

Sustav upravljanja skladištem na laboratorijskoj maketi tvornice Industrija 4.0

Vujević, Stipe

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:035401>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 107

**SUSTAV UPRAVLJANJA SKLADIŠTEM NA
LABORATORIJSKOJ MAKETI TVORNICE INDUSTRIJA 4.0**

Stipe Vujević

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 107

**SUSTAV UPRAVLJANJA SKLADIŠTEM NA
LABORATORIJSKOJ MAKETI TVORNICE INDUSTRIJA 4.0**

Stipe Vujević

Zagreb, lipanj 2024.

DIPLOMSKI ZADATAK br. 107

Pristupnik: **Stipe Vujević (0036524323)**
Studij: Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Profil: Elektrostrojarstvo i automatizacija
Mentor: prof. dr. sc. Igor Erceg

Zadatak: **Sustav upravljanja skladištem na laboratorijskoj maketi tvornice Industrija 4.0**

Opis zadatka:

U radu je potrebno proučiti način rada i specifikacije laboratorijske makete tvornice Industrija 4.0. Na temelju specifikacija dati idejno rješenje upravljačkog i nadzornog sustava skladišta na laboratorijskoj maketi tvornice Industrija 4.0. Izraditi program automatskog upravljanja skladišta te izraditi sustav nadzora i arhiviranja događaja u svrhu lakšeg održavanja. Izraditi vizualizacijsko sučelje sustava nadzora i upravljanja skladištem.

Rok za predaju rada: 28. lipnja 2024.

Sadržaj

1. Uvod	3
2. Specifikacije i opis laboratorijske makete tvornice	5
2.1. Komunikacijska mreža i kontrola procesa	8
2.2. Postrojenje skladišta	8
3. Upravljački sustava postrojenja skladišta na laboratorijskoj maketi tvornice	12
3.1. Pomicanje ruke u vertikalnoj i horizontalnoj osi	12
3.2. Dostavljanje paleta na isporuku ili preuzimanje	13
3.3. Određivanje pozicije za spremanje radnog komada	14
3.4. Određivanje pozicije za uzimanje radnog komada	15
3.5. Određivanje pozicije za zamjenu radnih komada	16
3.6. Zamjena paleta	19
3.7. Podaci o stanju skladišta	20
3.8. Vraćanje u početni položaj	21
3.9. Pozadinski procesi	22
3.10. Povezivanje funkcijskih blokova i funkcija	23
4. Vizualizacijsko sučelje sustava nadzora i upravljanja postrojenjem skladišta	25
4.1. Naručivanje radnog komada	27
4.2. Spremanje radnog komada	28
4.3. Upravljanje s greškama	30
5. Ispitivanje postrojenja skladišta	31

5.1. Ispitivanje naručivanja radnog komada	31
5.2. Ispitivanje spremanja radnog komada	32
5.3. Ispitivanje u slučaju nestanka napajanje i greške	32
6. Zaključak	34
Literatura	36
Sažetak	37
Abstract	38

1. Uvod

Industrija 4.0 označava četvrtu industrijsku revoluciju koja donosi temeljne promjene u načinu na koji tvornice i skladišta funkcioniraju, integrirajući digitalne tehnologije i automatizaciju u sve aspekte proizvodnje i logistike. Ovaj koncept obuhvaća korištenje interneta stvari i pametnih uređaja kako bi se postigla veća fleksibilnost, učinkovitost i produktivnost.

Jedan od ključnih elemenata Industrije 4.0 je upravljanje skladištem, koje postaje sve kompleksnije i zahtjevnije s porastom razine automatizacije i povezanosti sustava. Tradicionalni pristupi upravljanju skladištem više nisu dovoljni za rješavanje suvremenih izazova kao što su optimizacija prostora, brzina obrade narudžbi i praćenje inventara u stvarnom vremenu. Stoga se razvijaju napredni sustavi upravljanja koji koriste nove tehnologije kako bi omogućili inteligentno i učinkovito upravljanje zalihama i operacijama skladišta.

Diplomski rad bavi se razvojem i implementacijom sustava upravljanja skladištem na laboratorijskoj maketi tvornice u okviru koncepta Industrija 4.0. Kroz ovaj rad istražuje se kako se teorijski principi i tehnologije Industrije 4.0 mogu primijeniti u stvaranju funkcionalnog i inteligentnog skladišnog sustava na manjoj skali, koja vjerno simulira stvarne uvjete rada u modernim proizvodnim pogonima. Laboratorijska maketa tvornice služi kao eksperimentalna platforma za testiranje i evaluaciju različitih aspekata sustava, uključujući automatizaciju procesa, integraciju senzora i aktuatora, te korištenje softverskih rješenja za upravljanje i optimizaciju skladišnih operacija.

U prvom dijelu rada opisuju se tehničke specifikacije i funkcionalnosti laboratorijske makete tvornice koja simulira stvarne uvjete rada u modernim proizvodnim pogonima. Obuhvaća komunikacijsku mrežu, kontrolu procesa i detaljan opis skladišnog postroje-

nja.

U trećem poglavlju detaljno se opisuje upravljački sustav skladišta, uključujući pomicanje ruke u vertikalnoj i horizontalnoj osi, dostavljanje paleta, određivanje pozicija za spremanje i uzimanje radnih komada, zamjenu paleta, te vraćanje u početni položaj. Također, objašnjavaju se pozadinski procesi i povezivanje funkcijskih blokova i funkcija.

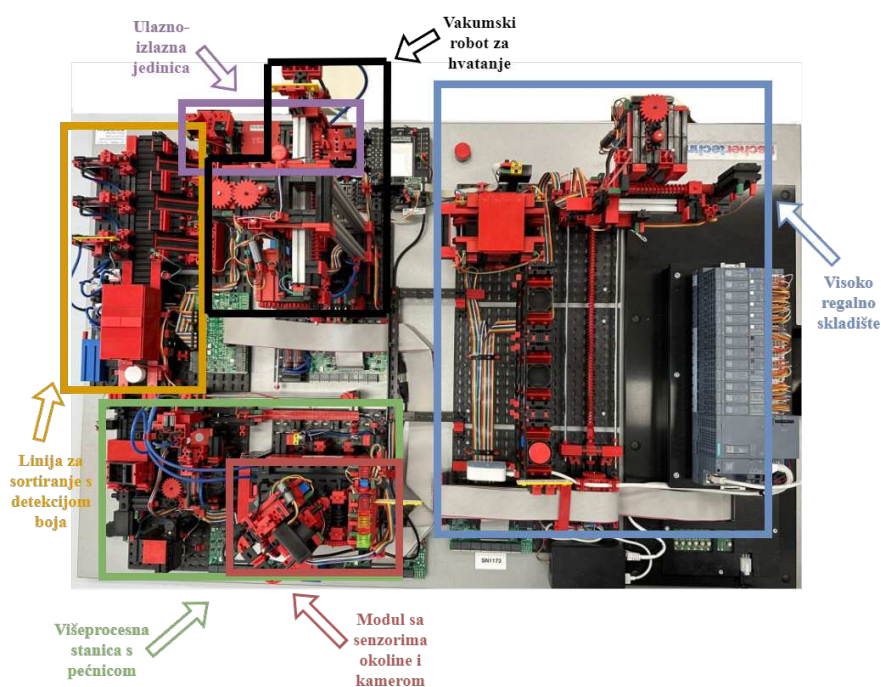
Četvrto poglavlje se fokusira na razvoj i implementaciju vizualizacijskog sučelja koje omogućuje nadzor i upravljanje skladištem. Opisuje naručivanje radnog komada, spremanje radnog komada te upravljanje greškama.

Zadnje poglavlje posvećeno je ispitivanju funkcionalnosti skladišta obuhvaća ispitivanje naručivanja radnog komada, spremanja radnog komada te testiranje sustava u slučaju nestanka napajanja i grešaka.

2. Specifikacije i opis laboratorijske makete tvornice

Na slici 2.1. prikazana je maketa tvornice Fischertechnik Industrija 4.0. koja se osim postrojenja skladišta sastoji i od sljedećih modula:

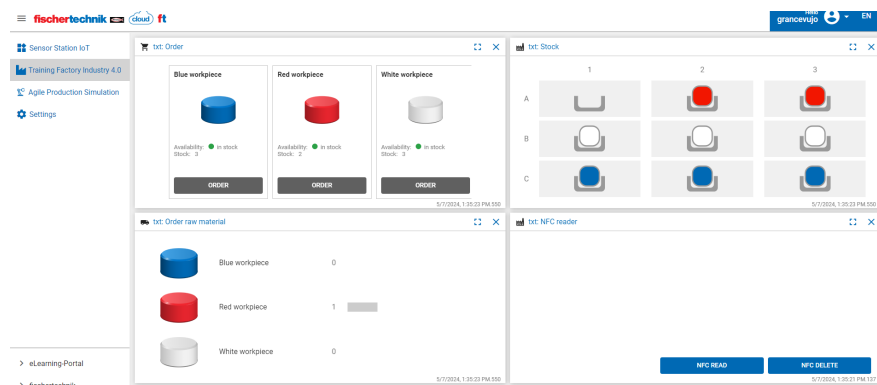
- ulazno-izlazna jedinica,
- vakuumski robot za hvatanje,
- višeprocena stanica s pećnicom,
- linija za sortiranje s detekcijom boja,
- modul sa senzorima okoline i kamerom



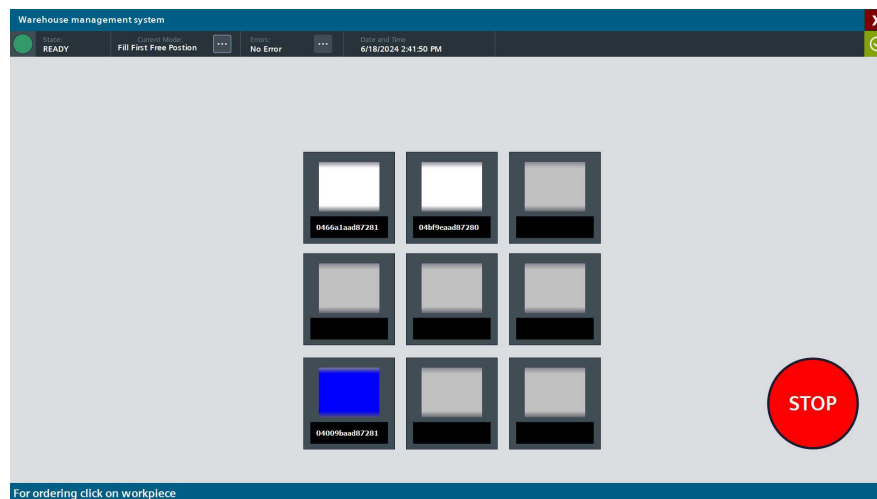
Slika 2.1. Tvrnica za obuku, Fischertechnik Industrija 4.0

Upravljanje maketom cijele tvornice moguće je nakon prijave na Fischertechnik oblak preko kontrolnog panela (slika 2.2.). Postrojenje skladišta može se zasebno upravljati po-

moću vizualizacijskog sučelja napravljenog u sklopu ovog rada (slika 2.3.).



