidrauličkim sustavima .....	42
3.1.1. Zadatak – direktno upravljanje operaterom.....	42
Rješenje zadatka .....	42
3.1.2. Zadatak – upravljanje gibanjem dvoradnog cilindra .....	43
Rješenje zadatka .....	43
3.1.3. Zadatak – upravljanje hidrauličkim motorom.....	44
Rješenje zadatka .....	44
3.1.4. Zadatak – ubrzano izvlačenje diferencijalnog cilindra .....	45
Rješenje zadatka .....	45
3.2. Elektrohidrauličko upravljanje.....	46
3.2.1. Zadatak – elektrohidraulički razvodnici te spoj samodržanja .....	46
Rješenje zadatka .....	46
3.2.2. Zadatak – elektrohidraulički upravljano dizalo .....	48
Rješenje zadatka .....	49





<b>4. Programabilni logički kontroleri.....</b>	<b>50</b>
4.1. Programski jezici PLC-a .....	51
4.1.1. Ljestvičasti dijagram .....	51
4.1.2. Funkcijski blokovski dijagram .....	52
4.1.3. Strukturirani tekst .....	52
4.1.4. Lista instrukcija .....	53
4.2. Varijable i tipovi podataka .....	53
4.2.1. Tagovi .....	54
4.3. Struktura PLC programa .....	55
4.3.1. Organizacijski blokovi (OB) .....	55
4.3.2. Funkcije (FC).....	56
4.3.3. Funkcijski blokovi (FB).....	56
4.3.4. Podatkovni blokovi (DB) .....	57
4.4. TIA Portal V18.....	58
4.4.1. Kreiranje i konfiguracija novog projekta .....	60
4.4.2. Device and network editor .....	62
4.4.3. Konfiguracija IP adrese PLC-a .....	64
4.4.4. Kreiranje programa.....	65
4.4.5. Učitavanje programa na PLC.....	67
4.4.6. Testiranje programa.....	70
4.5. Zadatci za vježbu .....	72
4.5.1. Izbacivanje blokova iz gravitacijskog spremnika .....	72
Rješenje zadatka .....	73
4.5.2. Korištenje vakuumske jedinice za hvatanje polimernog bloka.....	77
Rješenje zadatka .....	78
4.5.3. Pneumatski sustav za podizanje kutija .....	82
Rješenje zadatka .....	82
4.5.4. Hidraulički sustav za podizanje kutija.....	85
Rješenje zadatka .....	85
<b>5. Teleoperabilnost.....</b>	<b>86</b>
5.1. Udaljeno vođenje i nadzor .....	86
5.1.1. Sustavi unutar pogona.....	87





5.1.2.	Korisnici i web server .....	88
5.2.	Komunikacijske mreže i protokoli .....	88
5.2.1.	Jednostavne senzorske mreže .....	89
5.2.2.	Sabirnica polja (Fieldbus) .....	90
5.2.3.	Industrijski Ethernet .....	91
5.2.4.	Industrijski mrežni protokoli .....	93
<b>Literatura .....</b>		<b>96</b>
<b>Kazalo slika .....</b>		<b>97</b>
<b>Kazalo tablica .....</b>		<b>100</b>
<b>Impressum .....</b>		<b>101</b>

# 1. Uvod

Ovaj priručnik sastoji se od nastavnih materijala namijenjenih moderniziranoj nastavi u strukovnim zanimanjima. Uz postojeće programe, može se primjenjivati i kroz izborne predmete, uz maksimalno korištenje opreme u didaktičke svrhe. Teorijski dio priručnika opsegom gradiva je prilagođen razini srednjeg strukovnog obrazovanja, a cilj ovih nastavnih materijala je pomoć pri rješavanju zadataka na novoj opremi iz područja automatizacije u proizvodnji. Nastavnim materijalima pokrivena su četiri glavne cjeline, a to su osnove iz pneumatike, pneumatskog upravljanja, hidraulike i programabilnih logičkih kontrolera (PLC-a). Ovi nastavni materijali osiguravaju poveznice za samostalno istraživanje učenika, s ciljem rješavanja zadatka i problematike iz navedenih područja.

Krajem šezdesetih godina prošlog stoljeća industrijski pogoni uglavnom su bili upravljani sustavima zasnovanim na relejnim krugovima (relejna logika). To su bili mali automatski sustavi s određenom namjenom i obično se ta proizvodnja kombinirala s ručnom obradom i montažom. Svaki put kada bi se promijenio proizvodni program, morale su se napraviti velike prilagodbe upravljačkih sklopova, što bi iziskivalo predugo vrijeme praznog hoda u proizvodnji, a time i velike troškove. Iz toga je vidljivo da su relejni upravljački sustavi bili vrlo nefleksibilni, jer za promijenu funkcija upravljanja jednog takvog relejnog sklopa, nije svaki put bilo dovoljno promijeniti njegovo ožičenje, nego je ponekad trebalo krenuti i sa sastavljanjem novog sklopa. Zbog takvih uvjeta u proizvodnim procesima nije bilo rentabilno stvarati velike automatske sustave, osim kod masovne nefleksibilne proizvodnje.

Otprilike u isto vrijeme razvoj mikroprocesora napredovao je do više razine te se pojavila ideja o izradi elektroničko-računalnog upravljačkog sustava, a koji bi se promjenom proizvodnog programa dao jednostavnije reprogramirati. Tada su napravljeni prvi programabilni logički kontroleri, skraćeno PLC, koji su prvo vrijeme bili vrlo skupi. Daljnjim razvojem elektronike i mikroprocesora mogućnosti PLC-a su rastle, a cijena je padala. Pojavila su se i industrijska računala IPC koja su mogla izvršavati kompleksne zadatke. To je utjecalo i na razvoj industrijskih sustava za automatsku proizvodnju koji postali sve složeniji i fleksibilniji te su mogli izvršavati sve složenije zadatke.

Suvremena proizvodnja zahtijeva veliku raznolikost (varijantnost) proizvoda i veliku (kvantitativnost) seriju što zahtijeva vrlo veliku fleksibilnost i brzinu. Čovjek u tom procesu jest najfleksibilniji, ali je nepoželjan zbog svoje male brzine, ograničene snage, slabe ponovljivosti, čestih pogrešaka, visoke cijene rada, potrebe za dugotrajnim učenjem i dr. Zbog same činjenice da se u automatiziranoj proizvodnji koriste računala (IPC), mikrokontroleri, roboti, PLC-ovi, inteligentni senzori i mnogi drugi digitalni uređaji, došlo se na ideju (prvotno u autoindustriji, a zatim i drugdje) da bi se cijeli sustav mogao umrežiti i tako imati kontrolu nad cijelim procesom proizvodnje. Umreženost omogućuje da se čovjeka može udaljiti iz pogona, jer je strojevima omogućeno da sve radnje izvršavaju sami, potpuno autonomno (izuzimanje, pozicioniranje, pričvršćivanje, montiranje, gibanje dijelova od jednog do drugog stroja te gibanje sklopova od proizvodnog do montažnog sustava). Za

funkcioniranje takvog automatskog procesa potrebna je međusobna komunikacija između svih vanjskih sustava i drugih sustava unutar proizvodnje. Takva komunikacija je moguća samo ako su sve stanice tj. svi automatski sustavi u tom procesu međusobno umreženi te "razgovaraju" istim jezikom i koriste zajedničke standardne industrijske protokole.

*Današnja proizvodnja prolazi kroz četvrtu industrijsku revoluciju nazvanu Industrija 4.0. Tehnološki napredak u računalnoj snazi i povezanosti iz temelja redefinira proizvodnju. Globalna distribucija poslovnih procesa i automatizacija pomoću robotskih sustava, najpopularniji su novi trendovi koji proizvodnju podižu na novu razinu. Stoga moderna tvornica pronalazi načine za poboljšanje produktivnosti i povećanje učinkovitosti uz smanjenje troškova. Međutim, te nove tehnologije zahtijevaju dobru pripremu i visoku razinu znanja.*

## 1.1. Osnovni pojmovi

U nastavku su navedeni osnovni pojmovi upravljanja i regulacije u sustavima koji daju odgovor na pitanje što je to povratna veza, a što je to vođenje sustava.

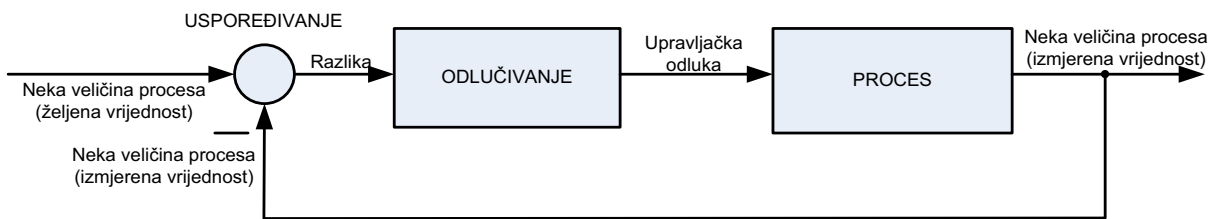
### 1.1.1. Povratna veza

Osnovna ideja povratne veze jest usporediti trenutni rezultat sa željenim rezultatom i zatim na temelju njihove razlike djelovati nekim korigirajućim postupkom. Povratna veza je zapravo jednostavan i prirodan princip koji je svugdje prisutan. Primjer može biti rast živih organizama, kod kojih se neizmjerni broj različitih varijabli na kojima počiva život, regulira onako kao što se regulira tjelesna temperatura, krvni tlak ili neki drugi životni parametri. Također, povratna veza prisutna je i kod fizičkih sustava, npr. kada neko vozilo ubrzava, a zbog njegovog aerodinamičkog otpora nastaje sila koja to vozilo usporava. Ljudi su u svojim istraživanjima i izumima oduvijek preslikavali prirodu, stoga se u mnogim tehničkim sustavima i procesima nalazi povratna veza. Primjeri su doista brojni, od vrlo jednostavnih poput glačala ili vodokotlića pa do iznimno složenih poput robota, transportnih sredstava, električnih ili internetskih mreža. Štoviše, teško je zamisliti moderni tehnički sustav u kojem se ne nalazi barem neki oblik povratne veze i automatske regulacije.

### 1.1.2. Automatska regulacija

Automatska regulacije je automatsko (samostalno) održavanje željenog stanja nekog procesa ili mijenjanje tog stanja prema određenom zakonu, bez obzira na djelovanje vanjskih i unutarnjih poremećaja. To se postiže pomoću negativne povratne veze, koja omogućava usporedbu izmjerene vrijednosti neke veličine reguliranog procesa s njenom željenom (referentnom) vrijednosti, te se na temelju razlike tih dviju veličina odlučuje kako proces usmjeriti. Proces se usmjerava upravljanjem

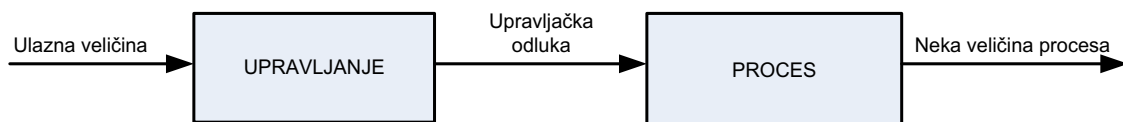
tokom energije ili tvari pomoću regulacijskog sustava. Skica navedenoga „zatvorenog kruga“ ili regulacijske petlje prikazana je poopćeno na slici 1.



Slika 1. Regulacijska petlja ili zatvoreni regulacijski krug.

### 1.1.3. Upravljanje

Postupak pri kojem jedna ili više ulaznih veličina utječu na jednu ili više izlaznih veličina nekog procesa slijedno u upravljačkom lancu nazivamo upravljanjem. To znači da, za razliku od regulacije, kod upravljanja nema povratne veze koja će omogućiti usporedbu željene i stvarne vrijednosti, niti će se proces usmjeravati na temelju njihove razlike, već se koristi „otvoreni krug“ (*open loop control*). Kako nema mogućnosti samostalnog popravljavanja upravljačke odluke, potrebno je precizno definiranje upravljačkog sustava. Primjer upravljačkog lanca pokazan je na slici 2.



Slika 2. Upravljački lanac ili otvoreni krug.

### 1.1.4. Vođenje sustava

Vođenje je općenitiji pojam koji obuhvaća upravljanje i regulaciju. U pravilu je povezan uz upravljanje i regulaciju složenijim sustavima pomoću računala. Vođenje se može smatrati hrvatskim pojmom općenitog engleskog pojma *control*, koje se ipak u hrvatskom jeziku najčešće prevodi pojmom *upravljanje*. Kako moderna tehnika omogućava razmjerno jednostavnu realizaciju vođenja, tako ono postaje sve složenije. Vrlo česte su različite kombinacije upravljanja, regulacije, te doista raznolikih naprednih sustava upravljanja i regulacije baziranih na računalnim algoritmima. Stoga je i dobrodošao jedan pojam poput vođenja, a koji postaje nadređen pojmovima upravljanja i regulacije koje obuhvaća.

**Koordinirano vođenje** je strategija u kojoj centralni sustav (koordinator) vodi interakcije između više podsustava koji rade istovremeno kako bi postigli zajednički cilj. Često se koristi u sustavima s više agenata, kao što su npr. multi robotski sustavi, bespilotne letjelice i električne mreže. U takvim



sustavima agenti trebaju koordinirati svoje djelovanje kako bi postigli željeni cilj. Na primjer, više robota možda će morati koordinirati svoje pokrete kako bi se podigao i pomaknuo predmet, dok grupa bespilotnih letjelica možda treba koordinirati svoje putanje leta kako bi izbjegla sudare.

Koordiniranim vođenjem može se:

- osigurati da podsustavi učinkovito rade zajedno,
- povećati robusnost sustava čineći ga otpornijim na smetnje i kvarove,
- konsolidirati upravljačku logiku u jedan centralni sustav.

Izazovi koordiniranog vođenja su:

- dizajniranje sustava vođenja,
- komunikacija među sustavima,
- tolerancija na pogreške.

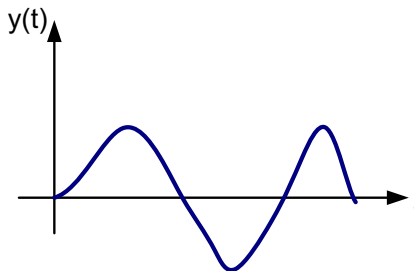
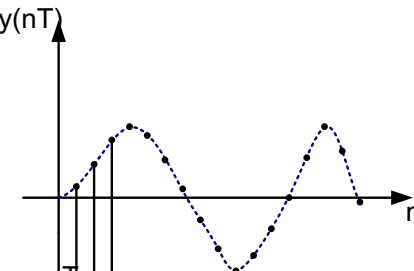
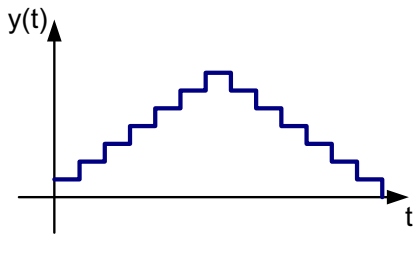
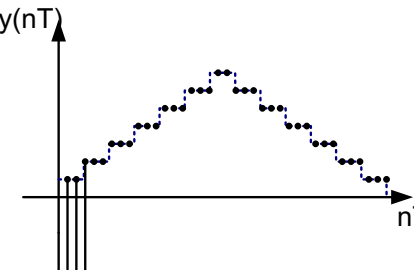
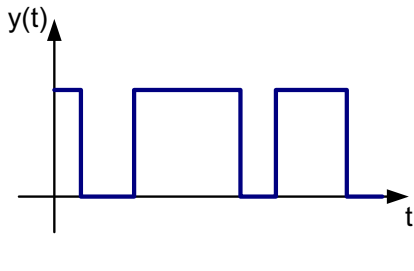
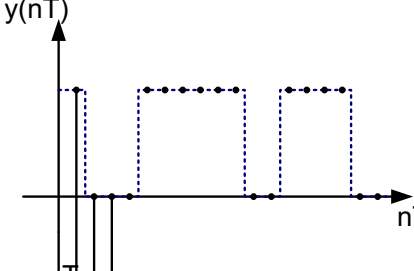
**Vođenje bazirano na zadatcima** usredotočeno je na opći cilj, a ne na pojedinačne korake. Koristi se u složenim sustavima, kao što su roboti i autonomna vozila kod kojih nije moguće kontrolirati svaki pojedinačni korak zadatka. Dodatno se može koristiti za vođenje složenih sustava na velikim udaljenostima, a koje bi bilo teško ili nemoguće kontrolirati tradicionalnim metodama. Sustav vođenja na razini zadatka razlaže cjelokupni problem na hijerarhijski poredane dodatne zadatke, a čime se ispravnim redoslijedom njihovog izvođenja osigurava postizanje konačnog cilja. Sustavi vođenja baziranih na zadatcima fleksibilni su i mogu se prilagoditi promjenama u okolini pa mogu podnijeti neočekivane događaje i zato su robusniji. Primjer vođenja baziranog na zadatcima je istraživački robot Mars rover na slici 3. koji je udaljen od Zemlje više stotina milijuna kilometara, a radio signal na toj udaljenosti putuje od 5 do 20 minuta što je ovisno o međusobnom položaju planeta.



Slika 3. Mars rover [Izvor: NASA]

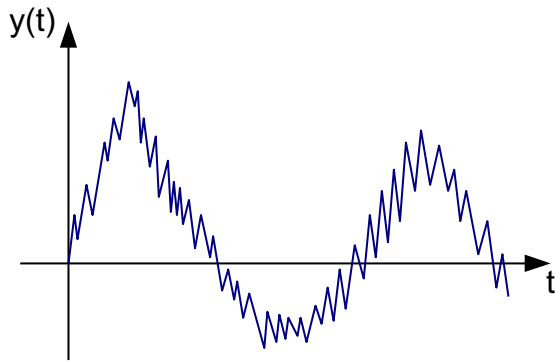
### 1.1.5. Signali, sustavi i procesi

Signali, sustavi i procesi pojmovi su koji su redovito povezani uz automatsku regulaciju. Signal je funkcija koja opisuje vremensku promjenu fizičke veličine nekog fizičkog procesa. Ili još kraće, signal je fizička veličina koji se mijenja s vremenom te čiji, barem jedan parametar, prenosi informaciju (tj. fizikalnu realizaciju informacije). Signali mogu biti analogni, kontinuirani, diskretni, digitalni te stohastički. Analogni signal je vremenski kontinuirani glatki signal (diferencijabilan) i odgovara signalu kontinuiranom po vremenu i po amplitudi. Primjeri tipova signala nalaze se na slici 3.

	VREMENSKI KONTINUIRANI SIGNAL	VREMENSKI DISKRETNi SIGNAL
KONTINUIRAN PO AMPLITUDI	 <p>Signal je kontinuiran po vremenu i po amplitudi (analogni signal)</p>	 <p>Signal je diskretan po vremenu i kontinuiran po amplitudi</p>
DISKONTINUIRAN PO AMPLITUDI	 <p>Signal je kontinuiran po vremenu i diskontinuiran po amplitudi</p>	 <p>Signal je diskretan po vremenu i diskontinuiran po amplitudi</p>
BINARAN PO AMPLITUDI	 <p>Signal je kontinuiran po vremenu i binaran po amplitudi</p>	 <p>Signal je diskretan po vremenu i binaran po amplitudi</p>

Slika 4. Primjeri različitih tipova signala.

Na slici 5. prikazan je stohastički signal koji je vremenski kontinuiran, ali je po amplitudi izrazito diskontinuiran signal.



Slika 5. Stohastički signal.

**Sustav** (*eng. system*): na zadanu pobudu, ili signal ulaza, sustav generira odziv, ili signal izlaza. Dakle, sustav se može smatrati i uzročno-posljedičnom vezom između dva ili više signala. Također, sustav je skup elemenata povezanih vezama kojima djeluju jedan na drugi i čine neku cjelinu. Sustav obično opisuje fizički proces, uređaj ili međusobnu vezu uređaja (pri tome se uređaj može interpretirati u najširem mogućem smislu). Sustavi se prikazuju blok-dijagramima u kojima pravokutni ili kvadratni okvir predstavlja granicu samog sustava, strelica koja ulazi u okvir predstavlja ulazni signal, a strelica koja izlazi iz okvira predstavlja izlazni signal.

Ulazni signal koji se može prepoznati kao uzrok nekih promjena u sustavu, naziva se i pobuda, a signal koji se prepoznaje kao posljedica naziva se odziv. Promatranje odnosa ulaza i izlaza, odnosno uzroka i posljedice, osnovna je tema proučavanja teorije sustava, te automatske regulacije.

**Proces** je općenito skup aktivnosti kojima se ulazni elementi transformiraju u izlazne elemente sa specifičnim svojstvima, a sama transformacija određena je parametrima i ograničenjima.

## 1.2. Osnovni regulacijski krug

Prethodno je potvrđeno da je sustav s negativnom povratnom vezom najvažniji oblik osnovnog sustava za automatizaciju. Povratna veza omogućuje sljedeća pozitivna svojstva:

- Proces može postati neosjetljiv na vanjske poremećaje i promjene vlastitih svojstava.
- Proces koji je sastavljen od lošijih sastavnica može davati dobre rezultate.
- Proces koji je nestabilan može postati stabilan.
- Može se stvoriti neko poželjno ponašanje procesa koje nije moguće bez povratne veze.

Međutim, povratna veza svojim djelovanjem može proces također dovesti u nestabilno stanje ili može izazvati trajno oscilirajuće titranje, što je gotovo uvijek neprihvatljivo ponašanje. Stoga je

primarni zadatak prilikom primjene regulacije znati dobro definirati regulacijski uređaj i odabrati adekvatne parametre, a kako bi se osigurala stabilnost sustava. Kod sustava upravljanja (sustav bez povratne veze) sustav će biti stabilan, ako je sustav sastavljen od elemenata koji su stabilni.

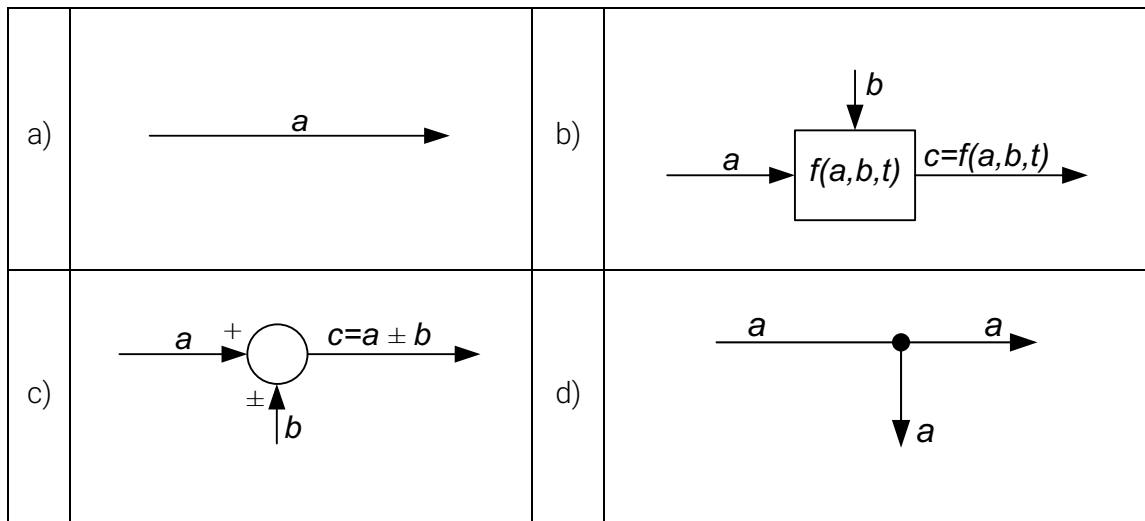
Osnovni zadatak projektiranja jednog sustava automatske regulacije jest zadovoljiti specifikacije radnih svojstava takvog sustava. Specifikacije radnih svojstava u pravilu su određene ograničenjima odziva sustava. Specifikacije se mogu dati na mnogo načina. Kako se odzivi sustava prikazuju u dva područja ili dvije *domene*, vremenskoj i frekvencijskoj, tako su i specifikacije općenito dane u dva oblika – vremenskom i frekvencijskom. Tako se najčešće određuju četiri važna svojstva nekog dinamičkog sustava, a to su: stabilnost (ili relativna stabilnost), brzina odziva, dopuštena regulacijska pogreška (odnosno točnost regulacije), te robusnost.

U vremenskom području specifikacije su najčešće određene vremenima uspona, smirivanje (dominantnom) vremenskom konstantom te maksimalnim prebačajem. U frekvencijskom području specifikacije sustava su određene amplitudnom i faznom rezervom, pojasnom širinom, te rezonantnom frekvencijom i rezonantnim izdizanjem.

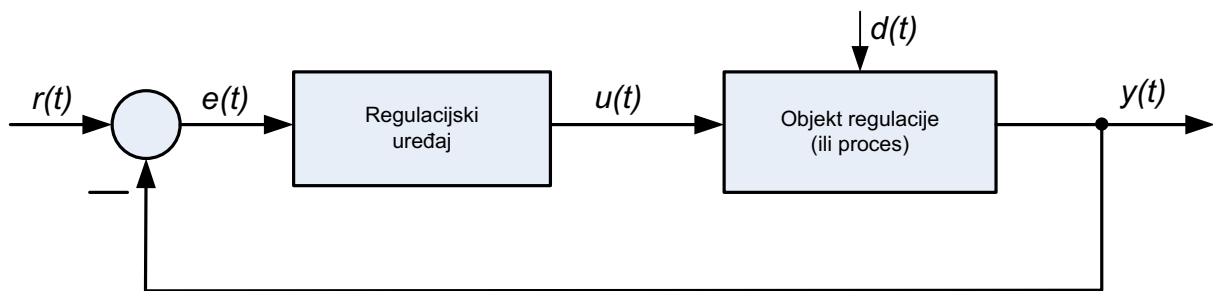
Grafički simboli blok dijagrama jezik su kojim se jasno, racionalno i nedvosmisleno prikazuju sustavi automatske regulacije, odnosno općenito automatizacije. Prikaz sustava blok dijagramom ujedno je i prvi korak u matematičkoj analizi takvog sustava. Pojedini elementi ili dijelovi sustava međusobno se povezuju i prikazuju na slikovit način. Pri tome se mogu prikazati funkcionalni odnosi među elementima nekog sustava, a koji se mogu crtati bez strogih matematičkih pravila. Takvi **blok dijagrami** zovu se **funkcionalni dijagrami**. Ako blokovi predstavljaju prijenosne funkcije dijelova sustava i ako se tok signala označi odgovarajućom varijablom, onda je riječ o **strukturnom blok dijagramu**, koji predstavlja model sustava. Pri sastavljanju sveukupnog modela poštuju se pravila operacija među blokovima. Četiri osnovna simbola koji čine blok dijagram prikazani su u tabeli 1. To su:

- a) **Strelica** - predstavlja signal, fizikalnu veličinu koja se mijenja s vremenom u naznačenom smjeru;
- b) **Blok** - predstavlja funkcionalni odnos između signala koji ulaze u blok (uzroka) i signala koji iz bloka izlaze (posljedica). Signali koji ulaze u blok su ulazi (ili ulazne varijable, pobude), dok su signali koji izlaze iz bloka izlazi (izlazne varijable, odzivi);
- c) **Krug** - predstavlja točku zbrajanja ili komparator;
- d) **Čvorište** - predstavlja točku grananja signala (signal je jednak u svakom ogranku).

Tabela 1. Osnovni simboli blok dijagrama



Poopćeni osnovni blok dijagram jednog sustava automatske regulacije prikazan je na slici 6.



Slika 6. Poopćeni osnovni blok dijagram automatske regulacije.

Veličine navedene u osnovnom blok dijagramu automatske regulacije su sljedeće:

$r(t)$  – **referentna veličina, ili referencija**, a naziva se još i nazivna veličina kod čvrste regulacije, odnosno vodeća veličina kod slijedne regulacije. Referentna veličina je vanjski signal primijenjen na sustavu automatske regulacije na komparatoru. Predstavlja željeno (ili idealno) ponašanje regulirane veličine procesa.

$y(t)$  – **regulirana veličina** predstavlja izlaznu veličinu reguliranog procesa.

$e(t)$  – **regulacijsko odstupanje, ili regulacijska pogreška** je razlika između referentne i regulirane veličine, koja ulazi u regulacijski uređaj i potiče njegovo djelovanje.

$u(t)$  – **postavna veličina** je signal koji predstavlja izlaz iz regulacijskog uređaja i označava ulaz u proces.

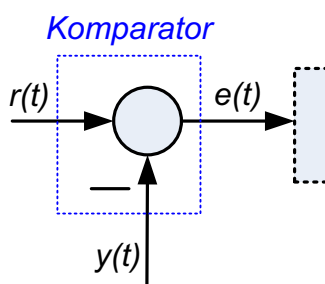
$d(t)$  – **poremećajna veličina** je signal koji ima neželjeni utjecaj na reguliranu veličinu. Poremećajna veličina može djelovati iz okoline na više načina, a može ulaziti u sustav na mnogo različitih mjesta.

Na primjer, poremećaj može dolaziti od opterećenja, a također i od postavne veličine. Poremećajne veličine u širem smislu mogu se smatrati i sva ona djelovanja koja pomiču sustav automatske regulacije iz neke ravnotežne točke, a to mogu biti i promjene postavne veličine, promjene parametara procesa, kao razni mjerni šumovi i kvarovi.

**Regulacijski uređaj** je dio sustava automatske regulacije koji generira postavnu veličinu koja će djelovati na regulirani proces. Regulacijski uređaj ili regulator obično sadrži pojačalo, nekakvo vremensko djelovanje, te komparator. U širem smislu regulator uz to može obuhvatiti i generator referentne veličine, kao i razne elemente za obradbu signala (npr. filtere, analogno-digitalnu i digitalno-analognu konverziju, itd.).

**Objekt regulacije ili proces** obuhvaća sustav, podsustav ili proces kojem je veličina (ili veličine) predmet regulacije. Ponegdje se u hrvatskoj literaturi može naći i izraz regulacijska staza, a koji potječe iz njemačke literature (*Regelstrecke*). Taj izraz ima užu smisao od objekta regulacije ili procesa, s obzirom na to da jedan objekt regulacije može imati više regulacijskih staza. Npr. jedan elektromotor može biti objekt regulacije, a regulacija pozicije vratila elektromotora, ili regulacija njegove brzine vrtnje dvije su različite regulacijske staze.

**Negativna povratna veza i komparator** čine osnovnu funkciju povratne veze, to jest usporedbu željene i stvarne vrijednosti veličine koju se želi regulirati. Prirodno je stoga, da povratna veza ima negativnu vrijednost. Komparator izdvojen iz osnovnog blok dijagrama automatske regulacije prikazan je na slici 7. Pozitivna povratna veza u suprotnom slučaju potaknula bi nestabilnosti i poništila sve efekte i razloge primjene regulacije. Ipak, u iznimnim slučajevima postoje primjeri korištenja pozitivne povratne veze. Jedan primjer je izum pojačala s pozitivnom povratnom vezom što je jedan od ključnih izuma na području radiotehnike.



Slika 7. Komparator.

Uz vremensku varijabilnost referentne veličine  $r$ , mogu se povezati dva važna pojma u automatskoj regulaciji: **čvrsta** i **slijedna regulacija**. Kada se referentna vrijednost uglavnom vremenski rijetko mijenja, regulacija je čvrsta. Ako se referentna veličina kontinuirano mijenja, tada je primarni zadatak sustava regulacije da regulirana veličina prati vodeću, a takva regulacija naziva se slijednom regulacijom. Servomehanizmi ili kraće servo na neki način su i sinonimi za slijednu regulaciju. Zadatak servomehanizama je praćenje neke mehaničke veličine, poput položaja, brzine ili ubrzanja,

sa što većom točnošću.

Zadatak slijedne i čvrste regulacije nije jednak pa se i projektiranje uređaja za regulaciju može razlikovati (naime, prijenosna funkcija u ta dva slučaja ponešto se razlikuje). Ponegdje se i regulacijski uređaj vezan uz čvrstu regulaciju naziva regulator, a onaj vezan uz slijednu regulaciju kompenzator. Ipak, napominje se da se problemi čvrste i slijedne regulacije više puta isprepliću (često je potrebno riješiti oba zadatka), a zato treba biti oprezan u prepoznavanju problema i rješenja iz samih naziva automatske regulacije, jer nerijetko nešto nije jednoznačno definirano.

**Izvršni član** opskrbljuje objekt regulacije snagom ili materijalom potrebnim za vođenje procesa, a sastoji se od postavnog pogona i postavnog člana. Postavni pogon je npr. neki elektromotor koji pokreće postavni član, npr. neki ventil.

**Mjerni član** sastoji se od mjernog osjetila (*sensor*) i mjernog pretvarača (*transducer*), i zadužen je za mjerenje regulirane veličine. Mjerni šum, predstavlja pogrešku u mjerenju, koja je praktički uvijek prisutna u većoj ili manjoj mjeri.

### 1.2.1. Senzori

Ljudska bića oslanjaju se na svoja osjetila kojima kontinuirano dobivaju informacije o svom okruženju i okolišu. Naša osjetila daju našem mozgu potrebne informacije za donošenje odluka o tome kako trebamo reagirati ili funkcionirati. Pet osnovnih osjetila su vid, miris, okus, sluh i dodir. Slično kao i ljudi, automatizirani sustavi zahtijevaju slična osjetila za pružanje informacija svojim uređajima regulacije. Kod njih se obično mjeri:

- Prisutnost dijela objekta
- Udaljenost
- Razina tekućine
- Protok fluida
- Temperatura
- Tlak u sustavu.

Današnje senzore možemo svrstati u tri kategorije, a to su: binarni digitalni, analogni i pametni senzori.

Binarni digitalni senzori su oni koji imaju samo dva stanja tj. daju osnovni binarni signal za isključeno (0) ili uključeno (1). Za razliku od binarnih, analogni senzori su oni koji imaju raspon mjerenja između minimalne i maksimalne vrijednosti. Analogni signal može biti bilo koja vrijednost unutar ovog

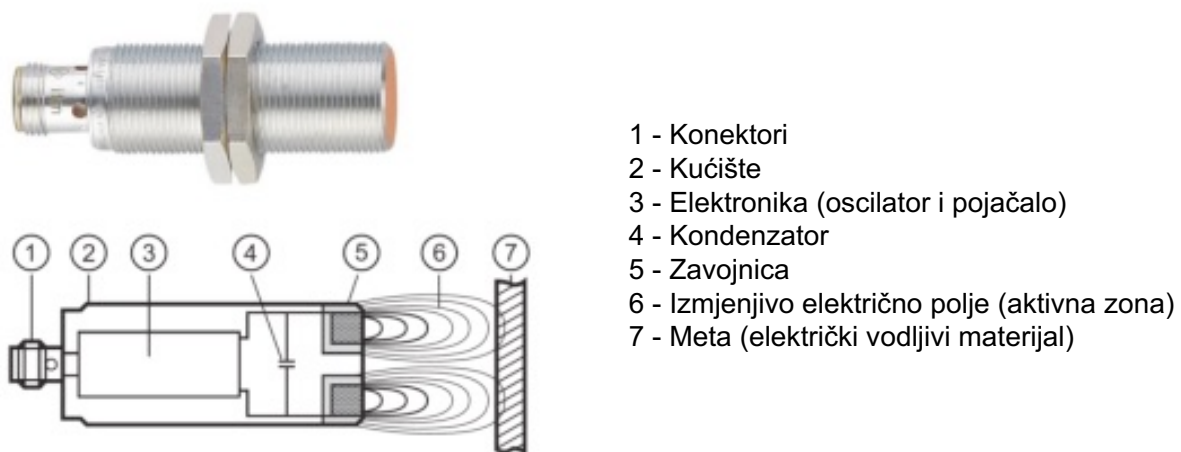


minimalnog i maksimalnog raspona. Pametni senzori su oni koji pružaju dodatne informacije ili opcije konfiguracije uz digitalni ili analogni signal. Ove informacije mogu uključivati informacije o postavljanju, dijagnostičke podatke ili podatke o kvaru. Osim toga, pružaju određenu mrežnu povezanost za komunikaciju s lokalnim ili udaljenim regulacijskim sustavom.

