

Projektiranje automatiziranog sustava za sortiranje obradaka i robotsko paletiziranje

Sanja Grbac Babić¹, Tomislav Bičanić²

¹ Istarsko veleučilište, Riva 6, Pula, Hrvatska; sgrbac@iv.hr

² student; Istarsko veleučilište, Riva 6, Pula, Hrvatska, tomislavbicanic1@gmail.com

Sažetak

Razvojem tehnologije i povećanom željom za učenjem i smanjivanjem fizički napornih poslova u proizvodnim pogonima i svakodnevici pojavljuje se želja za uvođenjem automatiziranih i robotskih sustava u proizvodnji. Brojni automatizirani sustavi zahtijevaju vrlo brze odzive na pojave ulaznih signala, što je puno jednostavnije izvesti pomoću PLC kontrolera nego sa zastarjelim složenim sustavima pomoću upravljanja relejima. Projektiranje ovog automatiziranog sustava uključuje odabir dijelova, korištenje različitih postupaka obrade materijala, spajanje različitih vrsta shema, projektiranje izgleda, pisanje i simuliranje programskog koda u „CyPro“ i „RoboCel“ programskim jezicima te rješavanje problematike kretanja i sortiranja određenih dijelova. U praksi se učestalo nalaze primjeri automatizacije starih sustava čiji su projekti financijski ograničeni. Za kvalitetan sustav koji će raditi bez problema potrebno je pronaći idealno ali i jednostavno tehničko rješenje koje će omogućiti nesmetan rad sustava. Tako i u ovome slučaju gdje se radi o dvije potpuno različite platforme „Cybro“ PLC sustava i „Intelitek“ robotske ruke Scorbase er 4u koja se temelji na Siemensovoj tehnologiji objedinjene su u funkcionalnu cjelinu u svrhu paletiziranja.

Ključne riječi: „Cybro“ PLC, Intelitek, Scorbase, paletiziranje

1. Uvod

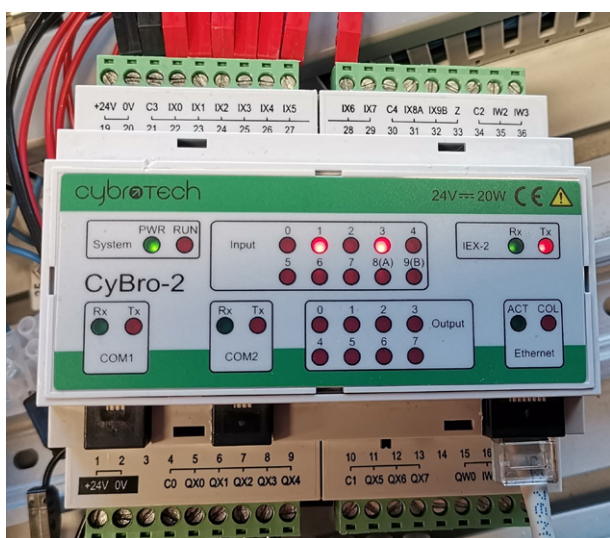
S razvojem tehnologije te povećanom željom za učenjem i smanjivanjem fizički napornih poslova u proizvodnim pogonima i svakodnevici pojavljuje se i želja za izučavanjem i proizvodnjom automatiziranih i robotskih sustava. Uočavanjem povećane, sigurnije i brže proizvodnje uslijed primjene automatiziranih sustava, sve veći broj poslodavaca odlučuje se na implementaciju takvih sustava. Nadalje, uvođenjem autonomnih sustava dobivaju

se pogoni koji mogu biti radno aktivni 24 sata, 7 dana u tjednu, 365 dana u godini, uz minimalne troškove održavanja. Povećanje kvalitete i preciznosti proizvoda znatno je poboljšano uvođenjem automatiziranih sustava i nije uvjetovano ljudskim faktorima na koje utječu atmosferske prilike, doba dana, motiviranosti, umor, monotonosti, i slično... (Ravlić, 2004). Postizanjem dodatne preciznosti smanjuje se broj loše obrađenih proizvoda, odnosno smanjuje se količina škartu što utječe na smanjenje troškova proizvodnje i na očuvanje okoliša.

2. Programabilni logički kontroler

Nijedan automatizirani sustav ne može funkcionirati bez osnovnih dijelova koji se nadopunjuju pod-sustavima, što ovisi o specifičnosti čitavog sustava. Programabilni logički kontroler, PLC (*engl. Programmable Logic Controller*) (Slika 1), jednostavan je računalni uređaj koji se koristi za industrijske sustave upravljanja. Koristi se tamo gdje postoji potreba za upravljanjem i nadzorom procesa kao što su proizvodne linije, transportni sustavi, itd. (Malčić i Maršić, 2020)

Slika 1: Primjer „Cybro“ PLC-a



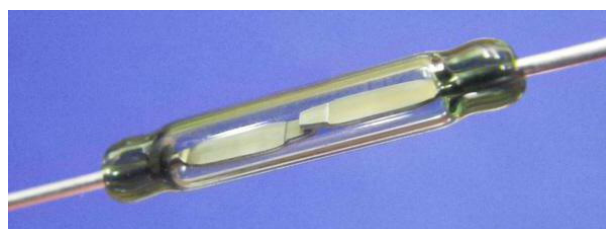
Izvor: Autor

Računalni procesor unutar PLC-a posvećen je pokretanju programa koji nadgleda niz različitih ulaza i logički upravlja izlazima za željenu kontrolu. Namjena PLC-a je da budu vrlo fleksibilni u načinu na koji se mogu programirati, pružaju i prednosti visoke pouzdanosti, a kompaktniji i ekonomičniji su u odnosu na tradicionalne upravljačke sustave. U PLC uređajima interna obrada podataka ponavlja se ciklički u beskonačnoj petlji koja je sastavljena od četiri dijela, a vrijeme jednog ciklusa koje uključuje oko 500 programskih naredbi kreće se u ukupnom vremenu od oko 1,5 ms. (Malčić i Maršić, 2020).