Slika 2.2. Kontrolni panel na Fischertechnik oblaku



Slika 2.3. Vizualizacijsko sučelje

Na Fischertechnik kontrolnom panelu prikazuje se stanje skladišta i količina svakog radnog komada koji je dostupan za isporuku. Radni komadi su plastični cilindri u tri boje s NFC čipom (slika 2.4.) i predstavljaju materijal koji se koristi u tvornici. Svaki radni komad definiran je bojom, jedinstvenim ID brojem i statusom koji može biti obrađen ili neobrađen.



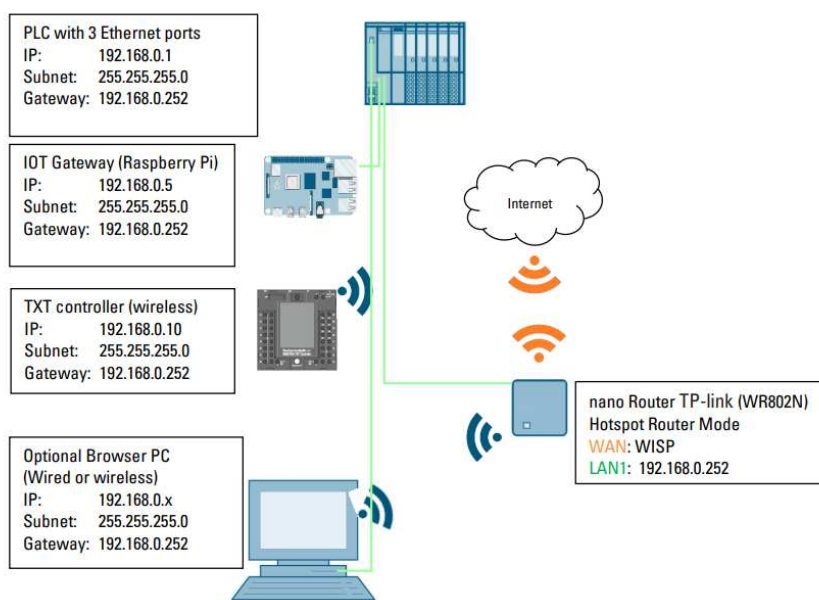
Slika 2.4. Radni komadi

U skladište je moguće spremati neobrađene radne komade naručivanjem od dobavljača. Kada je radni komad naručen dobavljač ga stavlja u ulazno-izlaznu jedinicu. Vakuumski robot ga uzima s ulazno-izlazne jedinice, te mu se očitana boja i status upisuju u NFC čip. U međuvremenu skladište isporučuje praznu paletu u koju vakuumski robot stavlja radni komad. Nakon što skladište vrati paletu s radnim komadom nazad na policu na kontrolnoj ploči je vidljiv taj radni komad.

Kad skladište nije prazno kupac može naručiti obrađeni radni komad pomoću kontrolnog panela. Proces dostave započinje sa skladištem, čija ruka uzima paletu sa željenim radnim komadom s police i dostavlja je vakuumskom robotu. Vakuumski robot uzima radni komad i šalje ga na obradu u višeprocensnu stanicu s pećnicom, komad nakon obrade prolazi kroz liniju za sortiranje. Nakon što je komad sortiran po boji vakuumski robot ga stavlja na ulazno-izlaznu jedinicu. Kontrolni panel prikazuje stanje svakog modula zasebno, zeleno ako je u stanju pripravnosti, žuto ako modul radi i crveno ako je došlo do greške. Pomoću ugrađenih senzora na panelu su vidljive: vanjska temperatura, tlak, kvaliteta i vlažnost zraka kao i svjetlina. Cijeli proces moguće je pratiti i pomoću ugrađene kamere.

2.1. Komunikacijska mreža i kontrola procesa

U komunikacijsku mrežu tvornice (slika 2.5.) ethernet kabelom povezani su: ruter, TXT kontroler, PLC i Raspberry Pi. Maketa je pomoću nano rutera TP link u WISP modu i TXT kontrolera, koji služi kao pristupnik, povezana na internet. PLC koji sadrži kontrolu procesa za cijelu maketu koristi nestandardno MQTT sučelje stoga je za komunikaciju između TXT kontrolera i PLC-a potreban IoT-Gateway. Raspberry Pi s okruženjem Node-RED služi kao adapter za MQTT a, PLC djeluje kao poslužitelj koji pruža podatke potrebne IoT Gatewayu putem OPC/UA standardnog sučelja u lokalnoj mreži. IoT Gateway zatim prosljeđuje poruke TXT kontroleru.



Slika 2.5. Komunikacijska mreža tvornice

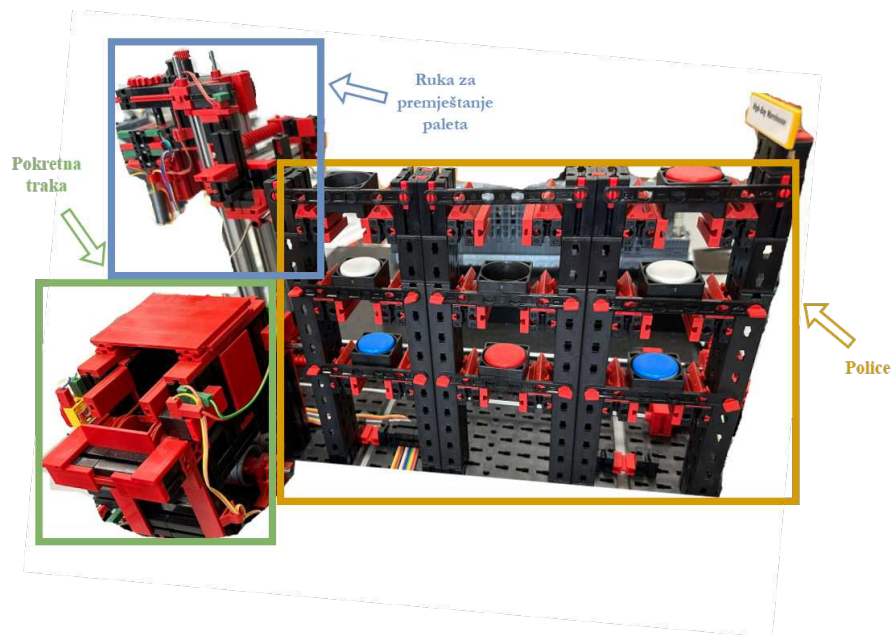
Izvor: Fischertechnik. Didactic materials training factory industry 4.0., <https://www.fischertechnik.de/en/industry-and-universities/technical-documents/simulate/lernfabrik-4-0-24v> [1]

Maketa tvornice koristi Siemens SIMATIC S7-1500 PLC s četiri modula s digitalnim ulazima i jedan s analognim ulazima. Dok su izlazi spojeni na šest digitalnih modula. Programaska logika napravljena je u TIA Portal V18 programskom okruženju.

2.2. Postrojenje skladišta

Postrojenje skladišta (slika 2.6.) sastoji se od: police, ruke za premještanje paleta i pokretne trake. Na policama se nalazi devet paleta, posloženih u tri reda i tri stupca, u

kojima se nalaze radni komadi. Ruka za premještanje paleta se može uvlačiti i izvlačiti, te pomicati u vertikalnoj i horizontalnoj osi (slika 2.7.).



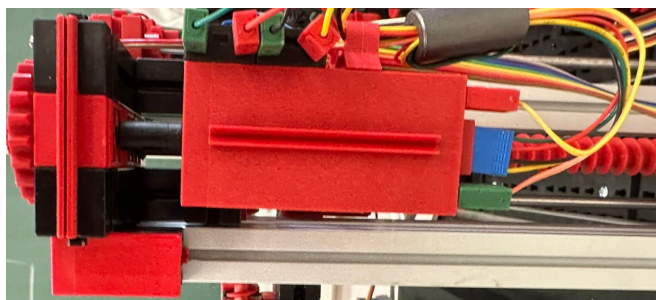
Slika 2.6. Postrojenje skladišta



Slika 2.7. Načini pomicanja ruke za premještanje paleta

Pomicanje ruke u vertikalnoj i horizontalnoj osi omogućeno je pomoću navojnog vretena i motora s enkoderom (slika 2.8.).

Podatci o motoru nalaze se u tablici 2.1. Položaj rotora određuje se pomoću Hallovih senzora. Brojanjem impulsa s Hallovih senzora određuje se brzina vrtnje rotora, svaka tri impulsa su jedna okret. Budući da su impulsi indeksirani moguće je odrediti i smjer vrtnje. Pokretna traka pokreće se istim motorom s enkoderom.



Slika 2.8. Motor s enkoderom

Tablica 2.1. Motor s enkoderom

Fischertechnik motor s enkoderom	
Tip motora	Istosmjerni s permanentnim magnetima
Napon	24 V
Maksimalna struja	320 mA
Maksimalna snaga	2.03 W
Prijenosni omjer reduktora	25:1

Uvlačenje i izvlačenje ruke također je omogućeno pomoću navojnog vretena i motora (tablica 2.2. Budući da ruka u ovoj osi treba biti ili skroz uvučena ili skroz izvučena tj. nije potrebna točna pozicija, ne koristiti se enkoder. Za određivanje pozicije koriste se kontakti senzori u krajnjim točkama. Kontaktni senzori se koriste i s motorima s enkoderom, ali samo za određivanje početnog položaja.

Tablica 2.2. Motor bez enkoderom

Fischertechnik S motor	
Tip motora	Istosmjerni s permanentnim magnetima
Napon	24 V
Maksimalna struja	300 mA
Maksimalni moment	5 mN
Prijenosni omjer reduktora	64.8:1

Glavna funkcija postrojenja, osim skladištenja paleta, je dostavljanje paleta vakuumskom robotu. Dostava paleta započinje s rukom za premještanje paleta koja uzima paletu s police i stavlja je na pokretnu traku. Pokretna traka se tad aktivira i premješta paletu u položaj za preuzimanje/isporku radnog komada. Ruka za premještanje paleta i pokretna traka sad čekaju da vakuumski robot ostavi ili uzme radni komad s palete. Proces se zatim odvija u nazad, pokretna traka vraća nazad paletu te se paleta vraća na policu.

Radni komadi se mogu pohranjivati na dinamički ili statički način. Dinamički način je bez fiksnog rasporeda, osiguravajući efikasnost putanja. Sustav pamti položaj radnog

komada za jednostavno upravljanje. Koristi se automatizirana identifikacija putem NFC čipova. Statički način pohranjivanja određuje mjesto skladištenja prema boji radnog komada po redovima ili po stupcima. U slučaju kad je red ili stupac pun skladište će se presložiti i napraviti mjesto za novi radni komad.

