Promjena radnih valjaka valjaoničkog stana u toplom valjanju

Tomašević, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:129504

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-20**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Sveučilišni studij

PROCES IZMJENE RADNIH VALJAKA VALJAONIČKOG STANA PRI PROCESU TOPLOG VALJANJA MATERIJALA

Diplomski rad

Ivan Tomašević

Osijek, 2023.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. ZADATAK 1

2. POSTUPAK PROIZVODNJE, POSTROJENJA I PROCESA IZMJENE RADNIH VALJAKA 2

2.1. OPIS POSTROJENJA ZA TOPLO VALJANJE 4

2.2. PROCES IZMJENE RADNIH VALJAKA 6

2.2.1. Tehnički opis uređaja 15

2.2.2. Sekvence izmjene radnih valjaka 16

2.2.3. Koncept rješenja zadatka 20

3. PROGRAMSKA PODRŠKA I TESTIRANJE 23

3.1. PROGRAMSKO RJEŠENJE 25

3.2. KORISNIČKO SUČELJE 36

3.3. TESTIRANJE SUSTAVA I SIMULACIJA 43

4. REZULTATI 50

5. ZAKLJUČAK 54

LITERATURA 55

SAŽETAK 57

ABSTRACT 58

ŽIVOTOPIS 59

PRILOZI 60

1. UVOD

Valjaonice metala, kao tip postrojenja u metalurškoj industriji za obradu materijala, imaju veliku važnost za cjelokupnu industriju metalnih proizvoda. Dijelovi koji obavljaju svrhu valjanja metala su valjci, koji se svojim radom troše i potrebno ih je nakon nekog vremena zamijeniti. Zadatak ovog rada je napraviti programsku podršku za sekvence izmjene radnih valjaka, koja će se sastojati od simulatora određenih veličina, zatim i od korisničkog sučelja na kojem se prate sekvence i statusi određenih veličina, ali se i zadaju naredbe za korake, a kao takvo je moguće i implementirati na PLC. Drugo poglavlje se odnosi na opis postrojenja s naglaskom na dio vezan za samu temu rada te se ukratko opisati koncept rješenja zadatka. Treće poglavlje je vezano za opis sekvenci izmjene radnih valjaka, te objašnjavanje uvjeta rada, kada automatska sekvenca se može obavljati, kada ručna sekvenca i u kojim situacijama proces izmjene staje te korisnička podrška za simulator izmjene radnih valjaka. Četvrto poglavlje je vezano za prezentaciju dobivenih rezultata s pripadajućim grafikonima, slikama i opisima. Peto poglavlje rada predstavlja zaključak u kojem se opisuju dobiveni rezultati i daje se osvrt na cijeli rad.

1.1. Zadatak

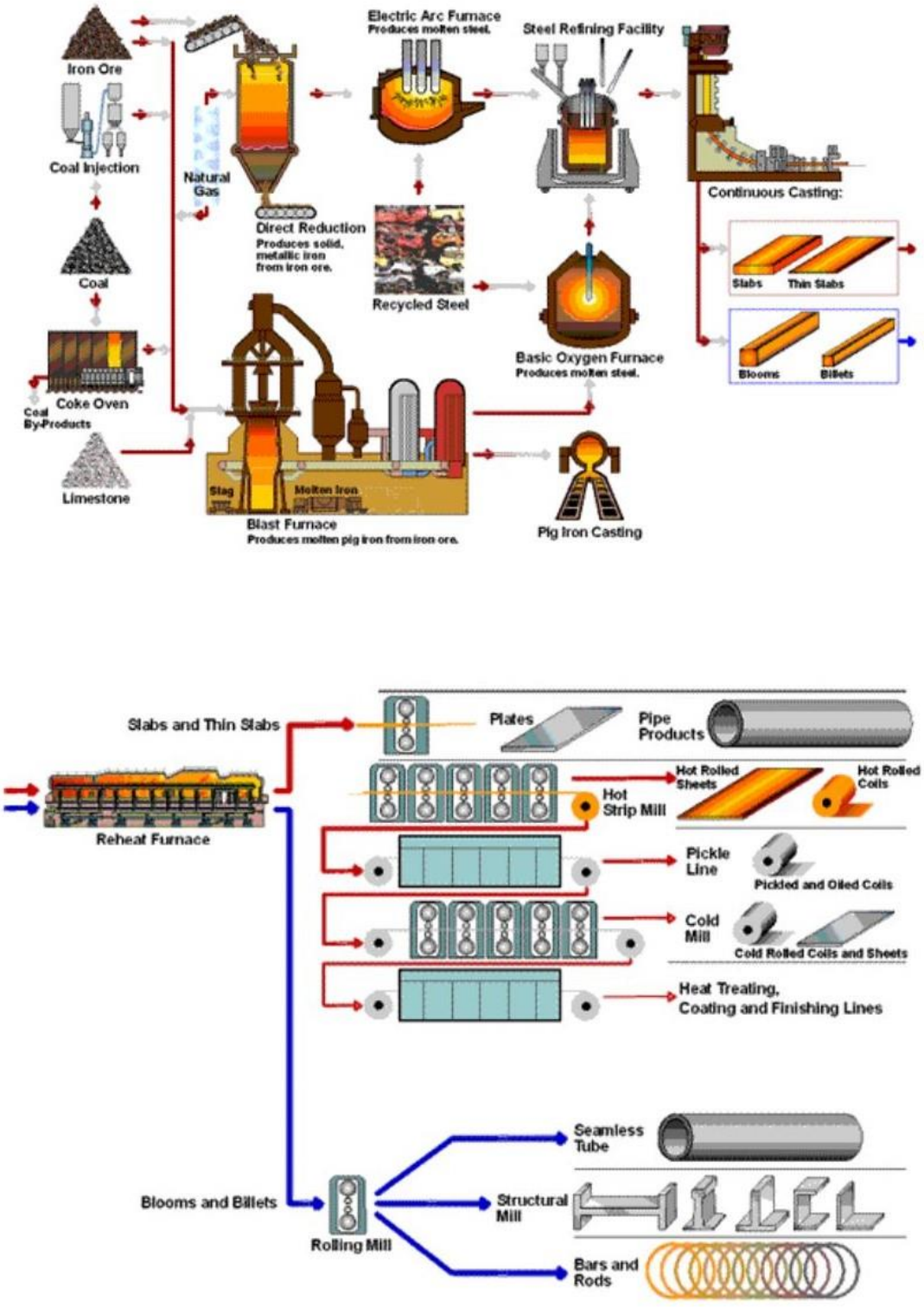
Potrebno je izraditi upravljački sustav za upravljanje sekvencom promjene radnih valjaka valjaoničkog stana u toplom valjanju. Upravljački algoritam treba osigurati automatsku promjenu radnih valjaka kao i ručne naredbe za svaki korak promjene valjaka. Potrebno je izraditi simulator koji će simulirati sve potrebne senzore za izvršavanje sekvence. Osim programskog rješenja potrebno je izraditi korisničko sučelje i vizualizaciju.

2. POSTUPAK PROIZVODNJE, POSTROJENJA I PROCESA IZMJENE RADNIH VALJAKA

Valjaonice metala su postrojenja koja se koriste kao dio procesa obrade metala u metalurškoj industriji. Ona su dio niza procesa obrade metala kako bi se na kraju dobili gotovi proizvodi.

Proces obrade metala se može opisati primjerom valjaonice za toplo valjanje (*eng. hot strip rolling*) i tako postoje koraci u izradbi, redom [2]:

1. priprema sirovine,
2. lijevanje željeza,
3. lijevanje čelika,
4. dobivanje primarnih proizvoda,
5. dobivanje sekundarnih proizvoda.



Sl. 2.1. Proces proizvodnje čelika [2]

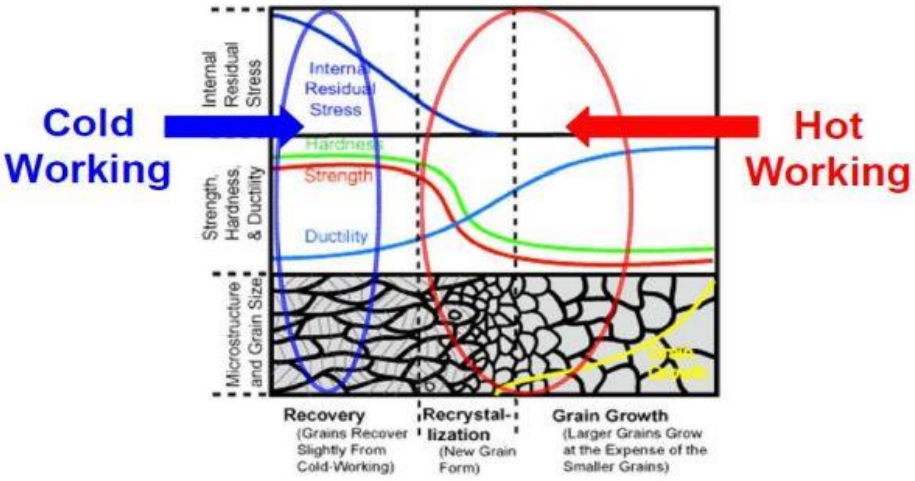
U procesu pripreme sirovine željeza, osim glavne sastavnice, što je željezna rudača, koriste se još i koks i vapno te se tako dobiva lijevano željezo koje ima poboljšana svojstva. Zapravo se radi o slitini željeza s primjesama ugljika. Nakon lijevanja slijedi proces uklanjanja nečistoća te se dobiva čelik. Jedna od metoda uklanjanja nečistoća je korištenja električnog luka (*eng. electric arc furnace*), druga je metoda LD postupak (*eng. Basic oxygen furnace*). Kod prve metode se metal tali korištenjem visokog napona do temperatura od oko 1800 ºC koja je i popularnija (preko 70% svjetske proizvodnje) [2], a kod druge metode se za uklanjanje nečistoća koristi kisik koji iz procesa recikliranog željeza uklanja nečistoće.

Udio ugljika u čeliku je jedna od ključnih stvari za dobivanje visokokvalitetne slitine čelika pa se tako kao idući korak, slitina dodatno rafinira s ciljem poboljšanja svojstava (*eng. rafining of steel*). Slijedi kontinuirano lijevanje (*eng. casting*) nakon čega može započeti daljnja obrada u primarne, a zatim i u sekundarne proizvode. Lijevanjem u odgovarajuće kalupe i hlađenjem se dobivaju polu gotovi proizvodi.