Na slici 8 nalazi se primjer induktivnog senzora blizine. Kada vodljivi materijal uđe u zonu osjetilnog magnetskog polja, on ostvari detekciju te se na priključku pojavi signal. Inače, senzori blizine imaju sposobnost detektiranja prisutnosti ili odsutnosti objekta od određenog materijala u blizini ili unutar dometa detekcije senzora pa zato na izlazu daju binarni signal. Obično se ta detekcija postiže bez fizičkog kontakta između senzora i detektiranog objekta. Postoje mnoge varijante ovakvih senzora koji koriste elektromagnetska polja, električna polja, svjetlost ili zvuk za otkrivanje različitih objekata od različitih materijala. Uglavnom vrijedi sljedeće:

- Induktivni senzor otkriva samo metalne predmete
- Kapacitivni senzor otkriva bilo koji objekt s gustoćom
- Magnetski senzor otkriva bilo koji objekt s magnetskim svojstvima
- Fotoelektrični senzori otkrivaju bilo koji materijal reflektirajući svjetlost od objekata
- Ultrazvučni senzori otkrivaju bilo koji materijal reflektiranjem zvučnih valova od objekata

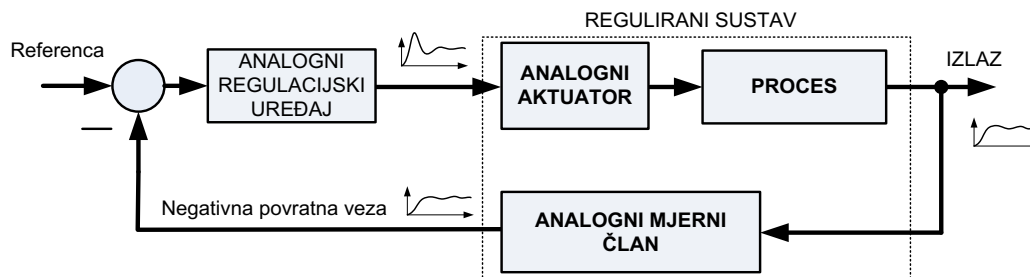
Senzori blizine dostupni su u mnogim veličinama i oblicima, a kao pravilo, veličina senzora će određivati udaljenost koju je senzor sposoban osjetiti. Što je veće tijelo senzora, to je veća udaljenost osjeta.



Slika 8. Primjer induktivnog senzora blizine električki vodljivih materijala.

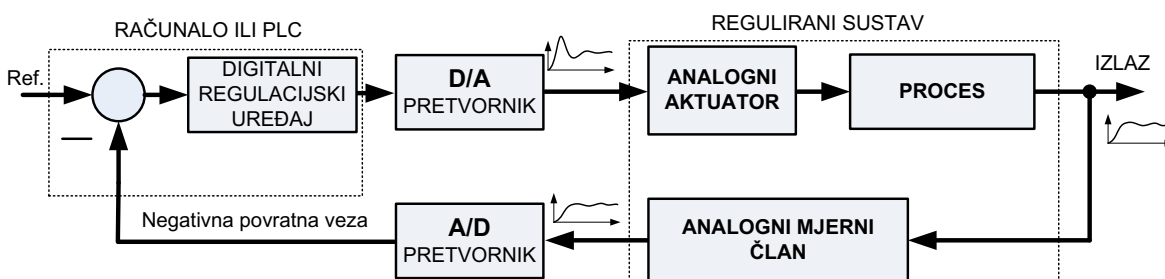
## 1.2.2. Struktura regulacijskog kruga

Ovisno o pretvorbi signala uglavnom se govori o analognom i digitalnom regulacijskom krugu. Kod analognog regulacijskog kruga koji je prikazan na slici 9, sve transformacije signala i svi prijenosi istog, odvijaju se potpuno analogno. Analogni regulacijski krug u principu mora imati funkciju objekta regulacije, mjerenja regulacijske veličine, usporedbe regulacijske veličine sa željenom tj. referentnom veličinom, logičkog zaključivanja, zadavanja kreiranja naloga za djelovanje regulacijskog sustava te izvršavanja dato naloga radi promjene tijeka materije ili energije u reguliranom sustavu.



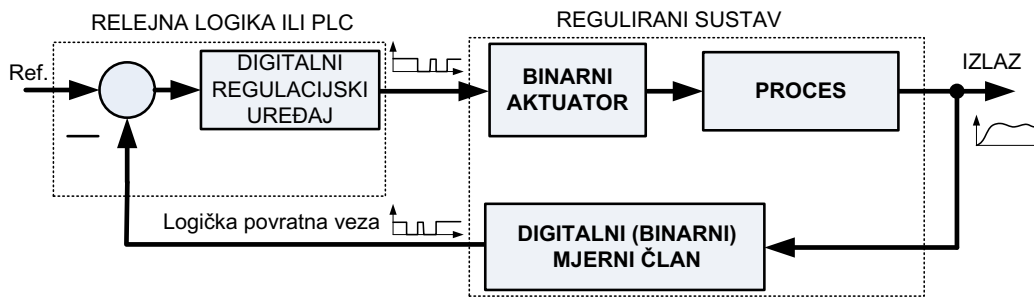
Slika 9. Analogni regulacijski krug.

Ako se u regulacijskom krugu nalazi barem jedan element koji radi na digitalnoj osnovi (najčešće računalo ili PLC kao digitalni element), tada se govori o digitalnom regulacijskom krugu koji je prikazan na slici 10. Uz sve funkcije koje ima analogni regulacijski krug, digitalni regulacijski krug dodatno može spremati ili izračunavati vodeće veličine, optimirati i adaptirati regulacijski proces koristeći napredne metode složenih algoritama regulacije na bazi umjetne inteligencije i sl.



Slika 10. Digitalni regulacijski krug.

Za mnoge praktične primjene automatizacije u proizvodnji često je dovoljno koristiti digitalni binarni signal (uključiti/isključiti), jer na taj način nema potrebe za D/A i A/D pretvorbom, već binarni signali direktno upravljaju putem releja ili tranzistorskih sklopki aktuatorima kao što je dano na slici 11.



Slika 11. Binarni digitalni regulacijski krug.

## 2. Pneumatika i pneumatsko upravljanje

Pneumatski sustavi vrlo su rašireni u svim tehničkim granama, od prometala koja često koriste pneumatske sustave za punjenje guma komprimiranim zrakom, sustava za otvaranje i zatvaranje vrata ili sustava pneumatskih kočnica, ali ima i u građevinarstvu u kojem se koriste pneumatski udarni čekići i pištolji za čavle.

Dok i pneumatski i hidraulički sustavi dijele iste temeljne principe, pneumatski sustavi prenose snagu putem zraka ili nekog drugog plina umjesto hidrauličke tekućine. Pneumatski sustavi hvataju zrak i pomoću kompresora smanjuju njegov volumen tj. komprimiraju ga kako bi se osigurala energija za pneumatske aktuatorne industrijskih sustava.

Pneumatski sustavi obično funkcioniraju na sljedeći način:

- Zračni kompresor tlači vanjski zrak, smanjujući mu volumen.
- Komprimirani zrak prolazi kroz filter za pripremu zraka u cijevi sustava.
- Ventili osiguravaju da zrak koji prolazi unutar cijevi ide u odgovarajućem smjeru.
- Razni otvori pomažu upravljanjem protoka komprimiranog zraka.
- Komprimirani zrak u aktuatoru stvara gibanje nakon što se postigne dovoljan tlak.

*Pneumatika (prema grčkom πνευματικός: koji se odnosi na vjetar, zrak, dah), tehnička je disciplina koja se bavi iskorištenjem energije stlačenoga zraka uz pomoć mehaničkih uređaja; što je također i naziv za te uređaje. Uređaji se u osnovi sastoje od kompresora, cijevnoga razvoda stlačenoga zraka, pneumatskih izvršnih elemenata (aktuatora) za ostvarivanje translacijskog ili rotacijskoga gibanja, kao i upravljačkih elemenata za upravljanje tim gibanjem. U industrijske svrhe koristi se radni tlak od 5 do 7 bara.*

[Izvor: Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje]

## 2.1. Fizikalne osnove

Pneumatika je mehanika kompresibilnih fluida koja se bavi uporabom stlačenog plina tj. zraka kao izvora energije. Fizikalno svojstvo zraka je izrazita kompresibilnost. Npr. za 0,2 % kompresije zraka (smanjenja volumena) prirast tlaka je samo 0,002 bara, dok je kod hidrauličkog ulja prirast 24 bara (modul stišljivosti  $\beta = V \times \Delta p / \Delta V = 12\,000$  bara). Posljedica kompresibilnosti je velika mogućnost pohrane energije stlačenog plina, ali je također potreban veći rad kompresora u usporedbi sa hidrauličkom crpkom.

Stlačeni zrak omogućuje:

- duži transport od hidraulike i skladištenje pod tlakom u boce te dostupnost
- neosjetljivost na temperaturne promjene, radijaciju, magnetna i električna polja
- sigurnost za zdravlje i okoliš
- nezapaljivost i neosjetljivost na preopterećenje
- velike brzine aktuatora
- povoljne cijene elemenata

Apsolutni tlak zraka kod različitih primjena je:

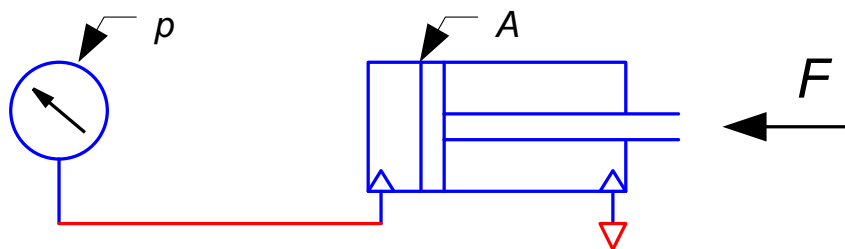
- vakuumska tehnika (manje od 1 bara).
- niski (od 1 do 2 bara) koristi se za mjernu tehniku i regulaciju
- normalni (do 10 bara, obično između 6 i 10 bara) koristi se za industrijsku pneumatiku
- visoki (preko 10 bara) za specijanu primjenu, razne preše i sl.
- 1 at = 0,981 bar (tehnička at)

*Tlak (oznaka  $p$ ) je fizikalna veličina koja opisuje djelovanje sile na površinu, a određena je omjerom sile  $F$ , koja djeluje okomito na površinu  $A$  ( $p = F/A$ ). Mjerna jedinica za tlak je Paskal (Pa) ili njutn po metru kvadratnom ( $N/m^2$ ). U pneumatici i hidraulici u praksi se češće upotrebljava mjerna jedinica bar ( $1\text{ bar} = 100\,000\text{ Pa}$ ), a u nekim slučajevima i tehnička atmosfera at ( $1\text{ at} = 0,981\text{ bar}$ ).*

### 2.1.1. Zadatak – fizikalne osnove

Koristeći dvoradni pneumatski cilindar (cilindar bez opruge), jednu pneumatsku cijev te jedan manometar, potrebno je realizirati pneumatski sustav za mjerenje sile. Cilindar i manometar je potrebno montirati na radnu površinu. Cilindar je zatim potrebno ručno izvući. Nakon toga cilindar i manometar treba međusobno povezati jednom cijevi. Laganim pritiskanjem cilindra treba pokušati podignuti tlak na manometru na 1 bar. Ako cilindar ima promjer 20 mm, koliku silu stvarate pritiskanjem?

### Rješenje zadatka



Slika 12. Shema spajanja.

Tlak  $p$  kojeg mjerimo nastaje kao posljedica djelovanja sile tiskanja  $F$  na površinu cilindra  $A$  stoga se sila kojom se djeluje na cilindar može izračunati prema izrazu:

$$F = p \cdot A$$

gdje se površina cilindra može izračunati iz njegovog promjera:

$$A = \frac{D^2 \pi}{4}$$

Prema tome, ako se na primjer na manometru mjeri tlak od 1 bara (100 000 Pa), tada tiskate cilindar promjera 20 mm (0,02 m) silom od

$$F = 100000 \cdot \frac{0,02^2 \pi}{4} = 31,41 \text{ N}$$

### KARAKTERISTIKA ZRAKA

**Postavite ravnalo paralelno s cilindrom tako da je oznaka 0 na ravnalu paralelna rubu klipa koji je potpuno izvučen. Pažljivim tiskanjem klipa pratite manometar i zapisujte udaljenosti za koliko je cilindar dublje uvučen za svaki porast tlaka od 0,25 bara.**

## 2.2. Pneumatsko upravljanje

Adekvatni redoslijed gibanja pojedinih aktuatora (pneumatskih cilindara i/ili motora) prema nekoj logici ostvaruje se pneumatskim upravljanjem. Sustav pneumatskog upravljanja može se definirati na dvije razine:

- Informacijska razina (elementi koji predstavljaju logiku) koja na temelju pneumatskih signala iz senzora, ulaznih tipkala ili prethodnih operacija donosi odluku za sljedeće operacije te šalje signale na energetska razinu .
- Energetska razina (elementi koji pokreću atuatore) koja na temelju signala iz informacijskog dijela, upravlja energijskim tokom koji pokreće aktuatore (cilindre i/ili motore).

Podjela osnovnih oblika pneumatskog upravljanja:

- direktno upravljanje operaterom (razvodnik upravljan tipkalom)
- upravljanje zavisno od gibanja cilindra (granični razvodnik s kotačićem)
- upravljanje zavisno od vremena (razvodnik s kašnjenjem)
- upravljanje zavisno od tlaka (tlačni ventili)
  - pozitivno upravljanje (porastom tlaka)

- o negativno upravljanje (padom tlaka)

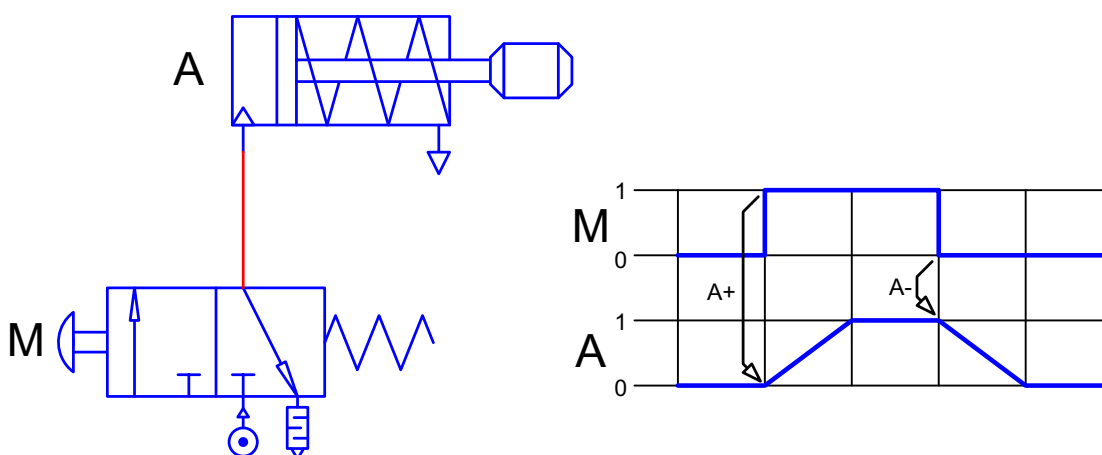
Za razliku od regulacije u kojoj se pretežno koriste analogni signali, u pneumatskom upravljanju uglavnom se koriste binarni signali. Kod kontinuirane regulacije (kod koje postoji povratna veza) cijelo vrijeme se odvija proces korekcije, dok je kod pneumatskog upravljanja povratna veza binarnog tipa. Naime, prije početka sljedeće operacije potrebna je povratna informacija o završetku prethodne. Takvu povratnu informaciju daje senzor (osjetnik) binarnog tipa (granični razvodnik).

Osnovni problem složenijeg pneumatskog upravljanja jest rješavanje tzv. blokirajućeg signala, odnosno prekrivajućeg signala ili mirujućeg impulsa. To je trajni impuls, koji se pojavljuje s jedne strane glavnog razvodnika, a traje i u trenutku kada se pojavljuje impuls i s druge strane, te se razvodnik ne može postaviti u novi položaj. Dakle, takav signal treba eliminirati.

### 2.2.1. Zadatak – direktno upravljanje operaterom

Potrebno je sastaviti pneumatski sustav za gibanje jednoradnog cilindra s povratnom oprugom. Dok je tipkalo pritisnuto, klip se izvlači, a na popuštanje uvlači. Treba koristiti metodu direktnog upravljanja s monostabilnim razvodnicima. To je metoda kod koje je količina energije informacijske razine dovoljna za pogon aktuatora za izvršavanje zadataka.

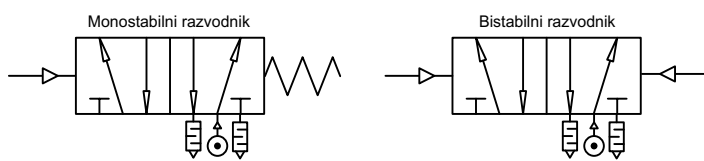
#### Rješenje zadatka



Slika 13. Shema spajanja i takti dijagram signala.

Direktno upravljanje ima najmanje kašnjenje u odzivu sustava. Operater pritiskom na tipku otvara protok zraka direktno u cilindar. Ono se može koristiti za sustave koji zahtijevaju manje pogonske snage tj. manju količinu zraka. Međutim, u slučaju snažnijih pneumatskih sustava kod kojih su za rad aktuatora potrebne veće količine zraka, razvodnici za direktno upravljanje bili bi većih dimenzija. Zato bi bilo potrebno provesti veće dimenzije tlačnih vodova od upravljačkog pulta do aktuatora, stoga se u tim slučajevima primjenjuje posredno upravljanje.

Monostabilni razvodnik ima jedan stabilni položaj u koji se uvijek vraća pomoću sile opruge čim se prekida vanjsko upravljačko djelovanje (npr. pneumatski signal ili pritisak na tipkalu). S druge strane bistabilni razvodnik ima dva stabilna položaja koja se mogu namjestiti upravljačkim djelovanjem te on zadržava zadnji namješteni položaj i nakon prestanka upravljačkog djelovanja.

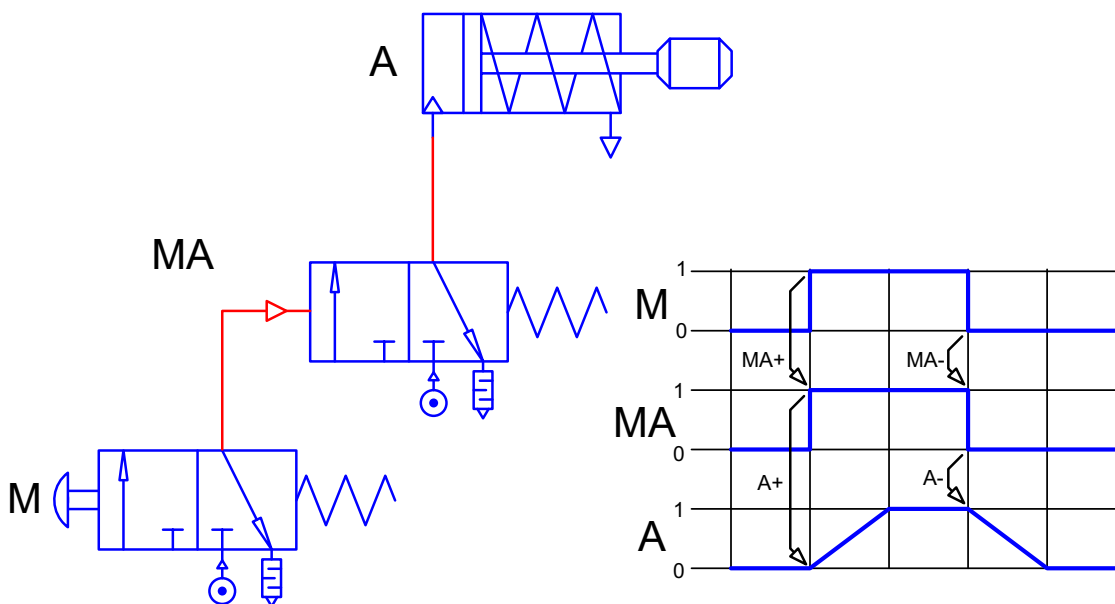




## 2.2.2. Zadatak – posredno upravljanje operaterom

Potrebno je sastaviti pneumatski sustav za gibanje jednoradnog cilindra s povratnom oprugom. Dok je tipkalo pritisnuto klip se izvlači, a na popuštanje uvlači. Koristit ćemo metodu posrednog upravljanja. To je metoda kod koje količina energije informacijske razine nije dovoljna za pogon aktuatora za izvršavanje zadataka i stoga je potrebno uvesti dodatni pneumatski upravljanje razvodnik koji na temelju tlaka u signalnom vodu aktivira gibanje cilindra.

### Rješenje zadatka



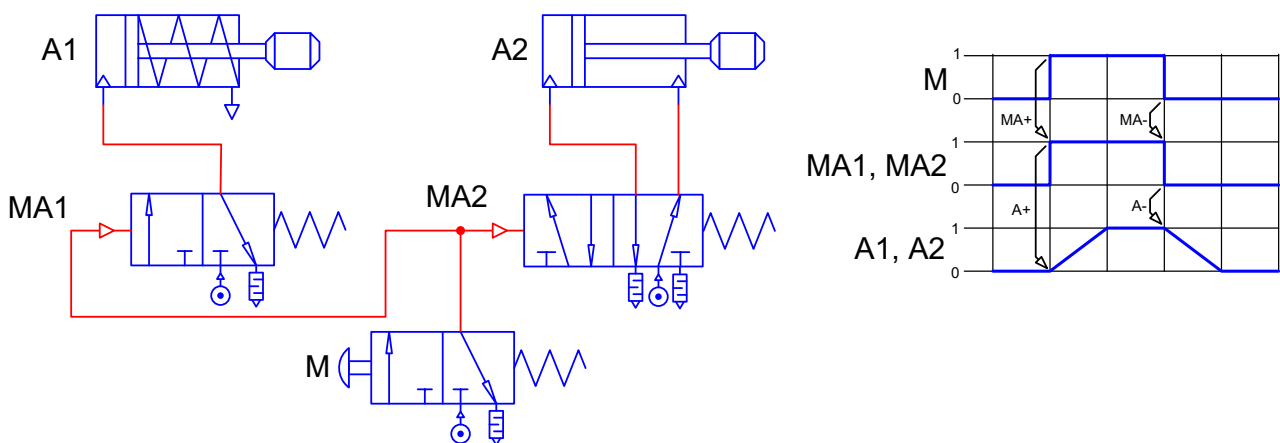
Slika 14. Shema spajanja i taktni dijagram signala.

Kod posrednog upravljanja signal iz upravljačkog razvodnika djeluje samo na uključivanje drugog aktuatorskog razvodnika koji tek nakon uključivanja propušta zrak za gibanje aktuatora što dovodi do određenog kašnjenja u odzivu sustava. Znači, operater pritiskom na tipku ne otvara protok zraka direktno u cilindar, već samo daje informaciju u odnosu na pneumatski tlačni impuls drugom razvodniku koji otvara protok zraka aktuatoru. Iako postoji dodatno kašnjenje, posredno upravljanje je najzastupljenije kod potpuno pneumatskih sustava upravljanja. Pneumatska logika zahtijeva male količine zraka na logičkoj razini, ali posredno upravlja energetskim razvodnicima koji pogone aktuator.

## 2.2.3. Zadatak – jednoradni i dvoradni cilindar

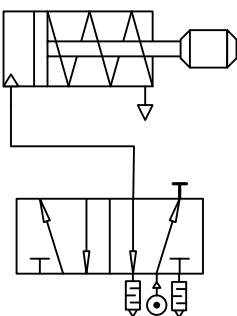
Potrebno je sastaviti pneumatski sustav za gibanje jednoradnog cilindra s povratnom oprugom i dvoradnog diferencijalnog cilindra. Dok je tipkalo pritisnuto klipovi se izvlače, a na popuštanje se uvlače. Koristit ćemo metodu posrednog upravljanja. Za razliku od jednoradnog cilindra kod kojeg opruga ili gravitacijska sila kod vertikalne ugradnje vraća u prvobitni položaj, dvoradni diferencijalni cilindar zahtijeva tlak za povratni hod. To omogućuje da takav cilindar razvija i određenu povratnu silu koja je nešto manja zbog smanjene površine, budući da je na toj strani montirana klipnjača. Napomena: dvoradni cilindar zahtijeva 5/2 razvodnik dok jednoradni cilindar radi s 3/2 razvodnikom.

### Rješenje zadatka



Slika 15. Shema spajanja i taktni dijagram signala.

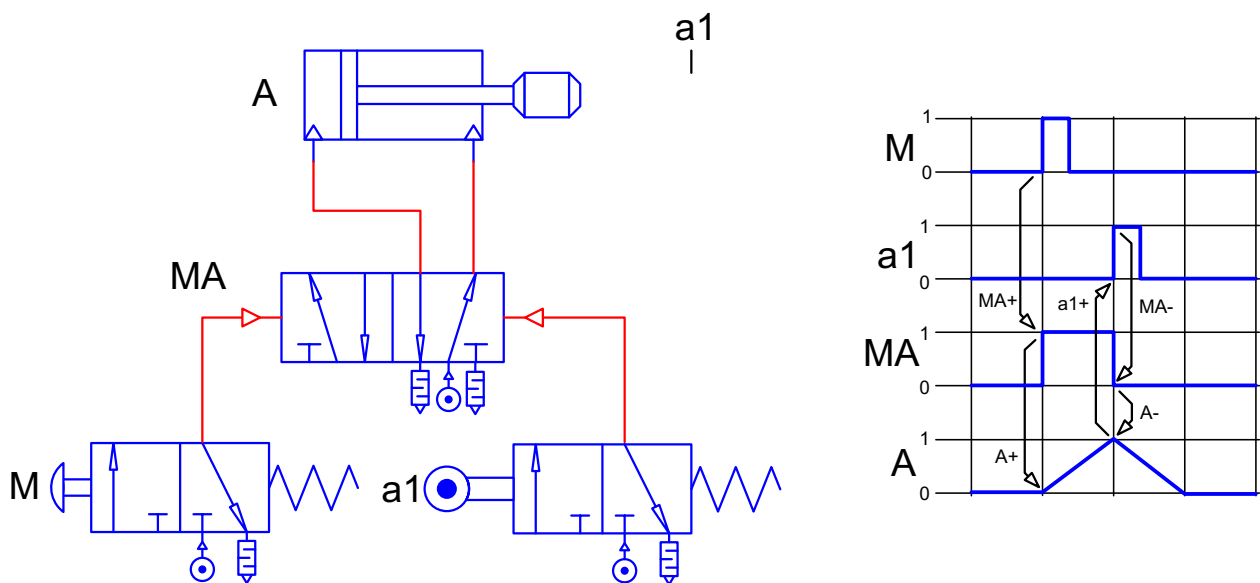
*Razvodnik 5/2 je moguće konfigurirati tako da obavlja funkciju 3/2 razvodnika. Dovoljno je fizički čepom zatvoriti jedan izlaz.*



## 2.2.4. Zadatak – bistabilni razvodnik i automatsko vraćanje

Potrebno je sastaviti pneumatski sustav za gibanje dvoradnog cilindra. Nakon pritiska na tipkalo klip se izvlači do kraja i nakon toga se automatski vraća. U ovom zadatku potrebno je koristiti bistabilni razvodnik i jedan razvodnik s ticalom kao osjetnik za položaj cilindra i povratni signal.

### Rješenje zadatka



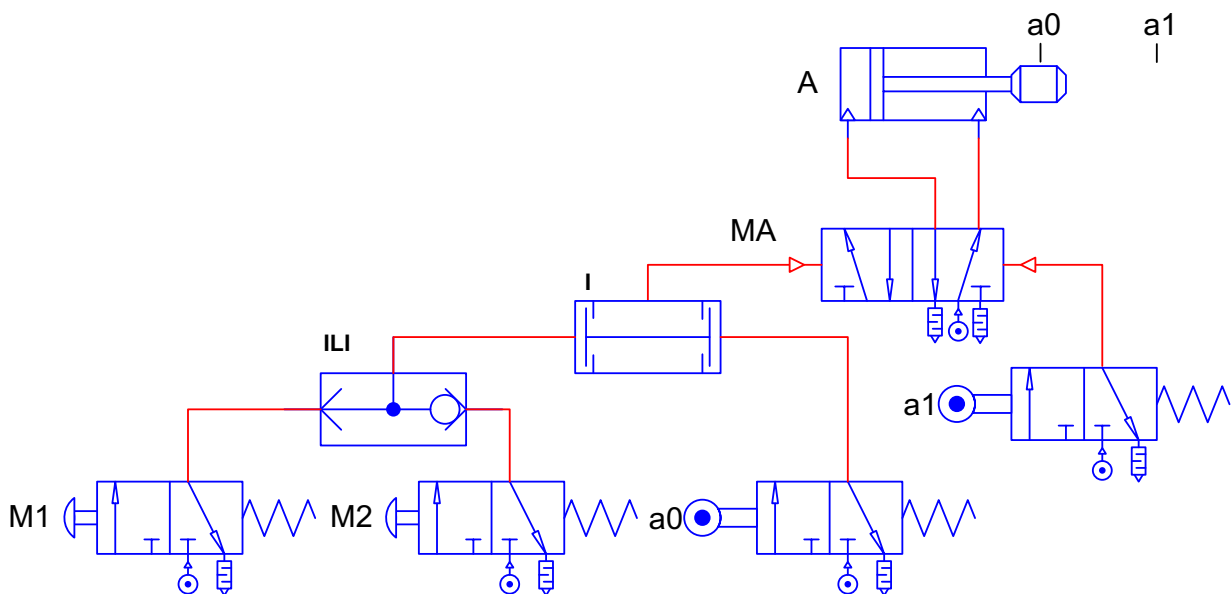
Slika 16. Shema spajanja i taktni dijagram signala.

Razvodnici s kotačićem ili ticalom često se koriste kao osjetilni element kod potpuno pneumatskog upravljanja. Gibanje nekog elementa je obično određeno hodom klipa te se gibanjem fizički može pritisnuti ticalo kojim se aktivira razvodnik koji na taj način daje pneumatski signal.

## 2.2.5. Zadatak – pneumatska logika

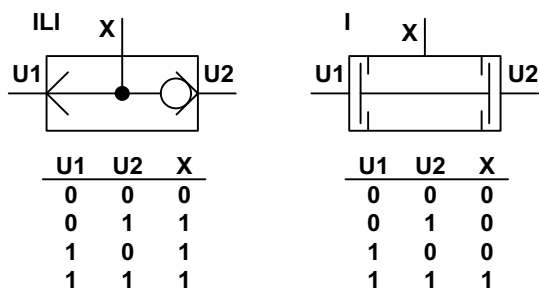
Potrebno je sastaviti pneumatski sustav za gibanje dvoradnog cilindra. Klip se mora moći pokrenuti s pritiskom na bilo koje od dva tipkala i mora biti osigurano kako bi se klip vratio u početni položaj prije ponovnog pokretanja. U ovom zadatku potrebno je koristiti dva tipkala, pneumatski logički sklop I i ILI, jedan bistabilni razvodnik te dva monostabilna razvodnika s ticalom kao osjetnike položaja cilindra.

### Rješenje zadatka



Slika 17. Shema spajanja.

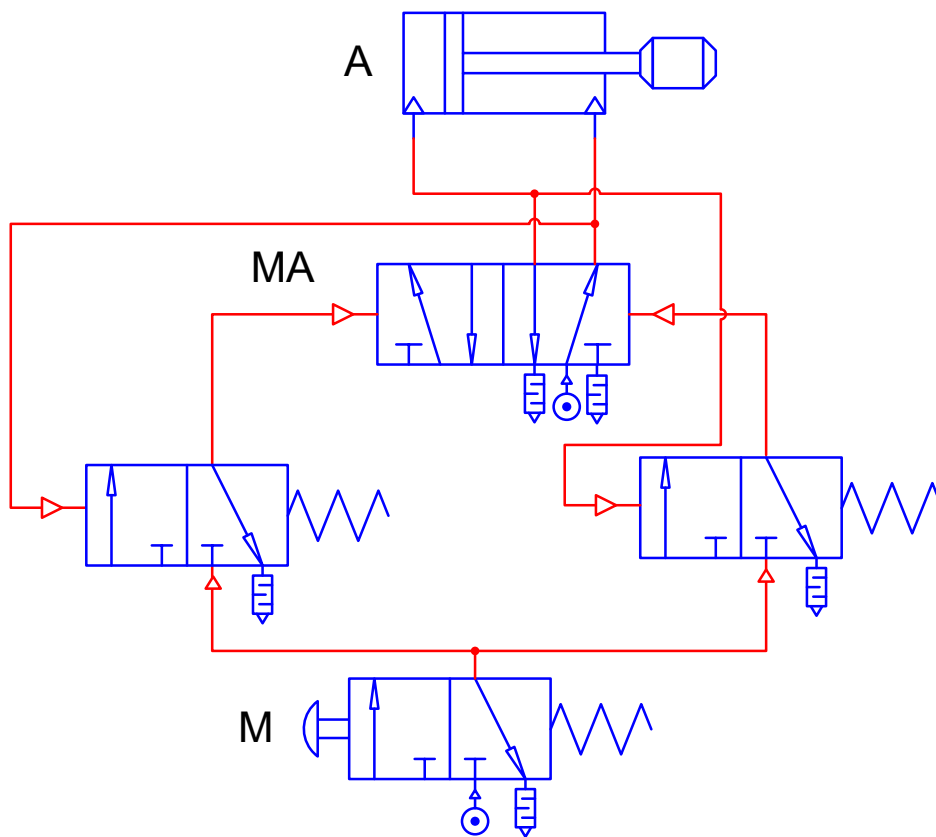
Logički element ILI daje signal u slučaju ako je samo jedan uvjet ispunjen, npr. ako je pritisnuto barem jedno tipkalo. S druge strane I element zahtijeva da su ispunjena oba uvjeta kako bi dao signal, a što u ovom zadatku znači da je prisutan signal iz ILI elementa i da je prisutan signal iz a0 razvodnika, što znači da je cilindar uvučen.



## 2.2.6. Zadatak – pneumatsko memoriranje

Potrebno je sastaviti pneumatski sustav za gibanje jednog dvoradnog cilindra. Klip se mora moći pokrenuti vrlo kratkim pritiskom na tipkalo. Jednim pritiskom klip se izvlači, a ponovnim pritiskom uvlači. U ovom zadatku je potrebno koristiti jedno tipkalo, jedan bistabilni razvodnik te dva monostabilna pneumatski upravljana razvodnika.

### Rješenje zadatka

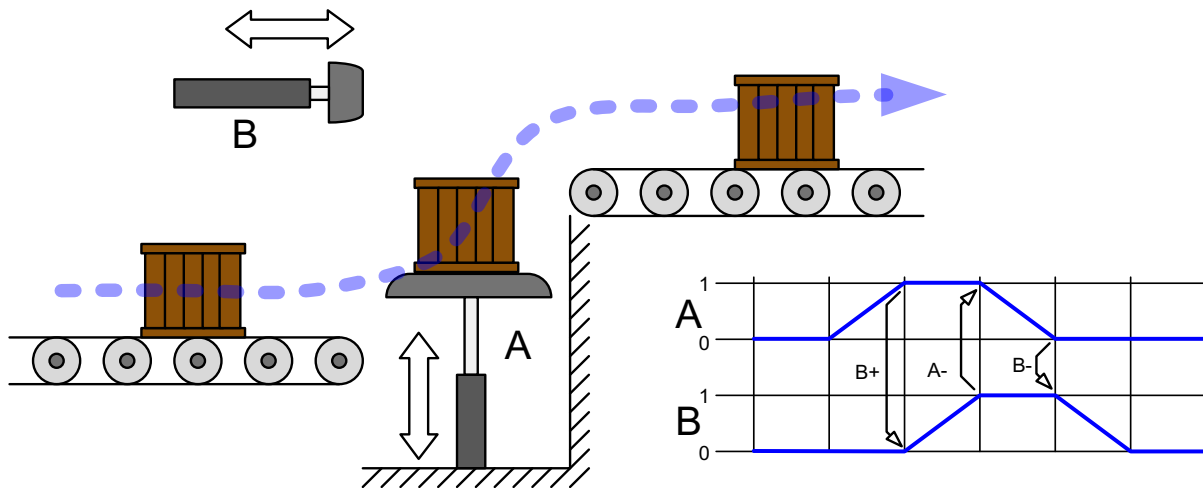


Slika 18. Shema spajanja.