3. Upravljački sustava postrojenja skladišta na laboratorijskoj ma- keti tvornice

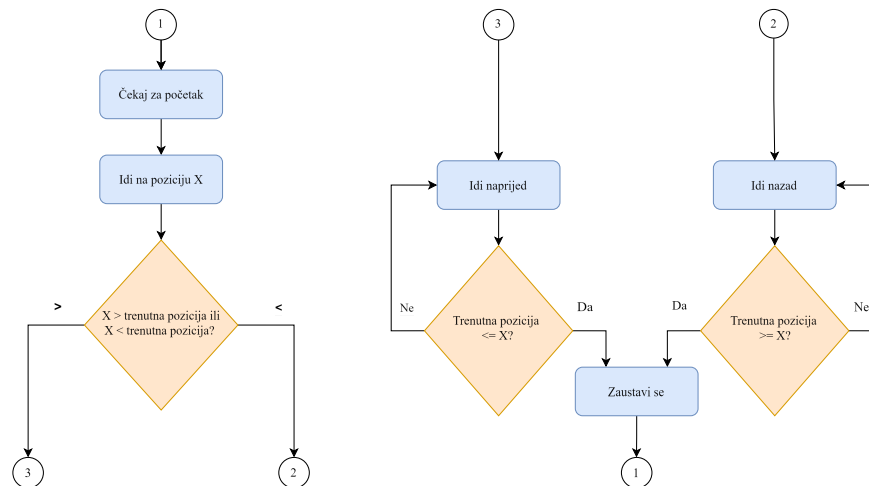
Upravljački sustava postrojenja sačinjen je od više funkcijskih blokova i funkcija. Funkcijskih blokovi su napravljeni u GRAPH-u i u njima su programirane sekvencijalne naredbe kao što su uvlačenje ili izvlačenje ruke za pomicanje paleta ili pokretanje trake naprijed ili nazad. Funkcije koje su pisane u SCL-u se koriste na mjestima gdje nije praktično koristi GRAPH (npr. određivanje s koje pozicije je potrebno uzeti paletu ili upisivanje podatka o stanju postrojenja).

Upravljački sustava je opisan u sljedećim potpoglavljima od jednostavnijih funkcijskih blokova i funkcija prema složenijima. Na kraju je objašnjeno na koji su način međusobno povezani.

3.1. Pomicanje ruke u vertikalnoj i horizontalnoj osi

Pomicanje ruke za premještanje paleta u vertikalnoj i horizontalnoj osi odvija se pomoću motora s enkoderom i navojnog vretena. Enkoder na svoje izlaze daje samo impulse, iz tih impulsa Fischertechnik-ova funkcija izračunava broj koji određuje poziciju vertikalne ili horizontalne osi. Funkcijski blokovi HBW Axis Horizontal i HBW Axis Vertical pomiču ruku u horizontalnu odnosno vertikalnu osi na željenu poziciju. Dijagram toka procesa koji se odvija u HBW Axis Horizontal je prikazan na slici 3.1. U prvom koraku funkcijskog bloka HBW Axis Horizontal se čeka na rastući brid. Nakon brida ovisno o tome je li tražena pozicija veća ili manja od trenutne pozicije na ulaz motora šalje se naredba za pomicanje naprijed ili nazad. Ruka će se pomicati naprijed ako je tražena pozicija veća od trenutne pozicije sve dok trenutna pozicija ne postane manja ili jednaka traženoj poziciji. Nakon toga ruka se zaustavlja, postavlja se varijabla koja označava da

je ruka na traženoj poziciji i čeka se rastući brid za ponovo pokretanje. U slučaju kad je tražena pozicija manja od trenutne ruka će se pomicati prema nazad sve dok trenutna pozicija ne bude veća ili jednaka traženoj. Dalje se proces odvija jednako kao i za pomicanje naprijed. Ruka se neće pomicati nazad ako je aktivan senzor za referentni položaj jer to znači da se ruka već nalazi maksimalno nazad. Ruka se isto tako neće pomicati naprijed ako je zadana pozicija veća od maksimalne moguće pozicije. Funkcijski blok HBW Axis Vertical je identičan samo što on pomiče ruku gore i dolje.



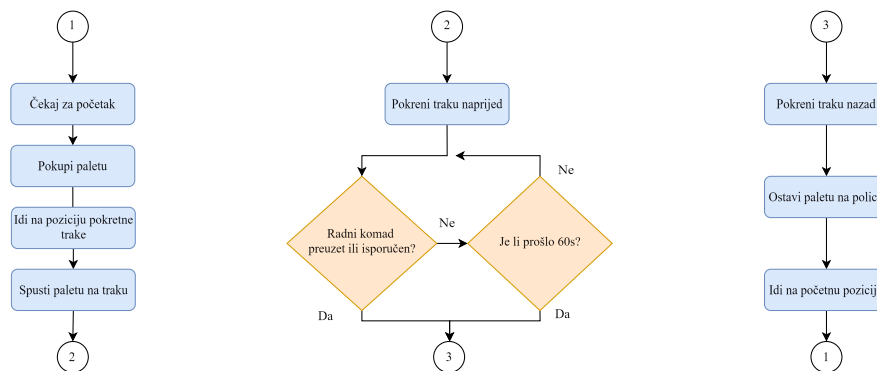
Slika 3.1. Dijagram toka funkcijskog bloka HBW Axis Horizontal

3.2. Dostavljanje paleta na isporuku ili preuzimanje

Programska logika uzimanja palete s polica skladišta i dostavljanja na isporuku ili preuzimanje, te vraćanja palete nazad određena je funkcijskim blokom HBW Rack. Detaljan prikaz toka procesa prikazan je u dijagramu toka na slici 3.2. Proces započinje rastućim bridom, nakon brida u funkcijske blokove HBW Axis Horizontal i HBW Axis Vertical se prosljeđuju pozicije na koje ruka za premještanje paleta mora doći. Poziciju na kojoj se nalazi palete koju je potrebno uzeti određuje funkcija Find Free Position ako se radi o preuzimanju ili Find Workpiece ako se radi o isporuci radnog komada. Nakon što su pozicije prosljeđene u funkcijske blokove postavljaju se rastući bridovi za te blokove, postavlja se varijabla koja označava da postrojenje radi i na modulu sa senzorima okoline svijetli žuta lampica. Kad ruka dođe na traženu poziciju, ruka se izvlači. Ruka se sad nalazi točno ispod palete, te se zatim pomoću bloka HBW Axis Vertical ruka pomiče malo prema gore kako bi uzela paletu s police skladišta. Ruka se uvlači nazad i transportira paletu prema pokretnoj traci ponovo koristeći HBW Axis Horizontal i HBW Axis

Vertical. Spuštajući se na pokretnu traku paleta prekida svjetlosnu barijeru, te se traka pokreće unaprijed dok se ne prekine svjetlosna barijera s druge strane.

Vakuumska ruka je u međuvremenu došla na poziciju iznad pokretne trake gdje se sad nalazi i paleta. Paleta je sad dostupna i vakuumaska ruka će isporučiti ili preuzeti radni komad. Nakon uspješnog isporučivanja ili preuzimanja traka se pokreće u nazad. Kad paleta stoji na mjestu za isporuku/preuzimanje duže od 60 s, bez da se dogodila isporuka ili preuzimanje, traka se isto pokreće u nazad. Paleta ponovo prekida svjetlosnu barijeru, te se traka zaustavlja, a ruka preuzima paletu. Nakon što je paleta preuzeta na isti način kao i prije, paleta se pozicionira iznad svog mjesta i spuštanjem ruke ostavlja tamo. Nakon što je ostavila paletu na polici ruka se vraća u svoj početni položaj, status postrojenja postavlja se u stanje pripravnosti i lampica na modulu sa sensorima svijetli zeleno. Na novi rastući brid proces se ponavlja.



Slika 3.2. Dijagram toka funkcijskog bloka HBW Rack

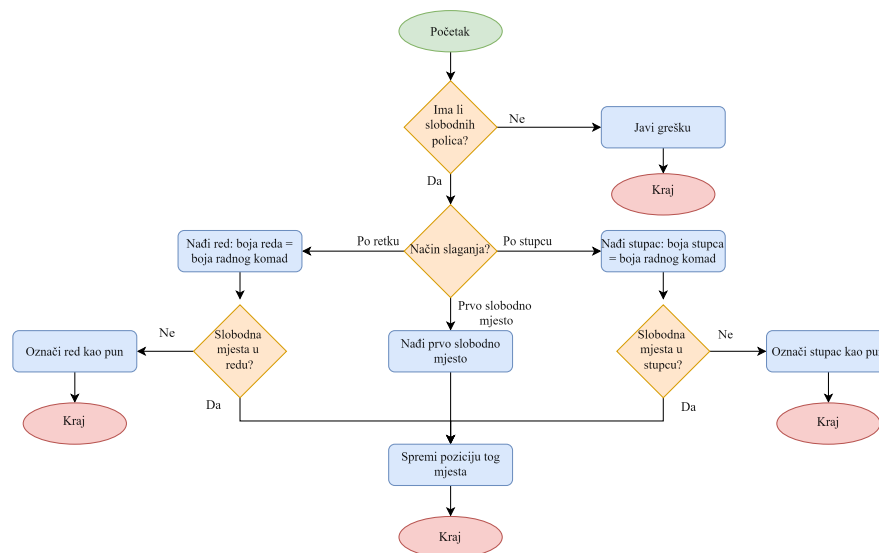
3.3. Određivanje pozicije za spremanje radnog komada

Prilikom punjenja postrojenja skladišta s novim radnim komadima korisnik preko vizualizacijskog sučelja može odabrati hoće li se radni komad skladištiti: na prvo slobodno mjesto, po bojama u redove ili po bojama u stupce. Funkcija Find Free Position ovisno o odabiru korisnika određuje poziciju na koju se sprema radni komad. Dijagram toka funkcije prikazan je na slici 3.3. Funkcija prvo prolazi kroz sve police skladišta i provjerava ima li slobodnih mjesta, ako nema skladište javlja grešku i proces se zaustavlja.

Ukoliko postoje slobodna mjesta na policama i korisnik je odabrao opciju punjenja po redovima, traži se prva slobodna pozicija u redu čija se boja poklapa s bojom radnog komada. Boju redova određuje korisnik u upravljačkom panelu, a boja radnog komada

očitava se na ulazno-izlaznoj jedinici kad vakuumska ruka postavi radni komad iznad senzora boje. Pronalaženjem slobodnog mjesta u tom redu pozicija tog mjesta se sprema i s te pozicije funkcijski blok HBW Rack kasnije uzima paletu. U slučaju da nema slobodnog mjesta u redu red se označava kao pun. Proces je jednak i kad se stupci pune po bojama. Nakon izvođenja funkcije Find Free Position ako je red ili stupac označen kao pun, funkcija Switch Position će odrediti koje palete je potrebno zamijeniti kako bi radni komad mogao doći u željeni red ili stupac.

Kad je odabrana opcija punjenja na prvu slobodnu poziciju funkcija redom prolazi kroz sva mjesta na policama dok ne nađe slobodno mjesto s kojeg će se uzeti slobodna paleta.