Svaki automatizirani sustav zahtijeva i određene senzore koji prikupljaju informacije o fizikalnim veličinama iz okoliša te ih pretvaraju u električni signal koji se naknadno obrađuje. U ovom radu korišten je „reed“ senzor koji spada u vrstu

digitalnih aktivnih senzora čiji je temeljni zadatak očitavanje pozicija. U praksi se najčešće primjenjuju zbog lakšeg pozicioniranja cilindra. Princip rada „reed“ senzora temelji se na magnetizmu. Prilikom dolaska glave cilindra, koja je izrađena od permanentnog magneta, u blizinu „reed“ senzora, kontaktna pera koja su smještena u inertnom plinu ograđena staklenim kućištem se spajaju (Slika 2). Precizno upravljanje pneumatskim sustavom postiže se očitavanjem dolaska cilindra do „reed“ senzora uz pomoć razvodnika s međupoložajem. Bitno je naglasiti da se „reed“ senzori montiraju na vanjski dio kućišta cilindra.

Slika 2: Prikaz „reed“ senzora



Izvor: https://puntomarinero.com/images/reed-sensors-principle-of-operation_6.jpg, 23. 5. 2022.

2.1. Komunikacija PLC-a

Komunikacijski protokol je sustav pravila koji omogućuje komunikaciju između dvaju ili više sustava. Protokol definira pravila, sintaksu, semantiku i sinkronizaciju komunikacije te moguće metode oporavka pogrešaka. Protokoli se mogu implementirati hardverom, softverom ili njihovom kombinacijom. Svaka poruka ima točno značenje namijenjeno izazivanju odgovora iz niza mogućih odgovora unaprijed određenih za tu određenu situaciju. Navedeno ponašanje tipično je, neovisno o tome kako ga treba implementirati, pa se uključene strane moraju usuglasiti s komunikacijskim protokolima. Da bi se postigao sporazum, protokoli su se počeli razvijati u tehnički standard. Najčešće korišteni komunikacijski protokoli za izmjenu podataka su Ethernet, Profinet i Modbus. Postoji vrlo bliska analogija između protokola i programskih jezika: protokoli komuniciraju ono što programski jezici računaju. Kako bi sustav mogao funkcionirati potrebno je pravilno povezivanje ulazno-izlaznih komponenti na „Cybro“ PLC kontroler.

3. Robotski sustavi

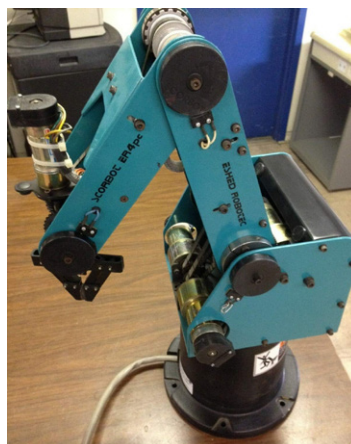
Od pojave prvih robota pa sve do danas tri su glavna razloga uvođenja robota u proizvodni pogon: ekonomska isplativost, s obzirom da robot može raditi 24 sata, 7 dana u tjednu, 365 dana u godini uz minimalne troškove održavanja s konstantnim učinkom rada; povećana kvaliteta proizvoda jer uz minimalna odstupanja od zadanih mjera robot proizvodi svaku jedinicu; sociološki aspekt, jer se robotom obavljaju prljavi, monotoni, teški i opasni poslovi u kojima bi se radnik osjećao podcijenjeno ili ugroženo. (Kovačić, Bogdan i Krajči, V. 2002).

S obzirom na mjesto i svrhu rada roboti se mogu podijeliti u dvije osnovne skupine:

- industrijski roboti vezani su za podlogu te kao takvi imaju određen prostor rada,
- mobilni roboti imaju mogućnost kretanja, te nemaju mehanički određen prostor rada, a najčešće služe za interakciju s ljudima ili na opasnim poslovima (deminiranja, snimanja i provjere terena, ...).

Industrijski roboti se s obzirom na vrstu posla kojeg obavljaju dijele na: robote za opsluživanje, tehnološke robote i robote za kontrolu. Roboti za opsluživanje, kako im i samo ime kaže, služe za opsluživanje odnosno pozicioniranje i prijenos teških tereta kako bi unaprijedili proizvodnju na numeričkom stroju ili proizvodnju neke vrste automatiziranog sustava (Šurina, Crneković, 1990). U ovome radu korišten je industrijski robot za opsluživanje koji u ovom slučaju služi za paletiziranje obratka, odnosno korištena je robotska ruka Scorbace prikazana na Slici 3. Komunikacija robotske ruke moguća je preko ugrađene USB veze s računalom i integriranom serijskom komunikacijom RS232 s priključkom za „Teach Pendant“. Robotska ruka ima 8 digitalnih i 4 analogni ulaza, te 8 digitalnih izlaza, a ostali tehnički podaci dostupni su na Intelitek, (bez dat. b).