*Ovako riješen problem s pneumatskim memoriranjem može se koristiti samo kada je moguće pretpostaviti da će cilindar ostvariti svoje gibanje. Često se koristi za otvaranje i zatvaranje vrata na prometlima.*

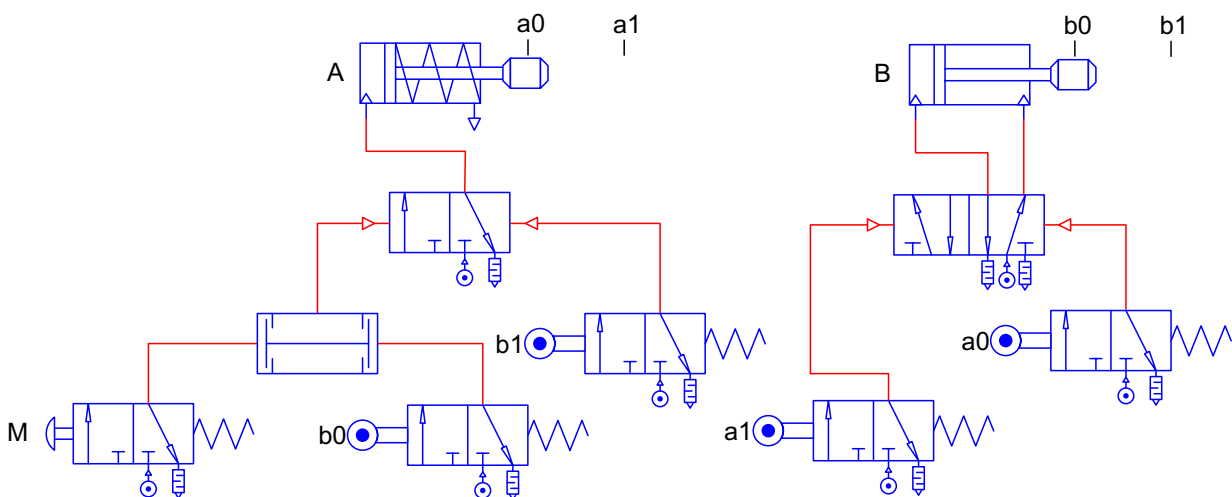
## 2.2.7. Zadatak – slijedne operacije

U tvorničkoj hali kutije putuju trakastim konvejerom do pneumatskog podizača. Potrebno je sastaviti pneumatski sustav za dizanje kutija te odgurivanje kutija na drugi trakasti konvejer. Za podizanje kutije koristi se jednoradni pneumatski cilindar, a za odgurivanje dvoradni. Skica sustava i taktni položaj klipova nalazi se na slici 19. Prisutnost kutije na podizaču može se za potrebe zadatka simulirati pomoću tipkala.



Slika 19. Skica sustava i taktni dijagram gibanja klipova.

## Rješenje zadatka



Slika 20. Shema spajanja.

*Pneumatsko upravljanje svodi se na čekanje signala da je prethodna operacija odrađena.*

## 2.3. Blokirajući signal pneumatskog upravljanja

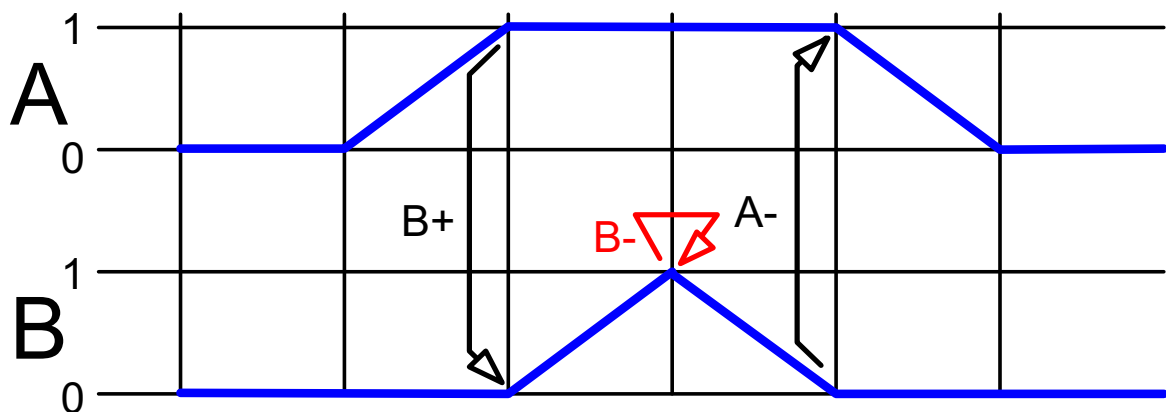
Blokirajući signal pneumatskog upravljanja trajni je impuls, koji se pojavljuje s jedne strane bistabilnog razvodnika, a s druge strane traje i u trenutku kada se pojavljuje impuls, stoga se razvodnik ne može postaviti u novi položaj. Zato takav signal treba eliminirati. To je jedna od osnovnih funkcija pneumatskog upravljanja tzv. rješavanje blokirajućeg signala, prekrivajućeg signala ili mirujućeg impulsa.

Poništavanje blokirajućeg signala može se izvesti:

- korištenjem posebnih elemenata s kratkim izlaznim signalom ili vremenskih elemenata za skraćivanje signala,
- korištenjem posebnih veza među elementima, kaskadne metode, korak po korak ili taktne metode.

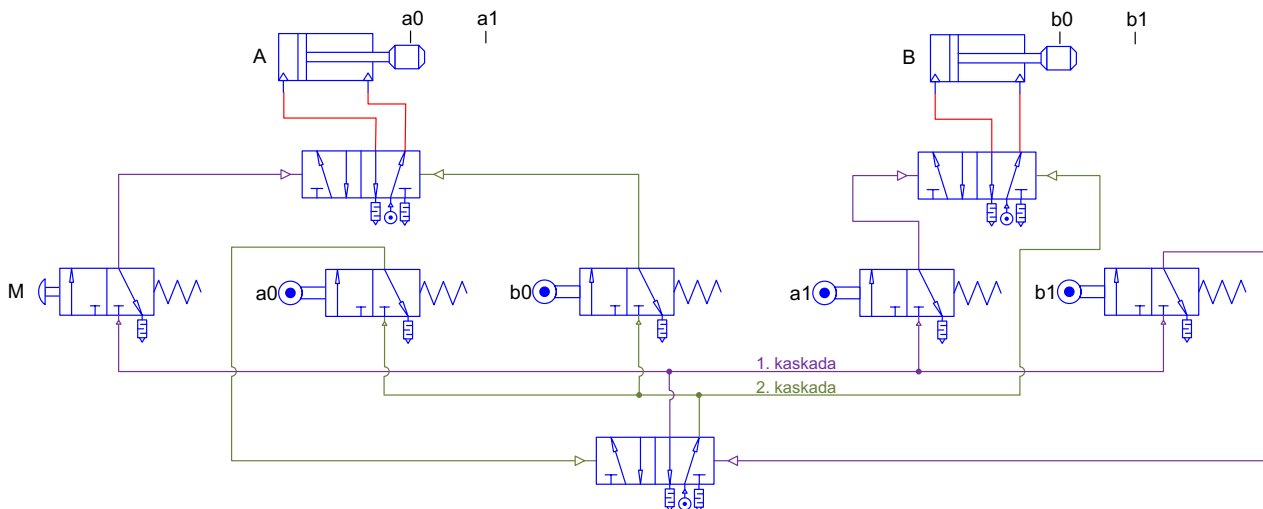
### 2.3.1. Zadatak – poništavanje blokirajućeg signala

Potrebno je riješiti problem gibanja dva klipa pneumatskih dvoradnih cilindara upravljanih bistabilnim razvodnicima prema taktnom dijagramu prikazanom na slici 21. Pritiskom na tipkalo pokreće se gibanje prvog klipa A, nakon što se izvukao pokreće se klip B koji kod svog krajnjeg položaja aktivira signal za svoj povratni hod. Međutim, ako je signal za izvlačenje cilindra na razvodniku još uvijek aktivan, doći će do blokiranja.



Slika 21. Taktni dijagram gibanja klipova.

## Rješenje zadatka



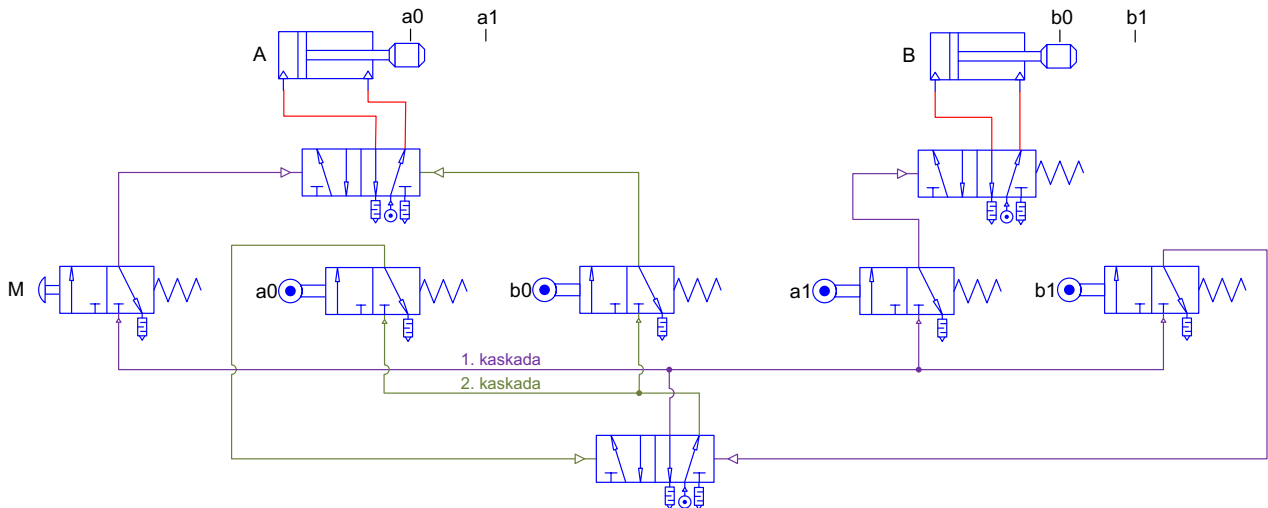
Slika 22. Shema spajanja kaskadne metode.

Kod kaskadne metode ideja je "skinuti" napajanja s onih razvodnika (graničnih prekidača) gdje se pojavljuje blokirajući signal. Na taj način koriste se kaskade, odnosno kaskadno napajanje razvodnika. Postupak projektiranja kaskadne metode može se provesti na sljedeći način. Prvo se ispisiuje redoslijed odvijanja programa uz označavanje (+) za izvlačenje klipnjače, a (-) za uvlačenje. Radi bolje preglednosti redoslijed operacija može se upisati u krugu u smjeru kazaljke na satu. Krug se zatim razdijeli na isječke u kojima se jedan cilindar smije pojavljivati samo jednom. Svaki isječak predstavlja jednu kaskadu. Zatim se iznad oznake cilindra upisuje oznaka razvodnika kojeg taj cilindar aktivira. Svaka kaskada upravlja se pomoću impulsno upravljano (bistabil) razvodnika 5/2, a kaskadni razvodnici povezani su tako da samo jedna kaskada može biti aktivna (pod tlakom). Broj kaskadnih razvodnika za jedan je manji od broja kaskada. Svaki cilindar (osim onih koji rade istovremeno) aktivira po dva 3/2 razvodnika s ticalom ili kotačićem. Posljednji razvodnik 3/2 u kaskadi ne daje impuls za gibanje sljedećem cilindru, već aktivira sljedeću kaskadu. Prethodna kaskada se isključuje, a prvo aktiviranje gibanja cilindra u kaskadi vrši se direktno kaskadnim razvodnikom. Razvodnici 3/2 koje aktiviraju cilindri napajani su s kaskada, a ne direktno s napajanja. Napajanjem kaskada upravljaju kaskadni razvodnici.

## Alternativna rješenja zadatka

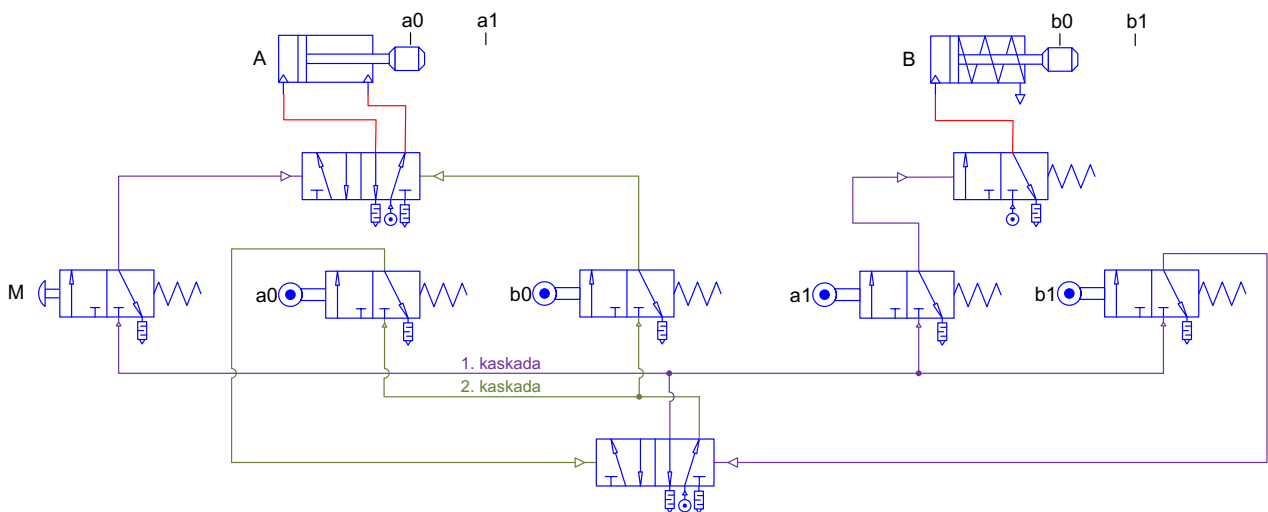
Kada promjena kaskade direktno upravlja razvodnikom za gibanje cilindra, a prethodni blokirajući signal se u tom trenutku također uklanja, tada je moguće umjesto bistabilnog razvodnika koristiti monostabilni razvodnik. Navedeno alternativno rješenje prikazano je na slici 23.





Slika 23. Alternativna shema spajanja kaskadne metode koristeći jedan monostabilni razvodnik.

Također je umjesto dvoradnog cilindra moguće koristiti jednoradni, no tada je potrebno umjesto 5/2 pneumatski upravljanog razvodnika koristiti 3/2 razvodnik, kao što je prikazano na slici 24 (ili modifikaciju 5/2 razvodnika čepljenjem jednog voda).



Slika 24. Alternativna shema spajanja kaskadne metode koristeći jedan jednoradni cilindar.

## 2.4. Elektropneumatsko upravljanje

Elektropneumatsko upravljanje je kombinacija pneumatike i elektrotehnike u kojoj se električna energija koristi za upravljanje pneumatskim sustavom. Električni dio uglavnom zamjenjuje logičku razinu, a može biti realiziran pomoću relejne tehnike ili pomoću programabilnih logičkih kontrolera. U elektropneumatskim sustavima, električni signali se pretvaraju u pneumatske signale pomoću elektromagnetski pogonjenih ventila i razvodnika koji se koriste za kontrolu protoka stlačenog zraka u pneumatske izvršne elemente (aktuatore), kao što su cilindri i motori.

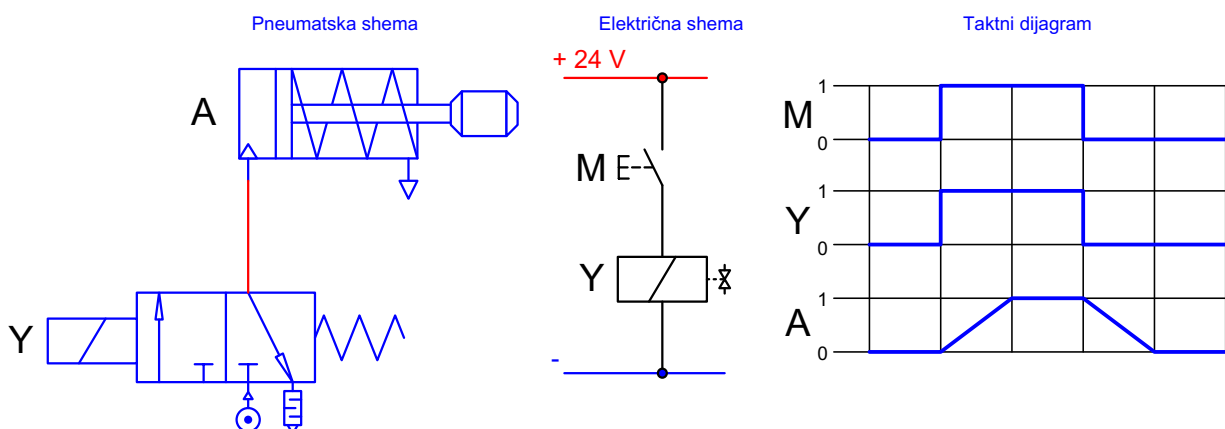
Elektropneumatsko upravljanje ima mnoge prednosti u odnosu na čisto pneumatsko upravljanje. Glavna prednost elektropneumatskog upravljanja je izrazito velika fleksibilnost, pogotovo ako se koristi PLC. Osim toga, električni signali mogu se koristiti za vođenje pneumatskih sustava na vrlo precizan i osjetljiv način, a također i na veće udaljenosti.

Uobičajene primjene elektropneumatskog upravljanja su u automatizaciji proizvodnih linija, robotici i procesnoj industriji.

### 2.4.1. Zadatak – direktno elektropneumatsko upravljanje

Potrebno je sastaviti elektropneumatski sustav za gibanje jednoradnog cilindra s povratnom oprugom. Dok je tipkalo pritisnuto klip se izvlači, a na popuštanje uvlači. Treba koristiti metodu direktnog upravljanja s monostabilnim razvodnikom.

#### Rješenje zadatka



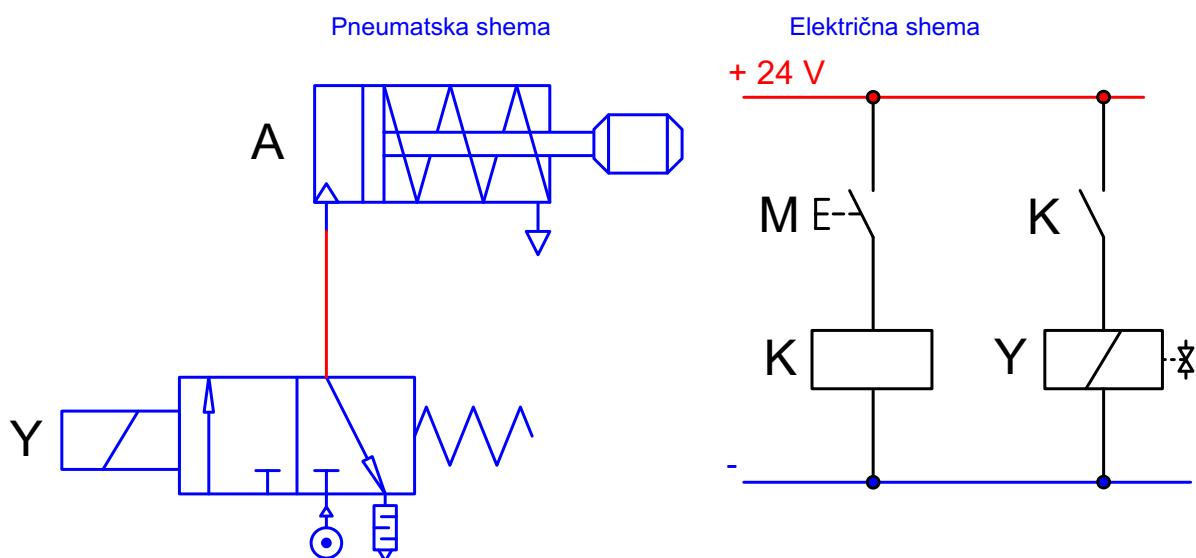
Slika 25. Shema spajanja i takti dijagram signala.

*Operater pritiskom na tipku spaja strujni krug kroz zavojnicu monostabilnog razvodnika koji otvara protok zraka u cilindar.*

## 2.4.2. Zadatak – posredno elektropneumatsko upravljanje

Potrebno je sastaviti pneumatski sustav za gibanje jednoradnog cilindra s povratnom oprugom. Dok je tipkalo pritisnuto klip se izvlači, a na popuštanje uvlači. Treba koristiti metodu posrednog elektropneumatskog upravljanja. To je metoda kod koje se koristi elektromagnetski relej. Strujni krug koji je zatvoren preko tipkala magnetizira zavojnicu releja, a koji onda zatvori strujni krug za napajanje zavojnice razvodnika.

### Rješenje zadatka



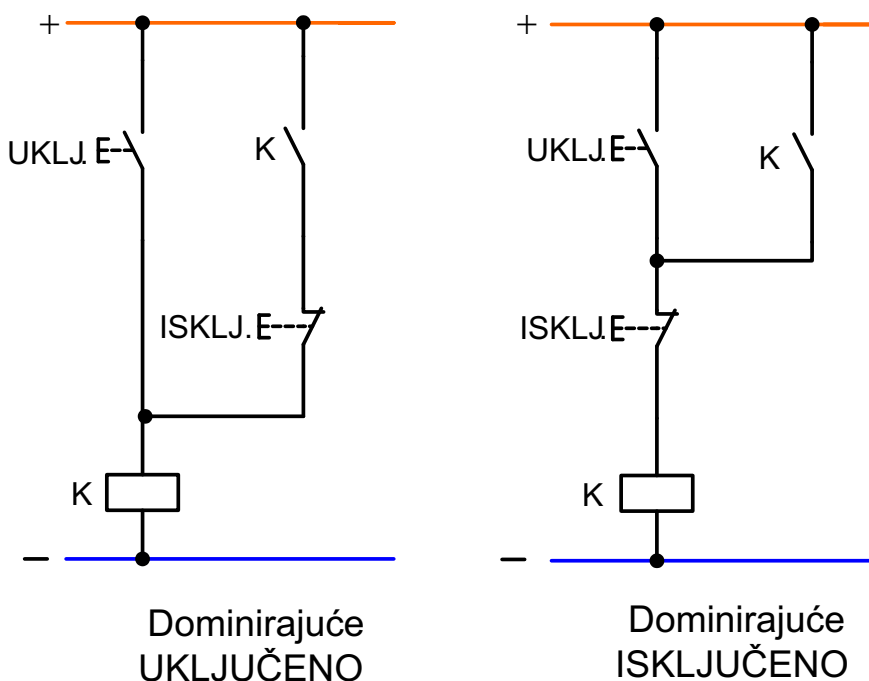
Slika 26. Shema spajanja i taktni dijagram signala.

*Kod posrednog upravljanja električni signal iz upravljačke logike djeluje samo na uključivanje releja koji uključuje ili isključuje strujni krug napajanja zavojnice elektropneumatskog razvodnika. Kao i kod pneumatskog upravljanja posredno elektropneumatsko upravljanje je najzastupljenije, jer logika zahtijeva nisku razinu energije, dok magneti elektropogonjenog razvodnika već mogu zahtijevati određenu snagu.*

## 2.5. Spoj relejnog samodržanja

Spojevi relejnog samodržanja potrebni su u elektropneumatskom upravljanju onda kada električni signali (ili stanja) trebaju biti memorirani. Ako se spojem samodržanja ostvaruje memoriranje signala u električnom dijelu sheme, tada se mogu upotrijebiti monostabilni razvodnici kojima se povrat ostvaruje oprugom. Kod češće korištenih upravljanja u taktom lancu može se funkcija memoriranja izvesti ovisno o elementima, u pneumatskom, električnom ili u oba dijela.

Kod spojeva relejnog samodržanja govori se o dva spoja - dominirajuće uključeno ili dominirajuće isključeno. Na slici 27 prikazani su električni spojevi samodržanja za dominirajuće uključeno i dominirajuće isključeno.



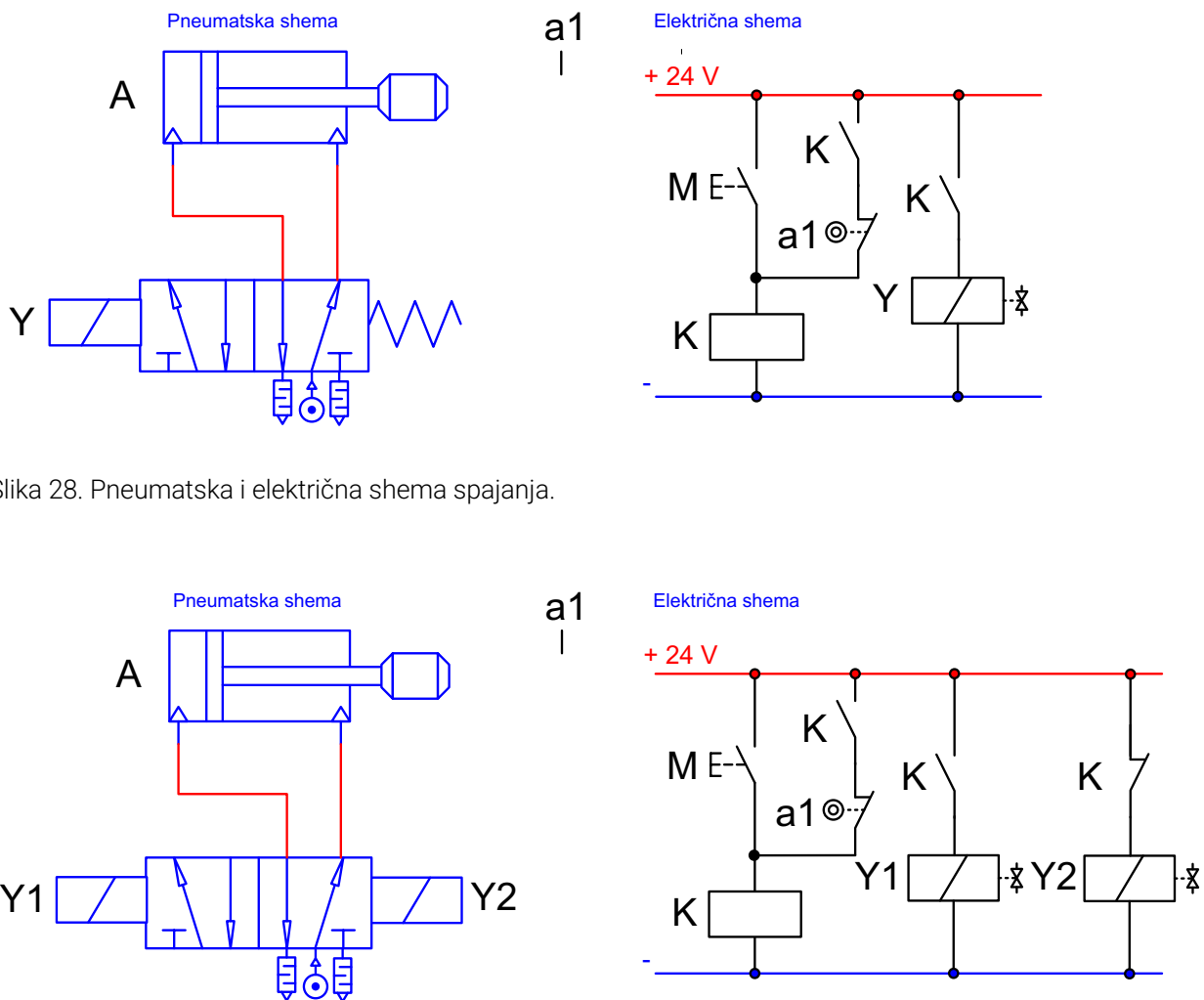
Slika 27. Električne sheme spoja samodržanja u izvedbi dominirajuće uključeno i dominirajuće isključeno.

Tipkalom UKLJ. pobuđuje se relej K koji preklapa svoje kontakte. Da bi po puštanju tipkala UKLJ. relej K ostao uključen, spaja se radni kontakt releja K paralelno tipkalu te se time stanje releja zadržava sve dok se ne prekine napajanje njegove zavojnice. Da bi se relej mogao isključiti, potrebno je prekinuti strujni krug dodatnim kontaktom. Na shemi na slici 27. koristi se mirni kontakt tipkala ISKLJ. kojim se prekida strujni krug. U slučaju dominirajućeg uključenog taj prekidni kontakt nalazi se na grani relejnog kontakta i dok je god pritisnuto tipkalo UKLJ. njegova funkcija ne može prekidati strujni krug. Ako se kontakt tipkala ISKLJ. pozicionira prije zavojnice releja K, tada njegovo prekidanje strujnog kruga uvijek djeluje bez obzira o tome je li tipkalo UKLJ. pritisnuto ili ne, a tada govorimo o dominirajuće isključenom spoju samodržanja.

## 2.5.1. Zadatak – monostabilni i bistabilni razvodnik te spoj samodržanja

Koristeći monostabilni razvodnik i spoj relejnog samodržanja potrebno je sastaviti elektropneumatski sustav za gibanje dvoradnog cilindra. Nakon pritiska na tipkalo klip se izvlači do kraja i nakon toga automatski vraća. Ponoviti postupak s bistabilnim razvodnikom.

### Rješenje zadatka



Slika 28. Pneumatska i električna shema spajanja.

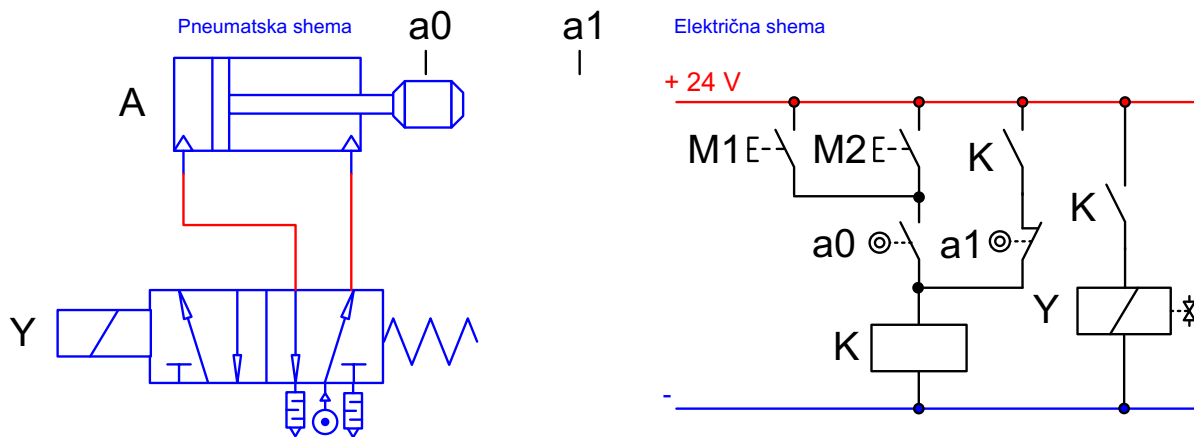
Slika 29. Pneumatska i električna shema spajanja.

*Elektroupravljeni monostabilni razvodnik kada je priključen na izvor napajanja prebaci se u drugi položaj, a čim se prekine napajanje vraća se u početni položaj koji osigurava opruga. Bistabilni razvodnik zadržava namješteno stanje tako dugo dok se zavojnica trenutnog stanja ne isključi, a suprotnog stanja ne uključi. Na slici 29 zavojnice razvodnika Y1 i Y2 spojene su na različite tipove kontakata od releja K, čime je osigurano da ne dolazi do blokirajućeg signala.*

## 2.5.2. Zadatak – elektropneumatska logika

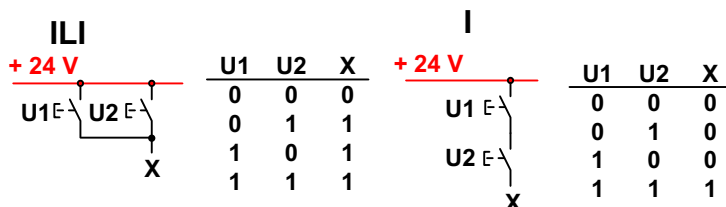
Potrebno je sastaviti elektropneumatski sustav za gibanje dvoradnog cilindra. Klip se mora moći pokrenuti s pritiskom na bilo koje od dva tipkala te mora biti osigurano da se klip vratio u početni položaj prije ponovnog pokretanja. U ovom zadatku potrebno je koristiti dva tipkala, povezati sklopke u logički sklop I i ILI, jedan elektroupravljan bistabilni razvodnik te dva granična prekidača s ticalom kao osjetnike položaja cilindra.

### Rješenje zadatka



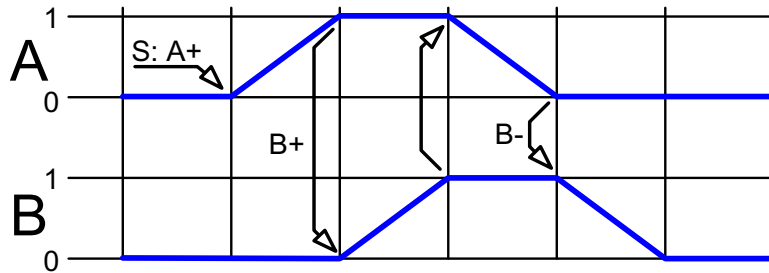
Slika 30. Pneumatska i električna shema spajanja.

Realizacija logičke funkcije ILI može se postići paralelnim spajanjem sklopki. Strujni krug će biti spojen i u slučaju ako je ispunjen samo jedan uvjet npr. da je pritisnuto barem jedno tipkalo. S druge strane I logička funkcija se postiže serijskim spajanjem sklopki. Oba uvjeta moraju biti ispunjena kako bi sklopke bile zatvorene te propuštale napon u strujni krug. U ovome zadatku su dva tipkala spojena paralelno i predstavljaju ILI funkciju, a serijski spojen granični prekidač zajedno s tipkalom čini I funkciju pa time osigurava da se klip vratio u početni položaj.



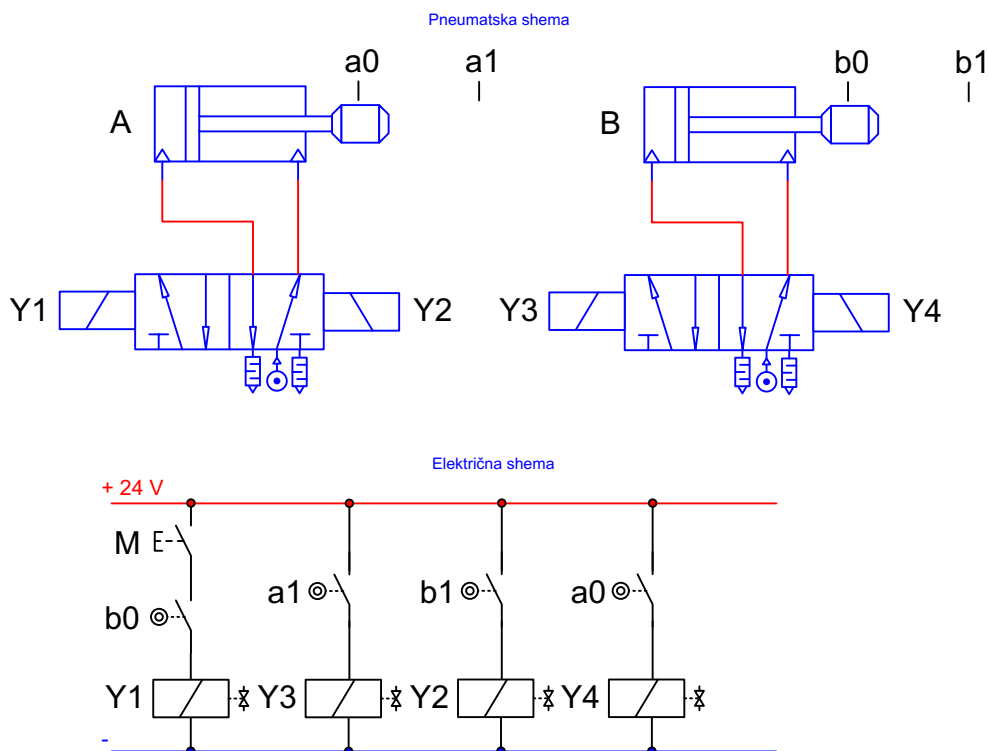
### 2.5.3. Zadatak – slijedne operacije

Potrebno je sastaviti elektropneumatski sustav za gibanje dvoradnim cilindrima prema taktom dijagramu prikazanom na slici 31. Treba koristiti bistabilne elektroupravljanje razvodnike i granične prekidače kao osjetnike položaja.



Slika 31. Takti dijagram gibanja klipova.

### Rješenje zadatka

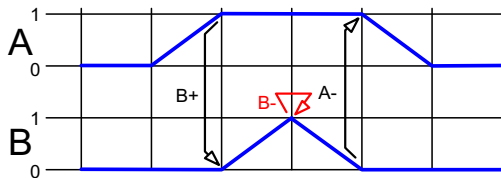


Slika 32. Shema spajanja.

Zbog karakteristike zadržavanja položaja bistabilnih razvodnika sam proces memoriranja stanja nije potreban, stoga nema potrebe za spojem relejnog memoriranja.