Ponovnim zagrijavanjem u pećima priprema se materijal za proces toplog valjanja (*eng. hot strip rolling*) koji je najraširenija oblik obrade čelika u primarne proizvode, naročito u ravne oblike [3]. Nakon zagrijavanja, prolaskom kroz valjaonice za grubo valjanje (*eng. roughing mill*) dobivaju se primarni proizvodi, a daljnjim postupcima obrađivanja se dobivaju sekundarni proizvodi.

2.1. Opis postrojenja za toplo valjanje

Postrojenje za toplo valjanje metala radi po principu zagrijavanja, u pećima, metala na temperature na kojima dolazi do procesa rekristalizacije metala. To se radi kako bi se poboljšala mehanička svojstva materijala kojeg treba izvaljati. Zagrijavanjem iznad točke rekristalizacije metala, dolazi do strukturalnih promjena materijala. Naglo dolazi do opadanja čvrstoće i tvrdoće, vodljivost poraste, a dolazi i do formiranja novih granula metala koje rastu kako se metal daljnje zagrijava [6] (Sl. 2.2.). Temperaturna točka se razlikuje od slitine do slitine. Za čelik se radi o temperaturama od oko 850 do 1050 ºC [10].



Sl. 2.2. Mehanička i strukturalna svojstva materijala pri hladnom i toplom valjanju [6]

Nakon zagrijavanja, dobiveni materijal putuje sve do valjaoničkih stanova (*eng. stand*) na kojima se treba povaljati na određenu debljinu ploče.

Zagrijavanjem metala dolazi do nakupljanja oksidirajućih naslaga zbog doticaja materijala s kisikom (*eng. scale)* što je poznato i kao hrđa. Važan dio je pranje materijala s uređajem zvanim (*eng. descaler*) koji materijal, dok putuje sve do valjaonice, ispire s vodom koju raspršuje putem štrcaljki pod jako visokim pritiskom od oko (400bar) i visokim protokom vode (700m3/h) prema podacima iz jednog postrojenja [7].

Materijal putuje kroz manje valjke koji imaju svrhu sprječavanja dotoka vode prema ne dozvoljenim zonama kao što je povratak nazad u tunel peći (*eng. pinch roll*), a osim toga imaju ulogu i održavanja potrebne tenzije trake.

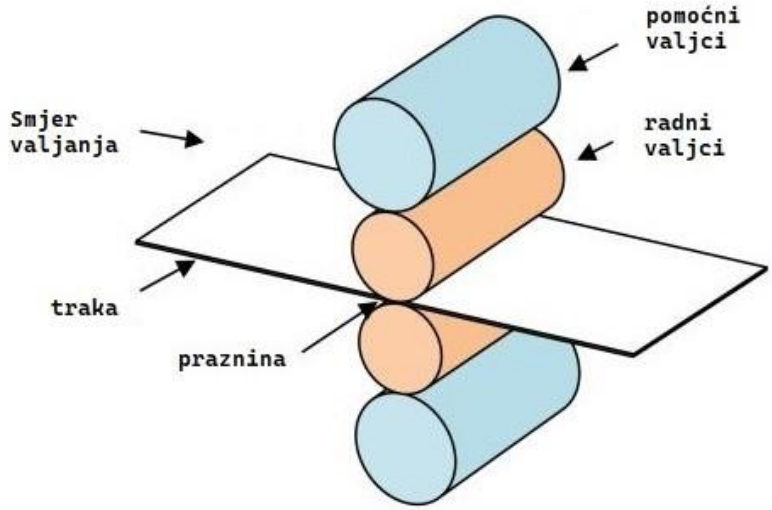
Transport materijala (*eng. slab*) se obavlja putem niza manjih valjaka (*eng. roller tables*) koji imaju svrhu prenošenja materijala od tunela peći sve do valjaonice i tako njihovo rotacijsko gibanje se pretvara u translacijsko materijala. Tijekom transporta materijal se vodi pomoću uređaja poznatim kao vodilica. Vodilica ima više tipova: bočna (*eng. side guides*) koja može biti na ulazu (*eng. entry side guides*) ili izlazu (*eng. exit side guides*), mogu biti gornje (*eng. top guides),* donje *(eng. bottom guides*) i petljaste vodilice koja održava napetost trake između dvaju standova (*eng. looper*). Svrha bočnih vodilica je formiranje pravilnih dimenzija trake i

centriranje oko osi, a petljaste vodilice da tenzija trake bude odgovarajućeg iznosa, kako bi se dobila dobra kvaliteta trake.

Nakon toga materijal dolazi do valjaoničkog stana na kojem se obavlja glavna funkcija valjaonice, a to je smanjenje debljine. Stanova može biti više u nizu. Česta je konfiguracija s dva valjaonička stana. Debljina se smanjuje pritiskom valjka o površinu materijala te rotacijom valjka koja omogućuje dinamično djelovanje sile po površini materijala s obzirom na gibanje materijala koje nastaje kao posljedica inercije prilikom rotacije valjaka . Pritisak mora biti kontroliran radi boljih rezultata i radi ne savršenosti materijala te pritisak kontrolira sustav hidrauličnih cilindara s PID regulacijom po zatvorenoj petlji. Radom valjaka dolazi do trenja između valjaka i materijala koje se pokušava što je moguće više smanjiti te se tako dodaju određena ulja za podmazivanje koja se regulirano špricaju po valjcima dok istovremeno materijal prolazi te na taj način smanjuju silu trenja i disipaciju mehaničke energije u toplinu što znači i djelomično sprečavanje ne potrebnog zagrijavanja. Dobivaju se bolji rezultati valjanja, a valjci se sporije troše.

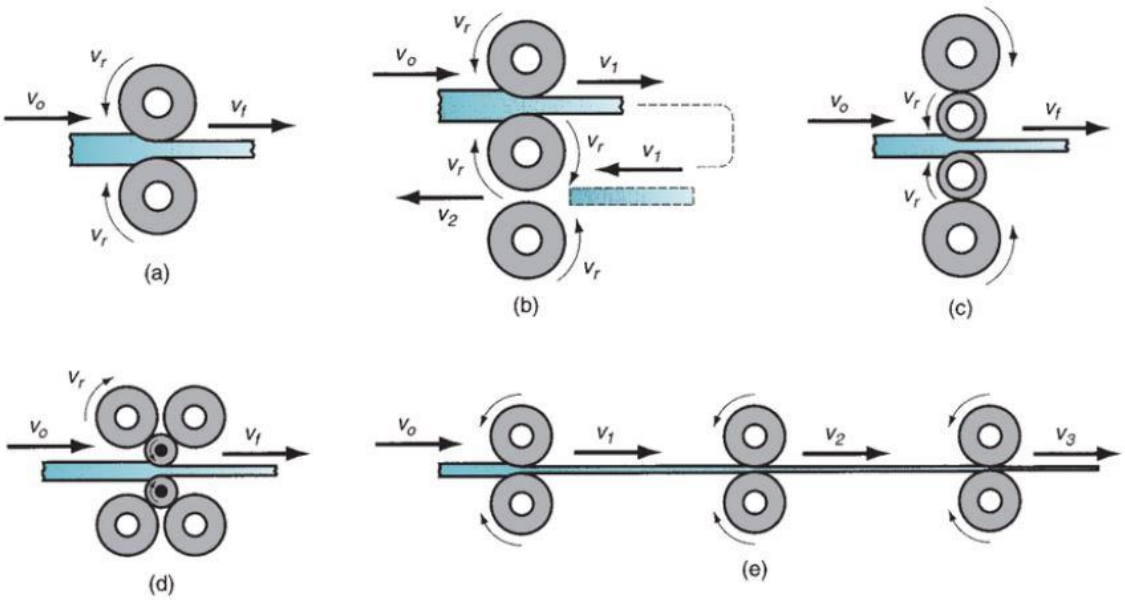
2.2. Proces izmjene radnih valjaka

Radni valjci su uređaji koji imaju svrhu redukcije debljine materijala kod procesa grubog valjanja (*eng. roughing mill*). Više je mogućih konfiguracija radnih valjaka, a jedna od njih je s po dva radna valjka (*eng. work rolls*) i po dva pomoćna ili potporna valjka (*eng. backup roll*) što se naziva 4-Hi konfiguracija (Sl. 2.3.).



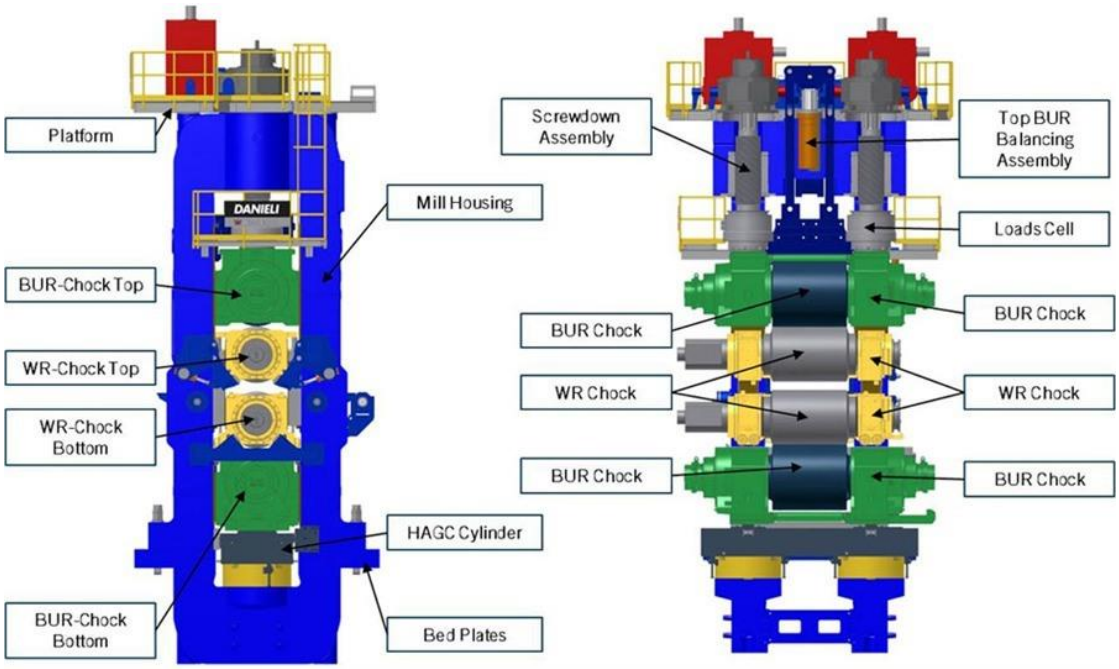
Sl. 2.3. 4-Hi konfiguracija [4]

Osim navedene konfiguracije, postoje i još neke konfiguracije poput one bez pomoćnih valjaka ili one s tri radna valjka koja je dvosmjerna gledano po smjeru toka materijala (Sl. 2.4.). Slika prikazuje smjerove brzina okretanja valjaka te smjerove brzine toka materijala na valjaonici.