Slika 3: Prikaz Scorbace robota s elektroničkim sustavom



Izvor: <http://www.theoldrobots.com/images127/Scorbot-ER-4U-w3.JPG>, 23. 5. 2022.

4. Praktična izvedba rada

Problematika projektiranja automatiziranog sustava za sortiranje obradaka i robotsko paletiziranje prikazana je na Slici 4, a temelji se na nekoliko značajnih ciljeva:

1. postići pravovremeno izvlačenje i uvlačenje cilindra preko „reed“ senzora,
2. postići idealnu dinamiku kretanja robota prilikom paletiziranja,
3. postaviti idealno tehničko rješenje komunikacije između dva različita sustava.

Slika 4: Prikaz sustava za automatsko sortiranje obratka i robotsko paletiziranje



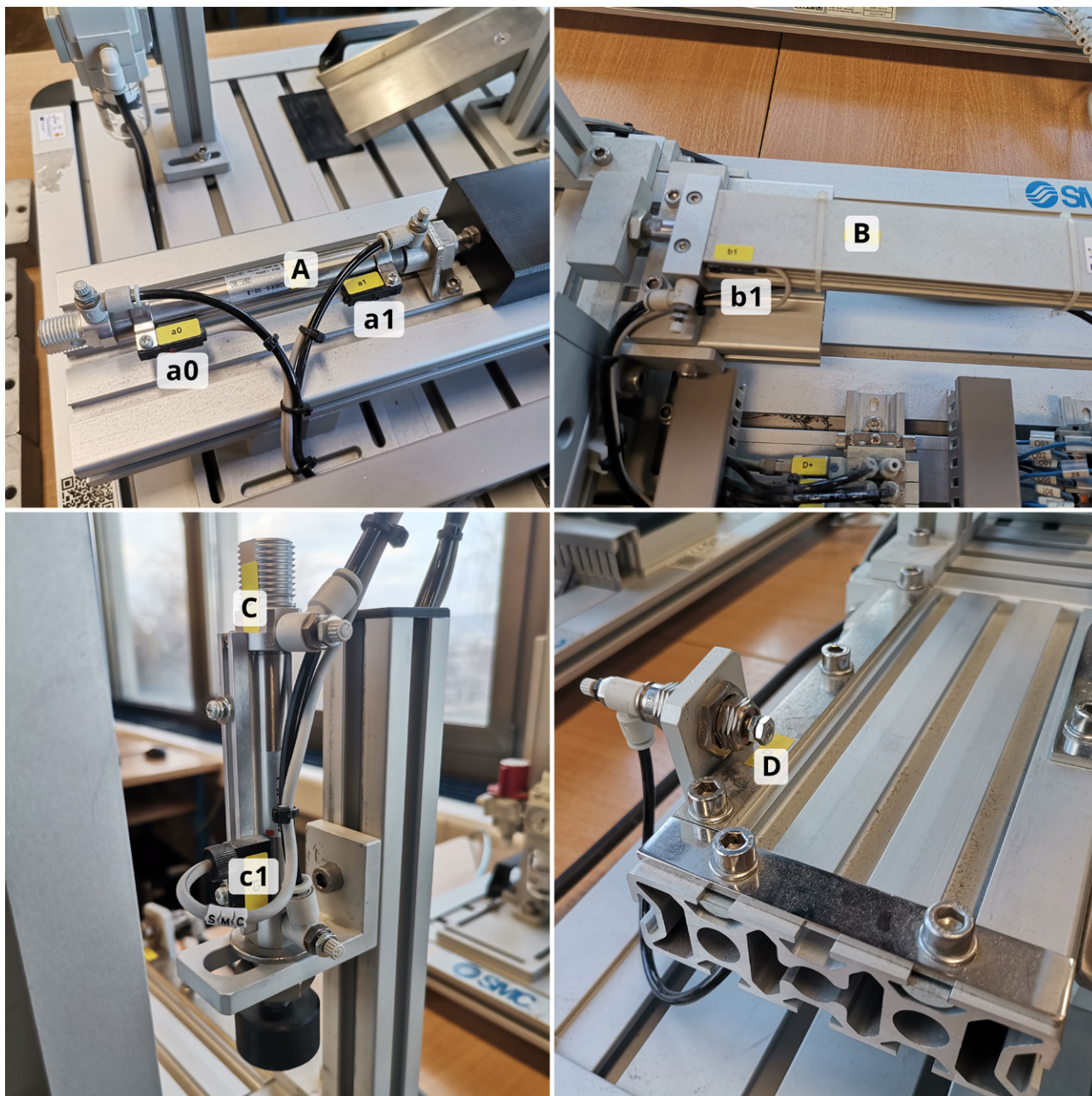
Izvor: Autor

4.1. Upravljanja cilindrima u svrhu sortiranja

Dolazak obrađene sirovine iz druge vrste pogona radi ispitivanja ispravnosti provrta prikazano je uz pomoć „hranilice“ u kojoj se nalaze različite vrste

obradaka. Sortirno sučelje napravljeno je od četiri cilindra A, B, C i D, a prikazano je na Slici 5.