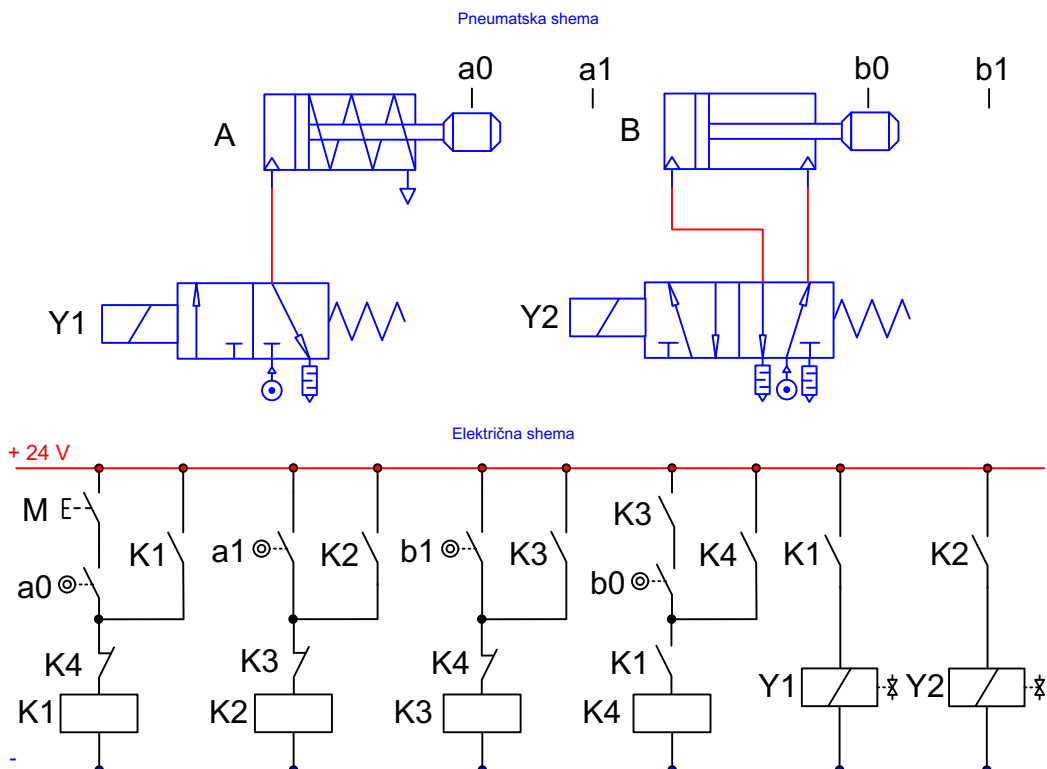
## 2.5.4. Zadatak – taktna metoda

Potrebno je riješiti problem gibanja dva klipa i to jednog jednoradnog i jednog dvoradnog cilindra upravljanih monostabilnim razvodnicima prema taktnom dijagramu prikazanom na slici 33. Pritiskom na tipkalo pokreće se gibanje prvog klipa A, a nakon što se izvukao pokreće se klip B koji kod svog krajnjeg položaja aktivira signal za svoj povratni hod.



Slika 33. Taktni dijagram gibanja klipova.

## Rješenje zadatka



Slika 34. Shema spajanja.

*Kada se koriste monostabilni razvodnici, tada je potrebno provesti relejno memoriranje koje se sastavlja koristeći spoj samodržanja. Jedan kontakt je postavni, a drugi kontakt služi za resetiranje.*



### 3. Hidraulički sustavi

Hidraulički sustavi vrše prijenos energije stlačenim tekućim fluidom po principu hidrostatičke. Fluid koji se koristi najčešće je mineralno ulje, no u nekim primjenama može biti emulzija na bazi vode ili nekih sintetskih tekućina.

Hidrauličke sustave generalno se može razvrstati u tri područja primjene:

- **Stacionarna hidraulika** koja obuhvaća razne strojeve poput preša, bušilica, dizala, manipulatora težih tereta i sl.
- **Mobilna hidraulika** koja podrazumijeva razna vozila od osobnih automobila, kamiona do raznih izvancestovnih gospodarskih vozila poput traktora, bagera i sl. Ta vozila često imaju i priključke za hidraulički pogonjene alate.
- **Zrakoplovna hidraulika**

Osnovni elementi hidrauličkog sustava su:

- **Hidraulički agregat** koji se sastoji od rezervoara za pogonski fluid, hidrauličke crpke koja je pogonjena mehaničkom snagom iz elektromotora ili motora s unutarnjim izgaranjem te sigurnosnog ventila koji određuje maksimalan tlak u sustavu. Agregat bi također trebao imati filter za ulje, termometar za mjerenje temperature ulja, manometar za mjerenje tlaka i priključke tlačnog i povratnog voda.
- **Hidraulički upravljački sustav** obično čine razni ventili koji upravljaju tokovima fluida i vrše razvod prema hidrauličkim aktuatorima. Ovisno o izvedbi, upravljanje ventilima može biti ručno, putem električne energije ili kombinacija.
- **Hidraulički aktuatori** su izvršni članovi hidrauličkog sustava koji hidrauličku snagu ponovno pretvaraju u mehaničku. Kao aktuator najčešće se koriste cilindri za linearna gibanja te hidraulički ili skraćeno „hidro“ motori.

Jedna od glavnih prednosti hidrauličkih sustava je velika gustoća prijenosa snage. Tekući fluid je teško stlačiv i podnosi visoke tlakove, stoga za prijenos velike snage uz visok tlak nije potreban preveliki protok fluida. Druga prednost hidrauličkih sustava je vrlo jednostavna realizacija snažnog linearnog gibanja uz jednostavno upravljanje silom pritiska i zaštitom od preopterećenja. Uz sve to zbog samog fluida prisutno je i odvođenje topline kao i podmazivanje sustava.

Iako ima mnoge prednosti, hidraulika i njeni sustavi često imaju nižu efikasnost i to zbog gubitaka strujanja fluida kroz cijevi te curenja fluida iz komponenata. Osim toga, najčešće korišteni fluidi su mineralna ulja, zbog čega postoji velika opasnost od požara i zagađenja okoliša ukoliko dođe do većih curenja fluida iz sustava.

## 3.1. Ručno upravljanje hidrauličkim sustavima

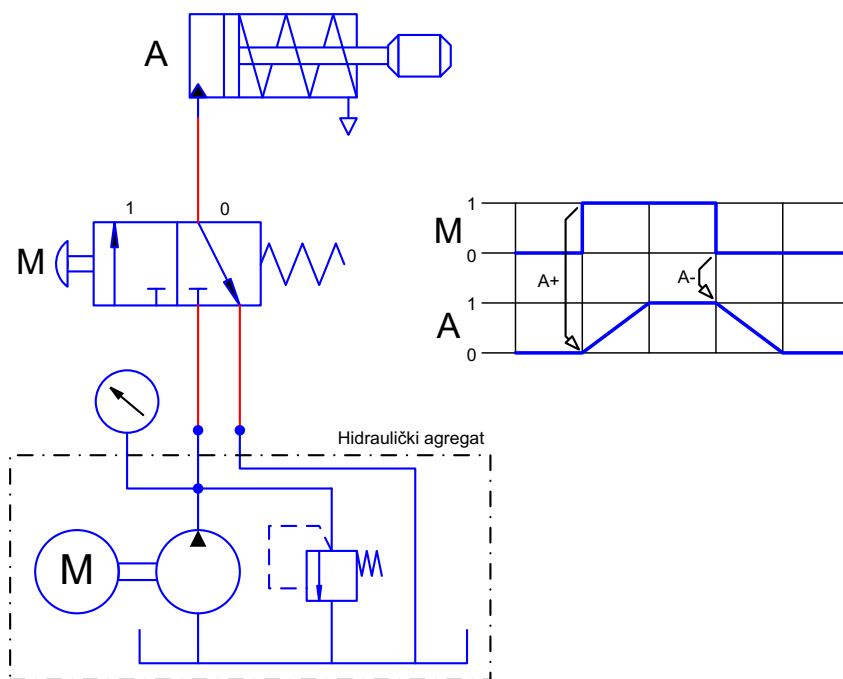
Ručno upravljanje hidrauličkim sustavima najjednostavniji je oblik upravljanja u kojem operater pomoću ručica ili nekog mehanizma mehanički upravlja razvodnicima i raznim drugim ventilima. Često se koristi kod jednostavnijih hidrauličkih sustava i nekih radnih strojeva.

### 3.1.1. Zadatak – direktno upravljanje operaterom

Potrebno je sastaviti hidraulički sustav za gibanje jednoradnog cilindra s povratnom oprugom.

Kad je ručica pritisnuta klip se izvlači, a na popuštanje uvlači. Treba koristiti metodu ručnog upravljanja s monostabilnim razvodnikom.

#### Rješenje zadatka



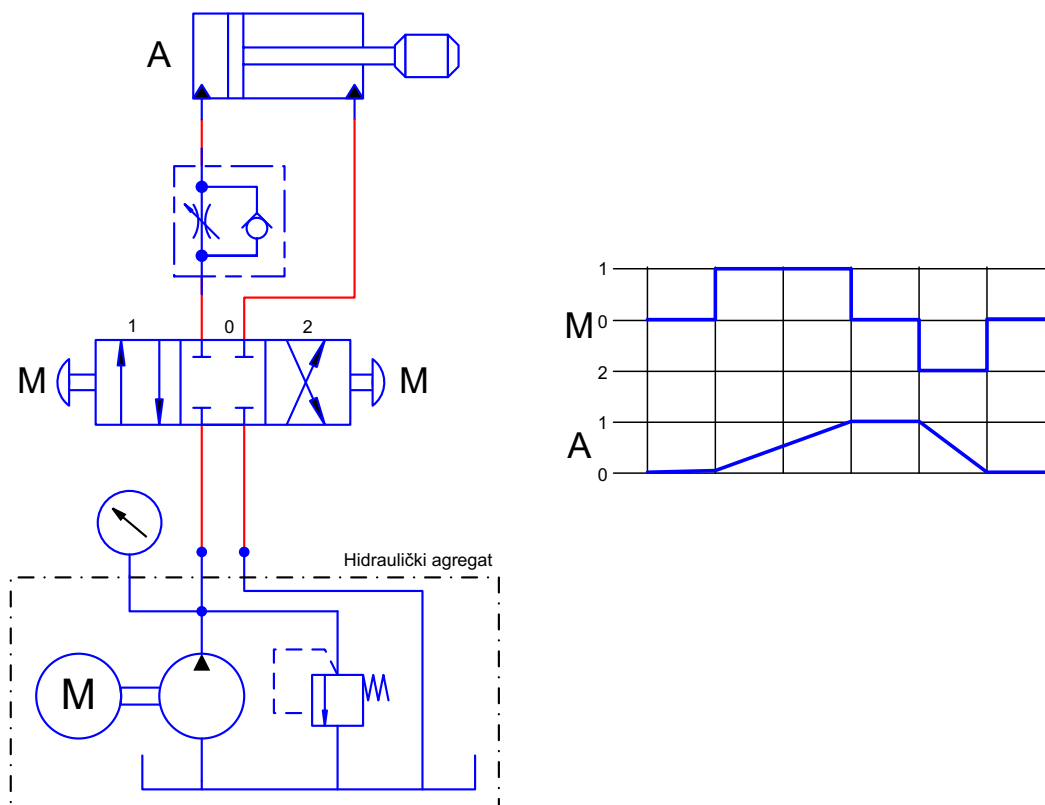
Slika 35. Shema spajanja i taktni dijagram signala.

Kada je razvodnik M u položaju 0, tada ulje iz cilindra slobodno odlazi povratnim vodom u rezervoar te se cilindar uvlači u početni položaj. Za to vrijeme tlačni vod je začepljen te pumpa, ako je uključena, gura fluid kroz ventil za ograničenje tlaka tj. sigurnosni ventil. Pritiskom na ručicu razvodnika M, on se prebacuje u položaj 1 pa fluid pod tlakom počinje puniti komoru cilindra, a na površini klipa tlak počinje stvarati radnu silu i cilindar se počinje izvlačiti. Za jednoradne cilindre koriste se najčešće 3/2 razvodnici (3 priključka i 2 položaja).

### 3.1.2. Zadatak – upravljanje gibanjem dvoradnog cilindra

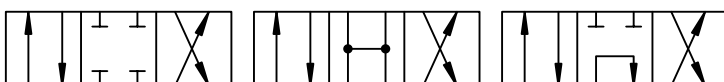
Potrebno je sastaviti hidraulički sustav za gibanje dvoradnog cilindra te je potrebno omogućiti namještanje brzine izvlačenja. Treba koristiti 4/3 ručno upravljani razvodnik kod kojeg je jedan položaj za izvlačenje, drugi položaj za uvlačenje, a nulti centralni položaj za zadržavanje cilindra. Za upravljanje brzinom izvlačenja koristiti prigušno-nepovratni ventil.

#### Rješenje zadatka



Slika 36. Shema spajanja i taktni dijagram signala.

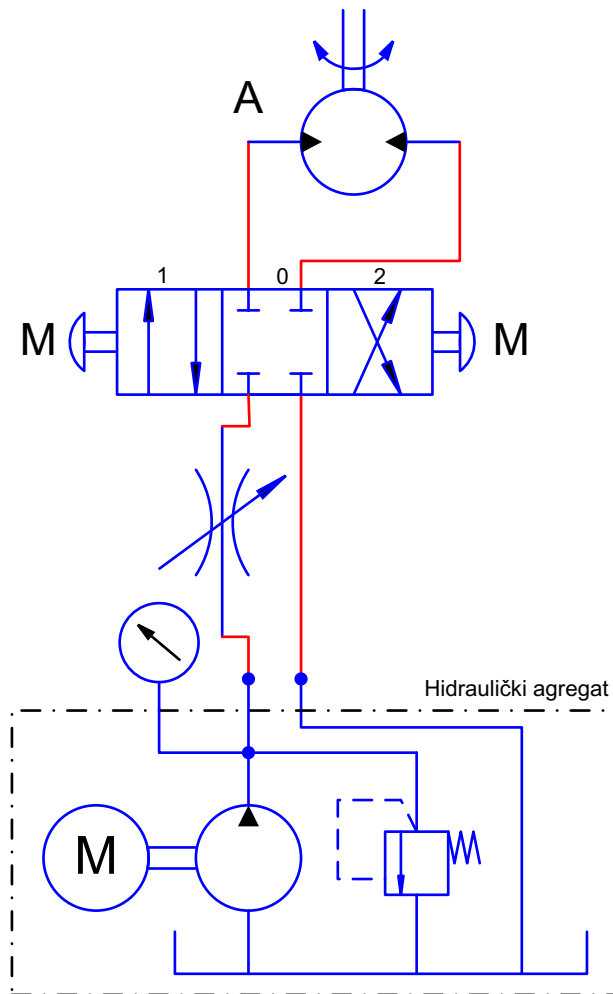
Centralni položaj 4/3 razvodnika može imati različite funkcije no neke od uobičajenih su potpuno zatvoreni, potpuno otvoreni i djelomično otvoreni položaj.



### 3.1.3. Zadatak – upravljanje hidrauličkim motorom

Potrebno je sastaviti hidraulički sustav za gibanje hidromotora u oba smjera vrtnje, a za to je potrebno omogućiti upravljanje brzinom gibanja.

#### Rješenje zadatka



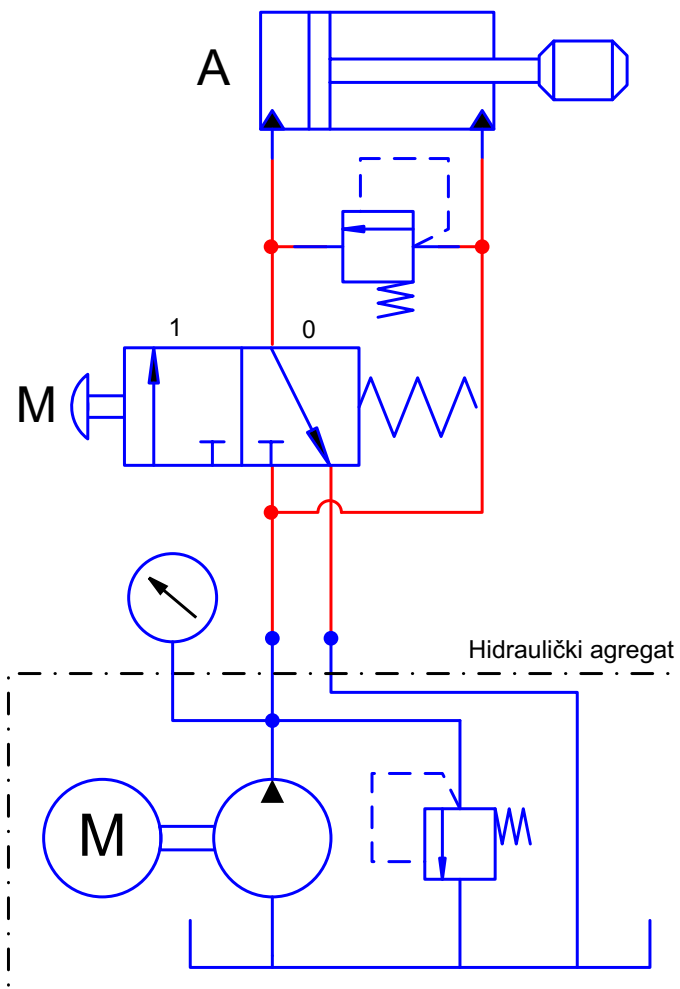
Slika 37. Shema spajanja.

*Hidraulički motor pretvara hidrauličku snagu u mehaničku te omogućuje rotacijsko gibanje. Moment motora je proporcionalan radnom tlaku i njegovom jediničnom volumenu, a brzina vrtnje motora odgovara protoku fluida kroz motor, ali je obrnuto proporcionalna njegovom jediničnom volumenu. Znači, za isti protok fluida kroz motor veći radni tlak i njegov veći jedinični volumen, povećavaju izlazni okretni moment motora. S druge strane, uz isti protok te veći volumen motora, brzina vrtnje je manja.*

### 3.1.4. Zadatak – ubrzano izvlačenje diferencijalnog cilindra

Potrebno je sastaviti hidraulički sustav za ubrzano izvlačenje diferencijalnog cilindra. Potrebno je koristiti jedan 3/2 razvodnik i jedan dodatni slijedni ventil.

#### Rješenje zadatka



Slika 38. Shema spajanja.

*Diferencijalni cilindar može se spojiti na zajednički tlačni vod, no zbog razlike u površinama ipak se izvlači i pri tom ostvaruje veću brzinu uz manju radnu silu. Slijedni ventil koji je spojen paralelno s cilindrom omogućuje stvaranje određene sile za povratni hod. Slijedni ventil je sličan ventilu za ograničenje tlaka tj. nakon neke razine tlaka propušta fluid.*

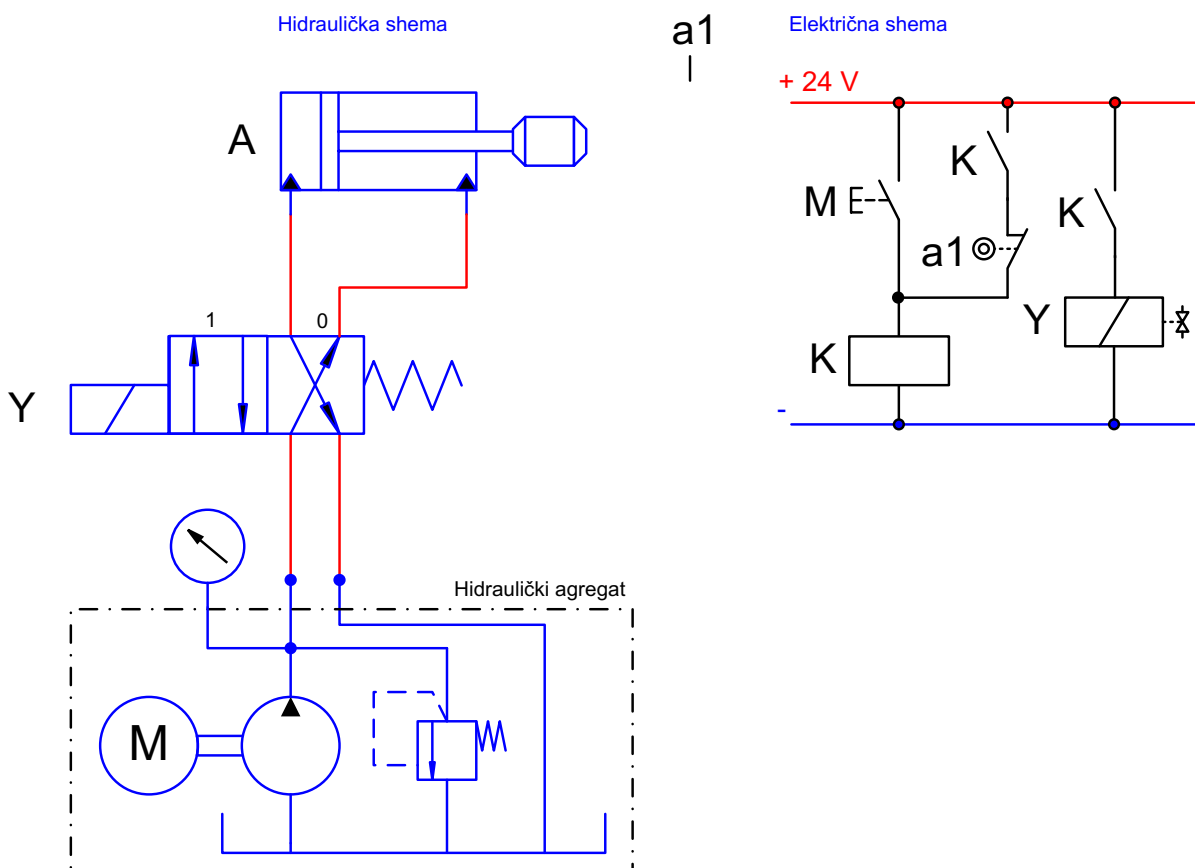
## 3.2. Elektrohidrauličko upravljanje

Logika elektrohidrauličkog upravljanja kod mnogih je primjena gotovo identična elektropneumatskim sustavima upravljanja. Razlika je samo u izvršnim elementima. Kod elektrohidrauličkog upravljanja koriste se elektroupravljeni hidraulički razvodnici.

### 3.2.1. Zadatak – elektrohidraulički razvodnici i spoj samodržanja

Koristeći 4/2 monostabilni razvodnik i spoj relejnog samodržanja potrebno je sastaviti elektrohidraulički sustav za gibanje dvoradnog cilindra. Nakon pritiska na tipkalo klip se izvlači do kraja i nakon toga se automatski vraća. Ponoviti postupak s 4/3 razvodnikom.

#### Rješenje zadatka

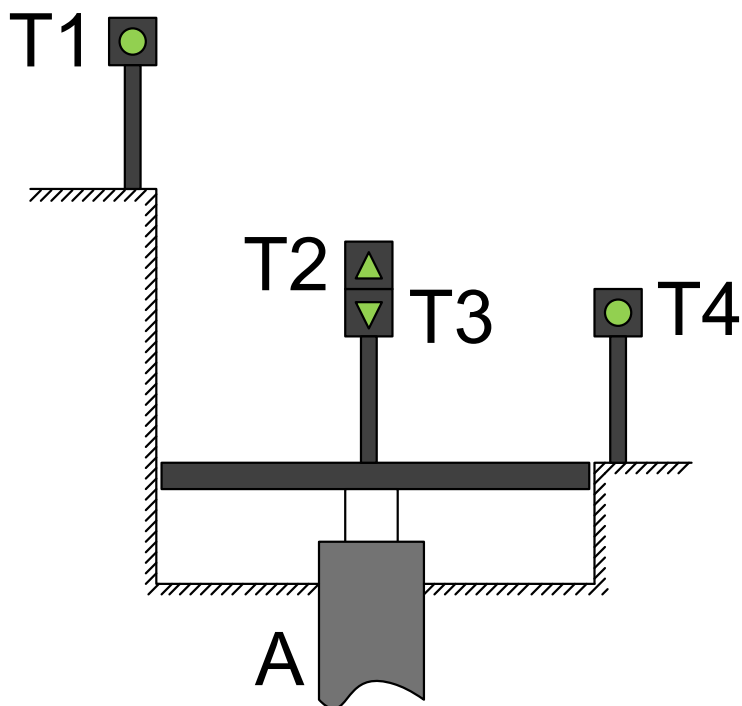


Slika 39. Hidraulička i električna shema spajanja.



### 3.2.2. Zadatak – elektrohidraulički upravljano dizalo

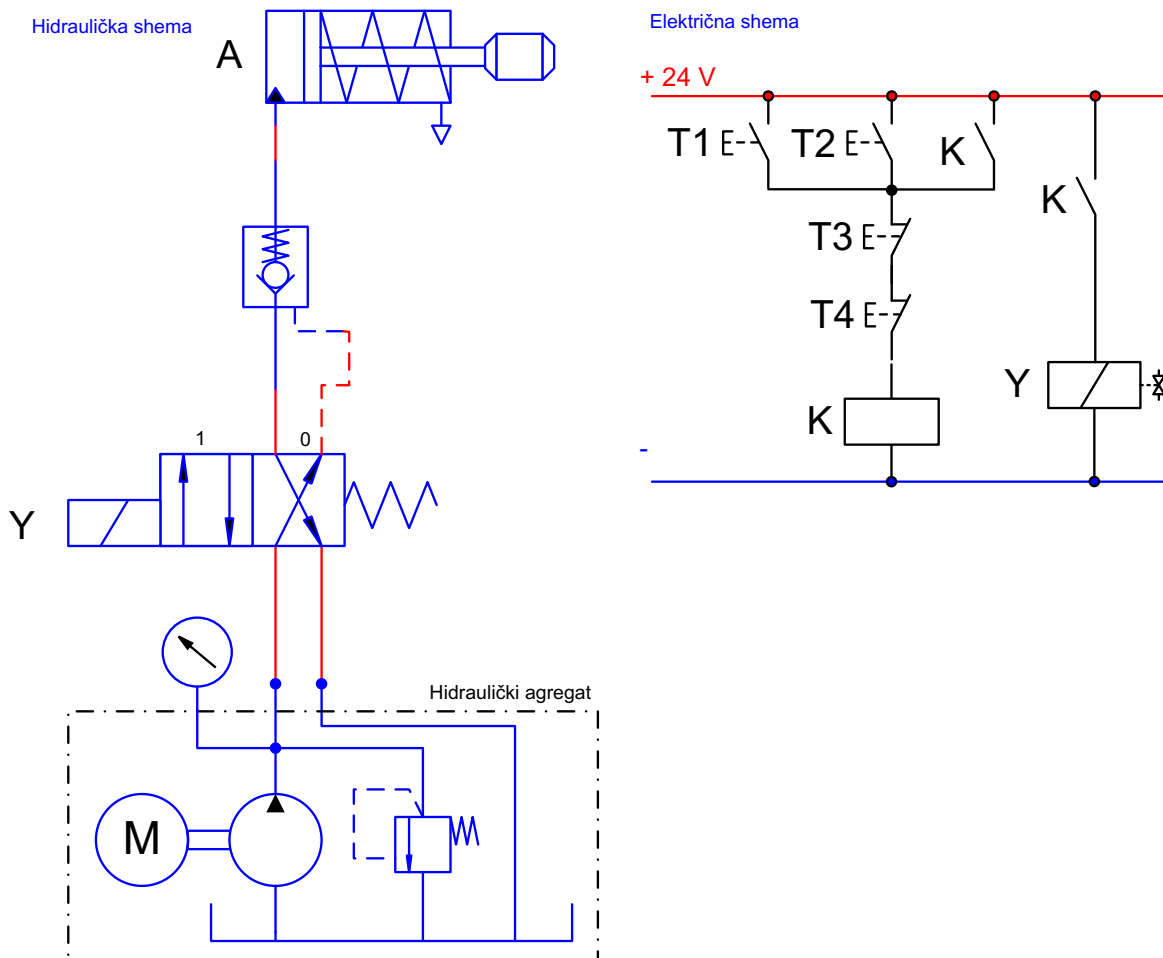
Podizna platforma ili dizalo koje je prikazano na slici 41, pogonjeno je jednoradnim cilindrom. Postoje četiri upravljačka tipkala, dva tipkala T1 i T4 nalaze se sa strane i služe za pozivanje platforme, a ostala dva tipkala T2 i T3 nalaze se na platformi i služe da se i na platformi može upravljati gibanjem prema gore ili prema dolje. Potrebno je sastaviti elektrohidraulički sustav koji bi ostvario zadano gibanje te je potrebno zaštititi platformu od propadanja uslijed nestanka napajanja pomoću nepovratnog ventila s deblokadom. Za simuliranje podiznog cilindra treba koristiti jednoradni cilindar s povratnom oprugom.



Slika 41. Skica hidraulički pogonjene podizne platforme (dizala).



## Rješenje zadatka



Slika 42. Hidraulička i električna shema spajanja.

Kada nepovratni ventil s deblokadom na upravljačkom vodu nema tlaka (vod je prikazan crtkanom linijom), onda se ponaša kao obični nepovratni ventil te propušta ulje samo u jednom smjeru. Kada je prisutan tlak na upravljačkom vodu, tada dolazi do prisilnog otvaranja ventila koji propušta fluid i u drugom smjeru. Taj ventil koristi se za zaštitu od neželjenog spuštanja cilindra u slučaju kada nestane napajanja. U ovom primjeru, u slučaju prestanka napajanja pumpe zbog nepovratnog ventila s deblokadom, dizalo bi stalo i držalo svoj položaj.

## 4. Programabilni logički kontroleri

Programabilni logički kontroleri (PLC, eng. *Programmable Logic Controllers*) često se definiraju kao minijaturni industrijski računalni uređaji koji sadrže hardver i softver koji se koristi za obavljanje upravljačkih funkcija. PLC-i se koriste za automatizaciju industrijskih i zabavnih procesa kao što su upravljanje montažnom linijom i obradnim centrima, u industriji hrane, zabavnim parkovima, kazalištima i slično. Dizajnirani su tako da mogu podnijeti visoke temperature, otporni su na električne smetnje i vibracije te lagane udarce, a može ih se po potrebi proširiti raznim modulima. PLC se sastoji od dva osnovna dijela, a to su centralna procesna jedinica (CPU, eng. *Central Processing Unit*) i ulazno izlaznog sučelja (I/O eng. Input/Output).



Slika 43. Programabilni logički kontroler S7-1200 tvrtke Siemens.

CPU upravlja svim aktivnostima sustava putem svog procesora i memorijskog sustava. On se sastoji od mikroprocesora, memorijskog čipa i ostalih integriranih krugova za upravljanje logikom, komunikacijom i nadzorom. Ima različite načine rada. U programskom načinu rada CPU će prihvatiti promjene u programu prenesenom s računala, a kada se stavi u tzv. „run-mode“ izvodit će program i upravljati procesom. Ulazni podatci sa senzora, prekidača i sličnih uređaja obrađuju se i na temelju obrađenih podataka, CPU izvršava program koji je pohranjen u memoriji. Program se izvršava u beskonačnoj petlji tj. kada program dođe do kraja, opet se vraća na početak i tako u krug. Vrijeme potrebno za jedan ciklus izvršavanja programa naziva se „scan time“, a to vrijeme mjeri se u milisekundama.

Ulazno izlazni dio PLC-a fizički se spaja na druge uređaje (ventile, lampice, tipkala, sklopke...) te služi kao veza između CPU-a i njegove okoline. PLC-i imaju širok raspon različitih I/O modula kao što su digitalni ulazi i izlazi, analogni ulazi i izlazi, specijalizirane kartice za razne komunikacijske protokole i dr.

## 4.1. Programski jezici PLC-a

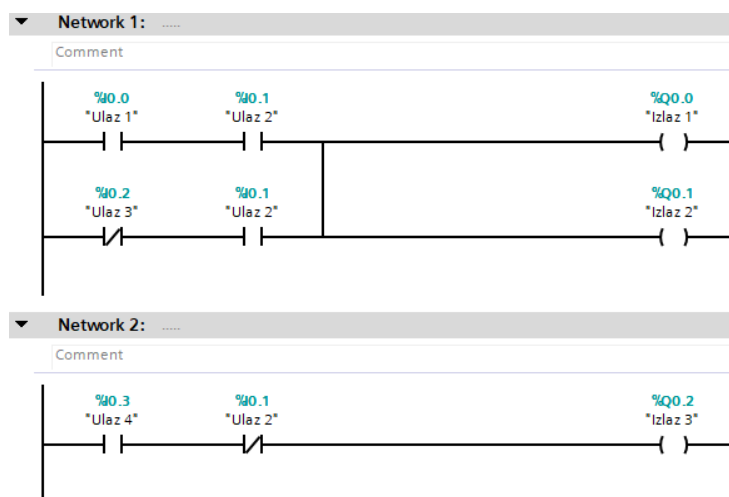
PLC može biti programiran u nekoliko različitih programskih jezika:

- ljestvičasti dijagram (LD ili LAD, eng. *Ladder Diagram*),
- funkcijski blokovski dijagram (FBD, eng. *Function Block Diagram*),
- strukturirani tekst (ST ili SCL, eng. *Structured Text, Structured Control Language*),
- lista instrukcija (IL ili STL, eng. *Instruction List, Statement List*).

Ljestvičasti dijagram bi trebao biti prvi programski jezik kojim ćete ovladati radi vrlo jednostavnog razloga. On je najrasprostranjeniji tip programiranja PLC-a zbog svojih korijena iz relejne logike, jednostavnosti implementacije i lakoće otklanjanja problema.

### 4.1.1. Ljestvičasti dijagram

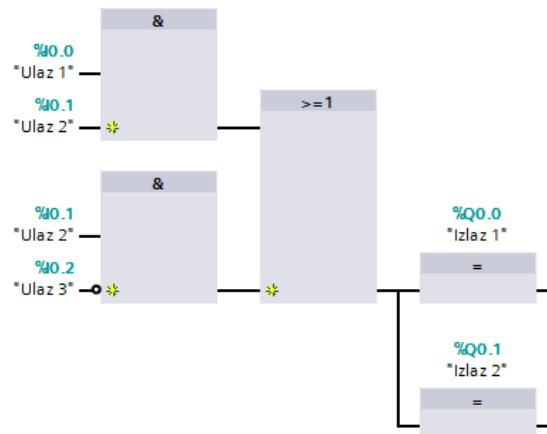
Kako su se PLC-i uvodili u industriju njihovo programiranje vršilo se pomoću ljestvičastih dijagrama koji su bili dizajnirani tako da oponašaju relejnu logiku. Drugim riječima, ljestvičasti dijagram jedan je od prvih jezika za programiranje PLC-a koji se i danas koristi zbog svoje jednostavnosti. Značajno su se razvili otkako su nastali, ali osnovni principi programiranja i rada ostaju isti. PLC procjenjuje svaku liniju dijagrama (eng. *rung*) redom. Ukoliko je rezultat uvjeta ispunjen, onda izvršavaju izlazne naredbe. Dakle, kod ljestvičastih dijagrama uspostavlja se virtualni tok energije s lijeva na desno.



Slika 44. Ljestvičasti dijagram.

### 4.1.2. Funkcijski blokovski dijagram

Funkcijski blok dijagram programski je jezik koji omogućuje korisniku da kreira vizualnu reprezentaciju toka procesa s odgovarajućim tranzicijama između signala. Vizualni editor ima intuitivno sučelje za jednostavnu implementaciju toka signala.



Slika 45. Funkcijski blok dijagram.

### 4.1.3. Strukturirani tekst

Strukturirani tekst je programski jezik koji slični na C ili assembler. Programer unosi linije koda koje se izvršavaju sekvencijalno i procjenjuju određene funkcije ili Booleove izraze, a na temelju rezultata postavljaju odgovarajuće izlaze PLC-a. Ovo je jednostavan način za prijelaz u svijet PLC-ova za one s iskustvom u tradicionalnim jezicima poput C, C++, Python-a i sličnih, a omogućuje veću fleksibilnost u odnosu na ostale programske jezike, zbog čega se jednostavnije mogu implementirati vrlo složene funkcije.

```

1 REGION PALJENJE IZLAZA 1 I 2
2 IF ("Ulaz 1" AND "Ulaz 2") OR (NOT "Ulaz 3" AND "Ulaz 2") THEN
3     "Izlaz 1" := TRUE;
4     "Izlaz 2" := TRUE;
5 ELSE
6     "Izlaz 1" := FALSE;
7     "Izlaz 2" := FALSE;
8 END_IF;
9 END_REGION
10
11 REGION PALJENJE IZLAZA 3
12 IF NOT "Ulaz 2" AND "Ulaz 4" THEN
13     "Izlaz 3" := TRUE;
14 ELSE
15     "Izlaz 3" := FALSE;
16 END_IF;
17 END_REGION
18

```

Slika 46. Strukturirani tekst.

#### 4.1.4. Lista instrukcija

Lista instrukcija je tekstualni asemblerski jezik najbliži naredbama koje se procesuiraju unutar PLC-a. Svaka linija programa sadrži novu instrukciju, a svaka linija programa sastoji se od četiri polja, a to su polja labela, naredba, operanda i komentara. Polja labela i komentar nisu obvezna. Ovaj programski jezik je sličniji ljestvičastom dijagramu, nego strukturiranom tekstu. Najveći nedostatak ovog programskog jezika leži u njegovoj nepopularnosti i nedostupnosti na većini PLC-a.