Slika 3.3. Dijagram toka funkcije Find Free Position

3.4. Određivanje pozicije za uzimanje radnog komada

Korisnik može naručiti radni komad na dva načina preko kontrolnog panela na Fischertechnik oblaku ili preko vizualizacijskog sučelja za upravljanje postrojenjem. Naručivanjem radnog komada preko Fischertechnik oblaka korisnik može birati samo boju radnog komada. Funkcija Find Workpiece tada prolazi redom kroz sve radne komade u skladištu te boje i odabire radni komad koji je najbliži ruci za premještanje paleta. Pozicija tog radnog komada se sprema i funkcijski blok HBW Rack s te pozicije kasnije uzima paletu.

Naručivanjem radnog komada preko vizualizacijskog sučelja za upravljanje skladi-

štem korisnik može naručiti bilo koji radni komad koji se nalazi u skladištu. Funkcija Find Workpiece tada sprema poziciju tog komada za HBW Rack.

3.5. Određivanje pozicije za zamjenu radnih komada

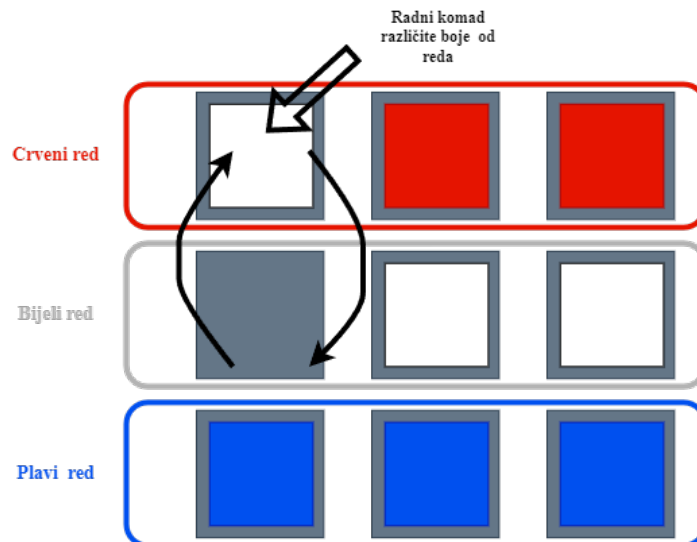
U slučaju kada je funkcija Find Free Position red ili stupac označila kao pun, funkcija Switch Postion će odrediti pozicije paleta koje trebaju zamijeniti mjesta kako bi boja radnog komad bila jednaka boji reda ili stupca. Način rada funkcije Switch Postion objašnjen je u slučaju kada se radni komadi spremaju u redove, ali proces je jednak i za stupce. Dijagram toka procesa prikazan je na slici 3.8. .

Funkcija Find Free Position je provjerila ima li u skladištu slobodnih mjesta stoga funkcija Switch Postion podrazumijeva da postoji barem jedno slobodno mjesto. Funkcija prvo u redu koji je jednake boje kao i radni komad koji se dostavlja, traži prvi radni komad koji je različite boje od boje tog reda. Kad je stanje skladište kao na slici 3.4. a, radni komad koji se dostavlja je crvene boje njega je potrebno spremati u prvi red. Budući da je red pun funkcija je pronašla prvi radni komad koji nije crven i njegova pozicija se sprema.

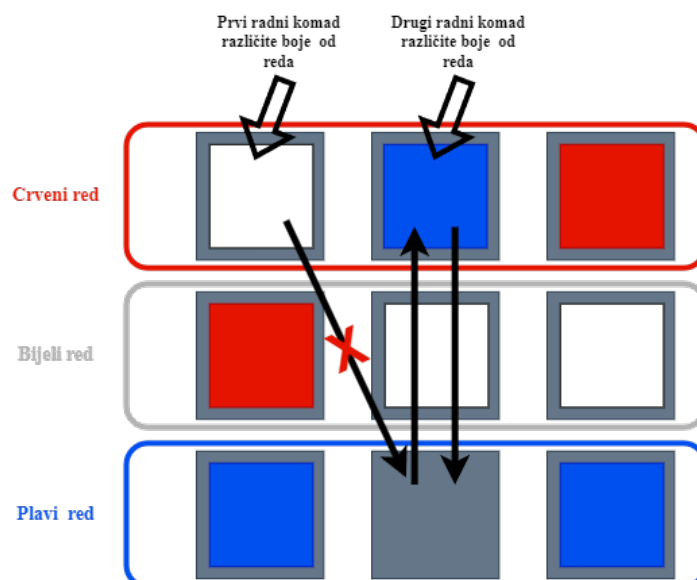
Ukoliko funkcija ne može naći različitu boju u redu znači da je taj red pun radnih komada iste boje i funkcija javlja grešku budući da više nije moguće radni komad spremati na pravo mjesto zamjenom. Nakon što je određena pozicija prvog radnog komada potrebno je pronaći slobodnu paletu u redu čija se boja poklapa s bojom prvog radnog komada. U slučaju sa slike 3.4. ta se paleta nalazi na poziciji odmah ispod prvog radnog komada i ta pozicija se sprema. Funkcijski blok HBW Switch će zamijeniti paletu s prve pozicije na drugu i tada će drugi red biti cijeli bijeli, a prvi red će imati slobodno mjesto za crveni radni komad koji se dostavlja.

Ako se prvi radni komad različite boje ne može spremati na mjesto s praznom pozicijom kao na slici 3.5., funkcija traži sljedeći radni komad u tom redu različite boje. U ovom slučaju je to radni komad plave boje i funkcija sprema njegovu poziciju i poziciju slobodnog mjesta s kojim će se zamijeniti.

Kad funkcija prođe kroz sve komade različite boje u redu u koji se treba dostaviti radni komad i dalje ne može naći slobodno mjesto za njega, kao na slici 3.6., potrebno je



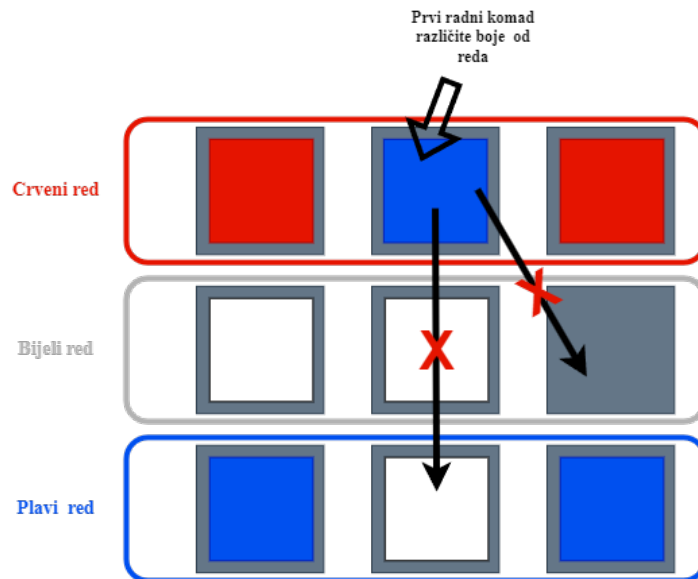
Slika 3.4. Prikaz skladišta prvi slučaj



Slika 3.5. Prikaz skladišta drugi slučaj

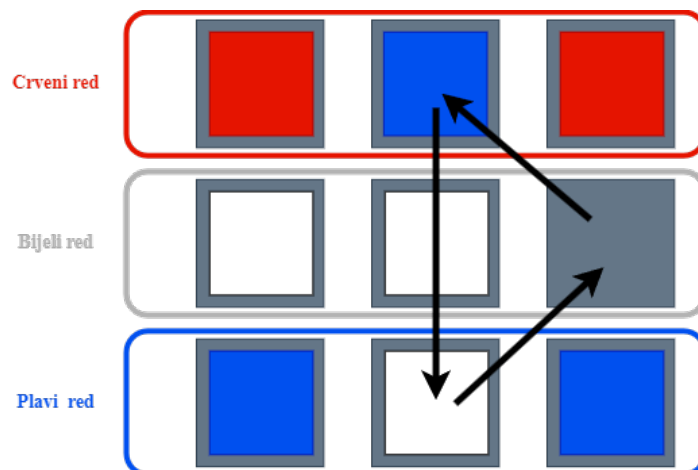
napraviti dvije zamjene. U prvom redu je potrebno napraviti mjesto budući da je radni komad koji se dostavlja crveni što znači da je iz njega potrebno maknuti plavi komad. Plavi komad bi trebao ići u zadnji red jer je to plavi red, ali ne može jer je tamo već bijeli, a ne može ići na prazno mjesto jer se ono nalazi u bijelom redu.

Određivanje pozicije za dvije zamjene koji su potrebne u ovom slučaju (slika 3.7.) počinje pronalaženjem komada koji je različite boje od boje reda u koji se dostavlja. U ovom slučaju to je plavi komad i njegova pozicija se sprema. Sljedeće se pronalazi pozicija sa slobodnom paletom, a to je zadnje mjesto u bijelom redu. Za pronalaženje zadnje pozicije funkcija prolazi kroz sve radne komade u preostalom redu, plavom. Funkcija

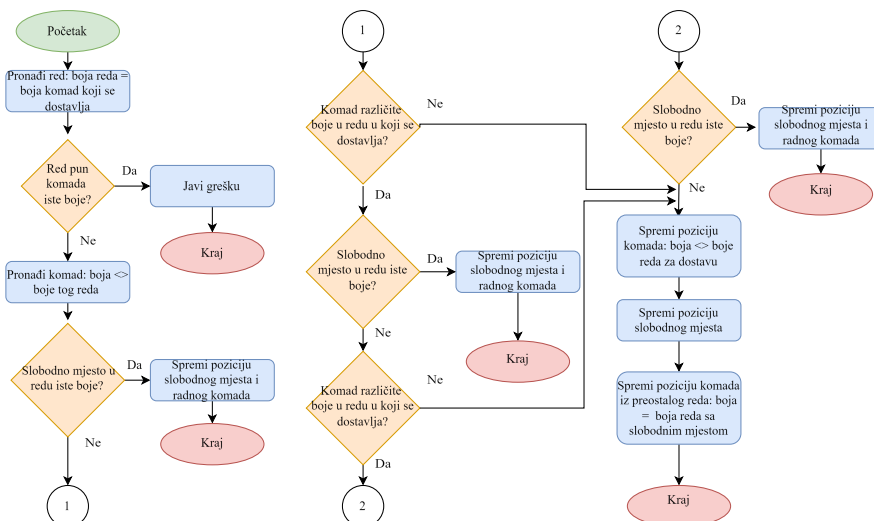


Slika 3.6. Prikaz skladišta treći slučaj

pronalazi komad različite boje od tog reda čija se boja poklapa s bojom reda u kojem je bilo slobodno mjesto, a to je bijeli komad u plavom redu. Funkcijski blok HBW Switch sad plavi komad stavlja u plavi red, bijeli komad koji je bio u plavom redu u bijeli red, a praznu paletu koja je bila u bijelom redu u crveni kako bi u nju mogli staviti crveni radni komad.