Slika 5: Prikaz cilindara A, B, C i D te njihovih odgovarajućih senzora a0, a1, b1 i c1

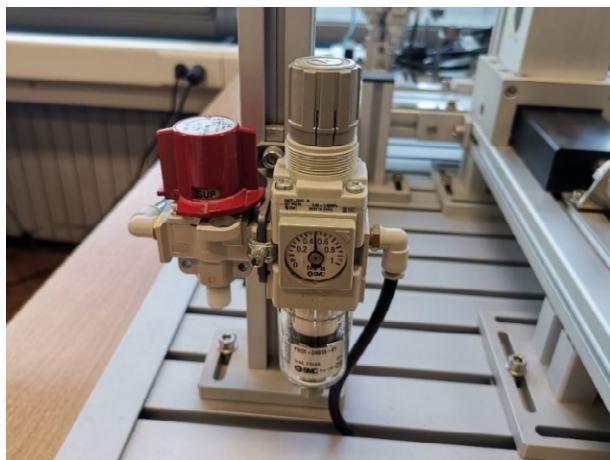


Izvor: Autor

Cilindri A, B i C su dvoradni cilindri opremljeni „reed“ sensorima, koji kod cilindara A i B služe za postavljanje uvjeta unutar PLC programskog koda, a kod cilindra C vrše provjeru ispravnosti provrta. Cilindar D je jednoradni cilindar s povratnom oprugom koji zbog jednostavnosti obavljanja posla ne narušava dinamiku sustava i nije ga potrebno prigušiti u povratnom smjeru. Bitno je naglasiti da su svi cilindri opremljeni prigušnim ventilima, koji se nalaze na samim cilindrima (Slika 5), kako bi se izbjegla nepotrebna interakcija s drugim sirovinama, uvela mogućnost usporavanja rada sustava, smanjila buka samog proizvodnog pogona uslijed gibanja i ekspanzije zraka u atmosferu i uvela mogućnost nesmetanog rada uslijed pada tlaka zraka.

S obzirom na to da se radi o maketi i relativno malom sustavu koji radi s malim težinama, a kojemu je kao takvom potreban vrlo mali protok i neznatne količine zraka, sustav radi na minimalnih 3 do 5 bara (Slika 6).

Slika 6: Prikaz pripremljene stanice za zrak i radnog tlaka zraka od 5 bara



Izvor: Autor

Za upravljanje cilindrima A, B i C koriste se 5/2 razvodnici (Slika 7) upravljani elektroaktivacijom i povratnom oprugom prema pneumatskoj shemi spajanja sa Slike 8.