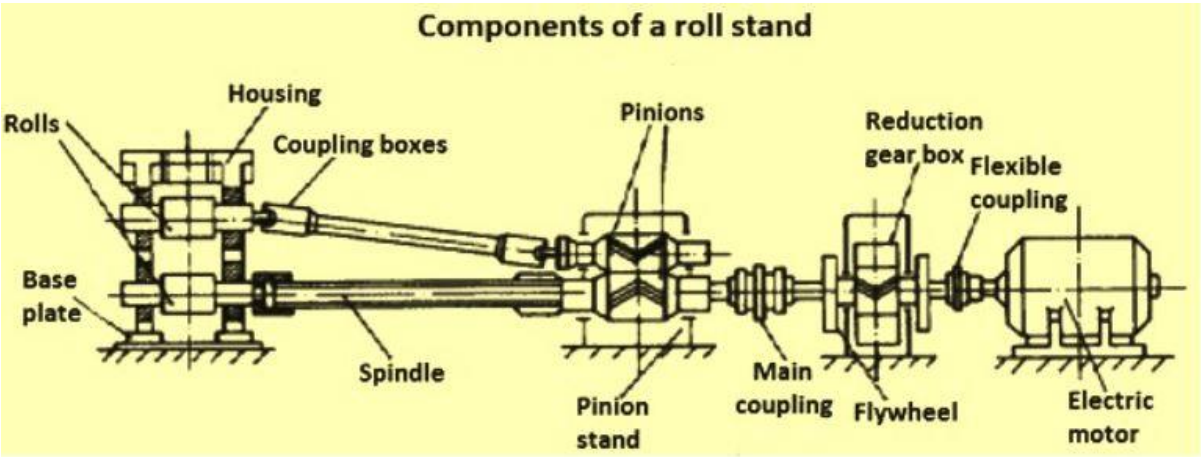
Sl. 2.4. Prikaz konfiguracija valjaka [12]

Jedna takva konfiguracija se naziva valjaonički stan (*eng. stand*). Najčešće je više stanova u nizu (dva pa nadalje), ali moguće je da je i samo jedan (Sl. 2.5.).



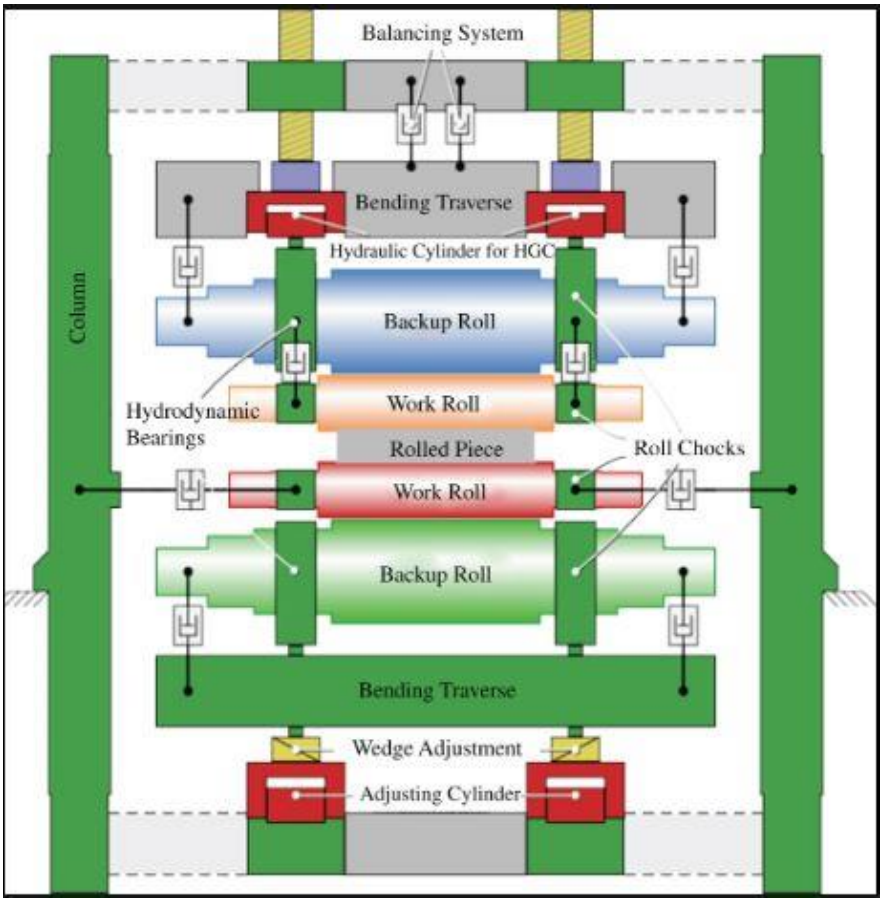
Sl. 2.5. Komponente jedne moguće izvedbe valjaoničkog stana [15]

Valjaonički stanovi se sastoje od dvije strane usporedno gledano sa smjerom kretanja materijala pri valjanju. Jedna strana se naziva operaterska strana (*eng. operator side*), a druga strana gdje je smješten pogon valjaka zajedno s ostatkom potrebnih mehaničkih pretvornika za pogon valjaka i nazivamo ju pogonskom stranom (*eng. drive side*) (Sl. 2.6.).



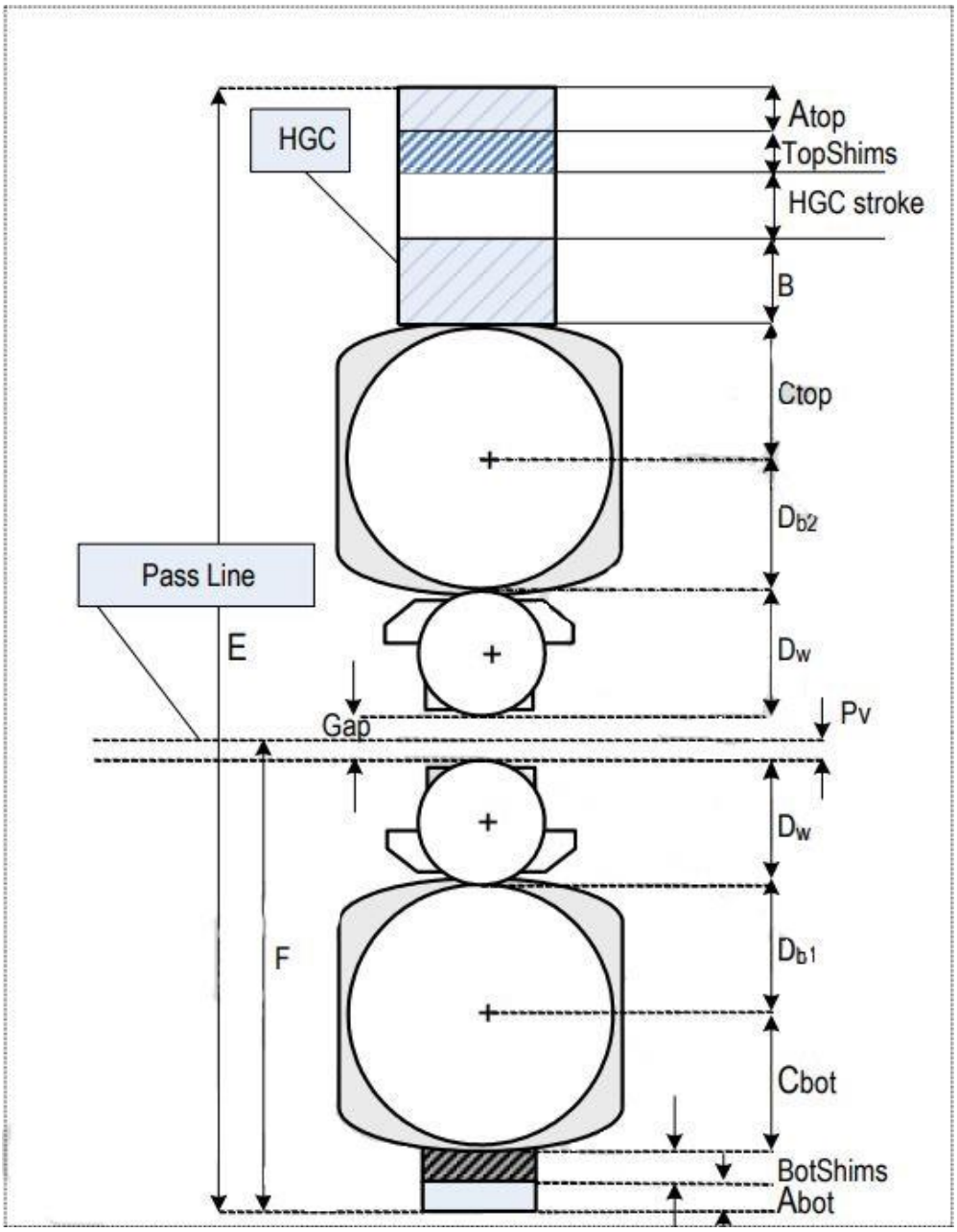
Sl. 2.6. Prikaz komponenata pogonske i operaterske strane [13]

Uređaji koji sačinjavaju valjaonički stan ovise o izvedbama valjaonice. Jedna od izvedbi valjaoničkog stana je prikaza slikom 2.7 .