Slika 3.7. Prikaz skladišta treći slučaj



Slika 3.8. Dijagram toka funkcije Switch Position

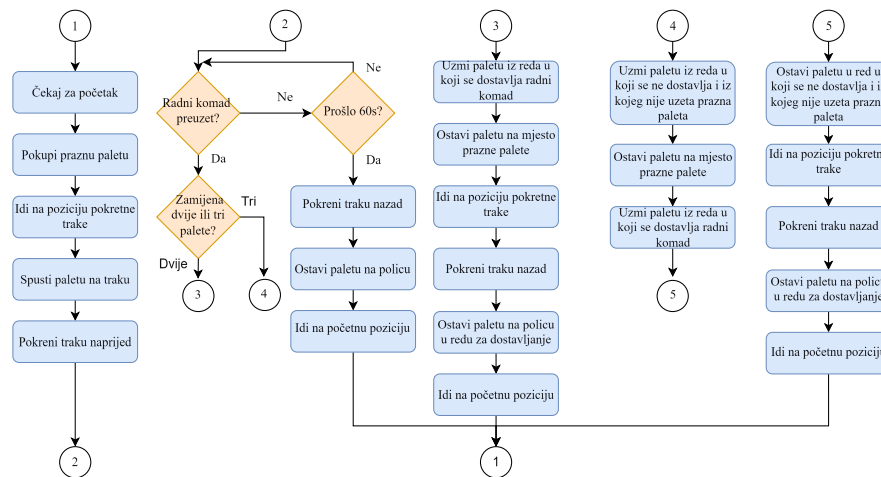
3.6. Zamjena paleta

Zadaća funkcijskog bloka HBW Switch i HBW Rack je slična, oboje moraju dostaviti praznu paletu vakuumskom robotu. Razlika je u tome što HBW Switch mora napraviti i zamjenu paleta kako bi se radni komad mogao dostaviti u pravi red ili stupac. Dijagram toka je prikan na slici 3.9. za primjer spremanja radnih komada u redove, ali jednako vrijedi i za stupce. Proces započinje uzimanjem prazne palete s pozicije koju je odredila funkcija Switch Position i njezinim dostavljanjem na pokretnu traku. Pokretna traka se pokreće unaprijed i čeka da vakuumski robot ostavi radni komad u praznu paletu. Ruka za premještanje paleta također čeka ostavljanje radnog komada u paletu, ako komad nije dostavljen u 60 sekundi, traka se pokreće u nazad i paleta se vraća nazad na policu.

Nakon što je radni komad uspješno dostavljen i ako je potrebno zamijeniti dvije palete, ruka za premještanje paleta uzima paletu s pozicije određene u funkciji Switch Position. To je paleta koja se nalazi u redu ili stupcu u koji treba doći radni komad koji je dostavljen. Uzetu paletu ruka stavlja na mjesto na kojem se nalazila prazna paleta. Ruka za premještanje paleta nakon toga odlazi do pokretne trake koja se pokreće prema nazad i ruka preuzima punu paletu. Ta paleta se sprema na mjesto s kojeg je prije maknuta paleta. Nakon što je ostavila paletu na policu ruka se vraća nazad u početni položaj.

Nakon dostavljanja radnog komada u praznu paletu, ruka uzima paletu iz reda ili stupca iz kojega nije uzeta prazna paleta i u koji se neće dostaviti radni komad ako je

funkcija Switch Position odredila da je potrebna zamjena tri palete onda. Ta paleta se stavlja na mjesto na kojem je prije bila prazna paleta, a na njezino mjesto se stavlja paleta koja se nalazi u redu ili stupcu u koji će se dostaviti novi radni komad. Nakon što je odradila sve potrebne zamjene ruka se vraća do pokretne trake i uzima paletu s dostavljivim radnim komadom i sprema ga na njegovo mjesto, te se nakon toga vraća u početnu poziciju.



Slika 3.9. Dijagram toka funkcijskog bloka HBW Switch

3.7. Podati o stanju skladišta

U funkcijskim blokovima HBW Rack i HBW Switch podatci o stanju skladišta, kao što su koji radni komad se nalazi na kojoj polici, se upisuju i brišu pomoću sljedećih funkcija :

- Empty Rack,
- Storage PickUp,
- Rack Done,
- Switch Data

Funkcija Empty Rack se poziva iz funkcijskog bloka kad je ruka za premještanje paleta preuzela paletu s police. Budući da je paleta preuzeta u memoriju se upisuje da je polica prazna, odnosno da na njoj nema ni palete ni radnog komada.

Funkcija Storage PickUp se poziva kada je paleta na pokretnoj traci i čeka vakuumski robot za isporuku ili preuzimanje. U slučaju isporuke odnosno ako robot uzima radni komad iz palete, podatci o njegovom statusu, boji i ID-u se prosljeđuju vakuumskom

robotu. Kad vakuumski robot dostavlja radni komad odnosno kad ga skladište preuzima ti se podatci prosljeđuju skladištu.

Kad robotska ruka vrati paletu na policu poziva se funkcija Rack Done. Funkcija u slučaju isporuke u memoriju upisuje da je na polici samo prazna paleta jer je radni komad preuzet. Kad je radni komad dostavljen podatci o njemu koje je funkcija Storage PickUp preuzela od vakuumskog robota upisuju se u memoriju zajedno s pozicijom police na koju se spremljen.

Prethodne tri funkcije se pozivaju iz oba funkcijska bloka i HBW Rack i HBW Switch, ali funkcija Switch Data se poziva samo iz HBW Switch. Njezina zadaća je da zamjeni podatke prilikom zamjena paleta, tj. zamijenit će se samo podatci o pozicijama na kojima se nalaze palete.

3.8. Vraćanje u početni položaj

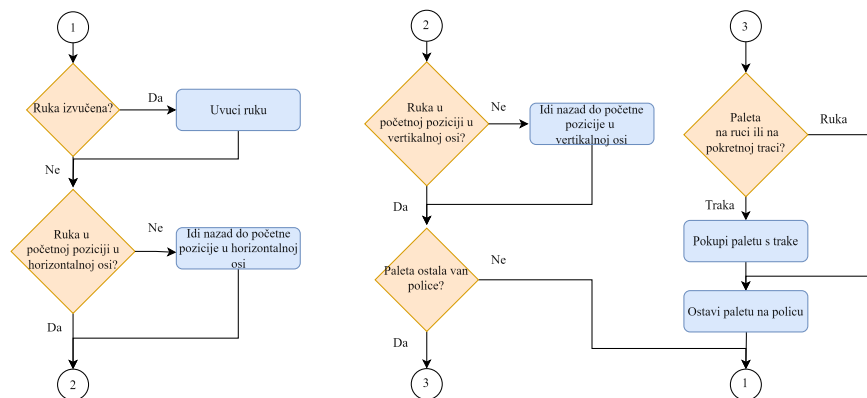
U slučaju nestanka napajanja ili zaustavljanja u slučaju nužde, potrebno je pri ponovnom pokretanju postrojenje vratiti u početni položaj. Upravo zato služi funkcijski blok HBW Home. Cijeli proces funkcijskog bloka HBW Home prilazan je na slici 3.10. Postoje četiri moguća slučaja u kojem se postrojenje može naći pri ponovnom pokretanju. Prvi slučaj je da se postrojenje već nalazi u početnom položaju i tad blok HBW Home neće poduzeti ništa.

Drugi slučaj je kad se postrojenje ne nalazi u početnom položaju i nije preuzelo paletu odnosno sve palete se nalaze na policama. U ovom slučaju se prvo provjerava je li ruka izvučena, ako je ruka se uvlači. Zatim se provjerava jesu li pritisnuti kontaktni senzori koji određuju početni položaj u vertikalnoj i horizontalnoj osi, ako nisu ruka se šalje prema gore odnosno prema nazad dok ne dođe do senzora. Za pomicanje u vertikalnoj i horizontalnoj osi se ne koriste funkcijski blokovi HBW Axis Vertical i HBW Axis Horizontal kao prije jer oni koriste podatke s enkodera. Pri svakom novom pokretanju funkcija koja računa pozicije pomoću enkodera označava da je ruka na poziciji nula iako se ruka ne nalazi u početnoj poziciji. Vraćanjem ruke na početnu poziciju pritišću se kontaktni senzori i funkcija ponovno postavlja poziciju na nula.

U slučaju kad se paleta nalazi na pokretnoj traci, a ruka nije u početnom položaju,

ruka se kao i u prijašnjem slučaju prvo vraća u početan položaj kako bi se pozicije postavile na nulu. Ruka se zatim pozicionira na položaj za preuzimanje palete s pokretne trake i uzima paletu. Paleta se nakon preuzimanja vraća na policu na mjesto s kojeg je preuzeta. Nakon što ostavi paletu ruka se vraća u početni položaj.

U slučaju kad se paleta nalazi na ruci ponavlja se isti postupak, ruka se prvo vraća u početni položaj kako bi se ponovno postavile pozicije. Iz početnog položaja paleta se vraća na policu s koje je došla, a ruka se vraća nazad u početni položaj.



Slika 3.10. Dijagram toka funkcijskog bloka HBW Home

3.9. Pozadinski procesi

Funkcijski blok HBW Setup je jedni blok koji nije pisan u GRAPH-u već je pisan u SCL-u. Glavna zadaća funkcijskog bloka je prijenos podataka na Fischertechnik oblak i komunikacija ostalih dijelova programa s vizualizacijskim sučeljem. Osim toga u HBW Setup se određuje fiksna brzina kojom se ruka pomiče u svim osima i brzina pokretne trake.

Na vizualizacijskom sučelju simboli koji predstavljaju radne komade mogu biti prikazani u različitim bojama, ovisno o boji radnog komada. Program u kojem je izrađeno vizualizacijsko sučelje boju simbola mijenja ovisno o tome što je upisano u varijablu tipa INT. Do problema dolazi jer su boje radnih komada u memoriju spremljene kao STRING. Stoga funkcijski blok HBW Setup prolazi kroz svaku varijablu tipa STRING u kojoj je spremljena boja i za nju stvara INT varijablu koja predstavlja boju. Tako RED postaje 1, WHITE postaje 2, BLUE postaje 3, a prazan STRING 0, prazan STRING označava praznu paletu.

Isti problem prisutan je pri prikazivanju ID broja svakog radnog komada. Budući da

svaki radni komad ima jedinstveni ID i ima ih samo devet za svaki ID je određen broj od jedan do devet koji se upisuje u varijablu tipa INT. Kad se ID prikazuje u vizualizacijskom sučelju na temelju broja zapisanog u toj varijabli iz liste se ispisuje točan ID broj.

U postrojenje može doći do greške ako je: skladište puno, red pun, stupac pun ili ako je aktivirano ručno zaustavljanje. Tad funkcijski blok HBW Setup zaustavlja sva gibanja postrojenja i sprema informaciju o kojoj je vrsti greške riječ kao i kad se greška dogodila.