Naredba	Operand	Komentar
LD	A	(* učitaj A *)
AND	B	(*logička I operacija s B*)
ST	Q	(*spremi rezultat u Q*)

Slika 47. Lista instrukcija

## 4.2. Varijable i tipovi podataka

U programiranju, varijable se koriste za pohranu podataka koji se mogu koristiti i mijenjati tijekom izvođenja programa. Svaka varijabla ima određeni tip podataka kojima određuje kakve vrijednosti može pohraniti. Varijabla je simboličko ime koje predstavlja mjesto u memoriji gdje se pohranjuje određena vrijednost ili skup vrijednosti. Ime varijable može se koristiti za pristup ili promjenu te vrijednosti tijekom izvođenja programa. Prije korištenja varijabla se mora deklarirati, što znači da programu govorimo koje ime varijable želimo koristiti i koji tip podataka će pohranjivati. Varijable možemo podijeliti na **lokalne** i **globalne**.

### Lokalne varijable

Deklariraju se unutar funkcije ili bloka koda i dostupne su samo unutar funkcije ili bloka u kojem su deklarirane. Nakon što se funkcija izvrši, lokalne varijable se uništavaju. Često se koriste za privremeno pohranjivanje podataka koji su relevantni samo za određenu funkciju.

### Globalne varijable

Varijable koje se deklariraju obično na početku koda i izvan svih funkcija. Dostupne su u cijelom programu, što znači da svaka funkcija unutar programa može pristupiti i mijenjati njihove vrijednosti. Koriste se za pohranjivanje informacija koje trebaju biti dostupne kroz više funkcija ili cijeli program.

Tip podataka određuje vrstu vrijednosti koju varijabla može pohraniti. Različiti programski jezici imaju različite tipove podataka, ali neki od najčešćih navedeni su u tabeli 2.

Tabela 2. Osnovni tipovi podataka.

Tip podatka	Veličina (bit)	Raspon vrijednosti
Bool (bit)	1	0 (FALSE), 1 (TRUE)
Byte	8	16#0 ... 16#FF
USInt	8	0 ... 255
SInt	8	-127 ... 127
Word	16	16#0 ... 16#FFFF
UInt	16	0 ... 65535
Int	16	-32768 ... 32767
DWord	32	16#0 ... 16#FFFF_FFFF
DInt	32	-2147483648 ... 2147483647
UDInt	32	0 ... 4294967295
Real	32	-3,40e+38 ... 3,40e+38
LReal	64	-1,79e+308 ... 1,79e+308

Osim osnovnih tipova podataka, mnogi programski jezici omogućuju definiranje složenih ili korisnički definiranih tipova podataka, poput nizova, struktura i objekata. Niz je tip podatka koji se sastoji od nekoliko elemenata istog tipa podatka. Strukture su tipovi podataka koji se sastoje od elemenata različitih tipova podataka.

#### 4.2.1. Tagovi

Tagovi su varijable koje se koriste u programu i koji mogu poprimiti različite vrijednosti. Većina instrukcija unutar programa koriste tagove kako bi s njima nešto odradile. Svaki tag sastoji se od imena, tipa podatka i memorijske adrese. Adresa taga je apsolutna i određuje memorijsko područje iz kojeg tag čita neke podatke ili u koje tag upisuje neke podatke. Primjeri mogućih memorijskih područja su ulazi (I), izlazi (Q) i memorija (M). Primjer tagova prikazan je na slici 48.

Default tag table								
	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	Isklop_u_nuzdi	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Rucni_automatski	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Jedan_ciklus	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Crvena	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Zelena	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Ventil	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Cekanje_5_sekundi	Bool	%M10.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Start_automatski	Bool	%M10.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	Start_jedan	Bool	%M10.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Slika 48. Primjer tagova.

## 4.3. Struktura PLC programa

Kod Siemensovih PLC-a programi i podatci su spremljeni u različite blokove gdje broj blokova ovisi o kompleksnosti zadatka. Blokovi se dijele u:

1. organizacijske blokove (OB)
2. funkcije (FC)
3. funkcijske blokove (FB)
4. podatkovne blokove (DB)

### 4.3.1. Organizacijski blokovi (OB)

Organizacijski blokovi čine sučelje između operacijskog sustava PLC-a i korisničkog programa. Poziva ih operacijski sustav i upravljaju sljedećim operacijama:

- inicijalizacijom sustava,
- cikličkim izvođenjem programa,
- programima pokretanim na događaje,
- greškama.

U projektu mora biti prisutan barem jedan ciklički organizacijski blok. U tom cikličkom organizacijskom bloku napisan je program koji određuje ponašanje PLC-a. Operacijski sustav poziva taj organizacijski blok u svakom ciklusu, a ciklus se resetira nakon kraja izvršavanja organizacijskog bloka.

Izvršavanje programa organizacijskog bloka se može prekidati pozivanjem ostalih organizacijskih blokova. Kod kompleksnih zadataka automatizacije, program je strukturiran i podijeljen u nekoliko blokova, a koji se pozivaju iz cikličkog organizacijskog bloka i izvršavaju jedan nakon drugog.

Ciklički organizacijski blok nazvan „Main [OB1]“ automatski se kreira dodavanjem PLC-a u projekt te u tom bloku pišete glavni dio svog programa. U projektu možete imati i druge tipove organizacijskih blokova, a koje operacijski sustav poziva kada se nešto dogodi ili prilikom inicijalizacije sustava. U tablici 3 prikazani su neki od organizacijskih blokova koje podržava S7-1200 PLC-a s događajem koji ih pokreće i prioritetom izvršavanja. Organizacijski blok s većim prioritetom izvršava se prvi. Najniži prioritet je 1.

Tabela 3. Organizacijski blokovi S7-1200 PLC-a.

<i>Blok</i>	<i>Događaj izvršenja programa</i>	<i>Prioritet</i>
<i>OB1</i>	ciklički program	1
<i>OB10 do OB17</i>	vremenski prekid	2
<i>OB20</i>	vremenski odgođeni prekid	3
<i>OB30</i>	ciklički prekid	8 do 17
<i>OB40</i>	hardverski prekid	18
<i>OB82</i>	dijagnostički prekid	5
<i>OB100</i>	Inicijalizacija PLC-a	1
<i>OB121</i>	Programska greška	7

### 4.3.2. Funkcije (FC)

Funkcije su blokovi koda bez dedicerane memorije. Funkcija može imati ulazne i izlazne argumente, ali svoje unutarnje varijable ne može trajno pohraniti do idućeg poziva. Može koristiti privremene varijable ili globalne varijable. Funkcije obično zamjenjuju neki dio koda koji se ponavlja na više mjesta u programu. Korisne su za izvođenje određenih operacija koje ne zahtijevaju pohranu stanja, jer nemaju interne varijable i ne pohranjuju stanje između poziva.

### 4.3.3. Funkcijski blokovi (FB)

Funkcijski blokovi razlikuju se od funkcija tako što imaju svoju dediceranu memoriju. Oni mogu koristiti privremene varijable, globalne varijable ili statičke varijable koje su nastale od instance podatkovnog bloka. Pravila koja se primjenjuju na parametre funkcijskih blokova, a samim time i na funkcije su sljedeća:

- ulazni parametri mogu se samo čitati
- u izlazne parametre mogu se samo upisati vrijednosti
- u ulazno/izlazne parametre mogu se upisati i pročitati vrijednosti
- privremeni parametri su lokalni parametri korišteni samo od tog bloka
- vraćena vrijednost (samo kod FC-a) je vrijednost koja se vraća bloku koji je pozvao tu funkciju
- statični parametri (samo FB-ovi) su pohranjeni u instanci podatkovnog bloka



#### **4.3.4. Podatkovni blokovi (DB)**

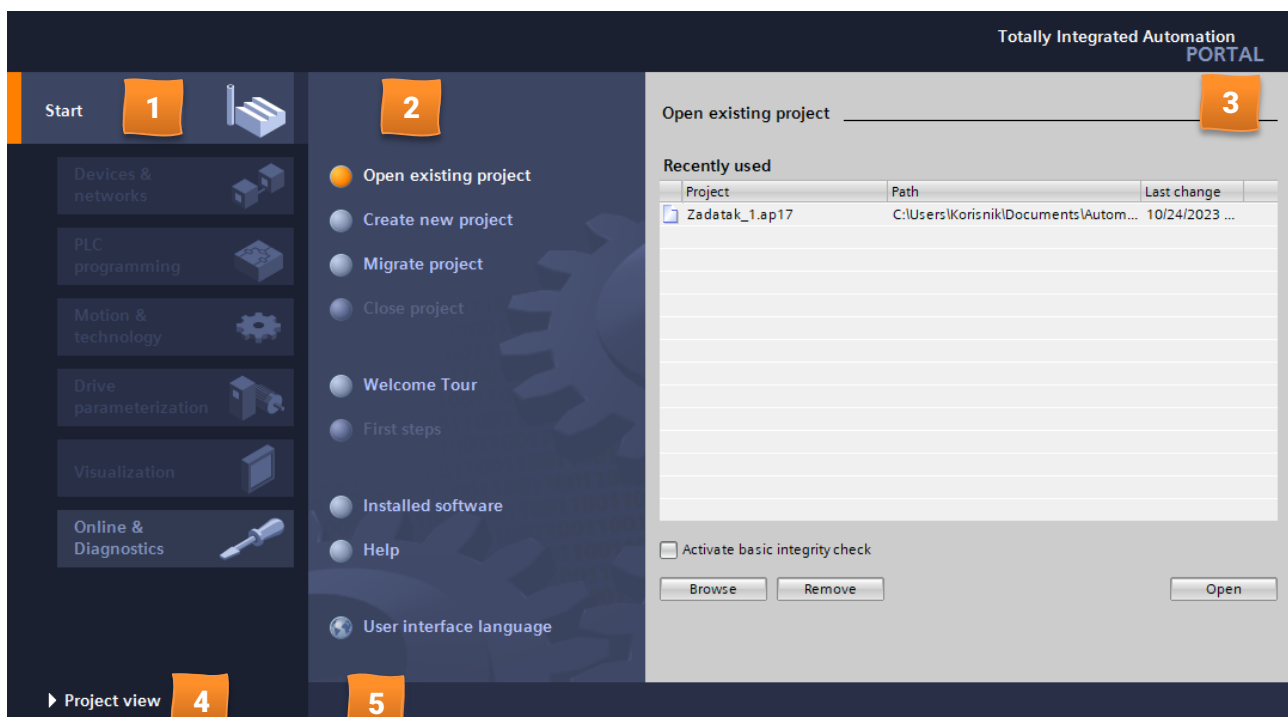
Podatkovni blokovi su ključna komponenta u svijetu PLC programiranja, posebno kada je riječ o SIEMENS PLC-ima. Oni služe kao središnje mjesto za pohranu podataka unutar PLC-a. Pružaju trajnu pohranu podataka koji ostaju nepromijenjeni čak i kada je PLC isključen ili resetiran. Podijeljeni su u dvije grupe, a to su: globalni podatkovni blokovi i instance podatkovnih blokova. Informacijama pohranjenim u globalnim podatkovnim blokovima može se pristupiti iz bilo kojeg programa, funkcije ili funkcijskog bloka. Instancama podatkovnih blokova može pristupiti samo odgovarajući funkcijski blok. U svaki podatkovni blok može se pohraniti bilo koji tip podatka.

## 4.4. TIA Portal V18

TIA Portal (eng. *Totally Integrated Automation Portal*) je platforma razvijena u Siemensu. Ona pruža integrirano okruženje za razvoj, simulaciju i praćenje raznih SIMATIC proizvoda na jednostavan i efektivan način. Ostali TIA proizvodi rade zajedno unutar TIA portala i podržavaju vas u svim područjima potrebnim za razvoj automatiziranog rješenja. Tipično rješenje automatiziranog sustava sastoji se od:

- PLC-a koji upravlja procesom uz pomoć programa,
- HMI-a (eng. *Human-Machine Interface*) uređaja s grafičkim sučeljem pomoću kojeg operater upravlja sustavom.

Izgled početnog prozora TIA portala prikazan je na slici 49 i naziva se portalni prikaz. Cilj portalnog prikaza je pružiti jednostavnu navigaciju kroz zadatke i podatke projekta. To znači da se funkcijama aplikacije može pristupiti putem pojedinačnih portala.



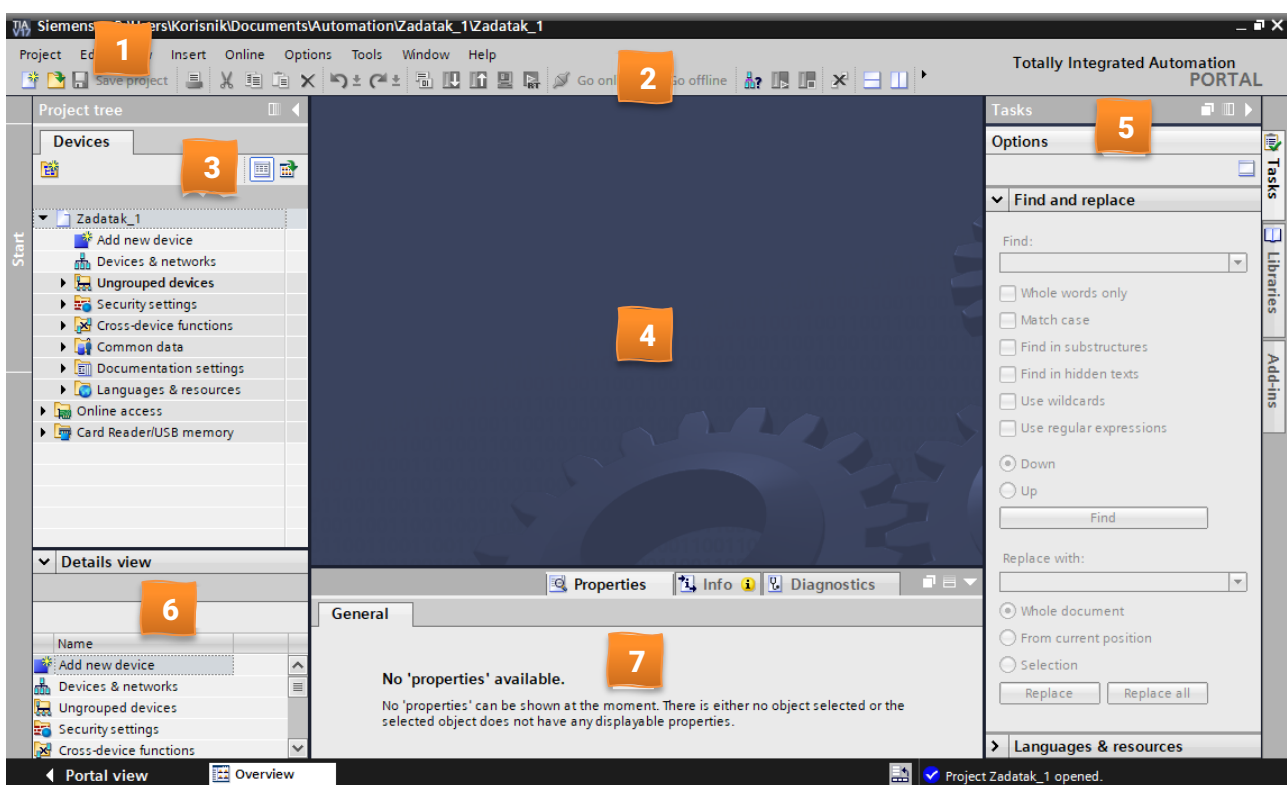
Slika 49. TIA Portal – portalni prikaz.

Struktura portalnog prikaza sadrži:

1. portal za različite zadatke: oni pružaju osnovne funkcije za pojedinačna područja zadataka, a portali koji su dostupni u portalnom prikazu ovise o proizvodima koji su instalirani,
2. funkcije za odabrani portal: ovdje ćete pronaći funkcije koje su vam dostupne u portalu koji ste odabrali,

3. izbornu ploču za odabranu radnju: ona je dostupna u svim portalima, a sadržaj ploče prilagođava se vašem trenutnom odabiru,
4. prikaz projekta: možete koristiti ovu poveznicu kako biste se prebacili na prikaz projekta,
5. prikaz trenutno otvorenog projekta.

Pregled projekta daje strukturirani pregled svih komponenti projekta. On nam daje različite editore za programiranje PLC-a i HMI-a. Na slici 50 prikazana je struktura pregleda projekta s njegovim glavnim komponentama:



Slika 50. TIA Portal – prikaz projekta.

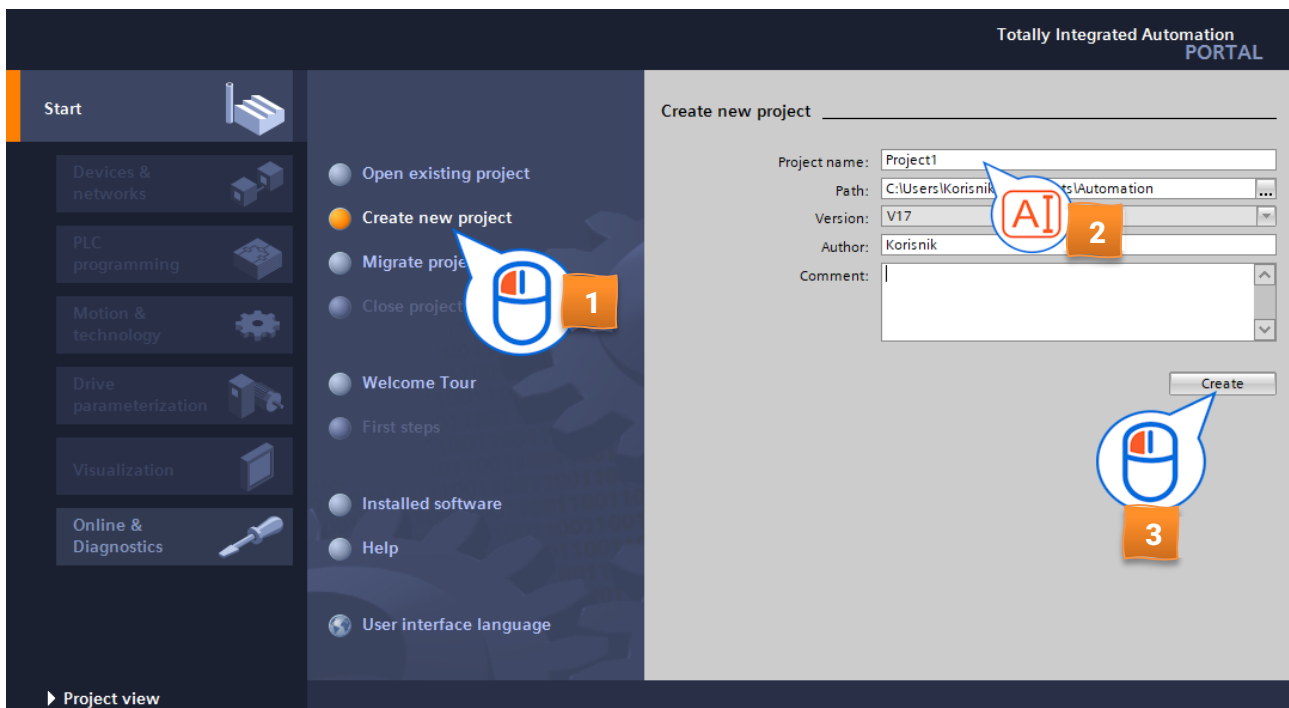
- 1) glavni izbornici,
- 2) alatna traka,
- 3) struktura projekta: omogućuje pristup svim komponentama u projektu i tu možemo dodavati i brisati komponente,
- 4) radno područje: ovdje se prikazuju razni objekti koje možemo editirati (program, varijable...),
- 5) prozor s karticama: daje nam različite kartice o ovisnosti koji objekt je selektiran (npr.

napredne instrukcije za programiranje PLC-a),

- 6) detaljni pogled: daje nam detalje o odabranoj komponenti projekta,
- 7) prozor za inspekciju: tu se prikazuju dodatne informacije odabranog objekta ili se prikazuju informacije u provedenim radnjama u programu (npr. izvješće o greškama prilikom kompajliranja programa).

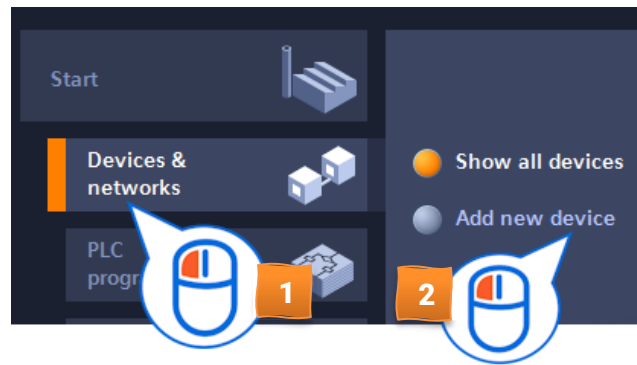
#### 4.4.1. Kreiranje i konfiguracija novog projekta

Da bismo kreirali novi projekt potrebo je prvo otvoriti program TIA Portal. Nakon otvaranja programa potrebno je redom izvršiti korake kao što je označeno na slici 51.



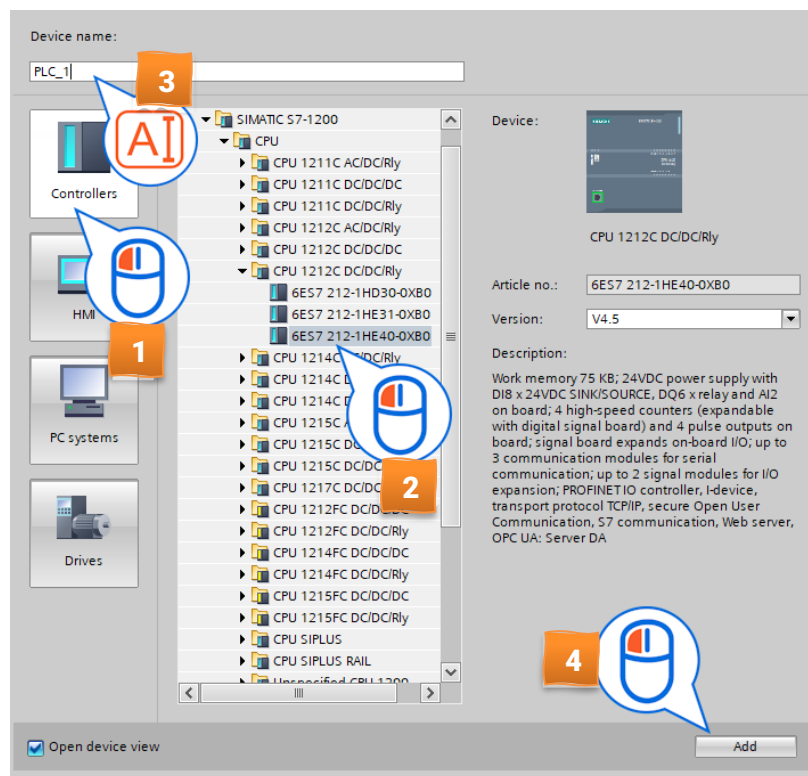
Slika 51. Kreiranje novog projekta.

Nakon što smo kreirali projekt, potrebno je dodati sve uređaje u projekt. Da biste dodali uređaje u projekt iskoristite portal onako kako je prikazano na slici 52.



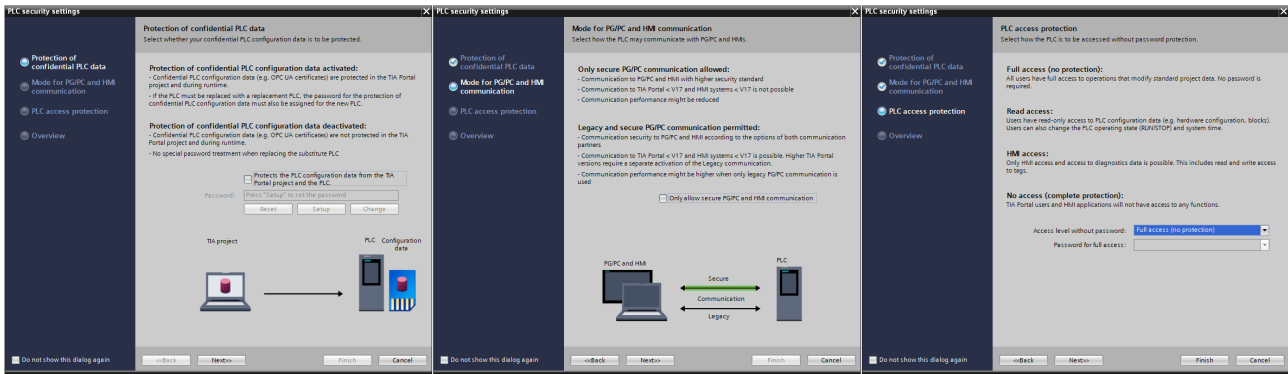
Slika 52. Dodavanje novog uređaja u projekt.

Zatim je potrebno odabrati koji tip PLC-a dodajemo, dodijeliti mu ime i dodati ga u projekt po koracima prikazanim na slici 53.



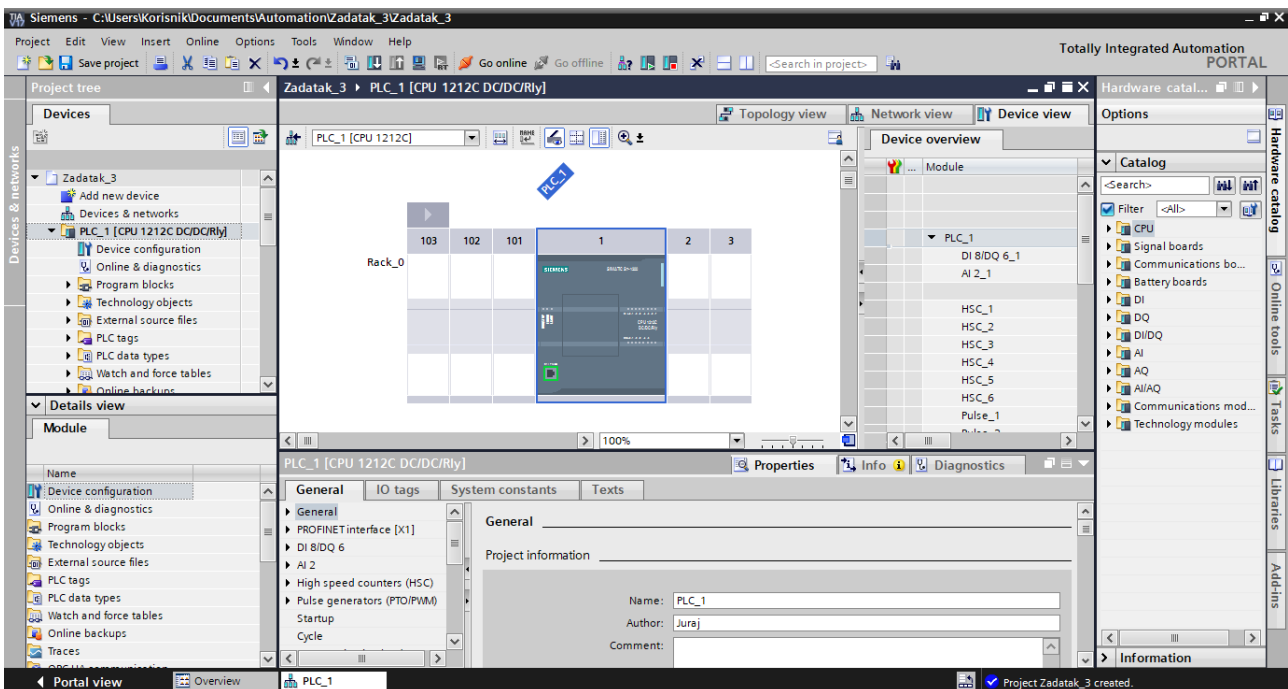
Slika 53. Dodavanje PLC-a S7-1200 u projekt.

Nakon uspješnog dodavanja PLC-a u projekt, otvara se prozor na kojem je potrebno podesiti postavke sigurnosti PLC-a. Preporuča se da se na vježbama na svim mjestima makne zaštita, tj. da se ne unosi nikakva šifra u projekt, kao što je prikazano na slici 54.



Slika 54. Sigurnosne postavke PLC-a.

Kada su svi koraci uspješno odrađeni, kao rezultat, TIA Portal otvara prozor za pregled uređaja (*eng. device view*) editora za uređaje i mrežu.



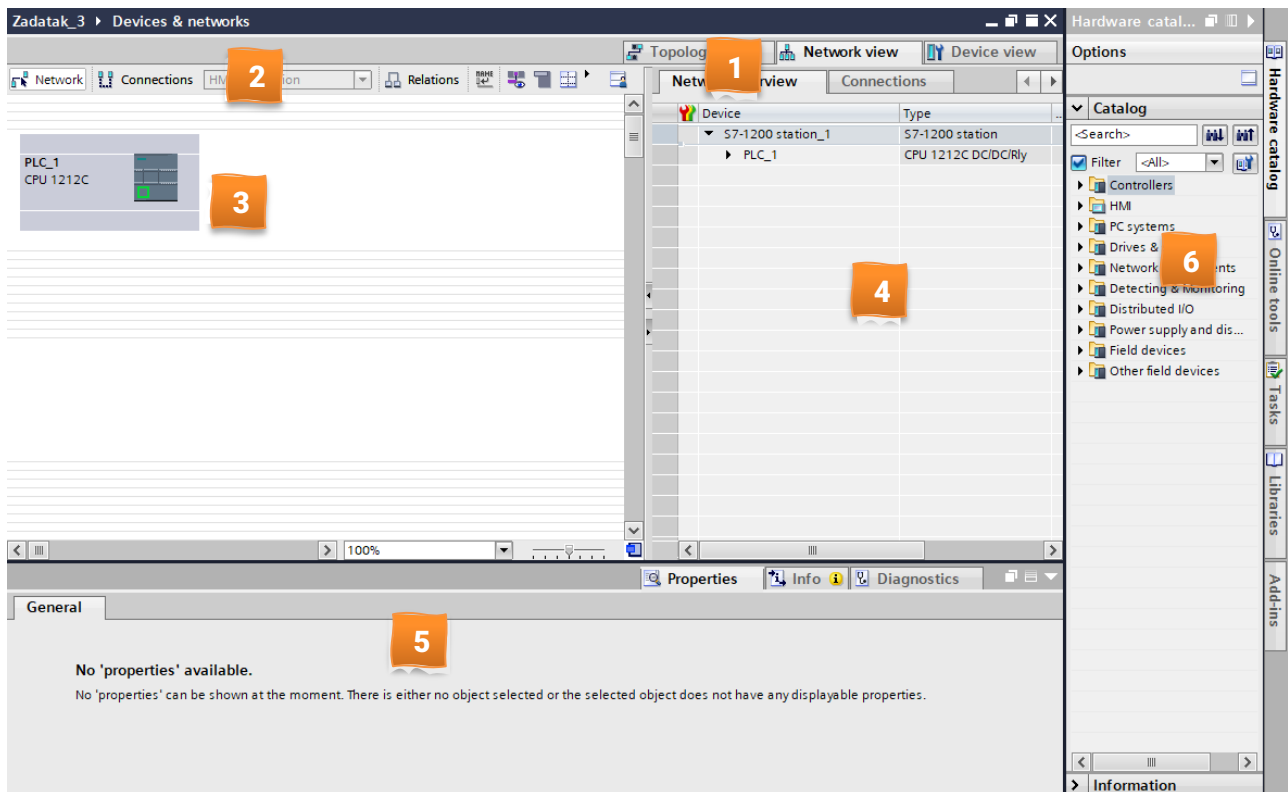
Slika 55. Pregled uređaja.

#### 4.4.2. Device and network editor

*Device and network* editor je okruženje za konfiguraciju mreže i dodjeljivanje parametara uređajima i modulima. Sastoji se od dva dijela, a to su *device view* i *network view*. Unutar *network view* editora možete odraditi sljedeće radnje:

- konfigurirati parametre uređaja,
- međusobno povezivati uređaje.

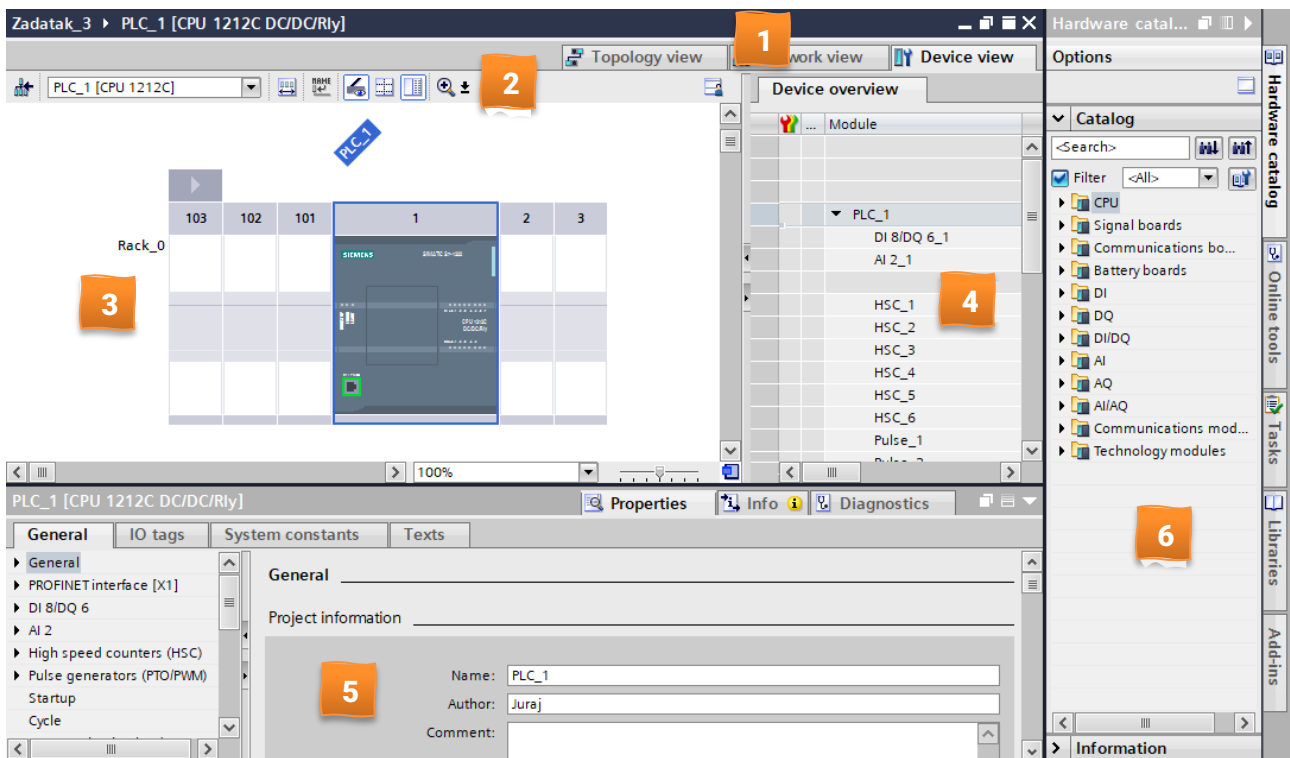
Na sljedećoj slici možete vidjeti strukturu *network view*-a koja se sastoji od:



Slika 56. *Network view*.

1. tabova za prebacivanje između *device view*-a i *network view*-a,
2. alatne trake,
3. grafičkog dijela na kojem su prikazani uređaji i mreže koje ih međusobno povezuju,
4. tabličnog područja koje pruža pregled uređaja dodanih u projekt,
5. prozora u kojem se pojavljuju informacije o trenutno odabranom uređaju,
6. kataloga uređaja pomoću kojeg se može dodati novi uređaj u projekt kao što je HMI.