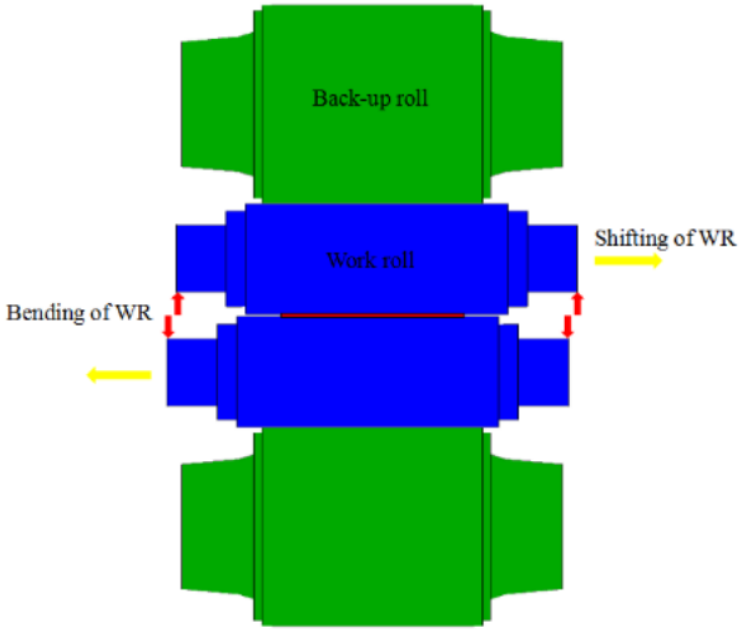
Sl. 2.7. Primjer konfiguracije valjaonice [11]

Jedan od uređaja je H.G.C hidraulični cilindar (*eng. Hydraulic gap controlc cylinder)* čija je svrha kontrola visine linije toka materijala između valjaka (*eng. passline*) koja je postavljena na početku na neku određenu vrijednost. Ta vrijednost s radom valjaonice raste jer se troše sami valjci i nakon nekog vremena ju je potrebno podesiti ponovno na određeni iznos. Moguća je izvedba putem ploča koje se umeću na odgovarajuće mjesto ispod standa (*eng. bottom and top shims)* ili putem regulacije po zatvorenoj petlji H.G.C cilindra (Sl. 2.8.).

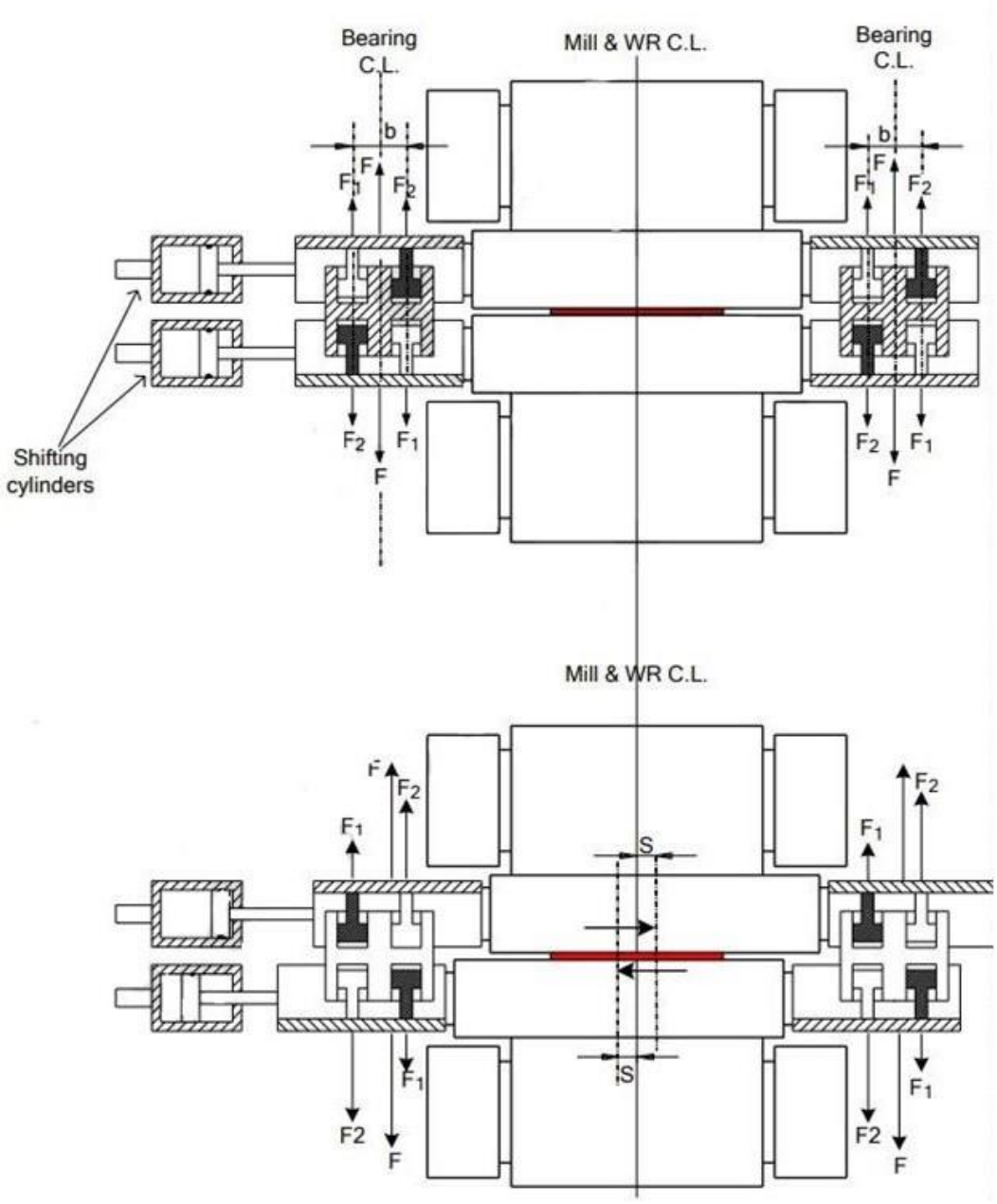


Sl. 2.8. Model 4-Hi konfiguracije [1]

Kontrola savijanja radnih valjaka (*eng. work roll bending*) omogućuje putem davanja odgovarajuće sile, zadanog smjera i iznosa upravljanje debljinom trake koja treba biti tanja na sredini i opadati kako se približava rubnom dijelu trake, a osim toga omogućuje i održavanje odgovarajućeg kontakta između pomoćnog valjka i radnog valjka. Hidraulični cilindri kontroliraju rad po PID regulaciji po zatvorenoj petlji i su smješteni okomito, sa svake strane po dva cilindra po jednom valjku. Prikaz rada pokazuju Sl. 2.9. te s Sl. 2.10.



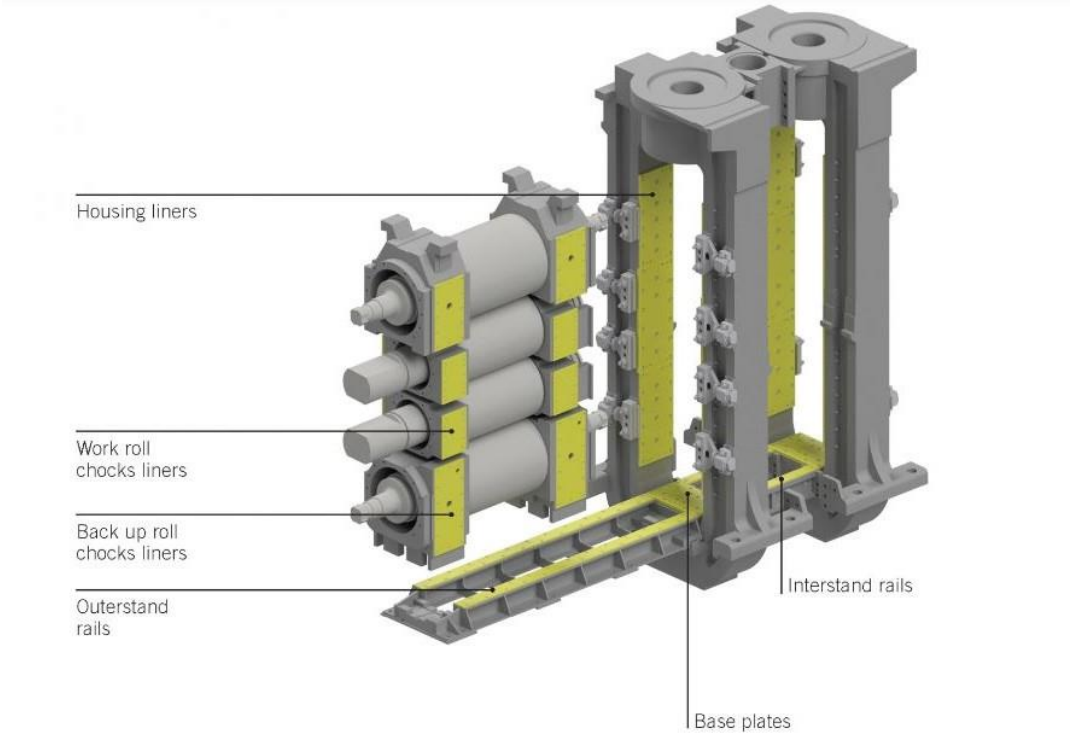
Sl. 2.9. Smjerovi davanja sila za savijanje i bočno pomicanje [14]



Sl. 2.10. Smjerovi davanja sila za savijanje i bočno pomicanje [1]

Hidraulični cilindri za bočno pomicanje valjaka (*eng. work roll shifting cylinders*) smješteni paralelno s obzirom na os vrtnje radnih valjaka, sa svake strane po jedan. Regulirani po PID algoritmu po zatvorenoj petlji i služe za pravilno raspoređivanje površine valjka prilikom valjanja, kako bi se valjak što ravnomjernije trošio odnosno kako bi se što dulje mogao koristiti. Prikaz načina rada prikazuje Sl. 2.10. te Sl. 2.9.

Od ostalih uređaja koriste se stezaljke (*eng. clamps*) za svaki od radnih valjaka koje se otpuštaju kada dođe do određene faze u procesu izmjene, odnosno ponovno zatežu nakon stavljanja novih valjaka. Svrha im je osiguravanje kontakta s čokom (*eng. chock*) koji im hvatišta na krajevima drži ne pomičnima tijekom rada valjaonice. Navedene komponente mogu se pronaći na slici 2.11.