U slučaju da korisnik odabere punjenje skladišta po redovima ili po stupcima, također će morati odrediti i boje radnih komada za svaki red ili stupac. Korisnik boju reda ili stupca određuje pomoću tri gumba, jedna za svaku boju, koji se nalaze kraj svakog reda i stupca. Budući da svaki red i stupac moraju imati jednu jedinstvenu boju HBW Setup kad korisnik stisne npr. gumb za crvenu u prvi red, automatski miče prijašnji odabir boje za taj red tako da može biti samo jedna boja za taj red. Odabir crvene boje za druga dva reda se automatski miče. Kad korisnik odabere boje za dva reda ili stupca u trećem može biti samo jedna boja kako bi svaki red ili stupac ostao različit i HBW Setup automatski odabire tu preostalu boju.

3.10. Povezivanje funkcijskih blokova i funkcija

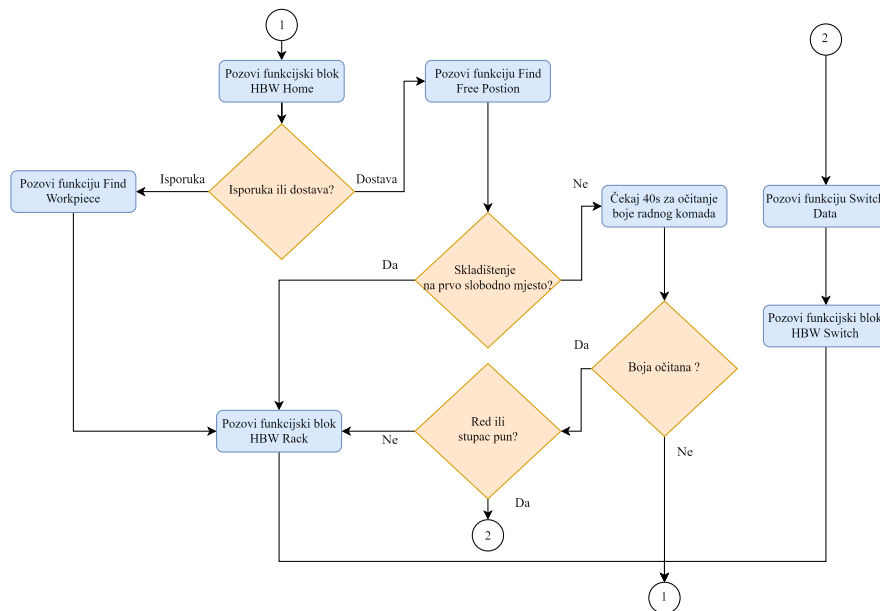
Funkcijski blok HBW Proces (dijagram toka 3.11.) upravlja sa svim prethodno opisanim funkcijskim blokovima i funkcijama osim s funkcijskim blokom HBW Setup kojeg se treba uvijek neovisno pozivati. Prvi blok koji se poziva je HBW Home kako bi se postrojenje uvijek pokrenulo iz početnog položaja.

Kad se postrojenje nalazi u početnom položaju, postrojenje je spremno za isporuku ili preuzimanje. HBW Proces poziva funkciju Find Workpiece, ako je potrebno isporučiti radni komad, koja određuje poziciju s kojeg ruka za premještanje paleta treba uzeti paletu. U sljedećem koraku poziva se funkcijski blok HBW Rack i prosljeđuje mu se pozicija palete. Nakon što je radni komad isporučen i postrojenje vraćeno u početni položaj, postrojenje je gotovo s radom i ponovo čeka isporuku ili preuzimanje.

Funkcija Find Free Position poziva se ako je potrebno preuzeti radni komad kako bi odredila poziciju s koje je potrebno uzeti praznu paletu. Kad se radni komadi pune na prvo slobodno mjesto odmah se poziva funkcijski blok HBW Rack, a kad se puni po

redovima ili stupcima potrebno je čekati 40 s. U tih 40 s vakuumski robot stavlja radni komad na senzor za boju jer se bez boje radnog komada koji dolazi ne može odrediti pozicija slobodne palete. Postrojenje se ponovno vraća na čekanje ili isporuku ako boja nije očitana nakon 40 s. Nakon dostave palete postrojenje se vraća u početni položaj i spremno je za ponovni rad.

Funkcija Find Free Position će redi ili stupac označiti kao pun ako u njemu ne može pronaći slobodno mjesto. U tom slučaju se nakon Find Free Position poziva funkcija Switch Position koja određuje pozicije paleta kojima je potrebno zamijeniti mjesta. Funkcijskom bloku HBW Switch se proslijeđuju te pozicije, nakon zamjene i dostave paleta postrojenje se vraća u početni položaj i spremno je za ponovni rad.



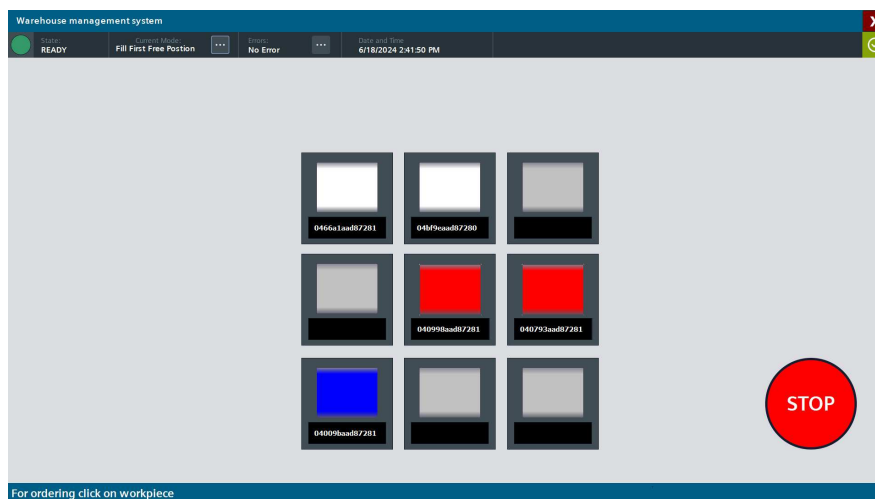
Slika 3.11. Dijagram toka funkcijskog bloka HBW Proces

4. Vizualizacijsko sučelje sustava nadzora i upravljanja postrojenjem skladišta

Vizualizacijsko sučelje (slika 4.1.) napravljeno je u Siemens Wincc Advanced programu u sklopu TIA Portala koristeći šablone. Pomoću vizualizacijskog sučelja korisnik može:

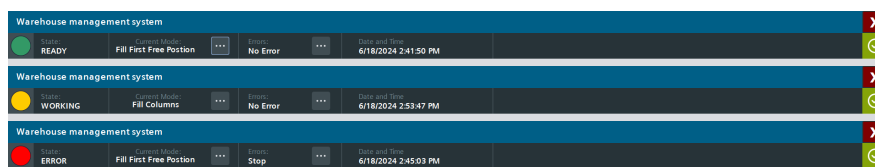
- napraviti narudžbu,
- pratiti stanje postrojenja,
- birati način skladištenja,
- vidjeti greške,
- prihvaćati greške
- vidjeti dijagnostiku PLC-a

Radni komadi prikazani su kao kvadrati u crvenoj, bijeloj ili plavoj boji iznad crnog pravokutnika koji predstavlja paletu u kojoj se nalazi radni komad, a ako je kvadrat koji predstavlja radni komad sive boje znači da u toj paleti nema radnog komada. U pravokutniku koji predstavlja paletu piše ID broj radnog komada koji se nalazi u toj paleti.



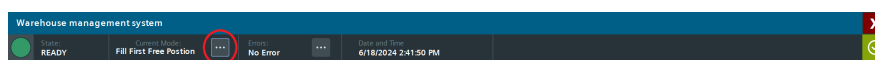
Slika 4.1. Vizualizacijsko sučelje

U alatnoj traci na vrhu prozora, (slika 4.2.) nalazi se: jedna lampica pored koje se prikazuje stanje postrojenja, način na koji se skladište puni i ako je postrojenje u stanju greške na traci piše o kojoj je greški riječ. Lampica svijetli zeleno kada je postrojenje u stanju pripravnosti i spremno za rad i tada pored lampice piše da je postrojenje spremno. Lampica svijetli žuto dok postrojenje radi, a crveno kada je došlo do greške.



Slika 4.2. Alatna traka

Klikom na tipku zaokruženu na slici 4.3. korisniku se otvara prozor (slika 4.4.) gdje bira na koji način će se puniti skladište: po redovima, po stupcima ili na prvo slobodno mjesto.

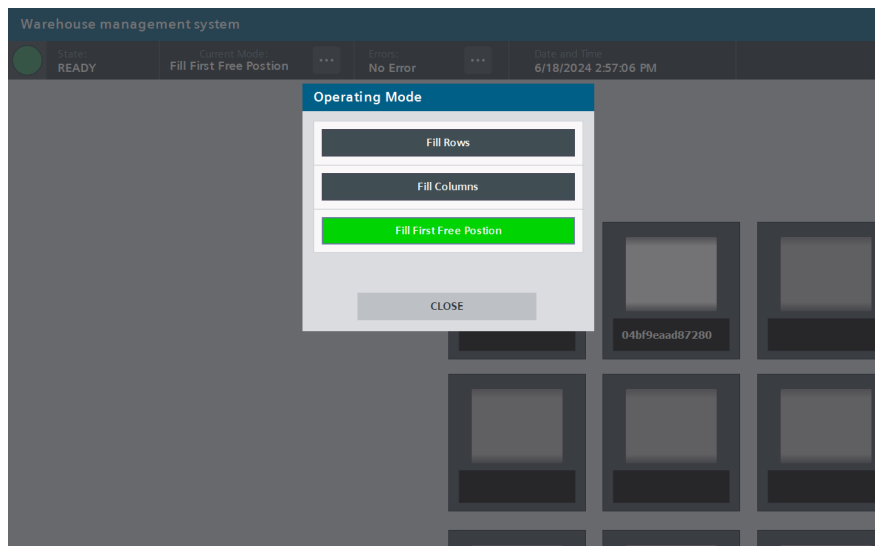


Slika 4.3. Položaj tipke

Na dnu prozora nalazi se traka, (slika 4.5.) u kojoj pišu kratke upute kako se koristiti sa sučeljem.