Unutar *device view*-a možemo obavljati zadatke kao što su konfiguracija parametara uređaja i dodavanje konfiguracija dodatnih modula PLC-a. Sljedeća slika prikazuje strukturu *device view*-a koja se sastoji od:



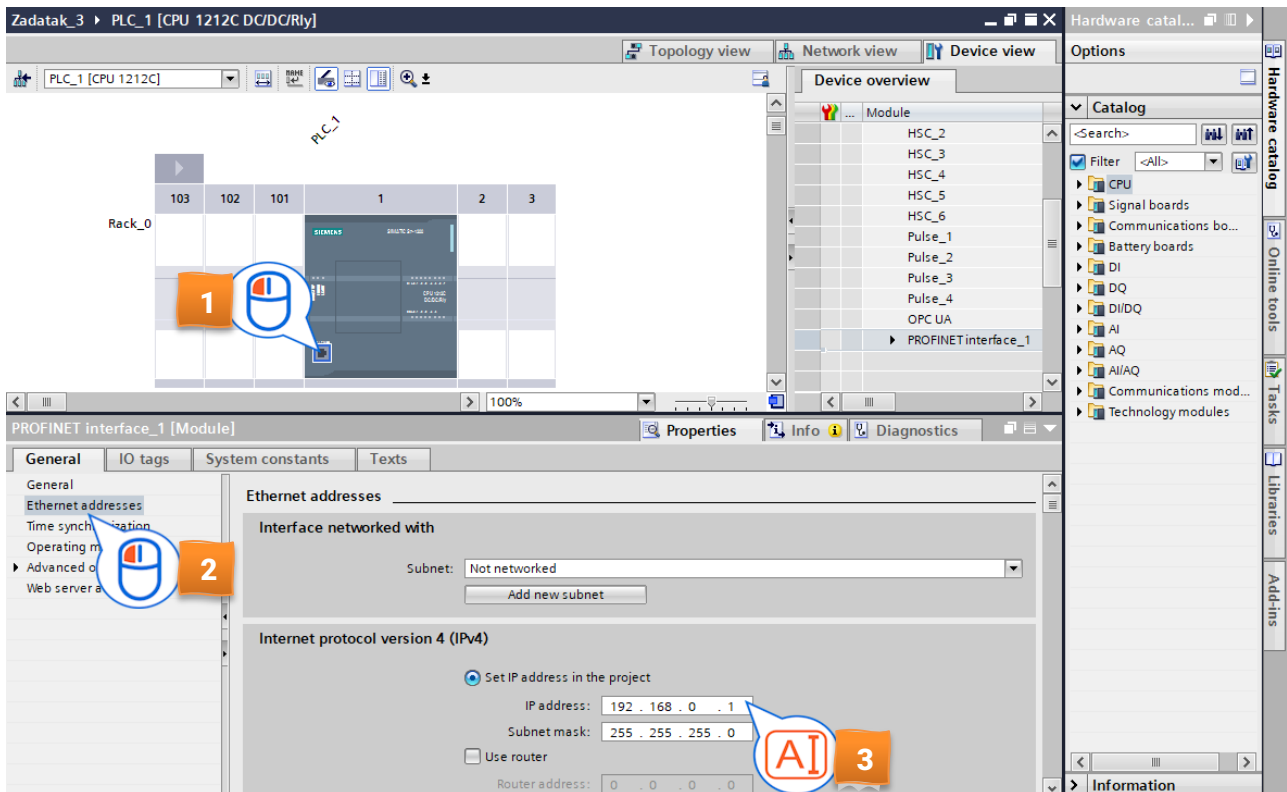
Slika 57. Device view.

1. tabova za prebacivanje između *device view*-a i *network view*-a,
2. alatne trake,
3. grafičkog dijela unutar kojeg je prikazan uređaj sa svim svojim modulima,
4. tabličnog dijela koji daje pregled korištenih modula,
5. prozora u kojem se pojavljuju informacije o trenutno odabranom uređaju ili modulu,
6. kataloga uređaja pomoću kojeg se mogu dodavati moduli PLC-u.

#### 4.4.3. Konfiguracija IP adrese PLC-a

Kako biste konfigurirali IP adresu PLC-a, potrebno je otići u *Device view* i odraditi korake onim redom kako je prikazano na slici 58. Nakon što ste odradili prikazane korake spremite projekt i zatvorite „Device and network“ editor.

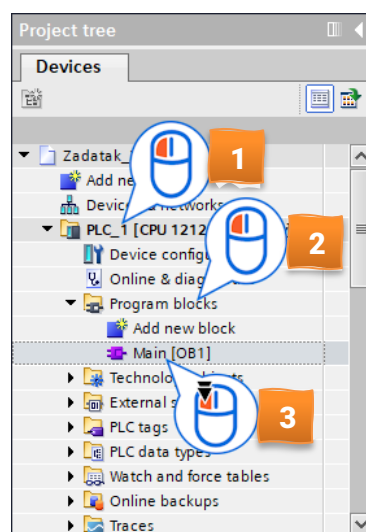




Slika 58. Konfiguracija IP adrese PLC-a u TIA Portalu.

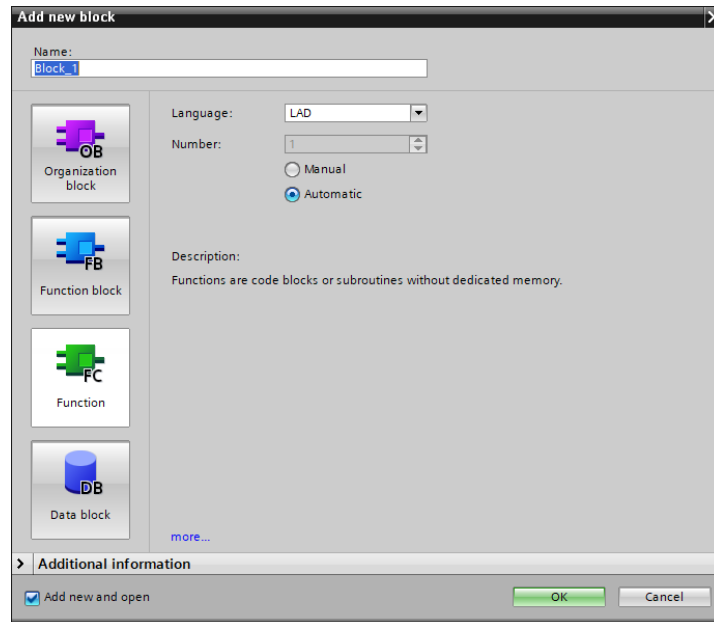
#### 4.4.4. Kreiranje programa

Kada se PLC doda u projekt, organizacijski blok „Main [OB1]“ je automatski kreiran u projektu. Da bi se pristupilo organizacijskom bloku „Main [OB1]“ potrebno je odraditi korake onim redom kako je prikazano na slici 59.



Slika 59. Otvaranje organizacijskog bloka „Main [OB1]“.

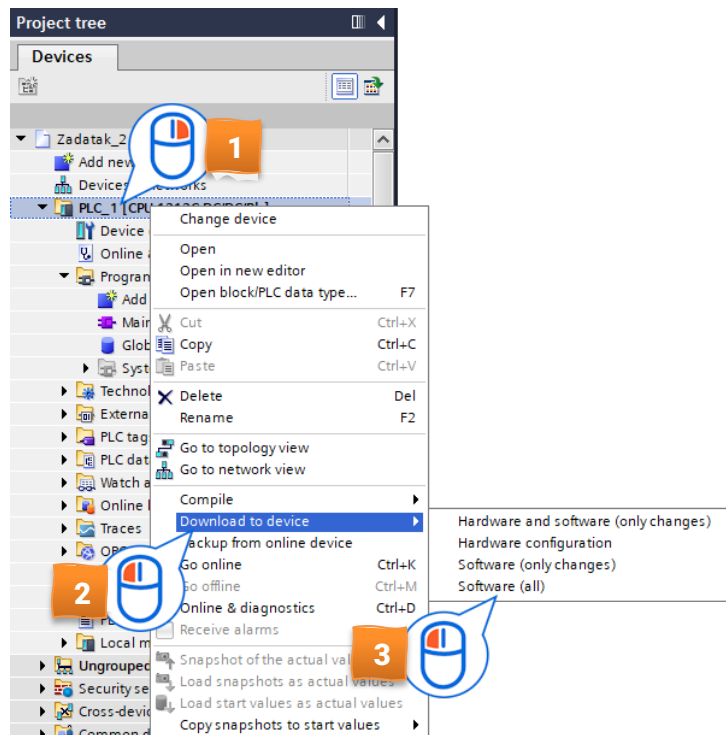
Nove funkcije, podatkovne blokove ili funkcijske blokove moguće je dodati pomoću naredbe „Add new block“ koja se nalazi odmah na početku potkategorije „Program blocks“ prikazane pod korakom dva na slici 59. Nakon što se dva puta klikne na „Add new block“, otvara se prozor kao što je prikazano na slici 60. na kojem se zatim odabire koji se blok želi dodati.



Slika 60. Dodavanje novog bloka.

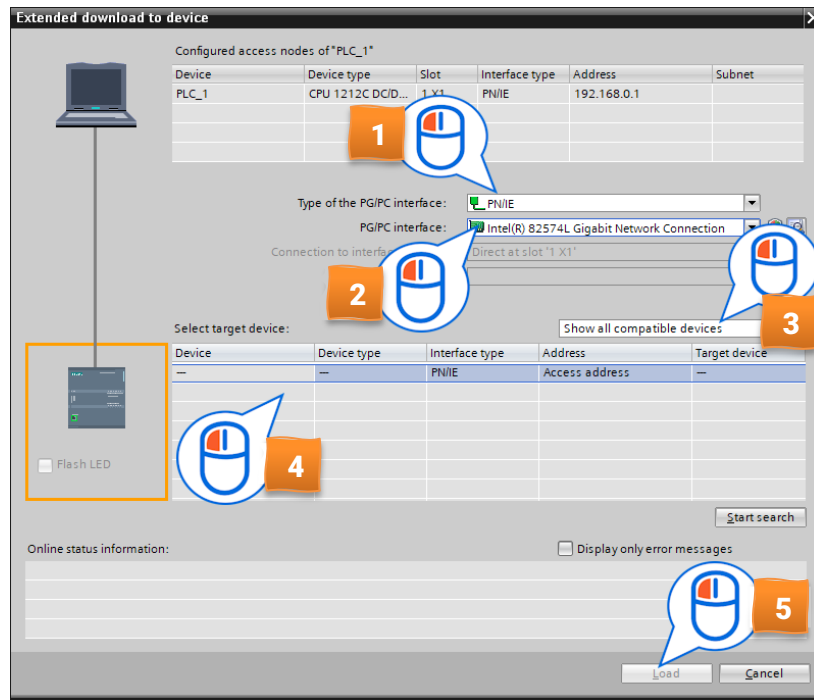
#### 4.4.5. Učitavanje programa na PLC

U idućim koracima bit će prikazano kako program spremljen na računalo možemo upisati u memoriju PLC-a. Da bismo mogli učitati program u memoriju PLC-a, prvo moramo uspostaviti komunikaciju između PLC-a i računala na kojem se nalazi program. Da bismo učitali program na PLC, prvo je potrebno pokrenuti cijeli proces učitavanja programa onako kako je prikazano na slici 61.



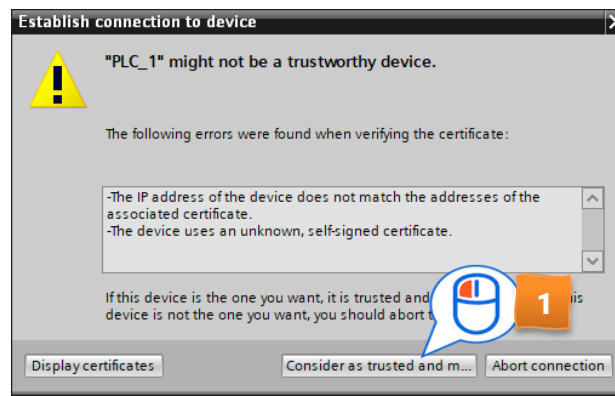
Slika 61. Pokretanje procesa učitavanja programa na PLC.

Zatim je potrebno odabrati sučelje koje želimo koristiti za spajanje na uređaj (odabiremo PN/IE i mrežnu karticu računala). Nakon toga odabiremo sve kompatibilne uređaje. Svi uređaji koji su kompatibilni pojavljuju se na listi kako je prikazano na slici 62. U slučaju da se niti jedan uređaj ne pojavi, potrebno je kliknuti na *Start search*. Nakon što ste odabrali uređaj, potrebno je kliknuti na tipku *Load*. Svi opisani koraci prikazani su na slici 62.



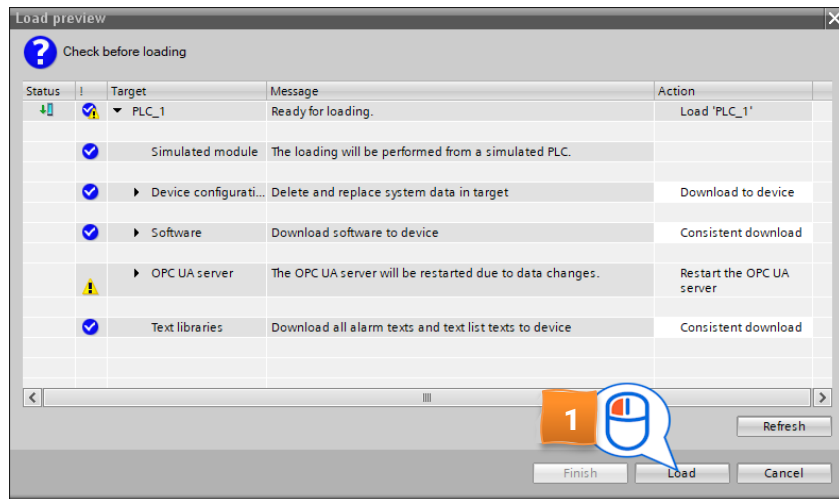
Slika 62. Odabir uređaja na koji se želi učitati program.

Nakon toga potrebno je uspostaviti vezu s uređajem te kliknuti na *Consider as trusted*, u slučaju da certifikat ne odgovara onome koji bi trebao biti na uređaju. Uz to se još može pojaviti obavijest da je PLC u *Run* modu rada i pitanje želimo li ga staviti u *Stop* mod rada. Isto tako, ako PLC-u nije dodijeljena adresa, onda se pokazuje obavijest koja mu prvo dodijeli postavljenu IP adresu.



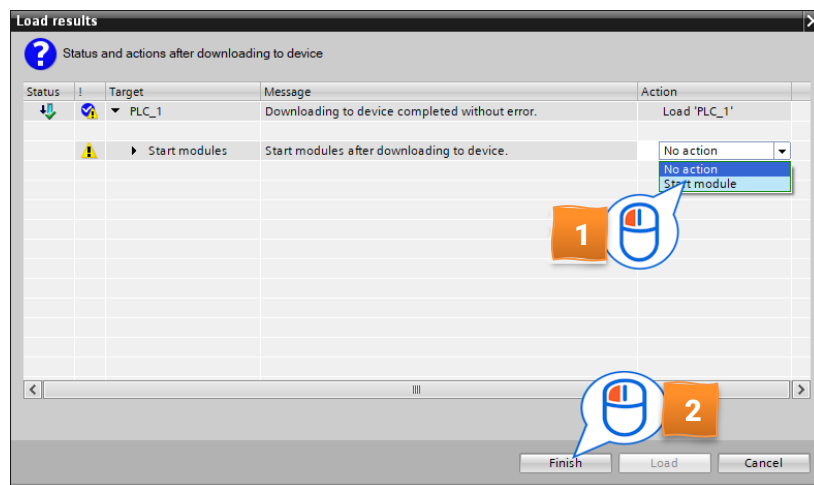
Slika 63. Različiti certifikati uređaja.

Zatim se otvara prozor za učitavanje programa na PLC. U tom prozoru potrebno je provjeriti postoje li razlike u konfiguriranim modulima i stvarnim modulima i ako postoje, potrebno ih je aktivirati gumbom koji se nalazi uz njih. Isto vrijedi i za program. Nakon što ste sve promjene potvrdili potrebno je kliknuti na *Load*.



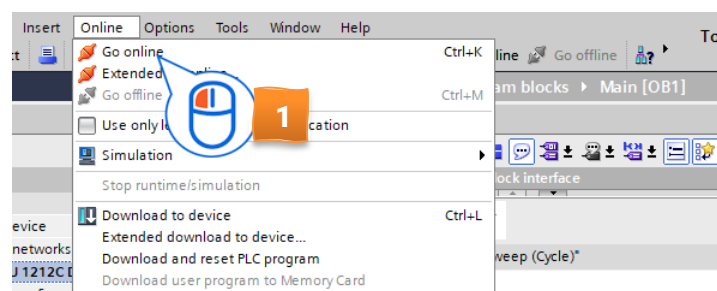
Slika 64. Prozor za učitavanje programa na PLC.

Rezultati učitavanja programa prikazani su na zadnjem prozoru koji se pojavljuje, a iz tog prozora možete PLC staviti nazad u *Run* mode kako je prikazano slikom 65.



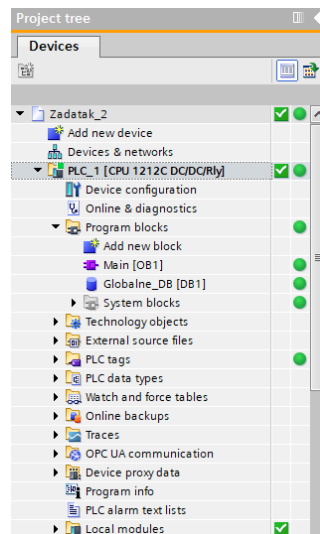
Slika 65. Rezultati učitavanja programa na PLC

Nakon toga se aktivira online konekcija s PLC-om.



Slika 66. Aktivacija online konekcije s PLC-om.

Kao rezultat uspješnog učitavanja programa u PLC možete u stablu projekta pod PLC-om vidjeti zelene ikonice koje upućuju na to da su offline i online programi elementa jednaki. Ikonice se pojavljuju tek kada je PLC online (potrebno je odraditi korak s prethodne slike).



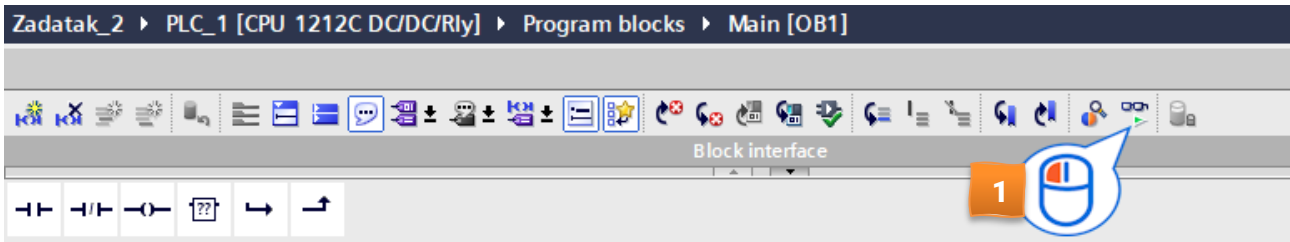
Slika 67. Rezultat uspješnog učitavanja programa i usporedba s programom na računalu.

#### 4.4.6. Testiranje programa

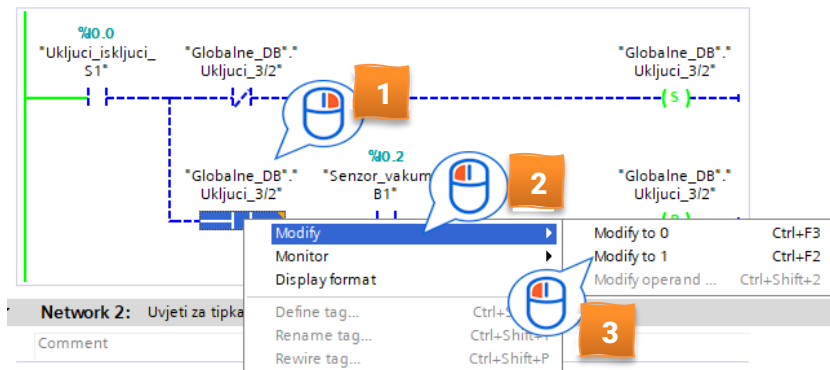
Sljedeći koraci pokazuju kako testirati program pomoću statusa programa. Ako prikazujete status programa, možete pratiti izvršavanje programa. Status možete omogućiti počevši od određene lokacije u programu i tada dobivate pregled vrijednosti pojedinačnih tagova i rezultata logičkih operacija. To vam omogućuje da provjerite jesu li komponente sustava ispravno upravljane. Prikaz statusa programa ažurira se ciklički, a počinje od odabranog mrežnog segmenta. U statusu programa možete dodijeliti vrijednosti tagovima izvršavajući jednu od sljedećih radnji koristeći naredbu *Modify* iz izbornika:

- *Modify to 1*: ova naredba koristi se za postavljanje tag BOOL tipa podataka u TRUE,
- *Modify to 0*: ova naredba koristi se za postavljanje tag BOOL tipa podataka u FALSE,
- *Modify value*: ova naredba mijenja vrijednost taga za tipove podataka koji nisu BOOL.

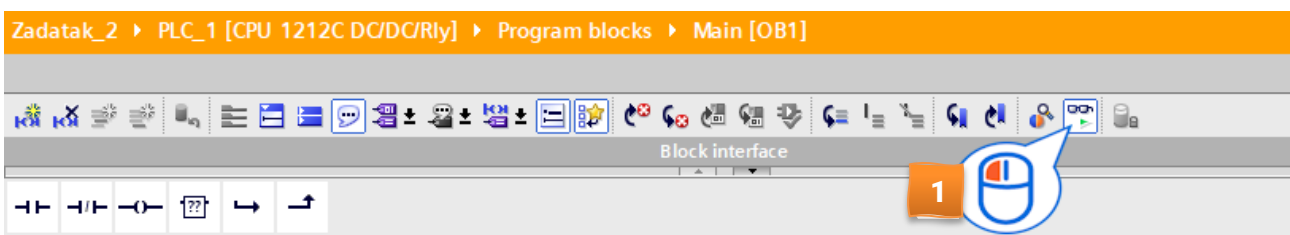
Postupak testiranja programa prikazan je na sljedećim slikama.



Slika 68. Uključivanje praćenja programa.



Slika 69. Modificiranje taga.



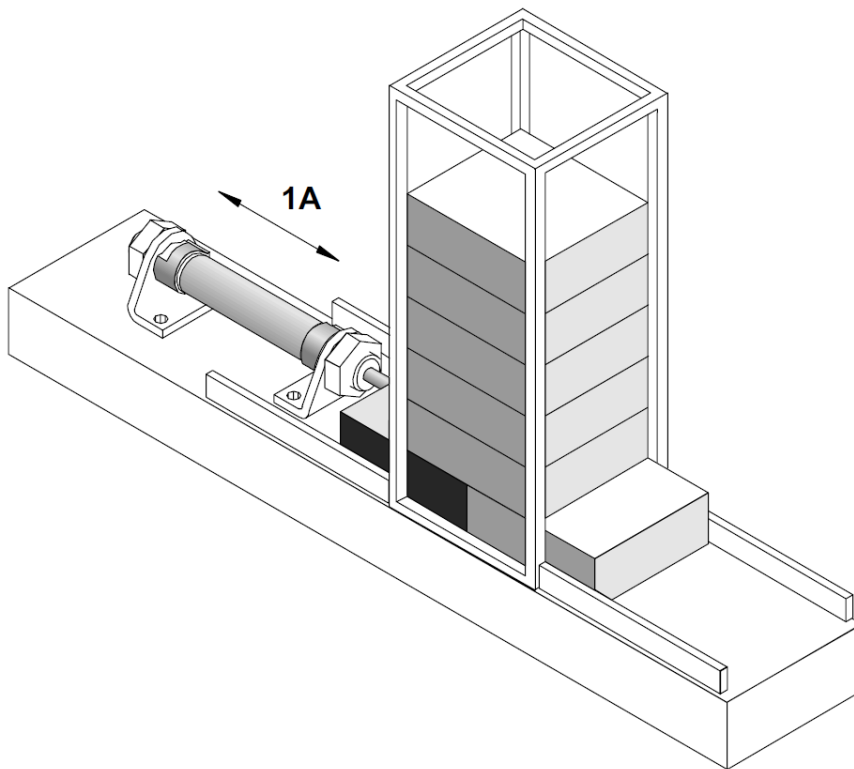
Slika 70. Isključivanje praćenja programa.

## 4.5. Zadatci za vježbu

U ovom poglavlju navedeni su zadatci za vježbe iz PLC i pneumatike. Za svaki zadatak potrebno je nacrtati pneumatsku i električnu shemu.

### 4.5.1. Izbacivanje blokova iz gravitacijskog spremnika

Unutar gravitacijskog spremnika smješteni su polimerni blokovi koji se pomoću jednoradnog cilindra transportiraju na pomičnu traku. Izbacivanje polimernih blokova iz gravitacijskog spremnika može se odvijati u ručnom i automatskom režimu rada. Odabir režima rada vrši se pomoću sklopke. Kada je sklopka uključena, sustav je u automatskom režimu rada, a kada je isključena onda je u ručnom režimu rada. U izvučenom položaju cilindar mora ostati pet sekundi.



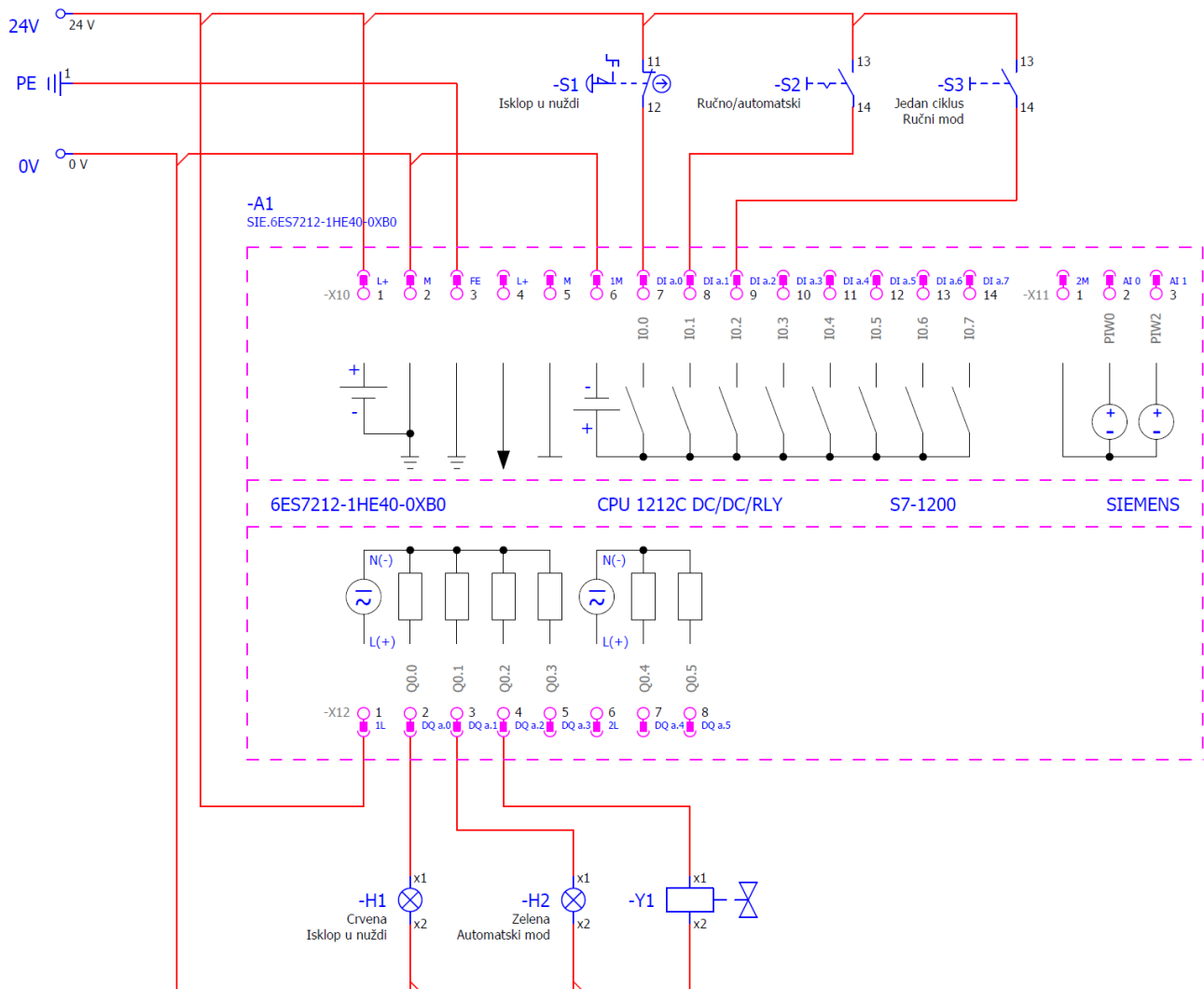
Slika 71. Shematski prikaz gravitacijskog spremnika.

U ručnom režimu pritiskom na tipkalo sustav odradi jedan ciklus (izvlačenje cilindra, čekanje u izvučenom položaju, uvlačenje cilindra). Kada je sustav u automatskom režimu, upaljena je lampica za signalizaciju automatskog režima rada, a ciklusi se ponavljaju svake dvije sekunde. Ukoliko je aktiviran isklup u nuždi (sigurnosna gljiva), cijeli sustav se zaustavlja te se uključuje crvena lampica koja signalizira isklup u nuždi.



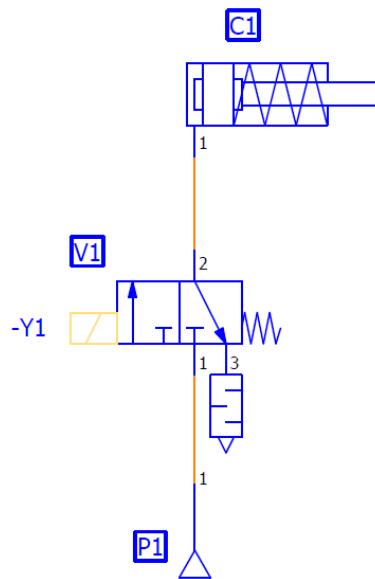
## Rješenje zadatka

Električna shema spajanja prikazana je na slici 72 gdje je isključivač u nuždi (S1) spojen na digitalni ulaz I0.0 kao NC kontakt, sklopka za automatski rad (S2) spojena na digitalni ulaz I0.1 kao NO kontakt, a tipka za jedan ciklus u ručnom modu (S3) spojena na digitalni ulaz I0.2 kao NO kontakt. Lampica koja signalizira da je aktiviran isključivač u nuždi (H1) spojena je na digitalni izlaz Q0.0, a lampica za signalizaciju automatskog rada (H2) spojena je na digitalni izlaz Q0.1 dok je monostabilni ventil spojen na digitalni izlaz Q0.2.



Slika 72. Električna shema spajanja sustava za izbacivanje blokova iz gravitacijskog spremnika.

Pneumatska shema prikazana je na slici 73. Za izbacivanje blokova iz gravitacijskog spremnika koristi se jednoradni pneumatski cilindar (oznaka C1 na shemi) kojim upravlja monostabilni elektromagnetski 3/2 razvodnik (oznaka V1 na shemi).



Slika 73. Pneumatska shema spajanja sustava za izbacivanje blokova iz gravitacijskog spremnika.

Tagovi korišteni prilikom programiranja PLC-a prikazani su na slici 74. Tagovi od 1 do 3 odnose se na digitalne ulaze, a tagovi od 4 do 6 odnose se na digitalne izlaze. Tag „Cekanje\_5\_sekundi“ koristi se za tajmer koji broji pet sekundi te signalizira kada je tajmer izbrojao 5 sekundi. Tag „Start\_automatski“ signalizira da su ispunjeni svi uvjeti za automatski način rada, dok tag „Start\_jedan“ signalizira da su ispunjeni uvjeti odrađivanja jednog ciklusa.

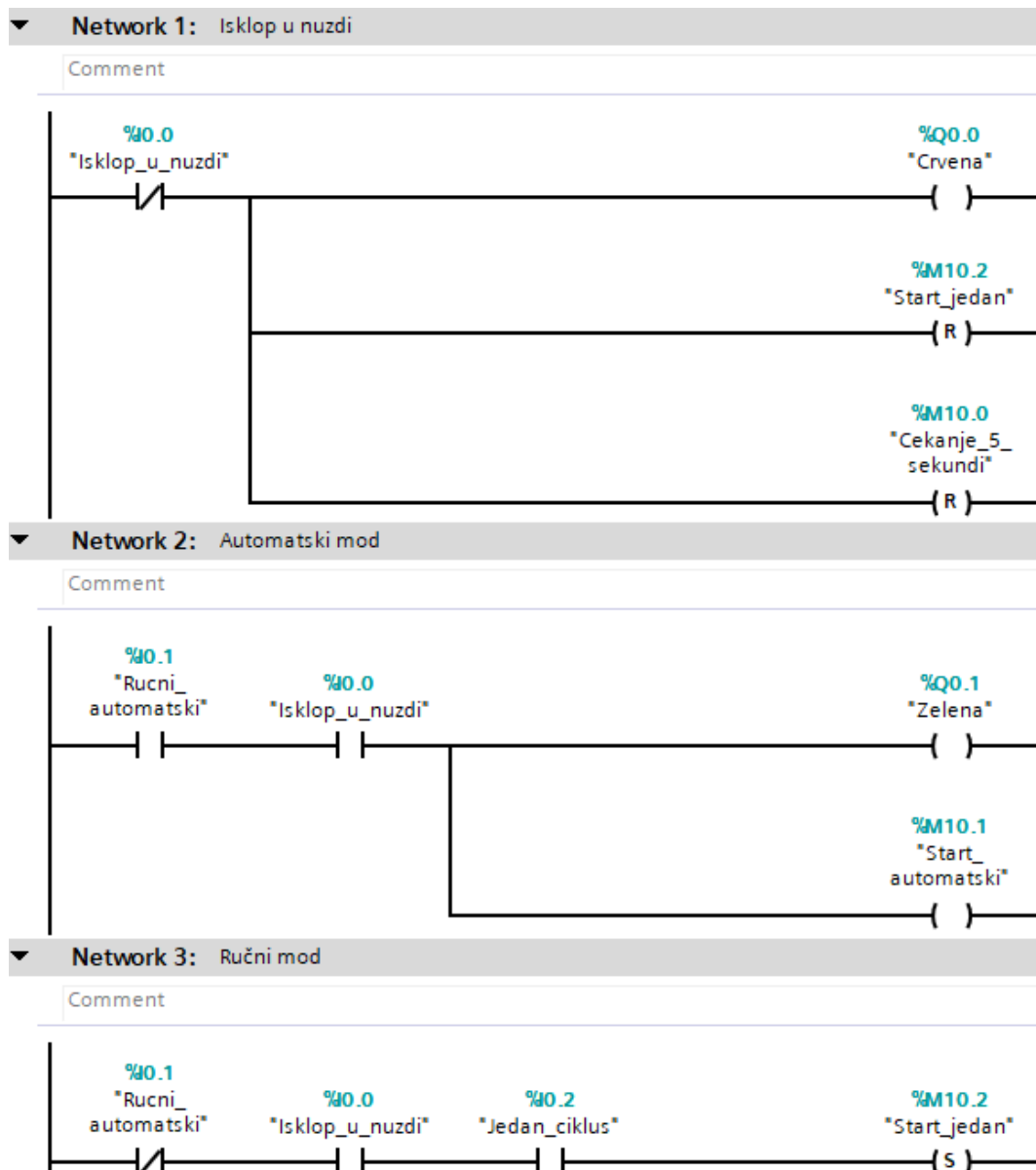
Default tag table								
	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	Isklop_u_nuzdi	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Rucni_automatski	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Jedan_ciklus	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Crvena	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Zelena	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Ventil	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Cekanje_5_sekundi	Bool	%M10.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Start_automatski	Bool	%M10.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	Start_jedan	Bool	%M10.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Slika 74. Korišteni tagovi u PLC-u sustava za izbacivanje blokova iz gravitacijskog spremnika.

Cijeli program podijeljen je u četiri mreže. Prva mreža odnosi se na isklup u nuždi gdje se pali crvena lampica, a resetiraju tagovi „Start\_jedan“ i „Cekanje\_5\_sekundi“. U mreži dva provjeravaju se uvjeti za automatski način, a ako su oni ispunjeni pali se lampica koja signalizira automatski rad (tag „Zelena“) te se tag „Start\_automatski“ postavlja u TRUE. U trećoj mreži provjeravaju se uvjeti za ručni način rada i ako su oni ispunjeni, onda se tag „Start\_jedan“ postavlja u TRUE, kao što je prikazano na slici 75.