Sl. 2.11. Dijelovi valjaoničkog stana [5]

Kako se rad valjaka se zasniva na prolasku valjka o površinu ugrijanog materijala što zbog hrapavosti podloga dovodi do trošenja. Nakon određenog vremena rada oni se istroše te tako ne osiguravaju zadovoljavajući rezultat valjanja pa ih je potrebno zamijeniti. Izmjena radnih valjaka se odvija periodički nakon nekog vremena rada ili nakon određenog prijeđenog puta. Trenutak za izmjenu može biti automatski određen i također je moguće da operater ručnim naredbama da zahtjev za izmjenu u bilo kojem trenutku.

Tab. 2.1. Načini kontrole procesa izmjene radnih valjaka

Načini rada	
Lokalno (eng. HMI)	**-Ručno** (odabir koraka)
Udaljeno (*eng. Remote*)	- **Ručno** (odabir koraka) - **Automatski** (slijed sekvenci po proceduri)

Taj proces je moguće započeti tek ukoliko su svi potrebni uvjeti ispunjeni te izmjena nije moguća u samom radu valjaonice, odnosno glavni uvjet je da proces valjanja mora stati s radom. Područje oko same valjaonice mora biti oslobođeno. Tako odobrenjem zahtjeva za izmjenu, započinje faza pripreme koja može imati i zvučnu te vizualnu signalizaciju da je potrebno osloboditi područje u kojem se obavlja postupak.

Tab. 2.2. Uvjeti za izmjenu radnih valjaka

uvjeti
hidraulični sustav u radu
valjaonički stanovi oslobođeni
novi valjci utovareni na pomičnu platformu
pomični cilindar (pomoćni valjci) u početnom položaju
sustav balansiranja pomoćnih valjaka u radu
pomični cilindar (radni valjci) u poziciji "čekanja"

Nakon što je poslan zahtjev za izmjenu valjaka prošao, odnosno dobiveno je dopuštenje za navedenu proceduru, tada proces započinje. U tijeku procesa izmjene ako se dogodi slučaj

određenog kvara ili kumulativnih kvarova dolazi do određene akcije. Ti uvjeti su definirani u sustavu, odnosno povezani su logikom.

Osim izmjene radnih valjaka, moguće je izvršiti izmjenu i pomoćnih jer su pomoćni valjci u izravnom doticaju s radnim valjcima. Procedura je slična onoj za zamjenu radnih valjaka i smatra se zasebnom procedurom.

U proceduri izmjene radnih valjaka, koriste se odgovarajući uređaji, a bit će opisani u daljnjem tekstu.

2.2.1. Tehnički opis uređaja

Poglavlje je opisano na temelju tehničke dokumentacije pogona za toplo valjanje [1].

Uređaji koji se koriste za proces izmjene valjaka su nabrojani redom:

1.pomična platforma (*eng. side shifting platform*),

2. nagibna platforma (*eng. tilting platform*),

3. hidraulični cilindar za povlačenje i uvlačenje (*eng. pullout ram hydraulic cylinder*),

4. kuka (*eng. hook clamps).*

Pomična platforma je uređaj koji je zajednički za dva susjedna valjaonička stana. Svaki valjaonički stan ima po dvoja kolica (*eng. bed*), jedna za utovar starih valjaka ispred samog valjaoničkog stana, a druga za istovar novih valjaka koji se montiraju nakon što se prethodno stari istovare. Pomicanje je realizirano putem dva hidraulična cilindra koji se zapravo pomiču sukladno.

Kuka koja je instalirana na vrh hidrauličnog cilindra ima funkciju zatvaranja kontakta o prsten za kačenje na valjku prilikom dolaska cilindra u odgovarajuću poziciju, poziciju za izmjenu radnog valjka. Realizacija zatvaranja i otvaranja kontakata kuke je ostvarena putem jednog hidrauličnog cilindra.

Hidraulični cilindar za uvlačenje i izvlačenje je glavni uređaj koji obavlja pomicanje valjaka iz jedne pozicije u drugu, a nalazi se na nagibnoj platformi koja prethodno se nagne u položaj pogodan za cilindar. Platforma ima samo jedan hidraulični cilindar. Broj ovih uređaja je jednak broju valjaoničkih stanova, odnosno za svaki valjaonički stan po jedna nagibna platforma i hidraulični cilindar.

2.2.2. Sekvence izmjene radnih valjaka

proceduru je moguće podijeliti u šest faza:

1.priprema novih valjaka,

2.priprema valjaonice za proces izmjene,

3.postupak skidanja starih radnih valjaka,

4.postupak postavljanja novih radnih valjaka,

5. vraćanje valjaonice u rad,

6. odvoženje starih valjaka.

priprema novih valjaka započinje utovarom novih valjaka u predviđena kolica. Kolica se postavljaju na pomičnu platformu koja se najprije treba pomaknuti u poziciju utovara. Idući korak je pomicanje pomične platforme prema poziciji ispred valjaoničkog stana na kojemu se treba obaviti procedura izmjene. Zadnji korak procedure je pomicanje platforme ispred pozicije za utovar istrošenih valjaka koji se mijenjaju

Iduća faza je priprema valjaonice što se odnosi na postupak pomicanja uređaja u odgovarajuće položaje kako bi se mogla obaviti daljnja procedura.

Tab. 2.3. Priprema valjaonice

uređaj	**opis**
H.G.C cilindar	u krajnji gornji položaj
hidraulični cilindri za bočno pomicanje radnih valjaka	uvučeni
Sustav hidrauličnih cilindara za kontrolu ravnoteže pomoćnih valjaka	uvučeni
hidraulični cilindri za bočno savijanje radnih valjaka	uvučeni
hidraulični cilindar za izvlačenje i uvlačenje radnih valjaka	u određenoj poziciji ispred valjaoničkog stana (spw)
pogonske osovine	izvučene
nagibna platforma	podignuta u gornji položaj
petljasta vodilica (*eng. looper*)	podignuta u gornji položaj
bočne i gornje vodilice	uvučene
tračnice	podignute
stezaljke donjih radnih valjaka	otvorene

Nakon uspješno obavljene pripreme valjaonice, slijedi postupak skidanja korištenih valjaka započinje pomicanjem hidrauličnog cilindra za povlačenje i guranje u poziciju gdje je moguće zakačiti kuku na predviđeno mjesto na donjem radnom valjku (sp1).

Cilindar se zatim povlači za oko pola metra i tako djelomično izvuče donji radni valjak (sp2) tada se spuštanjem gornjeg radnog valjka na predviđeno mjesto na donjem radnom valjku koje nazivamo klinom, omogućuje kontakt pa tako se daljnjim korakom zajedno povlače u sp3 što označava položaj gdje se kolica s potrošenim radnim valjcima trebaju izvući. Nakon toga slijedi pomicanje hidrauličnog cilindra za nekih 5cm pri čemu se otvara kuka za kačenje (*eng. latching hook*).

Zadnji koraci procedure skidanja starih valjaka predstavljaju korak pomicanja pomične platforme za određeni iznos prema naprijed, kako bi set novih valjaka bio u ravnini s valjaoničkim stanom te kad se hidraulični cilindar za povlačenje i guranje radnih valjaka ide u početnu poziciju sp0. Nakon toga se i hidraulični cilindar od kuke aktivira i tako pomakne kuku u donji položaj.

Postupak stavljanja novih valjaka je jednostavniji jer je su gotovo svi uređaji na valjaoničkom stanu već u odgovarajućem položaju. Potrebno je da hidraulični cilindar za povlačenje i guranje radnih valjaka pogura kolica s nizom novih valjaka sve do pozicije ispred valjaoničkog stana u točki sp5 pri čemu se postavlja gornji radni valjak na valjaonicu. Slijedi zatvaranje kontakta za gornji radni valjak te vraćanje cilindara za kontrolu savijanja gornjeg valjaka u početni položaj. Nakon toga još je potrebno hidrauličnim cilindrom pogurati kolica za oko pola metra da se postavi i donji radni valjak na valjaonicu i to predstavlja točku sp6, zatim ako i kod gornjih valjaka , zatvaranje kontakta, postavljanje cilindara za kontrolu savijanja donjih valjaka u početni položaj i uz to se spuštaju tračnice između valjaoničkih stanova.

Tab. 2.4. Postupak izvlačenja starih valjaka

uređaj	**opis**
hidraulični cilindar za izvlačenje i uvlačenje radnih valjaka	sp1
hidraulični cilindar za izvlačenje i uvlačenje radnih valjaka	sp2
hidraulični cilindar za izvlačenje i uvlačenje radnih valjaka	sp3
hidraulični cilindar za izvlačenje i uvlačenje radnih valjaka	sp4
kuka za ostvarivanje fizičkog kontakta o kolica	zatvaranje kontakta (donji položaj)
pomična platforma	naprijed
hidraulični cilindar za izvlačenje i uvlačenje radnih valjaka	sp0

Tab. 2.5. Postupak postavljanja novih radnih valjaka

uređaj	**opis**
hidraulični cilindar za izvlačenje i uvlačenje radnih valjaka	sp5
stezaljke gornjeg radnog valjka	zatvaraju se
hidraulični cilindri za bočno savijanje gornjeg radnog valjka	izvlače se
hidraulični cilindar za izvlačenje i uvlačenje radnih valjaka	sp6
stezaljke donjeg radnog valjka	zatvaraju se

Nakon uspješno izvršene procedure izmjene valjaka, slijedi vraćanje valjaonice u radno stanje. Tada se reverzibilnim koracima uređaji iz faze pripreme valjaonice za izmjenu radnih valjaka, vraćaju na početne postavke rada.

Tab. 2.6. Vraćanje valjaonice na radne postavke

uređaj	**opis**
stezaljke donjih radnih valjaka	zatvorene
pogonske osovine	mehanički spojene s radnim valjcima
tračnice	spuštene
bočne i gornje vodilice	u radnom položaju
hidraulični cilindri za bočno savijanje radnih valjaka	u radnom položaju
hidraulični cilindar za izvlačenje i uvlačenje radnih valjaka	sp0
nagibna platforma	spuštena

petljasta vodilica (*eng. looper*)	u radnom položaju
H.G.C cilindar	u radnom položaju
Sustav hidrauličnih cilindara za kontrolu ravnoteže pomoćnih valjaka	u radnom položaju

Zadnja faza se odnosi na postupak reparacije i zbrinjavanja potrošenih valjaka.