Slika 7: Prikaz razvodnika i aktivacija

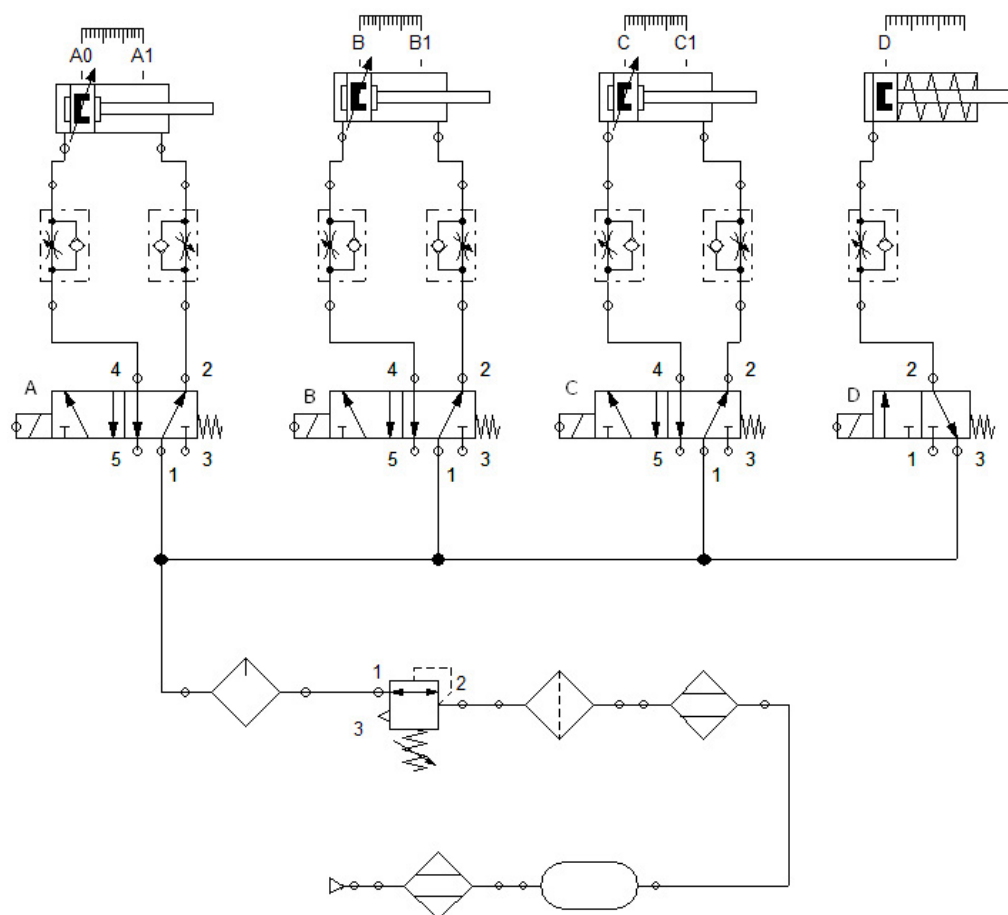


Izvor: Autor

Budući da je cilindar D jednoradni cilindar s povratnom oprugom, koristi se razvodnik 3/2 (Slika 7) upravljani elektroaktivacijom i povratnom oprugom.

Elektroaktivacija razvodnih ventila upravljana je od strane „Cybro“ PLC kontrolera. Programiranjem PLC kontrolera prema tablici adresa (Tablica 1) postavljeni su uvjeti u kojima cilindar A koji je opremljen dvama „reed“ sensorima (a0 i a1) (Slika 5) krene s izvlačenjem odnosno postupkom dostavljanja sirovine pred cilindar C.

Slika 8: Pneumatska shema spajanja



Izvor: Autor

Tablica 1: Prikaz tablice adresa

Tablica adresa			
Element/uređaj	Oznaka	Adresa	Funkcija-komentar
Sklopka Start	S1	Ix_02	Pokretanje cjelokupnog sustava
Reed senzor	a0	Ix_03	Očitava vrijednost potpuno uvučenog klipa
Reed senzor	a1	Ix_04	Očitava vrijednost potpuno izvučenog klipa
Reed senzor	b1	Ix_05	Očitava vrijednost potpuno izvučenog klipa
Reed senzor	c1	Ix_06	Očitava vrijednost potpuno izvučenog klipa, te uz pomoć dobivene vrijednosti vrši sortiranje
Relejna sklopka	Y1	Ix_07	Služi za komunikaciju između robota i sortirke
Razvodnik 5/2	A	Qx_00	Elektro aktivacija razvodnika (izvlačenje klipa)
Razvodnik 5/2	B	Qx_01	Elektro aktivacija razvodnika (izvlačenje klipa)
Razvodnik 5/2	C	Qx_02	Elektro aktivacija razvodnika (izvlačenje klipa)

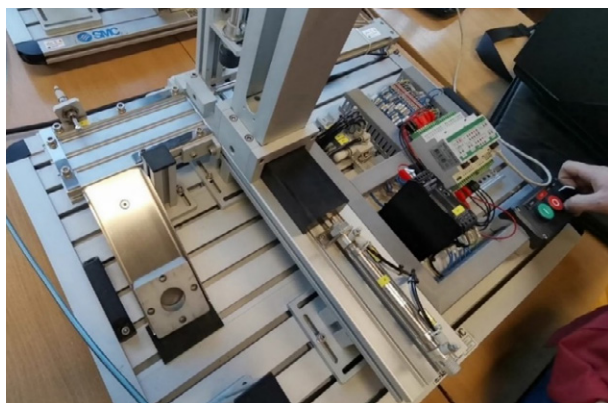
Tablica adresa

Element/uređaj	Oznaka	Adresa	Funkcija-komentar
Razvodnik 3/2	D	Qx_03	Elektro aktivacija razvodnika (izvlačenje klipa)
Relejna sklopka	Y2	Qx_04	Služi za komunikaciju između sortirke i robota
Tipkalo	I1	3	Pokretanje sustava nakon napunjene palete

Izvor: Autor

Nakon potpunog izvlačenja, „reed“ senzor a1 očitava stanje potpuno izvučenog klipa i započinje s izvlačenjem cilindra C kojemu je programski zadano vrijeme provjere provrta od 2 sekunde. Ako je provrt dovoljne dubine, što bi automatski značilo odgovarajuće veličine provrta, „reed“ senzor c1 na cilindru C očitava vrijednost potpuno izvučenog klipa.

Slika 9: Prikaz izbacivanja neispravnog provrta sa trake



Izvor: Autor

Očitavanjem te vrijednosti PLC započinje s operacijama uvlačenja klipa C i klipa A. Iz razloga što je cilindru A potrebna veća količina zraka i ima duži put koji treba prevaliti, idući uvjet postavljamo kada „reed“ senzor a0 na cilindru A očitava stanje potpuno uvučenog klipa. S tom spoznajom cilindar B kreće sa izvlačenjem i dopremom sirovine do mjesta odluke pred cilindar D gdje uz prethodno stanje

sa senzora c1 vrši odluku o sortiranju. Ako „reed“ senzor c1 nije očitao vrijednost, to daje do znanja cilindru D da izbaci predmet s trake (Slika 9), a u drugom slučaju šalje signal za relej y1 koji će dati do znanja robotu da krene s opcijom paletiziranja.

Nakon što robot završi posao paletiziranja, šalje signal na relej y2 koji će omogućiti PLC-u da nesmetano krene sa ponavljanjem procesa. Ako je sirovina samo izbačena s trake, program se automatski kreće izvršavati ponovo u beskonačnoj petlji.

Povezivanje komponenti na PLC prikazano je putem elektro sheme (Slika 10).