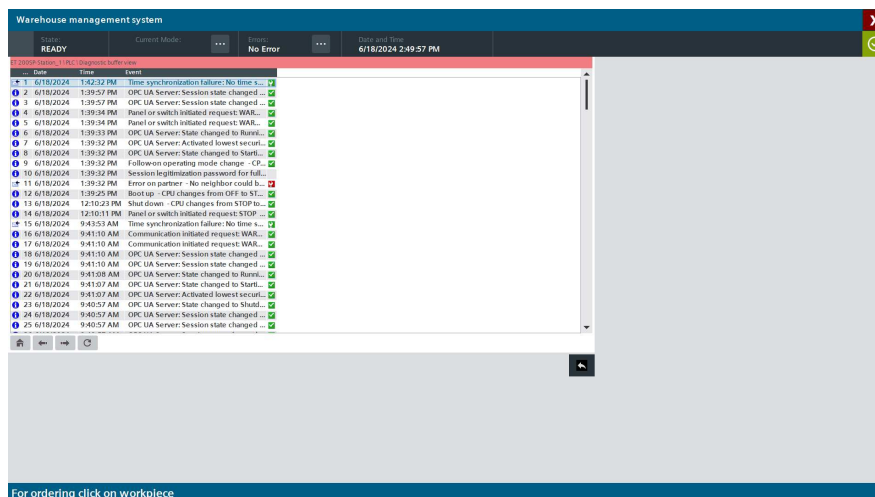


Slika 4.5. Donja alatna traka



Slika 4.4. Prozor za odabir punjenja

U krajnjem desnom kutu alatne trake nalazi se zelena tipka s kojom se otvara prozor u kojem je moguće vidjeti dijagnostiku PLC-a (slika 4.6.).



Slika 4.6. Prozor s dijagnostikom PLC-a

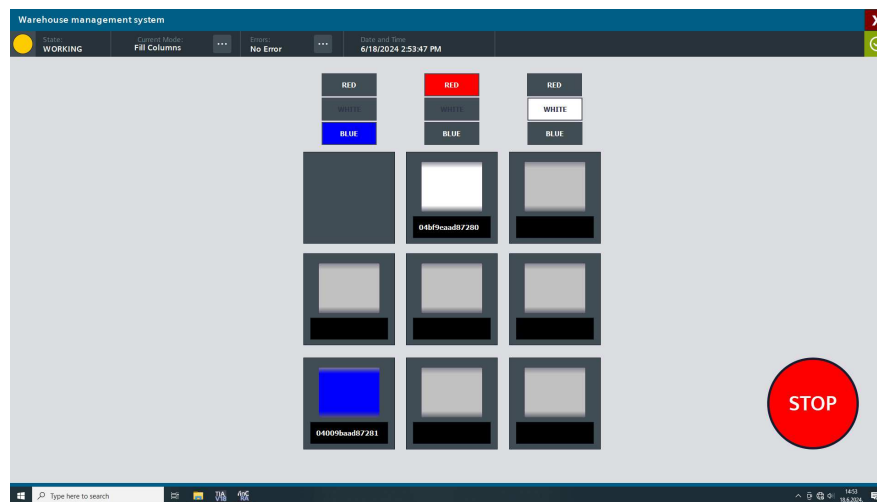
4.1. Naručivanje radnog komada

Korisniku u donjem lijevom kutu piše da se radni komadi naručuju klikom na željeni radni komad (slika 4.7.).



Slika 4.7. Upute za naručivanje

Klikom na željeni radni komad počinje proces narudžbe, postrojenje uzima paletu s odabranim radnim komadom i isporučuje je vakuumskom robotu. Dok postrojenje radi na alatnoj traci svijetli žuta lampica i piše da postrojenje radi, a za vrijeme rada postrojenja korisnik ne može započeti s novom narudžbom. Kad ruka za pomicanje paleta uzme paletu s police u vizualizacijskom sučelju prikazuje se da nema ni palete ni radnog komada (slika 4.8.). Vraćanjem prazne palete nazad na policu u vizualizacijskom sučelju pojavljuje se paleta sa sivim radnim komadom što znači da je paleta prazna.

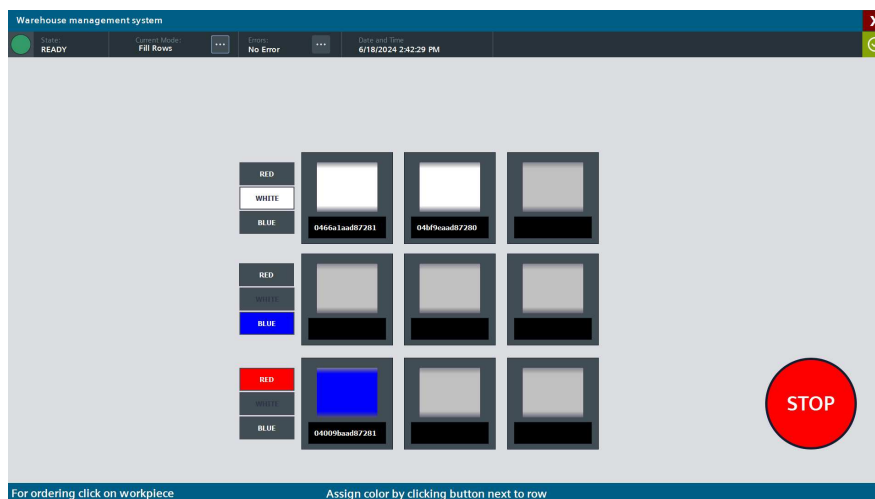


Slika 4.8. Naručivanje radnog komada

4.2. Spremanje radnog komada

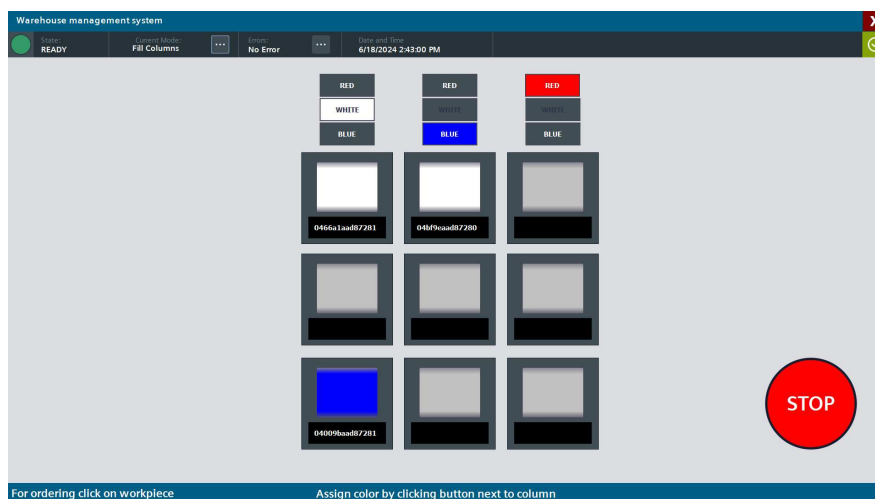
Radni komadi se u skladište mogu spremati na tri različita načina: na prvo slobodno mjesto, po bojama u redove i po bojama u stupce. Pri prvom pokretanju skladište je namješteno da se puni na prvo slobodno mjesto, ali korisnik može sam birati način punjenja. Kad na alatnoj traci svijetli žuta lampica i piše da postrojenje radi, također kao i kod naručivanja nije moguće pokretanje nove narudžbu ili spremanje novog komada. Kad ruka uzme paletu s police prikazuje se da je polica prazna, a kad ruka vrati paletu s radnim komadom prikazuje se radni komad s njegovom bojom i ID brojem.

Odabirom punjenja skladišta po redovima lijevo od prikaza skladišta se pojavljuju tipke s kojima je moguće odabrati koja boja se puni u koji red (slika 4.9.). U alatnoj traci na dnu prozora pojavljuju se kratke upute kako odabrati boju za red.



Slika 4.9. Odabir boje redova

Odabirom punjenja skladišta po stupcima iznad stupaca se pojavljuju iste tipke kao i za punjenje redova, a na alatnoj traci u dnu su ponovno dane kratke upute (4.10.).

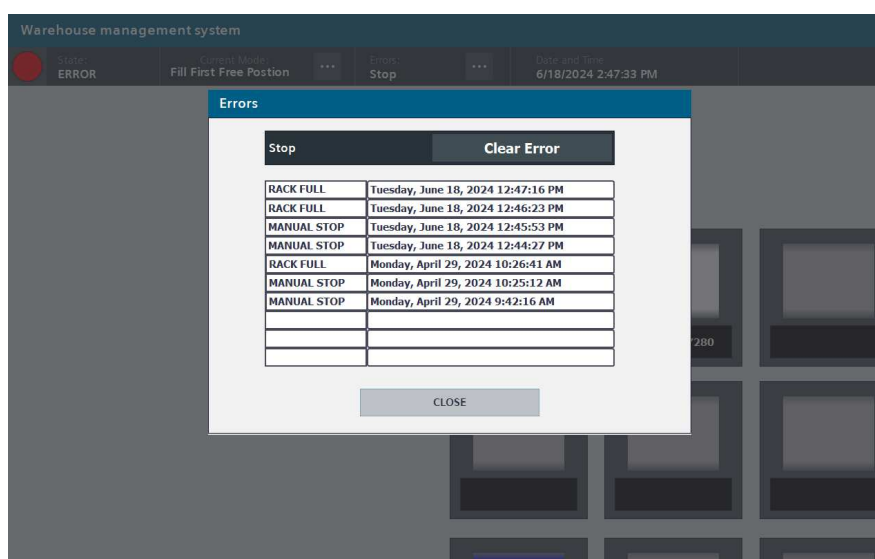


Slika 4.10. Odabir boje stupaca

Boja tipke kojom se mijenja boja reda ili stupca označava kojom bojom će se puniti taj red ili stupac. Red ili stupac će se puniti crvenom bojom ako tipka kojom se odabire crvena boja svijetli crveno dok su ostale dvije tipke sive. Kada se klikne na neku tipku koja ne svijetli, ona krene svijetliti u svojoj boji što označava da se red ili stupac sad pune s tom bojom, a tipka koja je prije svijetlila sada postaje siva. Kad je prije odabrana boja bila crvena i korisnik klikne tipku za plavu boju ta tipka svijetli plavo, a tipka koja je prije svijetlila crveno sad je siva. Isto tako u jednom od preostala dva reda ili stupca gdje je prije bila odabrana plava boja ona se miče i automatski se postavlja crvena budući da ta boja trenutno nije nigdje postavljena.

4.3. Upravljanje s greškama

Postrojenje javlja da je došlo do greške ako je: skladište puno, red pun, stupac pun ili ako je pritisnuto zaustavljanje u slučaju nužde u vizualizacijskom sučelju. Kad se postrojenje nalazi u stanju greške u alatnoj traci na vrhu stranice svijetli crvena lampica i piše da je došlo do greške, a na dijelu alatne trake za greške piše o kojoj je greški riječ. Klikom na tipku koja se nalazi pored poruke o greški otvara se prozor za upravljanje greškama (slika 4.11.).



Slika 4.11. Prozor za upravljanje greškama

Budući da su greške uzrokovane punim skladištem, redom ili stupcem moguće ih je ukloniti samo pritiskom na tipku za uklanjanje greške koja se nalazi u prozor za upravljanje greškama. Ponovo će doći do greške ako korisnik i dalje pokušava puniti skladište dok je ono već puno ili ako pokuša staviti radni komad u red ili stupac koji je već pun s radnim komadima iste boje. Greška do koje je došlo jer je korisnik pritisnuo tipku za zaustavljanje u slučaju nužde u vizualizacijskom sučelju, korisnik može ukloniti na isti način kao i prije, ali tek kad utvrdi da je uklonjena opasnost zbog koje je tipka i pritisnuta. U prozoru za upravljanje greškama korisnik može vidjeti listu u kojoj se arhivira zadnjih deset grešaka s vremenom kad su se dogodile.