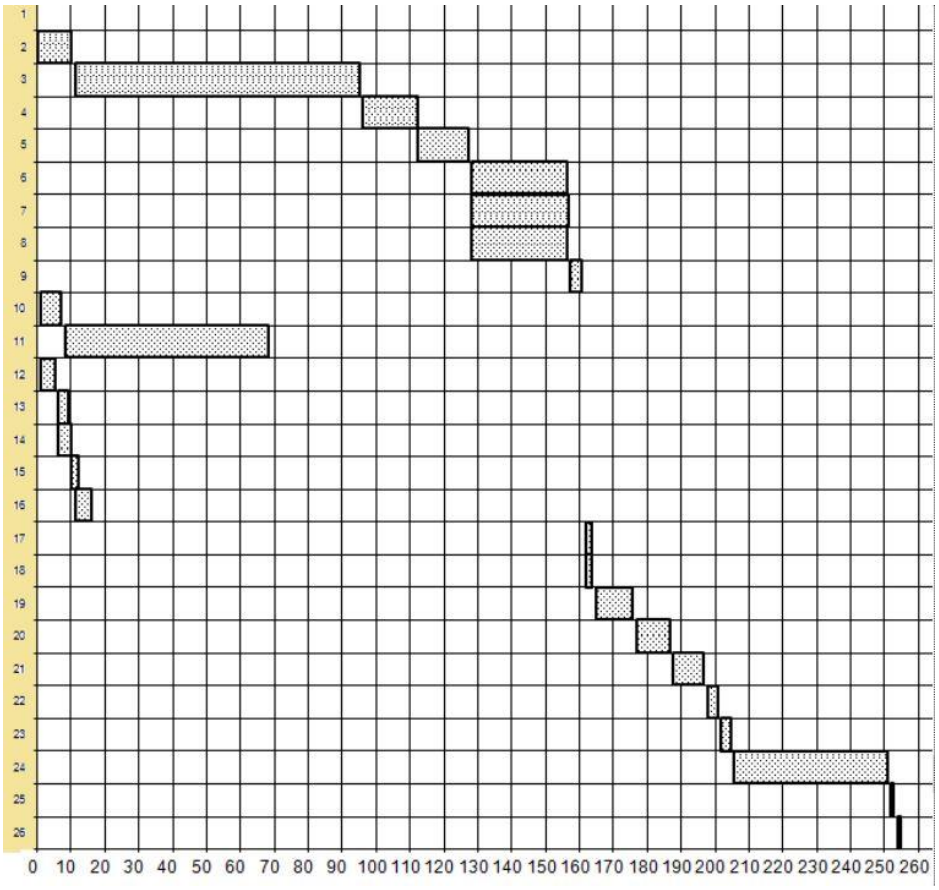
Izmjena radnih valjaka se sastoji od niza koraka tj. sekvenci koje se mogu obavljati automatskim slijedom ili manualno (ručno).

Pod automatskim načinom podrazumijevamo odvijanje po unaprijed određenom planu uz provjeravanje točno određenih uvjeta. Neki uvjeti se provjeravaju samo na početku rada, a neke cijelo vrijeme tijekom rada. Kad se neki uvjet izgubi, poduzima se odgovarajuća akcija, najčešće zaustavljanjem pogona.

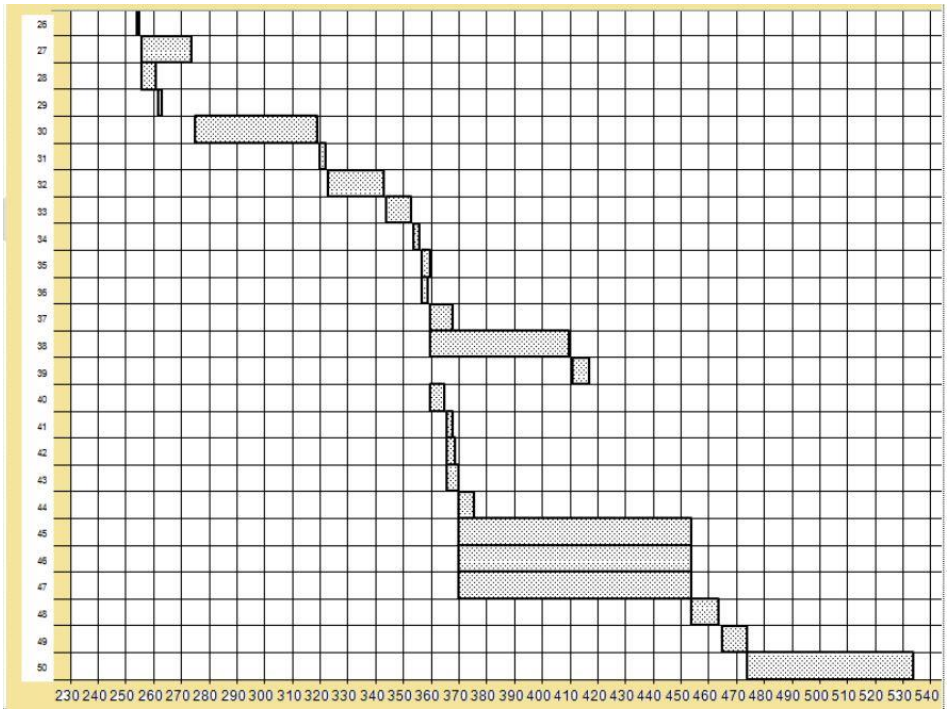
Ručne naredbe se odnose na odvijanje procedure po principu "korak po korak". Moguće je osim udaljene kontrole, naredbu dati i putem lokalnog panela HMI-ja, operaterski na kojemu stoji ograničeni niz funkcija i prikaza veličina, u skladu s potrebama sustava. Ručne naredbe se uglavnom koriste samo u slučaju kvara kad proces ne smije nastaviti s daljnjom procedurom.

2.2.3. Koncept rješenja zadatka

Rješenje će se realizirati prema primjeru niza sekvenci izmjene radnih valjaka postrojenja, a prikazane su slikama Sl. 2.12 i Sl. 2.13.

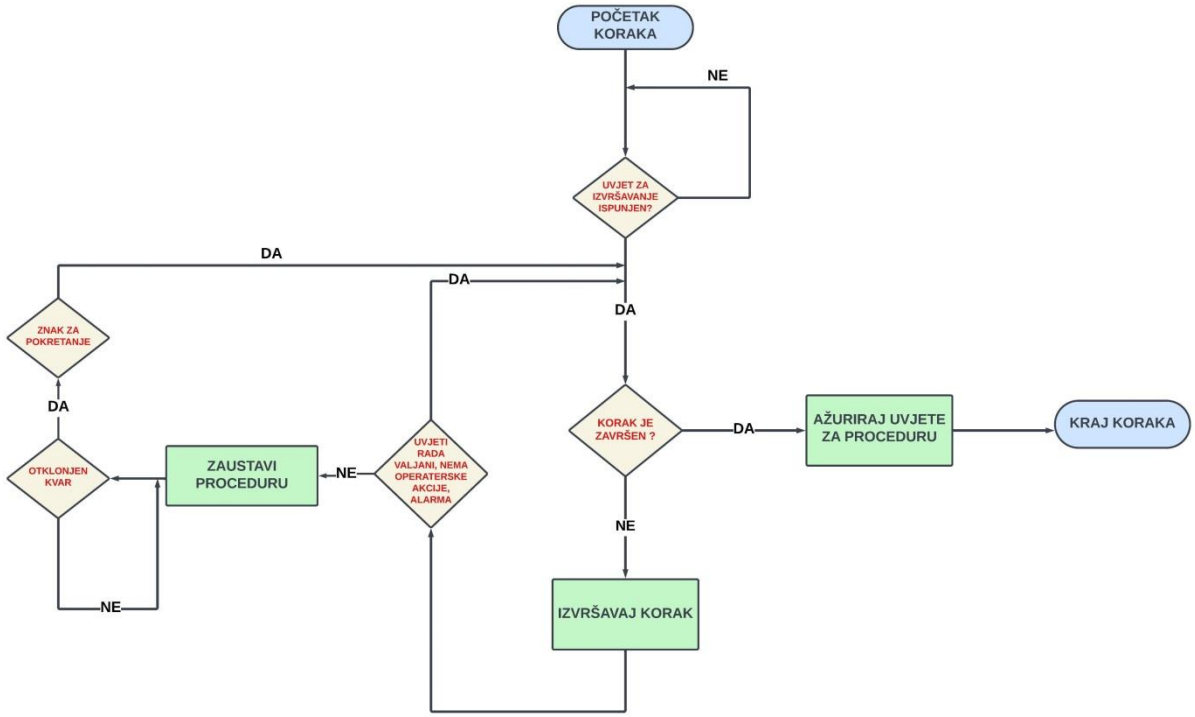


Sl. 2.12. Koraci slijeda [1]



Sl. 2.13. Koraci slijeda [1]

Formira se niz varijabli koje označavaju aktivnost pojedinog koraka. Aktivnost koraka traje sve dok se ne postigne željeno stanje koraka. Svaki korak označava se varijablom koja prikazuje odvijanje koraka. Kad je varijabla u istinitoj vrijednosti, tada se uključuje korak koji traje sve dok se ne postigne status koji označava stanje završenog koraka. Završavanjem koraka, najprije se dodjeljuju vrijednosti uvjetima za iduće korake koji bi trebali uslijediti te se zatim daje statusnoj varijabli odgovarajuća vrijednost ("true") da je korak završen. Tijekom rada provjeravaju se uvjeti te se procedura zaustavlja ako je aktivirano stanje alarma, a također doći će do zaustavljanja procedure i ako je putem korisničkog sučelja operaterskom akcijom promijenjen način rada te i slučaj kada se operaterskom naredbom "stop" prisilno zaustavi procedura. U stanju kvara svaki pokušaj pokretanja (zahtjev) će se poništiti sve dok se kvar ne otkloni. Otklanjanjem kvara morat će se ponovno dati znak za pokretanje, odnosno odabrati željeni način rada procedure izmjene. (Sl. 2.14.)