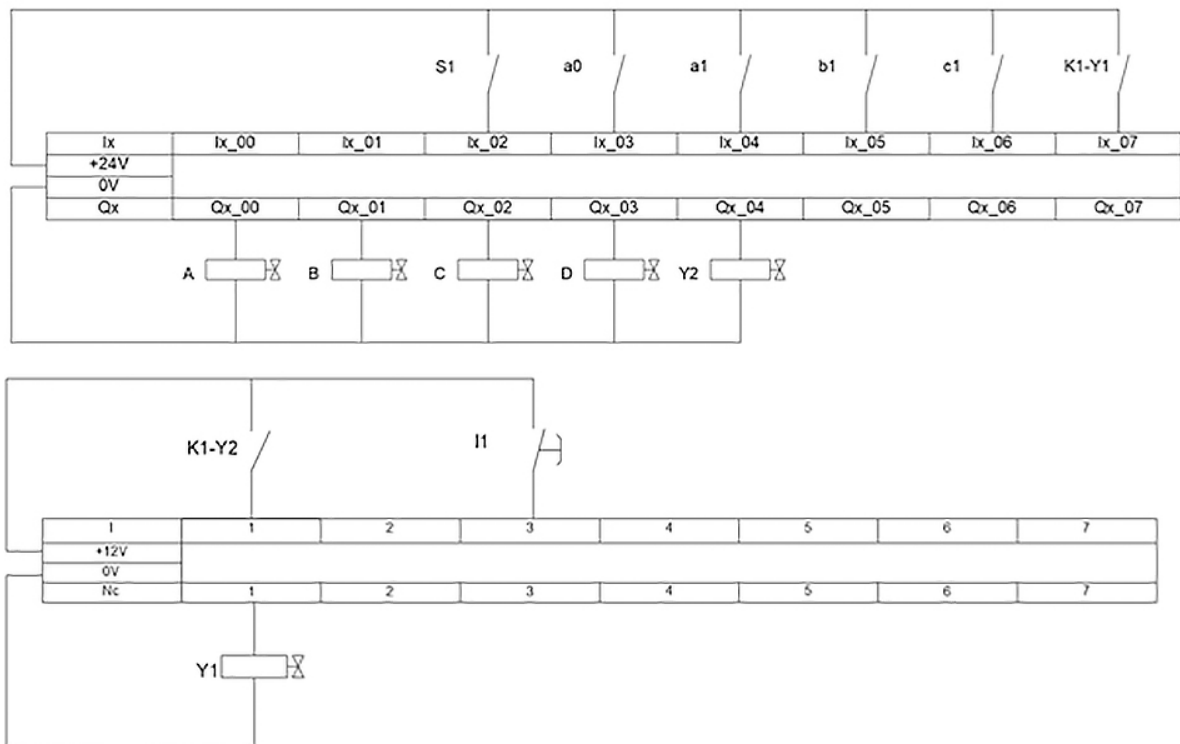
4.2. Postizanje dinamike kretanja robota prilikom paletiziranja

Programiranje robota vrši se programiranjem u programskom jeziku „RoboCell“ (Slika 11), a za potpuno uspostavljanje dinamike programirane u programskom jeziku podijeljeno je u dvije skupine:

- programiranje vođenjem,
- programiranje pomoću uređaja

Nakon osmišljene i programirane logike, radi mogućnosti pojave grešaka u samom kodu, najsigurnije je simulacijski provjeriti kod i osmisliti putanju kretanja robota. Programski jezik „RoboCell“ kompatibilan je s 3D grafičkim softverom „CellSetup“ (Slika 12), koji omogućuje stvarnu interakciju robota s okolinom.

Slika 10: Elektro shema spajanja komponenti

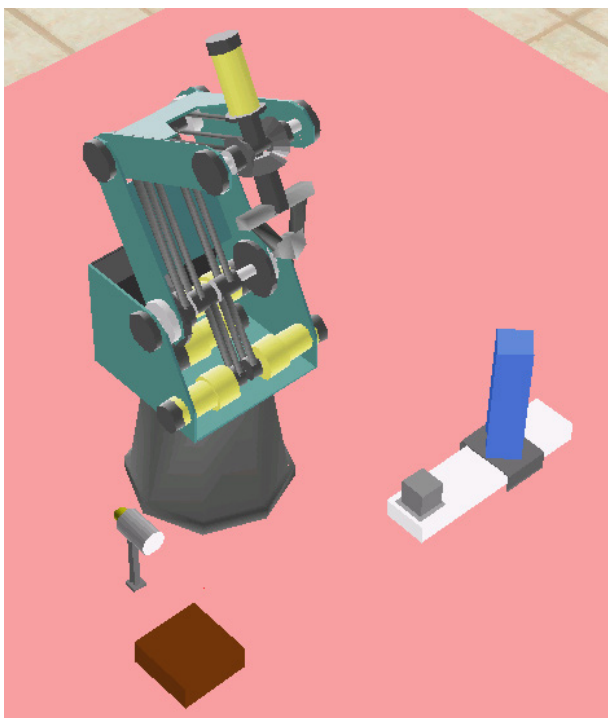


Izvor: Autor.