5. Ispitivanje postrojenja skladišta

Nakon izrade sustava nadzora i upravljanja postrojenja, cijelo postrojenje je ispitano kako bi se odredilo radi li ispravno i sigurno.

5.1. Ispitivanje naručivanja radnog komada

Naručivanje radnog komada testirano je iz vizualizacijskog sučelja naručivanjem radnih komada sa svih polica. Na ovaj način je utvrđeno da postrojenje može uspješno dostaviti radne komade sa svih polica. Naručivanjem svih radnih komada također je utvrđeno da vizualizacijsko sučelje ispravno prikazuje boje i ID brojeve radnih komada i utvrđeno je da je moguće naručiti sve radne komade.

Sljedeće što je ispitano je što se događa ako korisnik pokuša naručiti radni komad dok traje narudžba od prije. U tom slučaju korisnik ne može naručiti radni komad, klikom na radni komad neće se dogoditi ništa. Narudžbu je moguće napraviti nakon što postrojenje završi s radom. Ispitan je i slučaj u kojem korisnik stavi radni komad na ulazno-izlaznu jedinicu, dok traje narudžba. Postrojenje i dalje nastavlja s radom i kad završi s isporukom radnog komada, preuzima radni komad s ulazno-izlazne jedinice.

Vakuumski robot onesposobljen je kako ne bi mogao preuzeti radni komad s pokretne trake u svrhu ispitivanja postrojenja. Postrojenje skladišta tad čeka s praznom paletom 60 s da vakuumski robot uzme radni komad. Budući da vakuumski robot ne radi nakon 60 s, postrojenje vraća paletu s radnim komadom nazad na policu. Na ovaj način je ispitan rad postrojenja u slučaju kvara vakuumskog robota. Vrijeme čekanja od 60 s je određeno mjerenjem prosječnog vremena čekanja vakuumskog robota i zaokruživanjem na 60 s kao faktor sigurnosti.

5.2. Ispitivanje spremanja radnog komada

Ispitivanje spremanja radnog komada odrađeno je na sličan način kao i dostavljanje. Radni komadi su stavljeni na ulazno-izlaznu jedinicu dok se nije popunilo cijelo skladište. Tako je ispitano da postrojenje može spremati radne komade na svaku policu skladišta i da vizualizacijsko sučelje ispravno prikazuje boje i ID brojeve radnih komada. Na ovaj način su ispitana sva tri načina punjenja skladišta: prvo slobodno mjesto, po bojama u redove, po bojama u stupce.

Za vrijeme punjenja u redove i stupce mijenjanje su boje redova i stupaca kako bi se utvrdilo radi li ta značajka ispravno. Također je ispitana mogućnost zamjena paleta u slučaju kada je red ili stupac pun. Postrojenje prvo čeka da vakuumski robot stavi radni komad na senzor za detekciju boja ako je odabrana opcija punjenja skladišta po bojama u redove ili stupce. Uzimanjem radnog komada od vakuumskog robota, prije same detekcije boje, ispituje se rad skladišta u slučaju da je radni komad ispao ili ako boja nije pravilno očitana. Postrojenje skladišta neće ni započeti s radom već će samo čekati naredbu za ponovni početak rada ako boja nije očitana nakon 40 s.

Kao i kod narudžbe radnog komada korisnik ne može naručiti radni komad iz vizualizacijskog sučelja dok traje spremanje radnog komada. Narudžbu je moguće napraviti tek nakon što je postrojenje završilo s radom. Stavljanjem radnog komada na ulazno-izlaznu jedinicu dok postrojenje radi neće se dogoditi ništa dok prethodni radni nije spremljen, nakon toga kreće spremanje novog.

Isključivanjem interneta postrojenje više nije povezano na Fischertechnik oblak i vakuumski robot više ne može očitati NFC kod s radnog komada. Vakuumski robot tad odbacuje radni komad i vraća se u početni položaj. Iz perspektive postrojenja skladišta ovaj slučaj je identičan kao kad je vakuumski robot bio isključen. Postrojenje čeka 60 s da vakuumski robot dostavi radni komad u praznu paletu. Nakon 60 sekundi prazna paleta se vraća nazad na policu.

5.3. Ispitivanje u slučaju nestanka napajanje i greške

Kako bi se postrojenje skladišta ispitalo u slučaju nestanka napajanje, napajanje postrojenja je ugašeno u različitim fazama rada i zatim ponovno upaljeno. Nakon nestanka

napajanja postrojenje se vraća nazad u početni položaj, a u slučaju da je paleta ostala van police postrojenje je vraća nazad. U vizualizacijskom sučelju se pamti stanje skladišta prije nestanka napajanja.

Kako bi se ispitaio rad postrojenja u slučaju greške, svaka greška je namjerno uzrokovana. Postrojenje javlja da je skladište puno ako se na svih devet polica nalaze radni komadi, a korisnik želi spremati još jedan radni komad. Ovaj slučaj je testiran tako što je s police ručno uzet jedan radni komad da postrojenje i dalje misli da je skladište puno, te je taj komad stavljen na ulazno-izlaznu jedinicu. Potrebno je uzeti radni komad s police jer je s maketom dostavljeno samo devet radnih komada, ali moguće je da ih korisnik ima više.

Na sličan način su ispitane greške koje se događaju ukoliko korisnik želi radni komad staviti u red ili stupac koji je već pun s komadima iste boje. Da bi se ispitaio ovaj slučaj potrebna su četiri radna komada iste boje, budući da ih s maketom dolazi samo tri ponovno je ručno uzet radni komad s police.

6. Zaključak

Provedeno istraživanje i implementacija sustava upravljanja skladištem na laboratorijskoj maketi tvornice uspješno su demonstrirali ključne aspekte automatizacije i optimizacije skladišnih operacija u skladu s principima Industrije 4.0. Kroz praktične primjere i testiranja, pokazano je kako napredne tehnologije mogu poboljšati učinkovitost i preciznost skladišnih procesa.

U red je razvijen i implementiran upravljački sustav skladišta. Sustav omogućuje precizno upravljanje vertikalnim i horizontalnim pomicanjem ruke, određivanje pozicija za spremanje i uzimanje radnih komada te zamjenu paleta. Integrirano je vizualizacijsko sučelje koje omogućuje intuitivno naručivanje i praćenje radnih komada, upravljanje greškama te optimizirano rukovanje skladištem. Provedena su opsežna testiranja koja su pokazala pouzdanost i efikasnost sustava u različitim scenarijima, uključujući normalne operacije, nestanak napajanja i upravljanje greškama.

Laboratorijska maketa tvornice pokazala se kao korisna platforma za testiranje i evaluaciju različitih aspekata sustava upravljanja skladištem. Eksperimentalni rezultati pružili su vrijedne uvide u mogućnosti i izazove povezane s implementacijom ovakvih sustava u stvarnim proizvodnim okruženjima.

Dodatkom senzora mogla bi se značajno poboljšati sigurnost skladišnih operacija. Senzori za detekciju prisutnosti paleta na policama i na ruci za premještanje paleta kao i drugi senzori mogli bi osigurati pravovremenu reakciju na potencijalne prijetnje, čime bi se smanjio rizik od nesreća i oštećenja imovine. Takva poboljšanja ne samo da bi unaprijedila sigurnosne standarde već bi i omogućila laboratorijskoj maketi da bolje predstavlja pravo postrojenje, pružajući realističniji uvid u stvarne radne uvjete u modernim proizvodnim pogonima.

Za daljnje unapređenje trebalo bi se fokusirati na integraciju dodatnih tehnologija kao što su umjetna inteligencija i strojno učenje za još napredniju analizu podataka i prediktivno upravljanje skladištem. Također, moglo bi se istražiti kako skalirati ove sustave za primjenu u većim i kompleksnijim proizvodnim pogonima.

Zaključno, ovaj rad doprinosi razumijevanju potencijala i izazova primjene Industrije 4.0 u upravljanju skladištem te pruža temelje za daljnji razvoj i implementaciju inteligentnih sustava u suvremenim proizvodnim okruženjima.

Literatura

- [1] Fischertechnik. Didactic materials training factory industry 4.0. [Mrežno]. Adresa: <https://www.fischertechnik.de/en/industry-and-universities/technical-documents/simulate/lernfabrik-4-0-24v>
- [2] B. László. Industry 4.0 technological solutions and their education concept in the bosch smart shop floor laboratory. [Mrežno]. Adresa: <https://publikaciotar.uni-bge.hu/id/eprint/1667>
- [3] Fischertechnik. fischertechnik txt operating manual en. [Mrežno]. Adresa: <https://www.fischertechnik.de/en/toys/e-learning/txt-4-0-controller>
- [4] ——. 536631 automated high bay warehouse 24v. [Mrežno]. Adresa: <https://www.fischertechnik.de/en/industry-and-universities/technical-documents/simulieren/automatisiertes-hochregallager-24v>

Sažetak

Sustav upravljanja skladištem na laboratorijskoj maketi tvornice Industrija 4.0

Stipe Vujević

Rad istražuje razvoj i implementaciju sustava upravljanja skladištem na laboratorijskoj maketi tvornice koristeći principe Industrije 4.0. Cilj je bio automatizirati skladišne operacije i optimizirati upravljanje zalihama. Razvijeni upravljački sustav omogućuje precizno pomicanje ruke, dostavljanje paleta te određivanje pozicija za spremanje i uzimanje radnih komada. Vizualizacijsko sučelje omogućuje nadzor i upravljanje skladištem, dok je testiranjem pokazana pouzdanost i učinkovitost sustava u različitim uvjetima. Rezultati pokazuju značajno poboljšanje efikasnosti i preciznosti skladišnih operacija. Preporučuje se daljnja integracija umjetne inteligencije i strojnog učenja te testiranje sustava u stvarnim proizvodnim okruženjima. Rad doprinosi razvoju inteligentnih i automatiziranih skladišnih sustava, unapređujući logističke i proizvodne procese.

Ključne riječi: Industrija 4.0; Laboratorijska maketa; Fischertechnik; Upravljanje skladištem

Abstract

Warehouse management system on a laboratory model of the Industry 4.0 factory

Stipe Vujević

The paper investigates the development and implementation of a warehouse management system on a factory laboratory model using the principles of Industry 4.0. The goal was to automate warehouse operations and optimize inventory management. The developed control system enables precise movement of the arm, delivery of pallets and determination of positions for storing and picking up workpieces. The visualization interface enables the monitoring and management of the warehouse, while testing has shown the reliability and efficiency of the system in different conditions. The results show a significant improvement in the efficiency and precision of warehouse operations. Further integration of artificial intelligence and machine learning and system testing in real production environments is recommended. The work contributes to the development of intelligent and automated storage systems, improving logistics and production processes.

Keywords: Industry 4.0; Laboratory model; Fischertechnik; Warehouse management