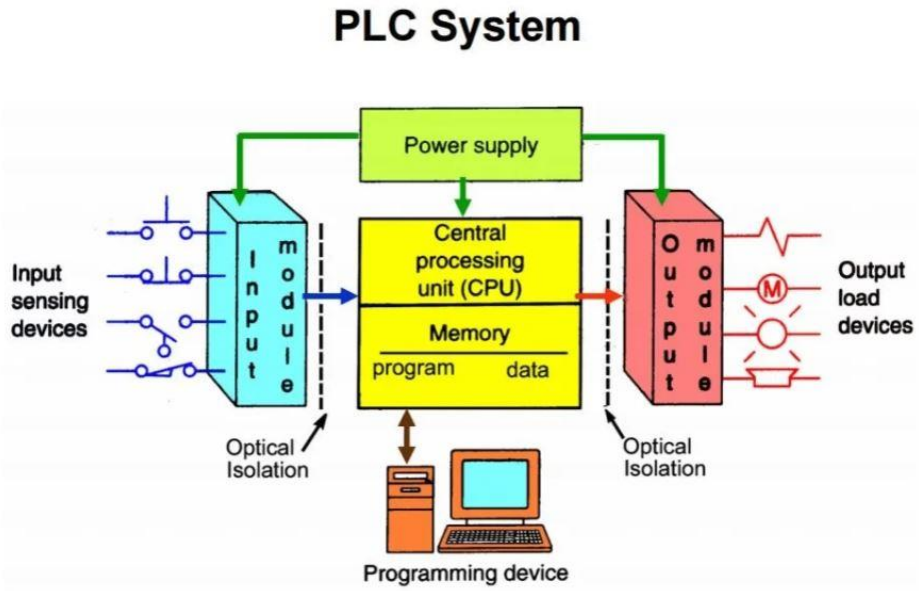


Sl. 2.14. Dijagram toka koraka

3. PROGRAMSKA PODRŠKA I TESTIRANJE

Realizacija cijele programske podrške u što je uključena vizualizacija lokalnog korisničkog panela HMI-ja, simuliranja procesa, ostvareno je putem *Siemens TIA Portal*-a koji se koristi za programiranje PLC-ova. Korištena je verzija V15.1.

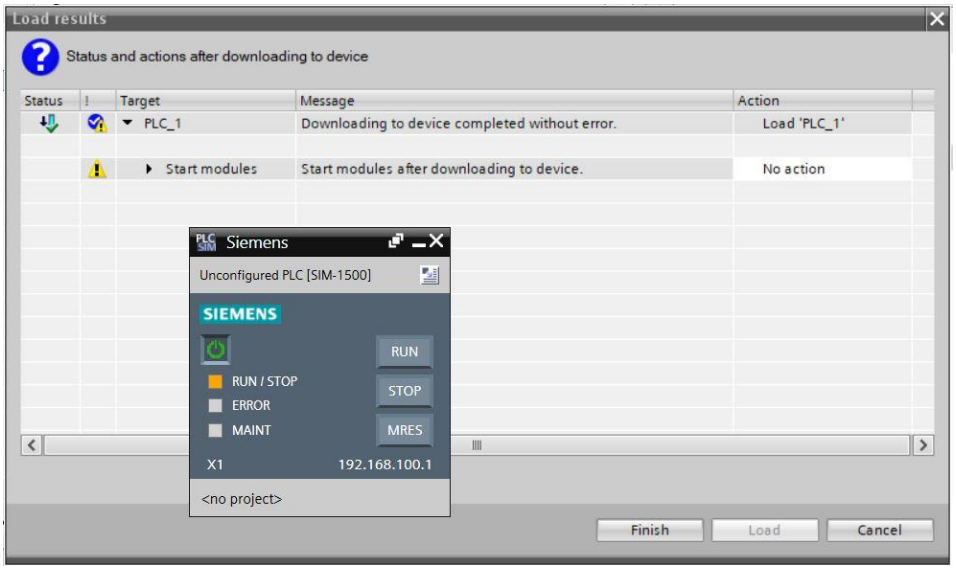
Procesom upravljaju programibilni logički upravljači koji su sami po sebi mala procesna računala. Kao i sva računala po svojoj arhitekturi imaju svoju RAM memoriju, ROM memoriju, mikroprocesor, a mogu imati i eksternu memoriju kao što su memorijske kartice za pohranu podataka. Osim toga oni moraju imati i druge dijelove poput analognih i digitalnih ulaza na koje se spajaju uređaji iz procesa koji se kontrolira te izlaza koji se povezuju na izvršne uređaje. Imaju nužno sklopovlje za prilagodbu signala i na ulazu i izlazu, pretvornike signala te A/D pretvornike na ulazu i D/A na izlazu što se ponovno spaja na proces koji se kontrolira odnosno kojem se reguliraju vrijednosti. Primjena PLC-ova je vrlo raširena u industrijskim pogonima svih vrsta za primjenu procesne automatizacije (Sl. 3.1.).



Sl. 3.1. Shematski prikaz principa rada PLC-a [8]

PLC se programira na PC-ju putem odgovarajućeg programa za programiranje PLC-ova gdje se u aplikaciji stvori kod i kasnije putem odgovarajućeg tipa komunikacije prebaci na PLC. Primjer je Siemens-ova serija PLC-ova *S7-1500* koja se programira putem *TIA Portala*, preciznije pomoću njegovog alata *Simatic Step 7*. Programirati se može i vizualizacija pri čemu se dio realiziranih funkcija, poput programske logike za naredbe putem tipaka, oslanja na programski kod u *Step 7* alatu, a vizualizaciju je osim toga moguće realizirati putem elemenata iz već programski postojećih datoteka ili iz onih naknadno nadograđenih.

Konkretno TIA Portal omogućuje i simuliranje PLC-a putem alata *S7-PLCSIM* gdje procesor PC-ja može oponašati njegovu funkciju pa je moguće raditi simulacije maketa, raznih sustava bez da imamo fizički PLC i maketu sustava.



Sl. 3.2. PLC simulator prilikom pokretanja

Programiranje je moguće u više programskih jezika: LAD, FBD, SCL, STL, GRAPH te je izbor programskog jezika je ponajviše stvar osobne preferencije, ali u nekim situacijama je izbor programskog jezika logičniji. GRAPH je ako se neki koraci odvijaju sekvencijalno moguć kao dobar izbor. SCL koji je baziran na višem programskom jeziku Pascal-u te je prikladniji za funkcije gdje se koriste matematički izrazi, naročito oni složeniji od osnovnih matematičkih operacija i uspješno se koristi za ostvarivanje programskih petlji. LAD je najčešći izbor ako nam je potrebna vizualizacija puta signala i generalno se može reći da je najčešće korišteni izbor za programiranje PLC-ova. Ipak kombiniranje različitih programskim jezika je moguće pa se

najčešće tako i koristi s naglaskom da svaka mreža u kodu tj. (*eng. network*) mora imati jedinstveni programski jezik.

3.1. Programsko rješenje

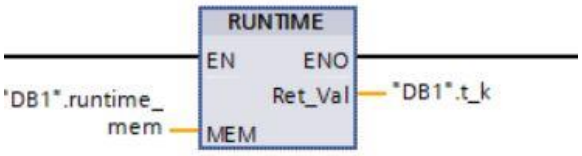
U simulaciji je korišten simulator *S7-PLCSIM* kojim je simuliran rad PLC-a *1513-1 PN* te HMI ekran naziva *TP2200 Comfort* koji su povezani virtualnom ETHERNET komunikacijskom vezom. Navedeno prikazuju Slike 3.3. i 3.4.

Sl. 3.3. prikaz odabrane hardverske konfiguracije PLC-a

Sl. 3.4. Umreženo sklopovlje

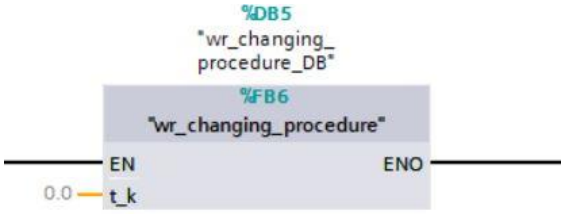
Cijeli program se odvija u programskom bloku OB1 "Main" unutar kojeg su postavljeni blokovi od korištenih uređaja. Rješenje je zamišljeno da se vrijeme generira preko programske funkcije "runtime" čija izlazna vrijednost predstavlja vremenski korak. Vremenski korak

predstavalja ciklus vremena koji je potreban PLC-u da izvrši cijeli programski kod ili neki dio koda, ovisno o mjestu u programu gdje je taj blok postavljen [9]. "Runtime" blok je postavljen u glavnom OB-u s najvišim prioritetom izvršavanja. Taj vremenski korak će se koristiti za simuliranje izvršavanja svih sekvenci nadodavanjem na sumu svakog pojedinog koraka pod uvjetima da je taj korak u tijeku izvršavanja. Nakon određenog trenutka prestaje inkrementiranje vrijednosti što označava ujedno i kraj započetog koraka. (Sl. 3.5.)



Sl. 3.5. Blok funkcije "Runtime"

Glavni dio na koji se svi ostali blokovi uređaja vežu je napravljen u funkcijskom bloku "wr_changing_procedure" (Sl. 3.6.), koji predstavlja proces sekvenci procedure izmjene, a na koji se pozivaju ostali uređaji u određenom koraku procedure odnosno, navedeni blok daje odgovarajuće vrijednosti varijabli koje predstavljaju pozivanja u određene položaje.



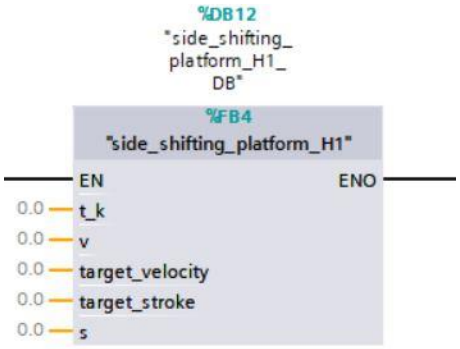
Sl. 3.6. Funkcija procedure izmjene radnih valjaka

Veći dio koraka procedure je simuliran potrebnim vremenskim trajanjem svakog pojedinog koraka koji se korištenjem već spomenutog programskog bloka "runtime", nadodavanjem povratne vrijednosti koje predstavlja korak vremena na vrijednost sume koraka, povećavaju od početne vrijednosti 0 pa sve do zadane vrijednosti. Varijable definiramo kao realni tip . Nakon ispunjenja traženog uvjeta, statusna varijabla za kraj koraka dobiva svoju odgovarajuću vrijednost (Sl. 3.7.).