Slika 11: Prikaz koda programa iz programskog jezika RoboCell

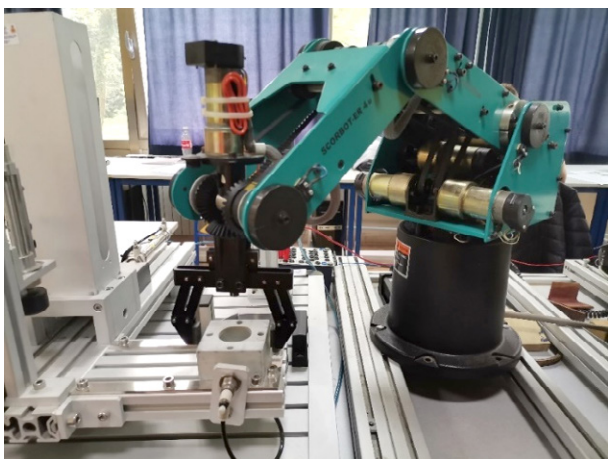
	26 3:
1 Set Variable I = 1	27 Go Linear to Position 98 Speed 5
2 CEKAJ:	28 Go Linear to Position 5 Speed 9
3 Wait 8 (10ths of seconds)	29 Open Gripper
4 If Input 1 On Jump to SLAGANJE	30 Jump to GOTOV
5 Jump to CEKAJ	31 4:
6 SLAGANJE:	32 Go Linear to Position 98 Speed 5
7 Turn On Output 1	33 Go Linear to Position 6 Speed 9
8 Open Gripper	34 Open Gripper
9 Go Linear to Position 1 Speed 9	35 GOTOV:
10 Close Gripper	36 Set Variable I = I+1
11 Go Linear to Position 2 Speed 9	37 Go Linear to Position 97 Speed 5
12 If I==1 Jump to 1	38 Go Linear to Position 99 Speed 9
13 If I==2 Jump to 2	39 If I==5 Jump to CEKAJ2
14 If I==3 Jump to 3	40 Turn Off Output 1
15 If I==4 Jump to 4	41 Jump to CEKAJ
16 1:	42 CEKAJ2:
17 Go Linear to Position 98 Speed 5	43 Wait 10 (10ths of seconds)
18 Go Linear to Position 3 Speed 9	44 Set Variable I = 1
19 Open Gripper	45 If Input 3 Off Jump to CEKAJ2
20 Jump to GOTOV	46 Turn Off Output 1
21 2:	47 Jump to CEKAJ
22 Go Linear to Position 98 Speed 5	48
23 Go Linear to Position 4 Speed 9	
24 Open Gripper	
25 Jump to GOTOV	

Izvor: Autor

Slika 12: Prikaz grafičkog softvera CellSetup

Izvor: Autor

Provjerom ispravnosti koda programa potrebno je izvršiti programiranje vođenjem u kojemu se robot ručno preko tipkovnice ili palice navodi na određene pozicije (Slika 13), kako bi se izbjegla neželjena interakcija robota i okoline koja se može pojaviti uslijed softverskog upisivanja koordinata.

Slika 13: Prikaz navođenja robotom na poziciju

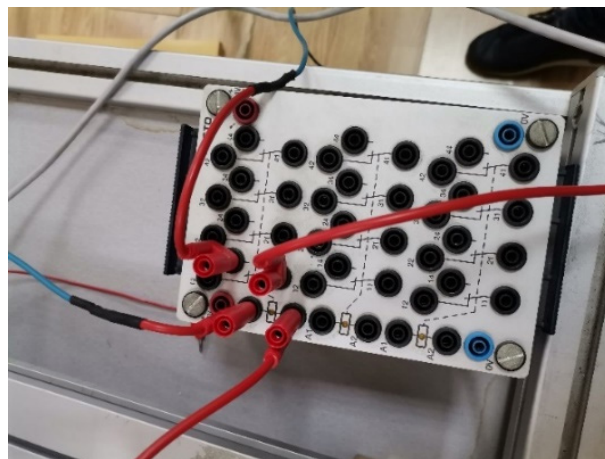
Izvor: Autor

Postavljanjem svih pozicija koje robot mora proći potrebno je uz visoki oprez pustiti kod programa i promatrati putanju gibanja odnosno samu dinamiku robota. Nakon obavljanja testa potrebno je povezati robotsku ruku sa sortirkom.

4.3. Idealno tehničko rješenje komunikacije dvaju različitih sustava

Za kvalitetan sustav koji će raditi bez problema potrebno je pronaći idealno ali i jednostavno tehničko rješenje koje će omogućiti nesmetan rad sustava. Tako je i u ovome slučaju, gdje se radi o dvije potpuno različite platforme „Cybro“ PLC sustava i „Intelitek“ robotske ruke Scorbaser 4u, koja se temelji na Siemensovoj tehnologiji. „Cybro“ PLC sustav radi na 24 V platformi i komunikaciju vrši putem Etherneta dok Intelitekova robotska ruka radi na 12 V platformi i komunikaciju vrši putem Profineta (Intelitek, 2021.).