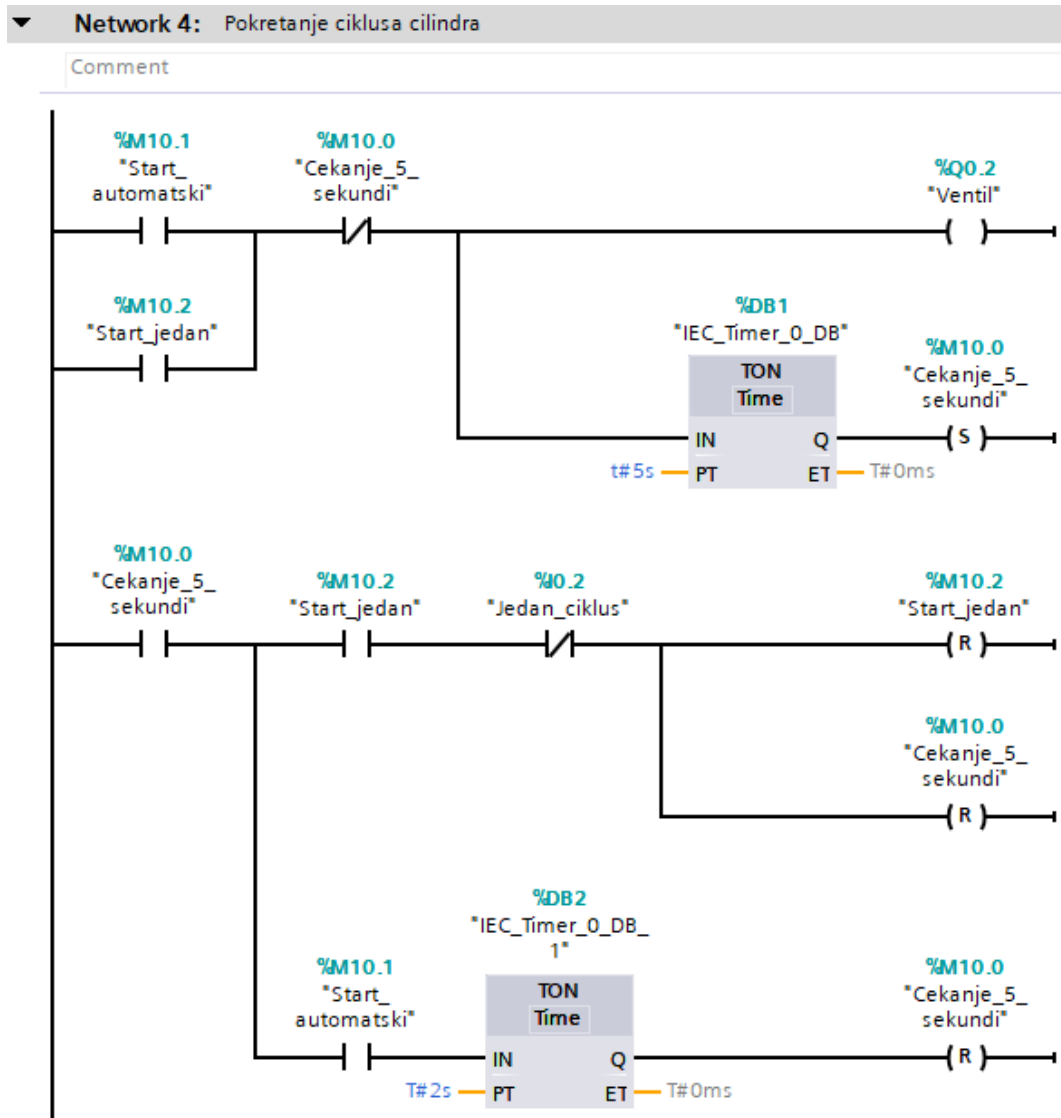
Upravljanje ciklusom cilindra prikazano je na slici 76. Da bi cilindar odradio jedan ciklus tagovi „Start\_automatski“ ili „Start\_jedan“ moraju biti u TRUE, a tag „Cekanje\_5\_sekundi“ mora biti FALSE. Ukoliko su uvjeti ispunjeni, postavlja se izlaz Q0.2 u TRUE pa tajmer počinje brojati 5 sekundi. Kada

tajmer izbroji 5 sekundi tag „Cekanje\_5\_sekundi“ postavlja se u TRUE.



Slika 75. LAD dijagram uvjeta za iskllop u nuždi, ručnog i automatskog moda rada.

Nakon toga provjerava se je li tag „Cekanje\_5\_sekundi“ TRUE i ako je taj uvjet ispunjen, onda se ispituje jesmo li u automatskom ili ručnom modu rada. Ako je sustav u ručnom modu rada i više se ne drži tipkalo S3, onda program resetira bitove „Start\_jedan“ i „Cekanje\_5\_sekundi“. Ukoliko smo u automatskom režimu rada, onda se aktivira drugi tajmer koji broji dvije sekunde. Kada je izbrojio dvije sekunde on resetira tag „Cekanje\_5\_sekundi“ te cijeli ciklus kreće iznova.



Slika 76. LAD dijagram ciklusa jednoradnog cilindra.

## 4.5.2. Korištenje vakuumske jedinice za hvatanje polimernog bloka

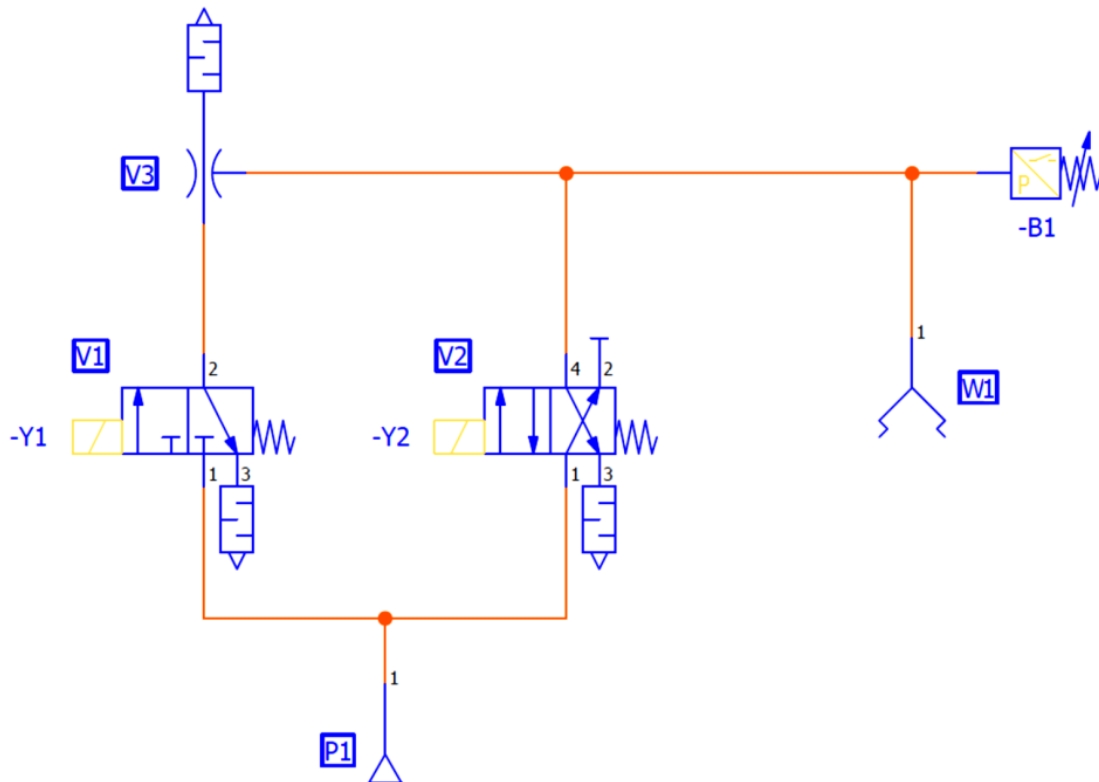
Polimerne blokove iz prethodnog zadatka potrebno je uhvatiti i podići uz pomoć vakuuma. Da biste to postigli potrebno je dizajnirati pneumatsku shemu koja će se sastojati od kruga za generiranje vakuuma i dodatnog kruga s puhačkim dijelom za brzo izbacivanje polimernog bloka. Sustav mora funkcionirati na sljedeći način:

- kada se pritisne tipkalo S1 polimerni blok se uhvati pomoću vakuumske hvataljke,
- kada se postigne dovoljna razina vakuuma za manipulaciju polimernim blokom pali se lampica H1,
- ukoliko se ponovno pritisne tipkalo S1 polimerni blok se ispušta iz vakuumske hvataljke vlastitom težinom,
- ukoliko se pritisne tipkalo S2 polimerni blok brzo se otpušta puhanjem zraka kroz vakuumsku hvataljku neovisno o tome radi li ejektor vakuuma i dalje ili ne, a u isto vrijeme se isključuje ejektor vakuuma, a puhanje zraka kroz vakuumsku hvataljku traje 5 sekundi.

U zadatku je potrebno koristiti sljedeće elemente:

- PLC,
- dvije tipke s NO kontaktom za tipkala S1 i S2,
- NC elektromagnetski 3/2 razvodnik (V1) koji uključuje krug za generiranje vakuuma,
- elektromagnetski 4/2 razvodnik (V2) koji uključuje krug za brzo ispuštanje polimernog bloka,
- ejektor vakuuma (V3) za generiranje vakuuma u sustavu,
- ravnu NBR vakuumsku hvataljku (W1),
- vakuumski prekidač za detekciju razine vakuuma (B1),
- sve pomoćne varijable potrebno je spremati u podatkovni blok.





Slika 78. Pneumatska shema vakuumske jedinice za hvatanje polimernog bloka.

Tagovi korišteni prilikom programiranja PLC-a prikazani su na slici 79. Tagovi od 1 do 3 odnose se na digitalne ulaze, a tagovi od 4 do 6 odnose se na digitalne izlaze.

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	Ukljuci_iskljuci_S1	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Brzo_ispustanje_S2	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Senzor_vakuma_B1	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Lampica_H1	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	3/2_venitl_Y1	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	4/2_venitl_Y2	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Slika 79. Tagovi PLC-a vakuumske jedinice za hvatanje polimernog bloka.

Unutar podatkovnog bloka „Globalne\_DB“ nalaze se dvije varijable koje su tipa podatka bool i definiraju je li pojedini ventil uključen ili isključen.

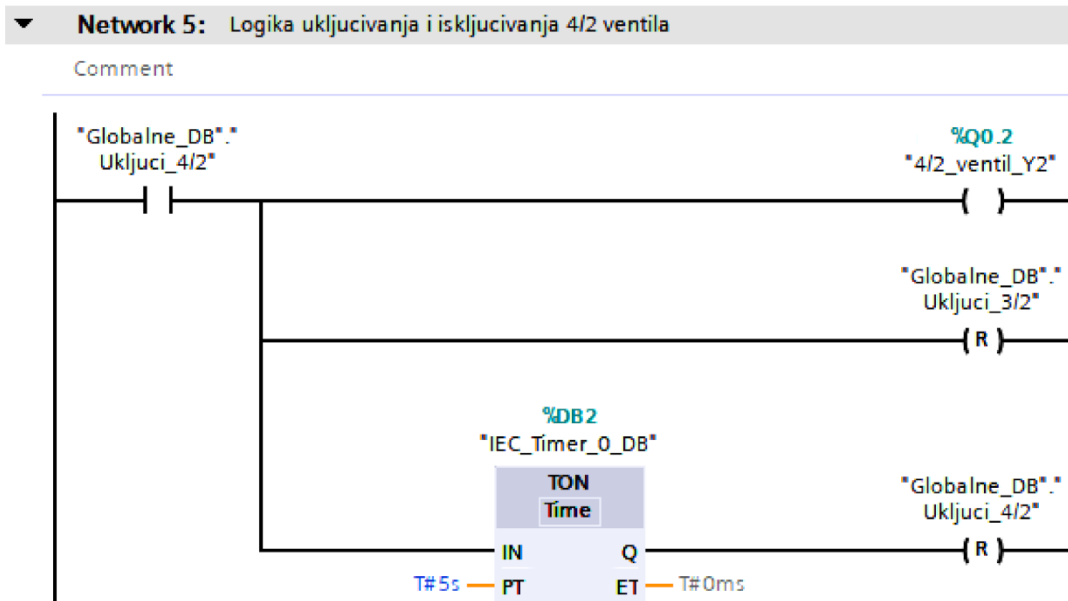
Globalne_DB									
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Ukljuci_3/2	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Ukljuci_4/2	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Ukljuci_iskljuci_S1_stari	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Slika 80. Podatkovni blok PLC-a vakuumske jedinice za hvatanje polimernog bloka.





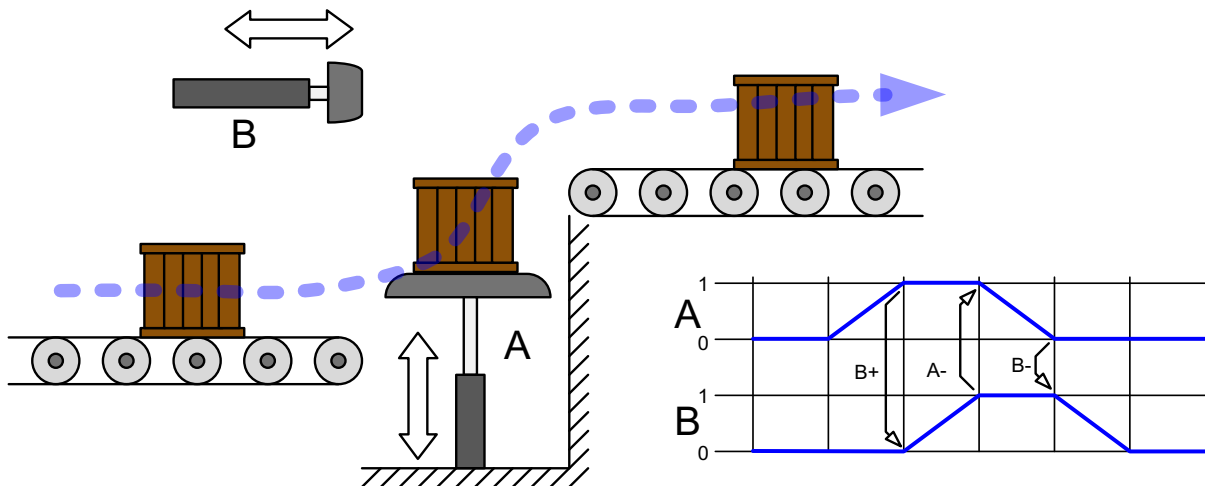
Mreža pet vakuumske jedinice za hvatanje polimernog bloka prikazana je na slici 82 te je u njoj razrađena logika za uključivanje i isključivanje 4/2 ventila. Ukoliko je varijabla „Ukljuci\_4/2“ postavljena u TRUE, onda se uključuje 4/2 ventil za brzo ispuštanje bloka, a varijabla „Ukljuci\_3/2“ se resetira . Uz to, uključuje se i tajmer koji broji 5 sekundi i za to vrijeme drži ventil 4/2 uključen. Nakon što je tajmer odbrojio 5 sekundi ,varijabla „Ukljuci\_4/2“ se resetira i ujedno se isključuje 4/2 ventil.



Slika 82. Mreža 5 ljestvičastog dijagrama vakuumske jedinice za hvatanje polimernog bloka.

### 4.5.3. Pneumatski sustav za podizanje kutija

U tvorničkoj hali kutije putuju konvejerom do pneumatskog podizača. Potrebno je sastaviti pneumatski sustav za dizanje i odgurivanje kutija upravljani pomoću PLC-a. Za podizanje kutije koristi se jednoradni pneumatski cilindar, a za odgurivanje dvoradni. Skica sustava i taktni položaj klipova prikazani su na slici 83. Prisutnost kutije na podizaču može se za potrebe zadatka simulirati pomoću tipkala.

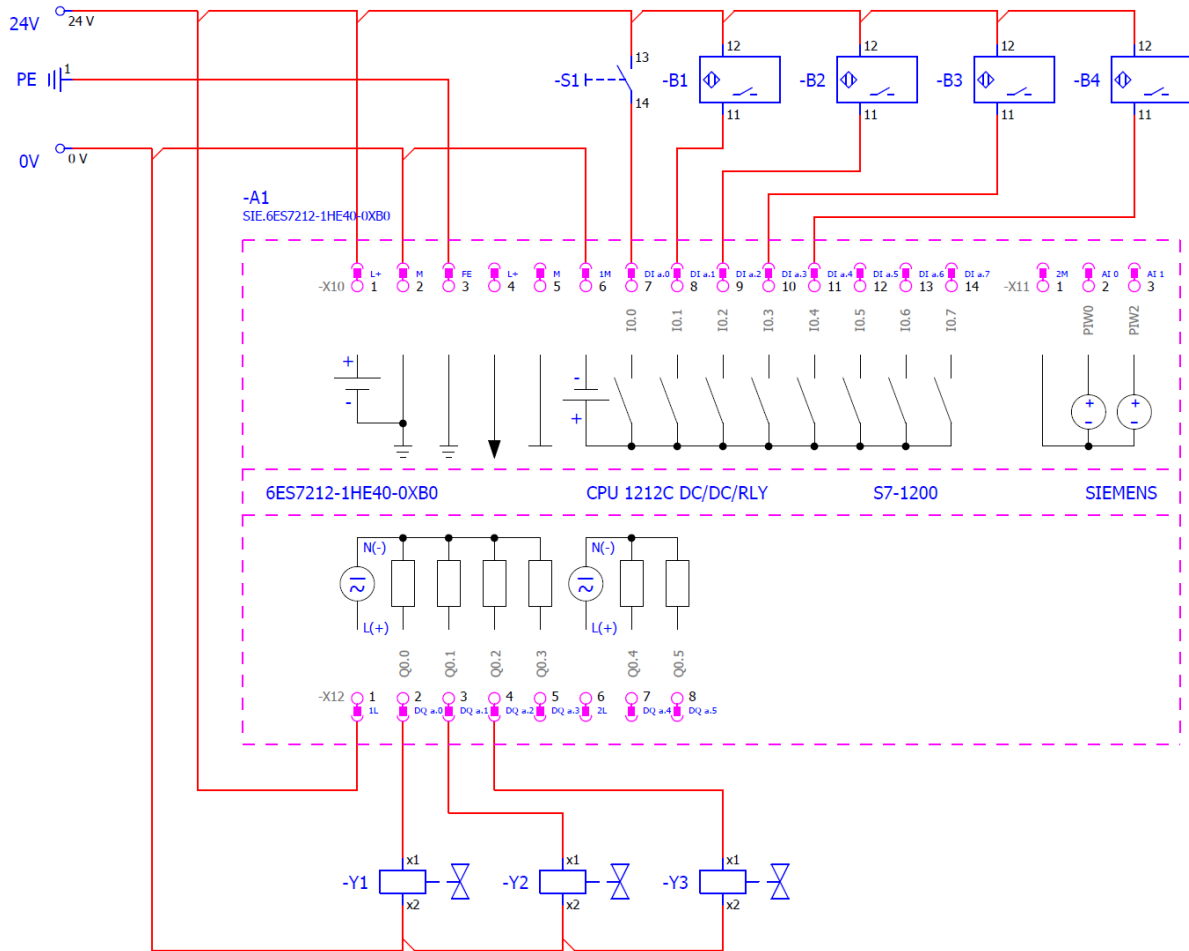


Slika 83. Skica pneumatskog sustava za podizanje kutija.

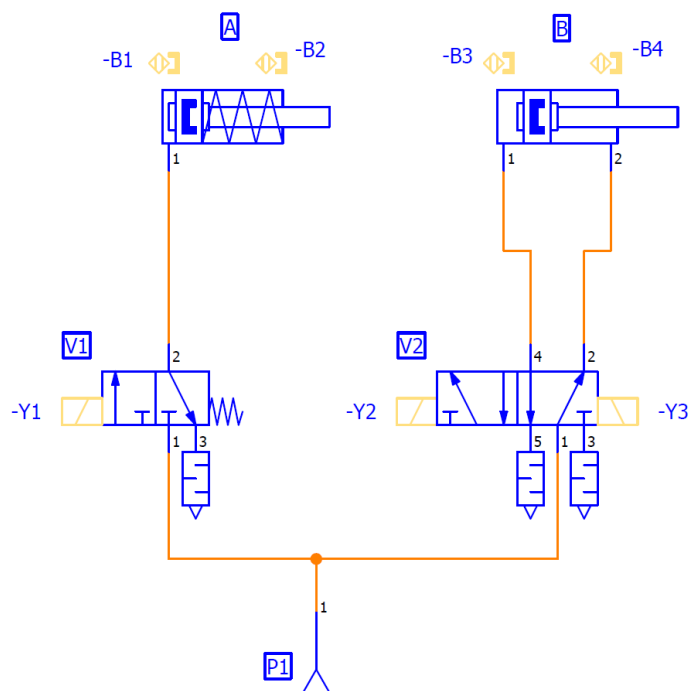
### Rješenje zadatka

Električna shema spajanja prikazana je na slici 84. Tipkalo S1 zamjenjuje senzor koji detektira prisustvo kutije i spojeno je na digitalni ulaz DI0.0. Na digitalne ulaze od DI0.1 do DI0.4 spojeni su redom senzori za detekciju krajnjih položaja. U ovom slučaju to su magnetni reed senzori. Međutim, oni se mogu zamijeniti bilo kojim drugim senzorom ili graničnim prekidačima. Na izlaze od DQ0.0 do DQ0.2 spojeni su elektromagnetski ventili.

Pneumatska shema spajanja prikazana je na slici 85. Dovod zraka s kompresora spojen je na elektromagnetske razvodne ventile V1 i V2. Razvodni ventil V1 spojen je na jednoradni cilindar koji služi za podizanje kutije, a razvodni ventil V2 spojen je na dvoradni cilindar za odgurivanje kutije na drugi konvejer.



Slika 84. Električna shema spajanja sustava za podizanje kutija.



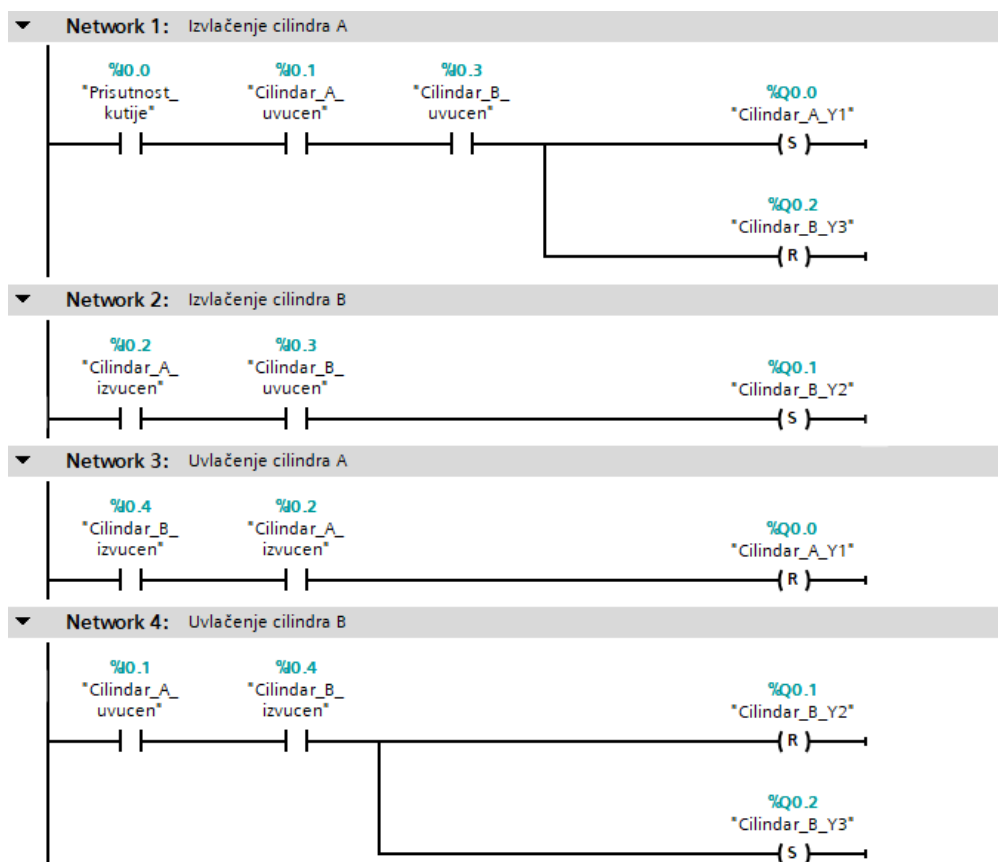
Slika 85. Pneumatska shema spajanja sustava za podizanje kutija.

Tagovi korišteni prilikom programiranja PLC-a prikazani su na slici 86. Tagovi od 1 do 5 odnose se na digitalne ulaze, a tagovi od 6 do 8 odnose se na digitalne izlaze.

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	Prisutnost_kutije	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Cilindar_A_uvucen	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Cilindar_A_izvucen	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Cilindar_B_uvucen	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Cilindar_B_izvucen	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Cilindar_A_Y1	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Cilindar_B_Y2	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Cilindar_B_Y3	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Slika 86. Tagovi korišteni kod sustava za podizanje kutija.

Programski kod sustava za podizanje kutija sastoji se od četiri mreže ljestvičastog dijagrama. Mreže su prikazane na slici 87. U prvoj mreži provjeravaju se uvjeti za prisutnost kutije te uvučenost oba cilindra. Ako su uvjeti zadovoljeni, postavlja se izlaz „Cilindar\_A\_Y1“ u TRUE, a resetira se izlaz „CILINDAR\_B\_Y3“. U drugoj mreži provjeravaju se uvjeti za izvlačenje drugog cilindra i ako su oni zadovoljeni, uključuje se izlaz „CILINDAR\_B\_Y2“. U trećoj mreži provjeravaju se uvjeti za uvlačenje prvog cilindra i ako su oni ispunjeni, cilindar se uvlači. U zadnjoj mreži provjeravaju se uvjeti za uvlačenje drugog cilindra i ako su oni zadovoljeni cilindar se uvlači.



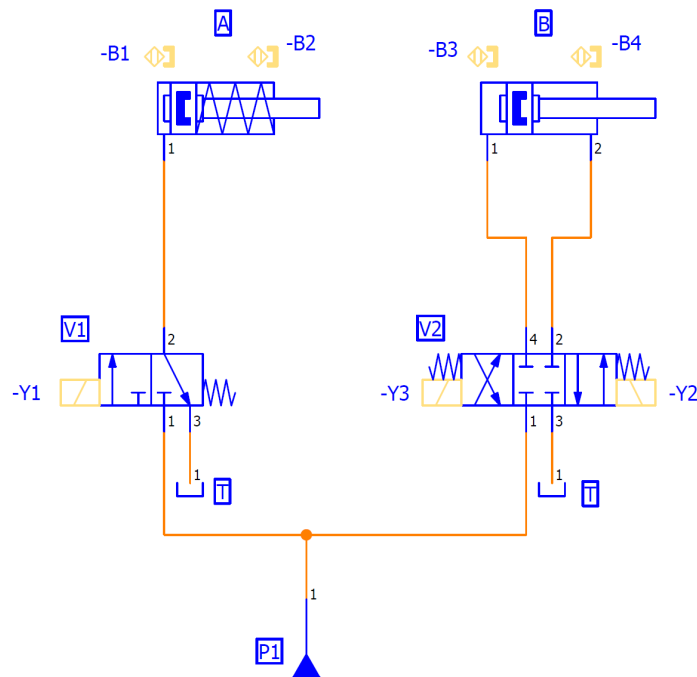
Slika 87. Ljestvičasti dijagram sustava za podizanje kutija.

#### 4.5.4. Hidraulički sustav za podizanje kutija

U tvorničkoj hali kutije putuju konvejerom do pneumatskog podizača. Potrebno je sastaviti hidraulički sustav za dizanje i odgurivanje kutija upravljani pomoću PLC-a. Za podizanje kutije koristi se jednoradni pneumatski cilindar, a za odgurivanje dvoradni. Skica sustava i taktni položaj klipova prikazani su na slici 83. Prisutnost kutije na podizaču može se za potrebe zadatka simulirati pomoću tipkala.

#### Rješenje zadatka

Električna shema spajanja i program za PLC u ovom zadatku identični su kao i u prethodnom zadatku (vidi 4.5.3). Jedina razlika je u tome što se sada koristi hidraulika, a shema spajanja nalazi se na slici 88.



Slika 88. Hidraulička shema spajanja sustava za podizanje kutija.

## 5. Teleoperabilnost

Teleoperabilnost se može definirati kao tehnika daljinskog vođenja sustava. To je tehnika koja omogućuje nekom operateru ili osobi upravljanje uređajem na daljinu te s udaljene lokacije odrađivati zadatke. Taj pristup često se koristi u opasnim ili udaljenim okruženjima, gdje je ljudska prisutnost previše rizična ili nemoguća. Na primjer, teleoperabilnost se može koristiti za upravljanje robotima ili dronovima koji istražuju opasna područja, poput nuklearnih ili rudarskih nesreća te svemirskih prostranstava. Iako pojam nije zastupljen u hrvatskom jeziku, teleoperabilnost se može smatrati hrvatskom riječi, a koja se tvori od riječi: tele (na daljinu) i operabilnost (mogućnost rada). Dakle, teleoperabilnost znači mogućnost rada na daljinu pa je na neki način slična pojmu daljinskog upravljanja.

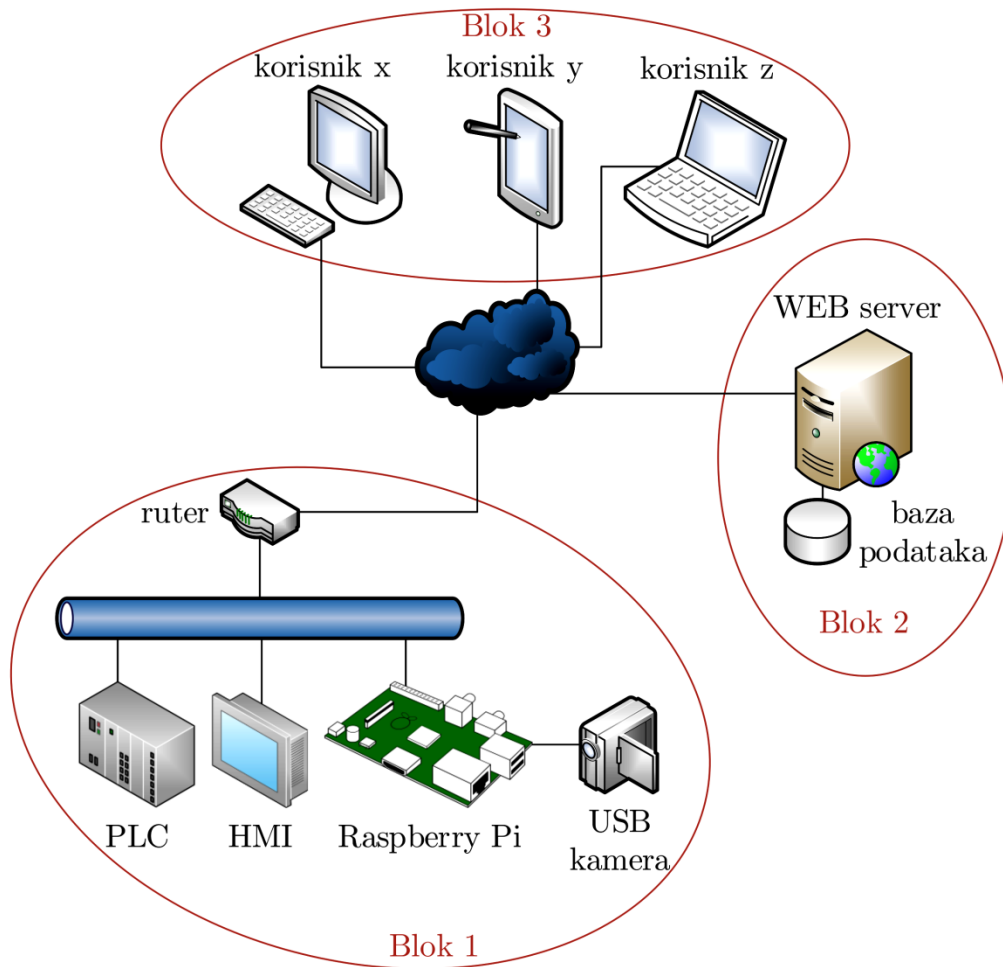
*Daljinsko upravljanje, je vođenje objekta upravljanja na daljinu, gdje udaljenost između upravljačkoga sustava i objekta upravljanja nije strogo definirana (metri, kilometri, stotine tisuća kilometara i više). Prijenos upravljačkoga signala na daljinu ostvaruje se preko elektromagnetskih valova s ožičenjem ili bez ožičenja (radiovalovima, laserskim zrakama), zvučnim i ultrazvučnim valovima te pneumatskim ili hidrauličnim cjevovodima. Pojednostavnjeno, sustav daljinskog upravljanja sastoji se od upravljačkoga člana, odašiljača, prijenosne veze, prijammnika i izvršnoga člana. Time je definiran upravljački lanac preko kojega se nalog upravljačkoga člana prenosi do izvršnoga člana, koji izravno djeluje na objekt upravljanja zadanom upravljačkom akcijom. U slučajevima kada je nužna korekcija upravljačke akcije, uvodi se informacijska povratna veza kojom se zatvara regulacijski krug. Osnovni su elementi regulacijskoga kruga navedeni upravljački lanac, objekt regulacije (upravljanja), mjerni član i regulacijski član. Mjerni član daje informacije o uspješnosti procesa upravljanja, a na osnovi tih informacija regulacijski član korigira proces upravljanja tako što ga poboljšava. Ulogu regulacijskog člana obavlja čovjek ili hardverski sklop ili računalo s odgovarajućim algoritmom koji može uključivati i elemente umjetne inteligencije. Složene su primjene daljinskog upravljanja u elektroenergetskim i prometnim sustavima, u vođenju bespilotnih letjelica i sl., a u novije se doba sve veći broj kućanskih uređaja oprema jednostavnijim rješenjima daljinskog upravljanja.*

*[Izvor: Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje]*

### 5.1. Udaljeno vođenje i nadzor

Koristeći industrijske komunikacijske mreže i protokole te adekvatne strategije vođenja, postiže se mogućnost udaljenog vođenja i nadzora sustava. Takvi sustavi uglavnom imaju tri cjeline, kako je to prikazano na slici 89. Blok 1 na slici predstavlja cjelinu u kojoj se nalaze sustavi unutar proizvodnoga pogona. Server i baza podataka čine cjelinu u koju se pohranjuju sve informacije dobivene od svakog pojedinog sustava, a na slici 89 prikazani su blokom 2. Različiti korisnički uređaji koje korisnici mogu koristiti za interakciju sa sustavima preko servera pomoću web preglednika predstavljaju cjelinu

prikazanu blokom 3.



Slika 89: Shematski prikaz rješenja za udaljeni nadzor i vođenje sustavima.

### 5.1.1. Sustavi unutar pogona

Neki uređaj unutar proizvodnog pogona (slika 89, blok 1) pomoću usmjerivača (eng. ruter) dobiva pristup internetu. Usmjerivač se brine da svaki upit poslan sa servera dođe na točno određeni uređaj unutar sustava. To se odvija pomoću „vanjskih“ priključaka (eng. port) koji definiraju na kojem će portu pojedinoj aplikaciji biti dozvoljena komunikacija s vanjskim serverom. Druga svrha rutera je omogućiti uređajima unutar sustava međusobnu komunikaciju pomoću lokalnih statičkih IP adresa. Za upravljanje i regulaciju sustava brine se PLC, koji ujedno prikuplja podatke sa svih senzora ugrađenih u sustav. On mora biti u mogućnosti izvršavati tražene zadatke koje mu zadaje korisnik te pružiti nazad sveobuhvatnu povratnu informaciju. Podatci prikupljeni sa senzora obrađuju se na samom PLC-u i spremaju u korisniku čitljivom formatu. Zadatci se mogu zadati online putem web aplikacije ili pomoću grafičkog sučelja na HMI-u. Kroz lokalnu mrežu, HMI komunicira s PLC-om te mu daje zadatke koje mora izvršiti, a ujedno i prikazuje obrađene podatke sa senzora. HMI može komunicirati isključivo s PLC-om i to samo unutar lokalne mreže, dok mu pristup vanjskim uređajima

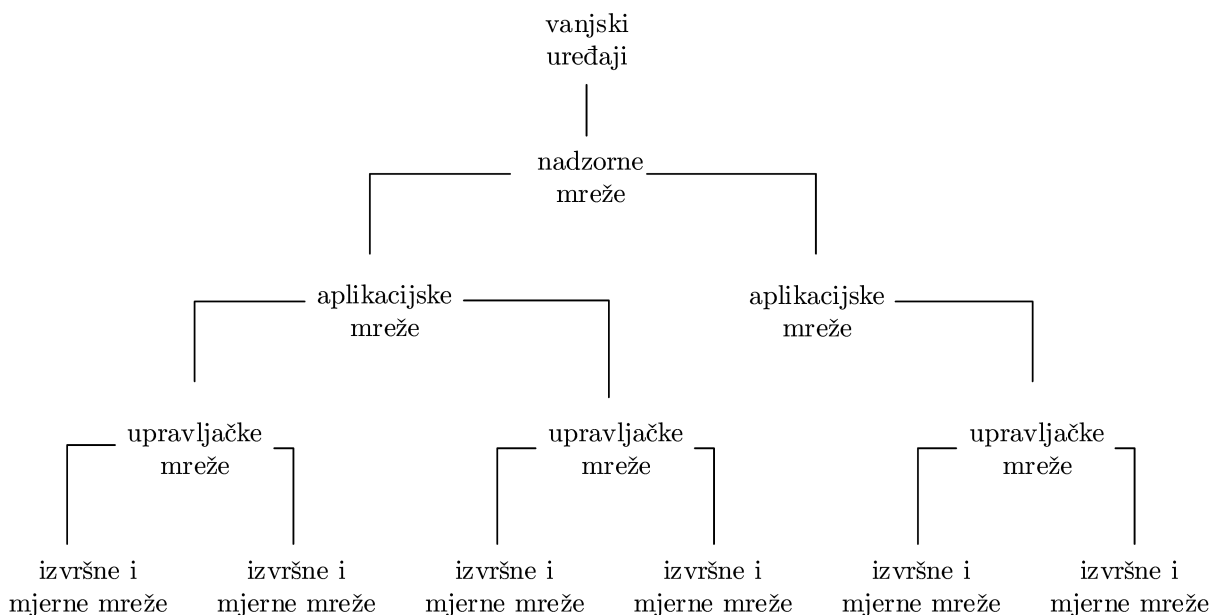
kroz usmjerivač nije dopušten. Poželjno je u sustavu koristiti i videonadzor proizvodnog procesa koji u realnom vremenu prikazuje vizualno stanje u pogonu.

### 5.1.2. Korisnici i web server

Sustavi se upravljaju i nadziru pomoću glavnog serverskog računala (slika 89, blok 2). Na njemu je smještena web aplikacija kojoj različiti korisnici pristupaju s udaljene lokacije (slika 89, blok 3), kako bi mogli nadzirati i upravljati sustavima. Pristup aplikaciji dopušten je sa svakog uređaja koji podržava web preglednike uz odgovarajuće korisničko ime i lozinku. Druga glavna funkcija serverskog računala odnosi se na upravljanje korisnika i podataka. Za tu svrhu potrebno je instalirati server, bazu podataka te programski jezik u kojem će biti razvijene korisničke aplikacije.

## 5.2. Komunikacijske mreže i protokoli

Industrijski sustavi mogu biti vrlo kompleksni i obično su strukturirani u nekoliko hijerarhijskih slojeva. Svaki od tih slojeva ima odgovarajuću razinu komunikacije koja postavlja zahtjeve na komunikacijski sustav pojedine razine. Industrijske komunikacijske sustave moguće je klasificirati u različite kategorije podijeljene prema funkcionalnosti, a to su: izvršne i mjerne mreže, upravljačke mreže, aplikacijske i nadzorne mreže. Hijerarhijski primjer industrijske mreže prikazan je na slici 90.



Slika 90. Primjer strukture industrijske mreže.

Umrežavanjem industrijskih automatiziranih sustava, počeli su se razvijati razni protokoli komunikacije za sve mrežne razine. Time je omogućena nesmetana implementacija raznih sustava na postojeću mrežu te proizvodnja što većeg broja uređaja koji bi se mogli međusobno povezati.



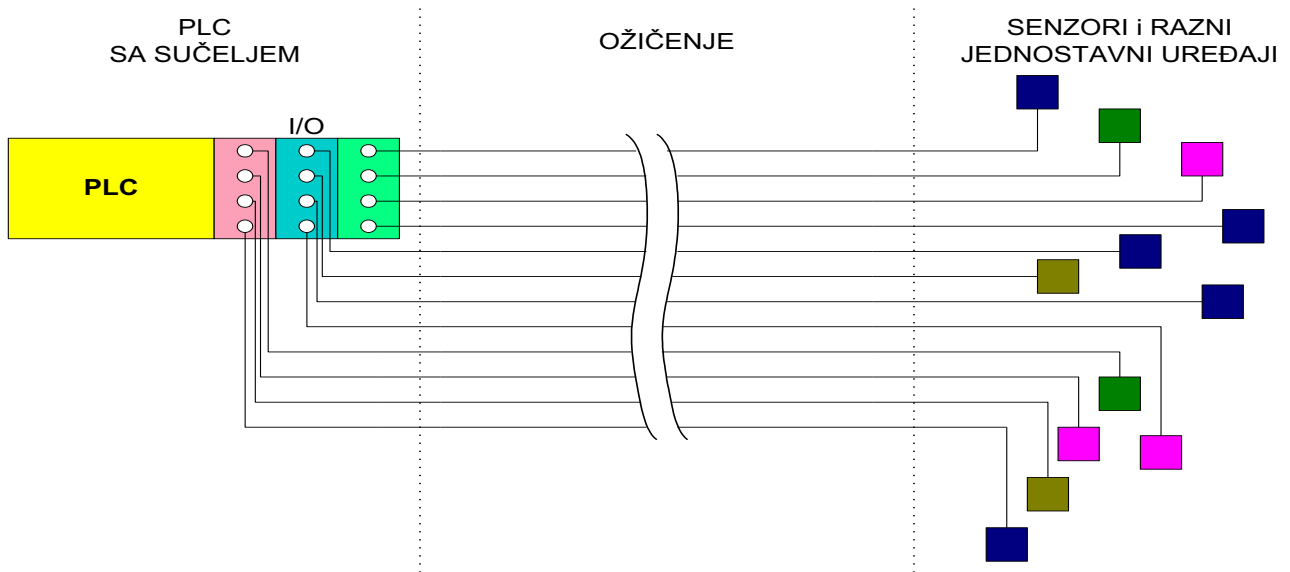
Danas se u svijetu koriste mnogi industrijski komunikacijski protokoli. Neki opisuju povezivanje cijelog automatskog sustava (radni uređaji, ulazno/izlazne jedinice, kontrolni uređaji), a neki komunikaciju pojedinih dijelova unutar sustava.

Od komunikacijskih mreža i protokola u industrijskoj automatizaciji zahtijevaju se sljedeće karakteristike. Kontrolori pogona moraju imati dovoljno brz pristup podacima sa svih pogonskih sustava, radnih stanica, i ulazno/izlaznih jedinica. Za razliku od običnih računalnih mreža (uredske mreže, internet) informacije u industrijskom pogonu vremenski su osjetljive i često zahtijevaju komunikaciju u realnom vremenu. Npr. zaustavljanje robota kada izvrši neki zadatak ili punjenje boca u pravom vremenu zahtijevaju precizno tempiranje. Osim komunikacije u realnom vremenu, zahtijeva se i visoka pouzdanost.

Također, zbog industrijskog okruženja koje je puno neželjenih vibracija, elektromagnetskih smetnji, prašine, kemijskih supstanci koje mogu izazvati koroziju, visokih i niskih temperatura, dodaju se dodatni zahtjevi na mrežnu opremu (hardware) koja mora biti puno čvršća i dodatno zaštićena. Npr. vodovi su oklopljeni zbog elektromagnetskih smetnji i dodatno položeni u posebno namijenjene kanale, a PLC-ovi i IPC-i su postavljeni u posebne ormare i sl.

### **5.2.1. Jednostavne senzorske mreže**

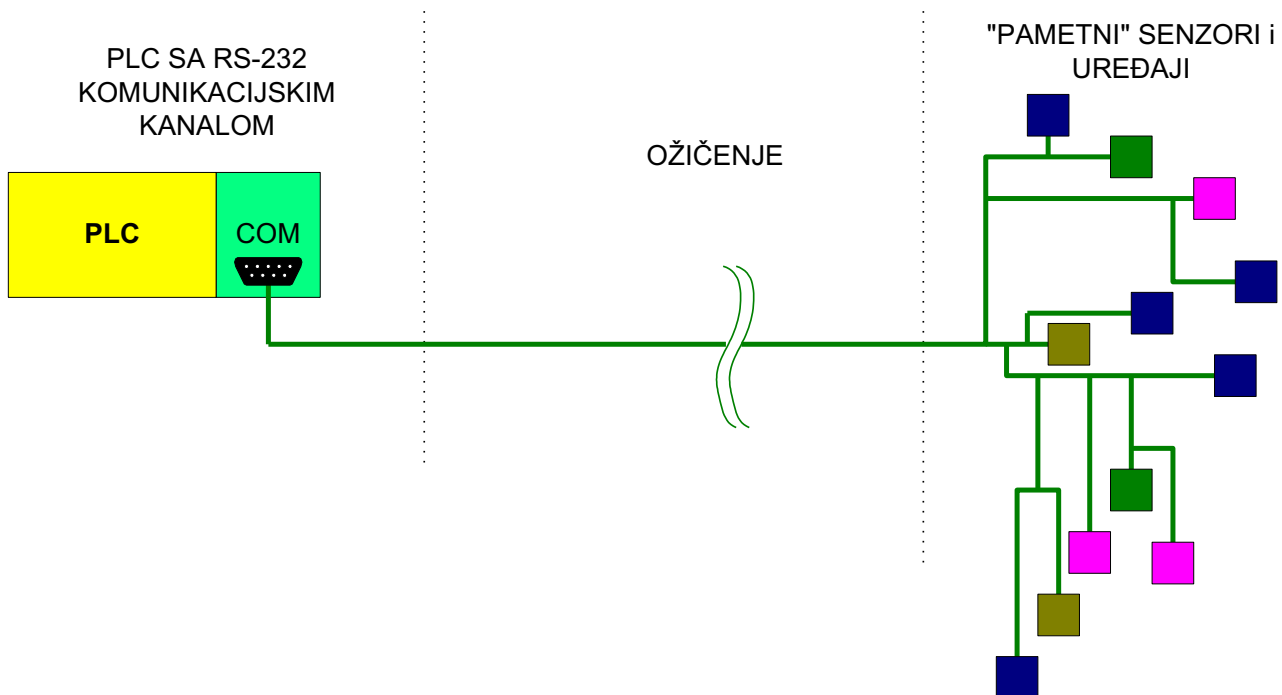
Jednostavne senzorske mreže su mreže koje se koriste za komunikaciju između uređaja unutar nekog automatskog proizvodnog sustava. Koriste jednostavni digitalni signal, vrlo su brze, prenose vrlo jednostavne informacije (najviše jedna "riječ") i obično se koriste za povezivanje senzora (osjetnika) s PLC-om, ali mogu povezivati i razne druge uređaje. U današnje vrijeme sve se rjeđe koriste, jer zahtijevaju masovno ožičenje budući da svaki uređaj na toj mreži ima svoj fizički komunikacijski vod.



Slika 91. Blok prikaz jednostavne senzorske mreže.

### 5.2.2. Sabirnica polja (Fieldbus)

Potreba za smanjenjem ožičenja i razvoj mikroelektronike (stvaraju se tzv. "pametni" senzori i razni drugi uređaji) utječe na razvoj komunikacijskih mreža u automatiziranim sustavima. Fieldbus također omogućuje komunikaciju između PLC-a i PLC-a ili PLC-a i IPC-a, a ova je mreža omogućila umrežavanje automatiziranih sustava u velike automatske proizvodne linije. Fieldbus najčešće koristi RS-232 komunikacijski kanal, a taj komunikacijski kanal nekad je bio standard za sva računala, mikrokontrolere, PLC-e, "pametne" senzore i dr.



Slika 92. Blok prikaz fieldbus mreže.

Fieldbus (sabirnica polja) fizički omogućuje povećavanje automatizacije postrojenja te se koristi za upravljanje i nadzor velikim distribucijskim mrežama (voda, plin, nafta, el. energija... 1000 km), proizvodnim i procesnim postrojenjima (elektrane, teška industrija, laka industrija, automatska montaža...), zgradama (klima, protuprovalna zaštita, požarna zaštita, sustavi automatskih otvaranja vrata i dr...), vozilima (vlakovi, brodovi, avioni...).

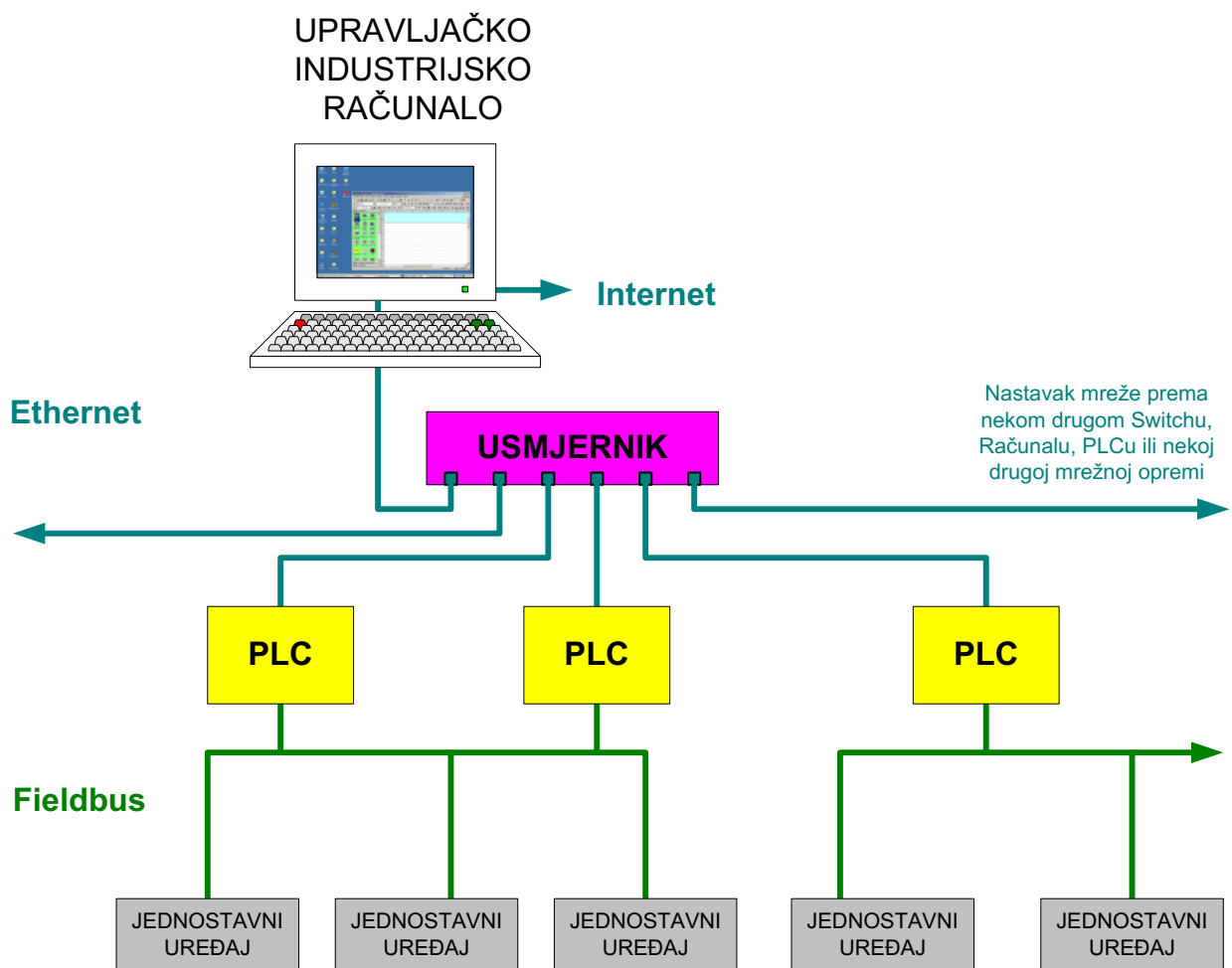
Karakteristike fieldbusa su smanjenje ožičenja, povećanje modularnosti postrojenja, jednostavno lociranje kvara i održavanje, pojednostavljena gradnja, jednostavno proširenje i velik broj "potrošnih" standardnih proizvoda za gradnju tzv. "Lego" upravljačkih sistema. Prijenos malog broja podatkovnih varijabli (procesne varijable) s ograničenim kašnjenjem (1ms - 1s), srednja brzina prijenosa podataka (50 kbit/s - 5 Mbit/s) na širokom opsegu (10m - 4km), robusna i lagana instalacija s kvalificiranim osobljem, visok integritet podataka (nema nedetektiranih grešaka), visoka raspoloživost podataka (redundantnost), sinkronizacija sata (od nekoliko  $\mu$ s do nekoliko ms), kontinuirani nadzor i dijagnosticiranje, niska cijena.

### 5.2.3. Industrijski Ethernet

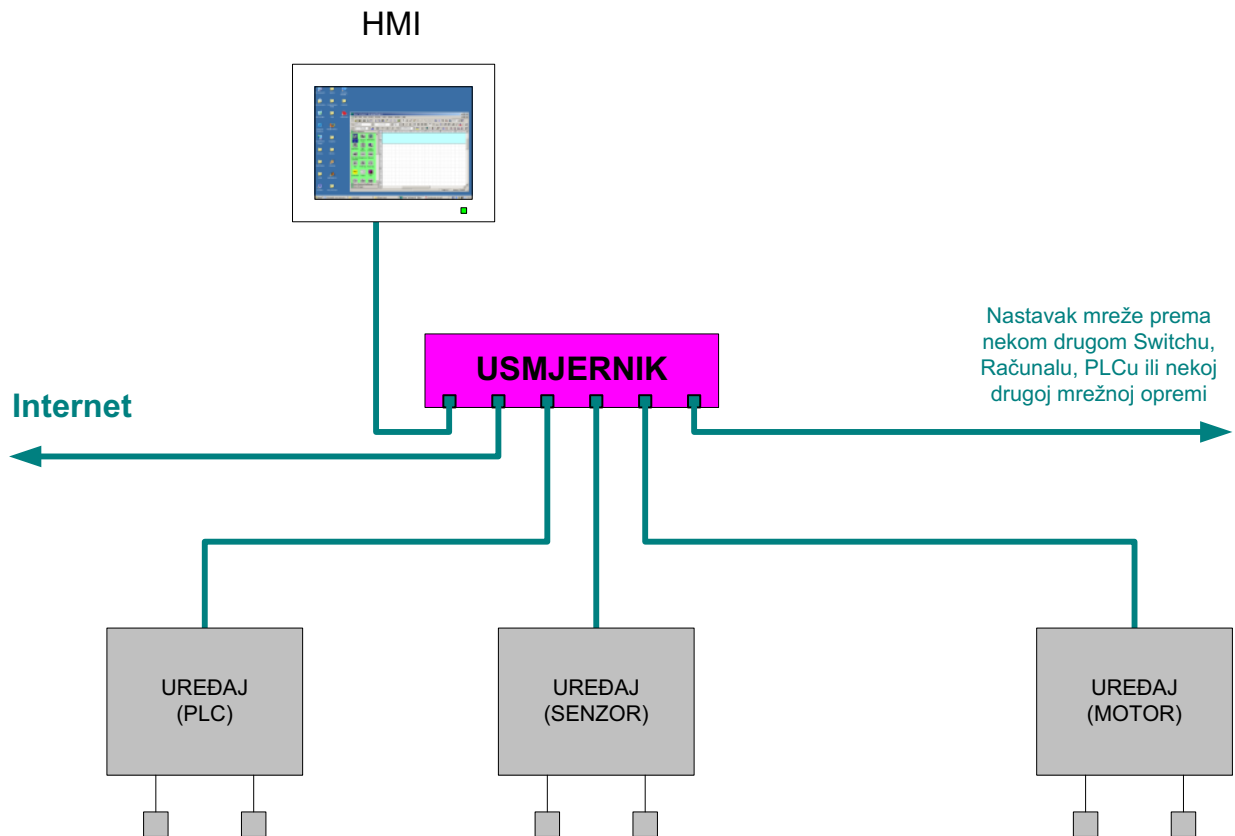
Industrijski Ethernet je industrijska mreža 21. stoljeća. Kao što se vidi iz naziva ova mreža se bazira na već općepoznatom Ethernet-u kod računalnih mreža prenamijenjenom za industrijske pogone (uređaji su pripremljeni za rad u industrijskom okruženju). Ethernet postaje prihvaćen u industrijskoj domeni. Osobna računala, printeri i ostala periferna oprema s postojećim Ethernet mrežnim

uređajima seli se u industrijsko područje gdje korišten s inteligentnim preklopnima (switch) i usmjernicima (router), Ethernet postaje sve prihvaćeniji kao industrijska mreža i za to nema nikakvih prepreka. Glavne prednosti industrijskog Etherneta su njegova nedeterminiranost (osim u slučaju realno-vremenskih <real-time> aplikacija), jednostavnost primjene, modularnost, kompatibilnost s običnim računalnim Ethernetom.

Danas se obično industrijski Ethernet koristi za povezivanje PLC-ova međusobno ili sa IPC-ima, međusobno povezivanje automatskih sustava (npr. sustav za automatsku montažu) te međusobno povezivanje cijelog pogona s nadzorom.



Slika 93. Industrijska računalna mreža u automatizaciji Ethernet/fieldbus.



Slika 94. Ethernet mreža u funkciji fieldbus mreže (trend).

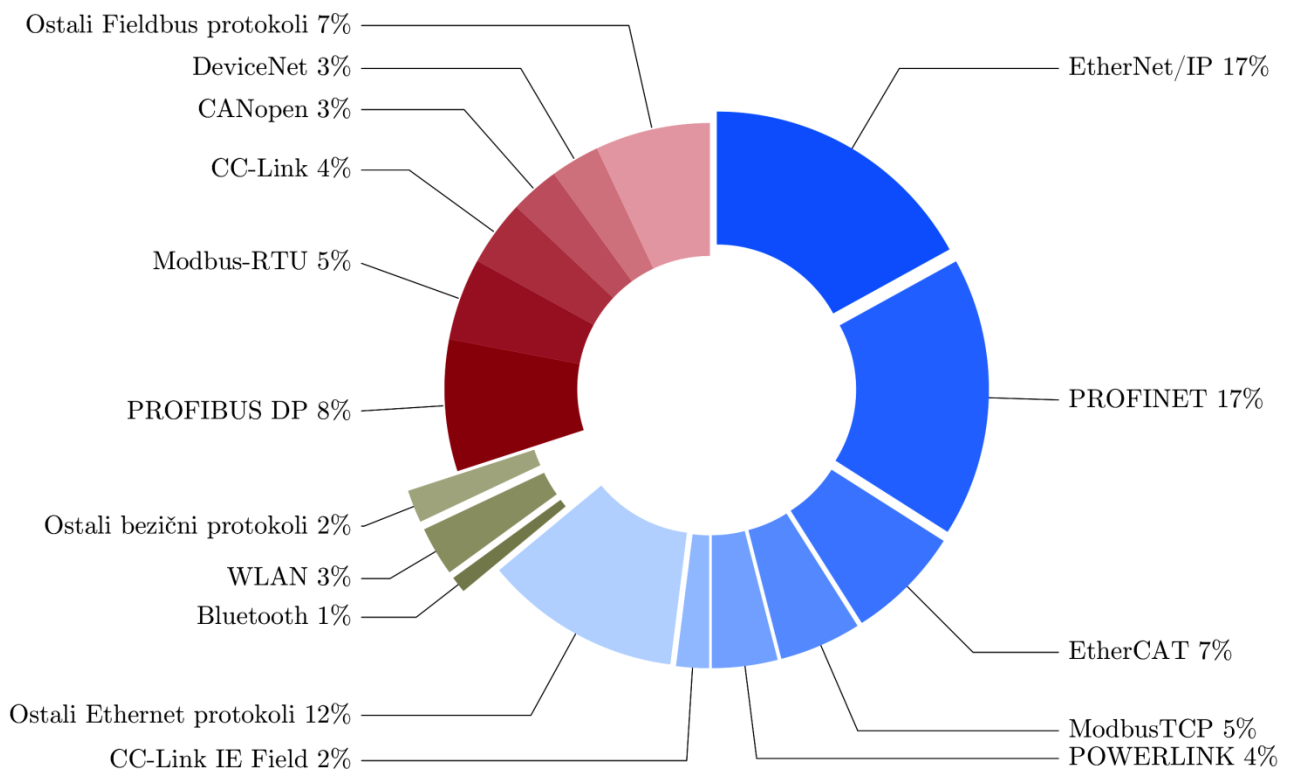
Kod operacija u realnom vremenu (real-time) potrebno je Ethernetu dodati neka poboljšanja. Npr. sinkronizaciju zajedničkog sata, korištenje IEEE 1588 PTPa (Precision Time Protocol), Powerlink, Siemens Profinet V3 – sinkronizacija je kod preklopnika (switch).

#### 5.2.4. Industrijski mrežni protokoli

Za komunikaciju u industrijskim sustavima koriste se razni standardizirani protokoli. U 2020. godini, 64 % tržišta industrijskih protokola odnosi se na industrijski Ethernet, dok se 6 % tržišta odnosi na bežične protokole i 30 % na Fieldbus protokole. Udio najznačajnijih i najkorištenijih industrijskih protokola prikazan je na slici 95. Na slici se može vidjeti da je kod Fieldbus protokola najkorišteniji PROFIBUS DP protokol s 8 % udjela, dok je kod bežičnih protokola najzastupljeniji WLAN s 3 %. Kod industrijskih Ethernet protokola prvo mjesto dijele protokoli EtherNet/IP i PROFINET sa 17 % udjela na tržištu.

Pomoću Ethernet protokola možemo ostvariti, na jednostavan način, laku komunikaciju između raznih nadzornih mreža i web servera. Modbus TCP protokol baziran na Ethernet tehnologiji brži je

od Modbus protokola, a utjecaj različitih topologija mreža nema značajan utjecaj na brzinu protokola. EtherCAT protokol je za faktor 3 do 4,5 brži od PROFINET protokola u odnosu na kašnjenje podataka. Međutim, EtherCAT protokol ima problema s velikim sustavima kod kojih je protok podataka iznimno velik, što rezultira smanjenom efikasnošću sustava. Kod PROFINET-a možemo isplanirati protok podataka i napraviti fleksibilnu komunikaciju baziranu na zahtjevima aplikacije, dok EtherCAT to ne podržava. EtherNet/IP i POWERLINK protokoli imaju odlične performanse u odnosu na stabilnosti i ponovljivosti. EtherNet/IP zahtijeva manje vremena za konfiguraciju i intuitivniji je, dok je POWERLINK robusniji. Osim toga, rješenje s primjenom Modbus TCP protokola su kompatibilna s većinom industrijskih sustava. Akvizicija podataka pomoću Modbus TCP protokola s limitiranim hardverskim resursima je stabilna i efikasna.



Slika 95. Zastupljenost industrijskih komunikacijskih protokola.

Komunikacijske protokole nezahvalno je međusobno uspoređivati jer svaki od njih ima svoje prednosti i nedostatke što je ovisno o zahtjevima aplikacije u kojoj se koriste. Zbog toga su izdvojene najvažnije značajke industrijskih Ethernet protokola potrebne za jednostavno povezivanje upravljačkog uređaja s web serverom. Popis značajki komunikacijskih protokola prikazan je u tabeli 4. Iz tablice se može vidjeti da je EtherCat protokol najbrži, dok je PROFINET protokol brži od POWERLINK protokola. Protokoli bazirani na TCP/IP komunikaciji najsporiji su i kod njih brzina ovisi o načinu implementacije. S aspekta sinkronizacije, devijacija EtherCAT-a od periodičkog signala je manja u odnosu na PROFINET i POWERLINK. Kod Modbus TCP i EtherNet/IP protokola devijacija periodičkog signala ovisna je o strukturi mreže i drastično je sporija u odnosu na EtherCAT. Stabilnost tehnologije govori o tome je li protokol dostigao stabilnu razinu ili su još uvijek moguće

drastične promjene. Modbus TCP i EtherCAT protokoli dosegli su stabilnu razinu tehnologije, dok su kod ostalih protokola još uvijek moguće drastične promjene. Propusnost podataka najbolja je kod Modbus TCP i EtherNet/IP protokola, dok je kod PROFINET protokola nešto manja. PROFINET i EtherCAT rezerviraju dio pojasa za komunikaciju u realnom vremenu što propusnost IP podataka čini sporijom. U odnosu na dodatni hardver Modbus TCP i EtherNet/IP mogu se implementirati sa standardnim hardverom. Za implementaciju POWERLINK protokola potreban je FPGA čip, dok je kod EtherCAT-a potreban podređeni EtherCAT kontroler ili koprocesor u nadređenom krugu. Specijalni čipovi za nadređene i podređene uređaje potrebni su kod implementacije PROFINET protokola.

Tabela 4. Značajke različitih industrijskih Ethernet protokola.

	EtherNet/IP	PROFINET	EtherCAT	Modbus TCP	POWERLINK
vrijeme ciklusa	--	+	++	--	○
sinkronizacija	--	+	++	--	○
stabilnost tehnologije	+	○	++	++	-
propusnost IP podataka	++	+	○	++	○
specijalni hardver	++	-	○	++	○
usvojenost	+	+	++	++	-
standardizacija	✓	✓	✓	✓	✓
Python podrška	✓	✓	✓	✓	✓

Ako se promatra usvojenost protokola može se konstatirati da se Modbus TCP protokol koristi dugi niz godina. EtherCAT nudi široku paletu nadređenih i podređenih uređaja te njegova ponuda raste iz godine u godinu. Od 2007. godine rijetko se pojavljuje novi POWERLINK proizvod na tržištu, dok potencijalni dobavljači PROFINET opreme čekaju da se tehnologija ustali, kako bi mogli prodavati nove uređaje. U kontekstu standardizacije i Python podrške može se primijetiti da svi protokoli zadovoljavaju IEC 61158 standard te da za njih postoji Python podrška.

## Literatura

- Tugomir Šurina, Automatska regulacija, Školska knjiga, Zagreb, 1981.
- Joško Petrić, Automatska regulacija: uvod u analizu i sintezu, FSB, Zagreb, 2012.
- NASA; <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasa-builds-its-next-mars-rover-mission>
- Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristup 17. 11. 2023.
  - <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=48849>;
  - <https://enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=13776> .
- SMC PNEUTRAINER-200, USER MANUAL
- SENSOTRAINER-200 Student Manual 10
- SIEMENS, SIMATIC TIA Portal STEP 7 Basic V10.5
- Automation Direct, PLC HANDBOOK
- SMC, VAC-400 PRACTICE MANUAL
- SMC, PNEUTRAINER-400
- B. Galloway and G. P. Hancke. Introduction to Industrial Control Networks. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 15(2):860-880, 2013.
- Istraživanje HMS Networks [Internet]. <https://www.hms-networks.com/news-and-insights/news-from-hms/2020/05/29/industrial-network-market-shares-2020-according-to-hms-networks>
- Benić, Juraj, "Upravljanje izravno pogonjenih elektrohidrauličkih sustava." Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2022. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:200298>



## Kazalo slika

Slika 1. Regulacijska petlja ili zatvoreni regulacijski krug.....	8
Slika 2. Upravljački lanac ili zatvoreni krug. ....	8
Slika 3. Mars rover [Izvor: NASA].....	10
Slika 4. Primjeri različitih tipova signala. ....	11
Slika 5. Stohastički signal.....	12
Slika 6. Poopćeni osnovni blok dijagram automatske regulacije. ....	14
Slika 7. Komparator.....	15
Slika 8. Primjer induktivnog senzora blizine električki vodljivih materijala. ....	17
Slika 9. Analogni regulacijski krug. ....	18
Slika 10. Digitalni regulacijski krug. ....	18
Slika 11. Binarni digitalni regulacijski krug. ....	19
Slika 12. Shema spajanja. ....	21
Slika 13. Shema spajanja i taktni dijagram signala.....	23
Slika 14. Shema spajanja i taktni dijagram signala.....	25
Slika 15. Shema spajanja i taktni dijagram signala.....	26
Slika 16. Shema spajanja i taktni dijagram signala.....	27
Slika 17. Shema spajanja. ....	28
Slika 18. Shema spajanja. ....	29
Slika 19. Skica sustava i taktni dijagram gibanja klipova.....	30
Slika 20. Shema spajanja. ....	30
Slika 21. Taktni dijagram gibanja klipova.....	31
Slika 22. Shema spajanja kaskadne metode.....	32
Slika 23. Alternativna shema spajanja kaskadne metode koristeći jedan monostabilni razvodnik. ....	33
Slika 24. Alternativna shema spajanja kaskadne metode koristeći jedan jednoradni cilindar. ....	33
Slika 25. Shema spajanja i taktni dijagram signala.....	34
Slika 26. Shema spajanja i taktni dijagram signala.....	35
Slika 27. Električne sheme spoja samodržanja u izvedbi dominirajuće uključeno i dominirajuće isključeno.....	36
Slika 28. Pneumatska i električna shema spajanja.....	37
Slika 29. Pneumatska i električna shema spajanja.....	37
Slika 30. Pneumatska i električna shema spajanja.....	38
Slika 31. Taktni dijagram gibanja klipova.....	39
Slika 32. Shema spajanja. ....	39
Slika 33. Taktni dijagram gibanja klipova.....	40
Slika 34. Shema spajanja. ....	40
Slika 35. Shema spajanja i taktni dijagram signala.....	42
Slika 36. Shema spajanja i taktni dijagram signala.....	43
Slika 37. Shema spajanja. ....	44

Slika 38. Shema spajanja .....	45
Slika 39. Hidraulička i električna shema spajanja.....	46
Slika 40. Hidraulička i električna shema spajanja.....	47
Slika 41. Skica hidraulički pogonjene podizne platforme (dizala).....	48
Slika 42. Hidraulička i električna shema spajanja.....	49
Slika 43. Programabilni logički kontroler S7-1200 tvrtke Siemens. ....	50
Slika 44. Ljestvičasti dijagram.....	51
Slika 45. Funkcijski blok dijagram.....	52
Slika 46. Strukturirani tekst.....	52
Slika 47. Lista instrukcija .....	53
Slika 48. Primjer tagova.....	54
Slika 49. TIA Portal – portalni prikaz.....	58
Slika 50. TIA Portal – prikaz projekta.....	59
Slika 51. Kreiranje novog projekta.....	60
Slika 52. Dodavanje novog uređaja u projekt.....	61
Slika 53. Dodavanje PLC-a S7-1200 u projekt.....	61
Slika 54. Sigurnosne postavke PLC-a.....	62
Slika 55. Pregled uređaja.....	62
Slika 56. <i>Network view</i> .....	63
Slika 57. <i>Device view</i> .....	64
Slika 58. Konfiguracija IP adrese PLC-a u TIA Portalu.....	65
Slika 59. Otvaranje organizacijskog bloka „Main [OB1]“.....	65
Slika 60. Dodavanje novog bloka.....	66
Slika 61. Pokretanje procesa učitavanja programa na PLC.....	67
Slika 62. Odabir uređaja na koji se želi učitati program.....	68
Slika 63. Različiti certifikati uređaja.....	68
Slika 64. Prozor za učitavanje programa na PLC.....	69
Slika 65. Rezultati učitavanja programa na PLC.....	69
Slika 66. Aktivacija online konekcije s PLC-om.....	69
Slika 67. Rezultat uspješnog učitavanja programa i usporedba s programom na kompjutoru.....	70
Slika 68. Uključivanje praćenja programa.....	71
Slika 69. Modificiranje taga.....	71
Slika 70. Isključivanje praćenja programa.....	71
Slika 71. Shematski prikaz gravitacijskog spremnika.....	72
Slika 72. Električna shema spajanja sustava za izbacivanje blokova iz gravitacijskog spremnika.....	73
Slika 73. Pneumatska shema spajanja sustava za izbacivanje blokova iz gravitacijskog spremnika.....	74
Slika 74. Korišteni tagovi u PLC-u sustava za izbacivanje blokova iz gravitacijskog spremnika.....	74
Slika 75. LAD dijagram uvjeta za isklup u nuždi, ručnog i automatskog moda rada.....	75
Slika 76. LAD dijagram ciklusa jednoradnog cilindra.....	76
Slika 77. Električna shema vakumske jedinice za hvatanje polimernog bloka.....	78
Slika 78. Pneumatska shema vakumske jedinice za hvatanje polimernog bloka.....	79

Slika 79. Tagovi PLC-a vakumske jedinice za hvatanje polimernog bloka. ....	79
Slika 80. Podatkovni blok PLC-a vakumske jedinice za hvatanje polimernog bloka. ....	79
Slika 81. Mreže od 1 do 4 ljestvičastog dijagrama vakumske jedinice za hvatanje polimernog bloka. ....	80
Slika 82. Mreža 5 ljestvičastog dijagrama vakumske jedinice za hvatanje polimernog bloka. ....	81
Slika 83. Skica pneumatskog sustava za podizanje kutija. ....	82
Slika 84. Električna shema spajanja sustav za podizanje kutija. ....	83
Slika 85. Pneumatska shema spajanja sustav za podizanje kutija. ....	83
Slika 86. Tagovi korišteni kod sustava za podizanje kutija. ....	84
Slika 87. Ljestvičasti dijagram sustava za podizanje kutija. ....	84
Slika 88. Hidraulička shema spajanja sustava za podizanje kutija. ....	85
Slika 89: Shematski prikaz rješenja za udaljeni nadzor i vođenje sustavima. ....	87
Slika 90. Primjer strukture industrijske mreže. ....	88
Slika 91. Blok prikaz jednostavne senzorske mreže. ....	90
Slika 92. Blok prikaz fieldbus mreže. ....	91
Slika 93. Industrijska računalna mreža u automatizaciji Ethernet/fieldbus. ....	92
Slika 94. Ethernet mreža u funkciji fieldbus mreže (trend). ....	93
Slika 95. Zastupljenost industrijskih komunikacijskih protokola. ....	94

## Kazalo tablica

Tabela 1. Osnovni simboli blok dijagrama .....	14
Tabela 2. Osnovni tipovi podataka. ....	54
Tabela 3. Organizacijski blokovi S7-1200 PLC-a.....	56
Tabela 4. Značajke različitih industrijskih Ethernet protokola.....	95

## Impressum

**Autori:** doc. dr. sc. Mihael Cipek i dr. sc. Juraj Benić

**Lektor:** Mirjana Sekulić Abramović, prof.

**Recenzent:** prof. dr. sc. Željko Šitum