Budući da se radi o dva različita proizvođača, komunikaciju je moguće uspostaviti dodatnim uređajima. Zbog manjka opreme i ograničenih financijskih mogućnosti bilo je potrebno uspostaviti komunikaciju kojom bi ova dva sustava uspješno radila i komunicirala. Rješenje je pronađeno preko dva releja gdje aktivaciju releja 1 vrši „Cybro“ PLC preko svoga izlaza qx_04. Aktiviranjem releja 1 uklapaju se kontakti na čiji je prvi kontakt doveden 12 voltni napon s Intelitekovog sustava, a drugi odvodni kontakt je spojen kao ulazni signal Intelitekovog sustava i kao takav predstavlja najobičniju vrstu tipkala prikazano na (Slika 14).

Slika 14: Prikaz spajanja releja 1

Izvor: Autor

Signal na ulazu daje robotu do znanja da zadovolji uvjete pokretanja programa i dodatno omogućiti obavljanje poslova na sortirnom sučelju. Komunikacija za sprječavanje obavljanja poslova na sortirnom sučelju odrađena je na identičan način, ali u ovome slučaju Intelitekov sustav vrši aktiviranje releja 2, a „Cybro“ PLC platforma vrši spajanje 24-voltnog sustava na kontakt releja i ulazno sučelje PLC kontrolera.

Praktičnim ispitivanjem i uglađivanjem parametara zaključeno je da je za komunikacije u oba smjera i iščitavanje dodatnih redova programa na obje platforme potrebno približno dvije sekunde. Uvrštavanjem tog podatka u programski kod kao zadržku signala smanjeno je nepotrebno procesorsko vrijeme konstantne obrade informacija, ali i rasipanje energije kroz releje.

5. Zaključak

Proizvodnja potpuno novih automatiziranih sustava izrazito je zahtjevna i skupa. Glavni razlog tome je smanjeni broj postojećih automatiziranih sustava i konstantno otkrivanje nove opreme koja može raditi brže, sigurnije i kvalitetnije. Zbog manjka financijskih sredstava poslodavci se odlučuju na djelomične automatizacije određenih dijelova pogona ili na modernizaciju postojećih strojeva. Najveći problem koji se javlja prilikom automatizacije zastarjelih sustava je postići da stari dijelovi pogona uspješno komuniciraju s novom opremom. Kod takvih sustava potrebno je pronaći idealna tehnička rješenja koja će biti financijski isplativa i koja će uspjeti zadržati sve potrebne tehničke standarde i omogućiti pravu kvalitetu izrade. Problemi automatizacije ne javljaju se samo prilikom modernizacije starih postrojenja, već i prilikom rada na

novim sustavima. Ako se u postrojenju nađu dva različita sustava, potrebno je pronaći komponente koje će omogućiti idealnu komunikaciju i rad tih sustava. Brojni automatizirani sustavi zahtijevaju vrlo brze odzive na pojave ulaznih signala, što je puno jednostavnije izvesti pomoću PLC kontrolera nego sa zastarjelim složenim sustavima pomoću upravljanja relejima.

Budući da se prilikom sortiranja najčešće koriste PLC uređaji, na način da se pomoću senzora za očitavanje mase, dimenzija, volumena, boje i sl., preko zadanog upravljačkog programa vrši sortiranje ovisno o dobivenim i zadanim mjerama, u ovom radu prikazano je kako uspostaviti komunikaciju između dvije potpuno različite platforme „Cybro“ PLC sustava i „Intelitek“ robotske ruke Scorbaser 4u. Rješenje putem dodatna dva releja pokazalo se veoma učinkovito.

Literatura

- Intelitek, (bez dat. a) Preuzeto s: <https://intelitek.com/scorbot-er-4u-educational-robot/>, 2. 1. 2021.
- The Old Robots, Preuzeto s: <http://www.theoldrobots.com/book45/ER4u.pdf>, 2. 1. 2021.
- Kovačić, Z., Bogdan, S., i Krajči, V. (2002). *Osnove robotike*. Graphis Zagreb
- Malčić, G., Maršić, D. (2020). *Simatic S7 Programirajivi logički kontroleri*, TVZ Zagreb
- Ravlić, V. (2004). *Automatika za elektrotehničke škole*, Zagreb
- Šurina, T., Crneković, M. (1990). *Industrijski roboti*, Školska knjiga Zagreb
- Intelitek, (bez dat. b) Preuzeto s: https://www.intelitek.com/resources/pdf/35-1005-8600_DS_HW_SCORBOT-ER4u_Ver%20K.pdf, 2. 1. 2021.

Abstract

With the development of technology and the increased desire to learn and reduce physical labour in production facilities and everyday life, there is a desire to introduce automated and robotic systems in production. Numerous automated systems require a very fast response to the occurrence of input signals which is much easier to perform using a PLC controller than with outdated complex systems using relay control. Designing this automated system includes selecting parts, using different material processing procedures, merging different types of schemes, designing layouts, writing and simulating the program code in "CyPro" and "RoboCel" programming languages, and solving the problems of movement and sorting of certain parts. In practice, there are often examples of automation of old systems whose projects are financially limited. For a quality system that will work without problems, it is necessary to find an ideal or simple technical solution that will enable the smooth operation of the system. Thus, in this case as well, where there are two completely different platforms of the "Cybro" PLC system and the "Intelitek" robotic arm Scorbase er 4u based on the Siemens technology, they are united in a functional whole for the purpose of palletizing.

Keywords: Cybro PLC, Intelitek, Scorbase, palletizing