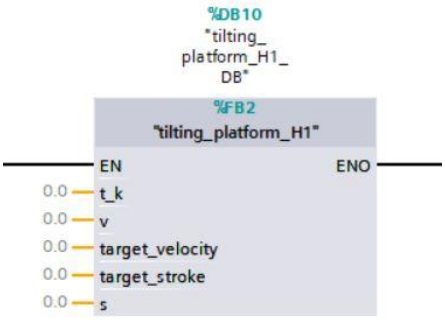
```
54 ⊞    IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."2 Main ...
70 ⊟    IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."3 Set 3mm 3 gap H1 (HAGC cylinder supposed completely retracted)" = TRUE THEN
71 ⊟        IF "DB_VRIJEDNOSTI_KORAKA".AAA."3" = FALSE THEN
72              "DB_VRIJEDNOSTI_KORAKA".START."3" := "DB1".t_uk;
73              "DB_VRIJEDNOSTI_KORAKA".AAA."3" := TRUE;
74              ;
75          END_IF;
76          "DB1".steps_time_sim."3" := "DB1".steps_time_sim."3" + #t_k;
77 ⊟        IF "DB1".steps_time_sim."3" >= 84 THEN
78              "DB1".status_step_done."3" := TRUE;
79              "DB_VRIJEDNOSTI_KORAKA".FINISH."3" := "DB1".t_uk;
80              "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."4 H1 top & bottom WR axial shifting to full shifted position" := TRUE;
81              "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."3 Set 3mm 3 gap H1 (HAGC cylinder supposed completely retracted)" := FALSE;
82              ;
83          END_IF;
84          ;
85      END_IF;
86 ⊟    IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."4 H1 top & bottom WR axial shifting to full shifted position" = TRUE THEN
87 ⊟        IF "DB_VRIJEDNOSTI_KORAKA".AAA."4" = FALSE THEN
88              "DB_VRIJEDNOSTI_KORAKA".START."4" := "DB1".t_uk;
89              "DB_VRIJEDNOSTI_KORAKA".AAA."4" := TRUE;
90              ;
```

Sl. 3.7. Izvršavanje simuliranog koraka procedure

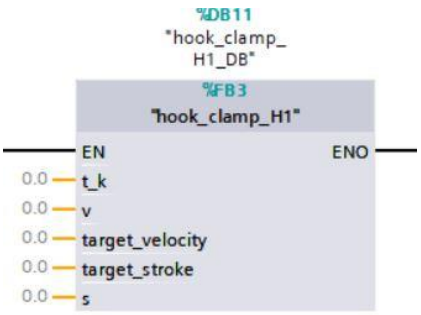
Modeliraju se funkcije uređaja koji služe za obavljanje procedure izmjene radnih valjaka. Ti su uređaji nabrojani i ukratko opisani u tehničkom opisu uređaja unutar drugog poglavlja.



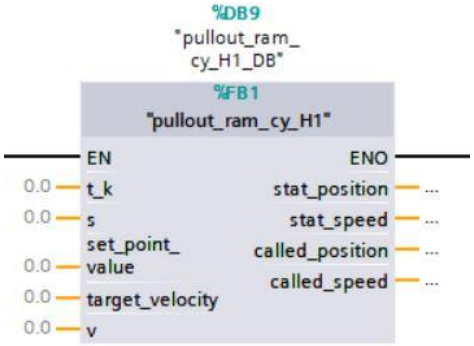
Sl. 3.8. Funkcijski blok uređaja pomične platforme



Sl. 3.9. Funkcijski blok uređaja nagibne platforme

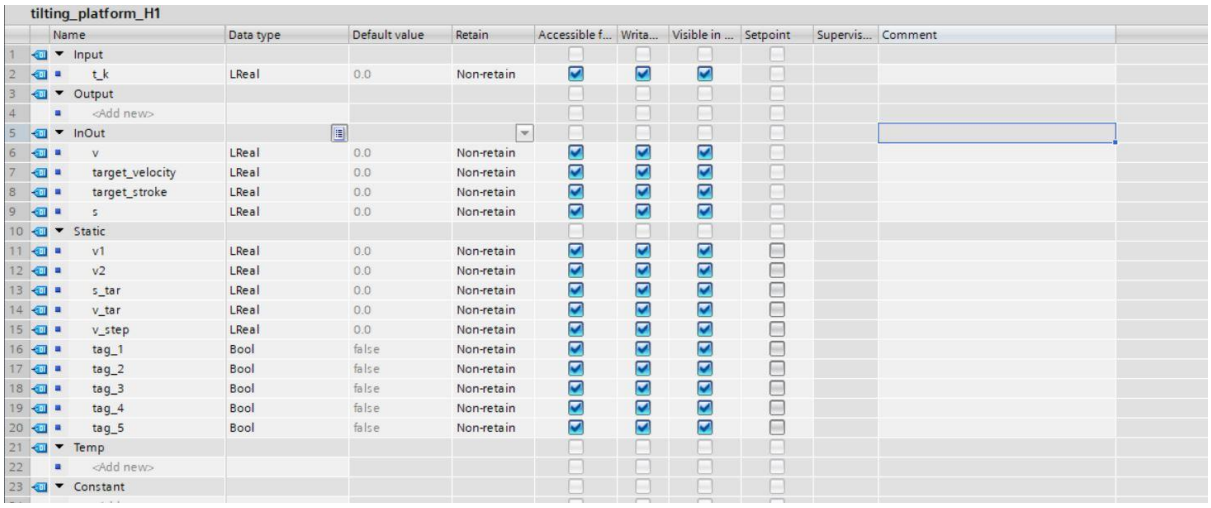


Sl. 3.10. Funkcijski blok uređaja kuke



Sl. 3.11. Funkcijski blok uređaja hidraulični cilindar za uvlačenje i izvlačenje radnih valjaka

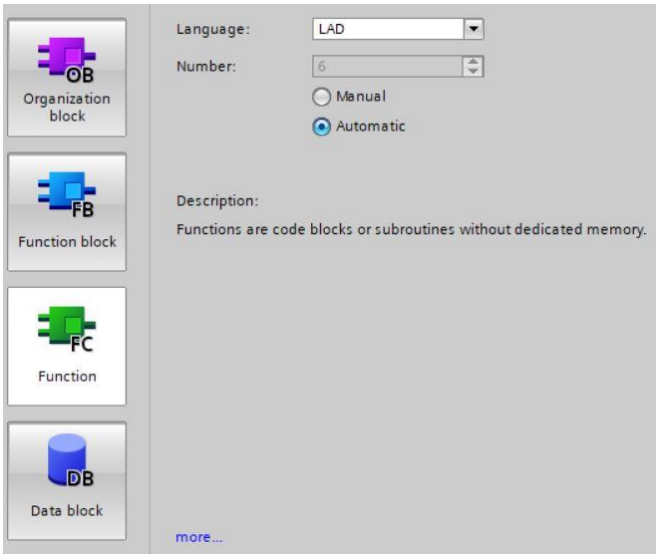
Svaki od uređaja je napravljen u funkcijskom bloku iz razloga što u svim blokovima od uređaja je potrebno spremanje vrijednosti položaja i trenutne brzine, odabir funkcijskog bloka umjesto obične funkcije je bolji izbor jer posjeduje vlastitu memoriju za spremanje podataka te je moguće definiranje varijabli koje se koriste samo unutar vlastitog bloka od konstanti pa do definiranja ulaza i izlaza. Slikom 3.12 dan je prikaz za jedan od uređaja.



tilting_platform_H1

	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervis...	Comment
1	Input				☐	☐	☐	☐		
2	t_k	LReal	0.0	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
3	Output				☐	☐	☐	☐		
4	<Add new>				☐	☐	☐	☐		
5	InOut				☐	☐	☐	☐		
6	v	LReal	0.0	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
7	target_velocity	LReal	0.0	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
8	target_stroke	LReal	0.0	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
9	s	LReal	0.0	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
10	Static				☐	☐	☐	☐		
11	v1	LReal	0.0	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
12	v2	LReal	0.0	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
13	s_tar	LReal	0.0	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
14	v_tar	LReal	0.0	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
15	v_step	LReal	0.0	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
16	tag_1	Bool	false	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
17	tag_2	Bool	false	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
18	tag_3	Bool	false	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
19	tag_4	Bool	false	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
20	tag_5	Bool	false	Non-retain	☑	☑	☑	☐		
21	Temp				☐	☐	☐	☐		
22	<Add new>				☐	☐	☐	☐		
23	Constant				☐	☐	☐	☐		

Sl. 3.12 Definiranje varijabli funkcijskog bloka "tilting_platform_H1"



Sl. 3.13. Prikaz mogućih tipova funkcija

Blokovi: "pullout_ram_hy_cy_H1", "hook_clamp_H1","side_shifting_platform", "tilting_ platform_H1" imaju funkciju simuliranja jednostavnih kretnji hidrauličnih klipova koji ih pokreću. Blok "pullout_ram_hy_cy_H1" ima nešto više funkcija, poput pozivanja određene točke u koju mora klip doći (*eng. setpoint*), ovisno o koraku procedure, te odabir željene brzine rada. Sve su funkcije programirane kako za automatsko odvijanje sekvenci, tako i za ručne operacije. Svaki blok dobiva vrijednost za određeni položaj u koji bi hidraulični klip trebao doći od "wr_changing_procedure" funkcijskog bloka u određenom koraku procedure (sl. 3.15.). Za sve uređaje je to samo poziv ili u krajnje gornju ili u krajnje donju poziciju. Izuzetak je "pullout_ram_hy_cy_H1" kod kojeg je takva izvedba nešto složenija jer se predaje neka od

ukupno osam vrijednosti položaja (Sl. 3.14.) i uspoređuje se s trenutnim položajem. Ta vrijednost se upisuje u varijablu funkcijskog bloka koja predstavlja pozvanu poziciju (Sl. 3.16.). Svaka od logičkih varijabli ima svoju odgovarajuću realnu varijablu koja se dodjeljuje realnoj varijabli "setpoint", ovisno o pozvanoj poziciji.

```
1
2  #sp0 := 0;
3  #spw := 5959;
4  #sp1 := 6980;
5  #sp2 := 6519.5;
6  #sp3 := 419.5;
7  #sp4 := 459.5;
8  #sp5 := 6596;
9  #sp6 := 7011;
10 #a_step := 0.1;
11
12 //kao default
13 //#v := 80;
14 //
15
```

Sl. 3.14. Mogući "setpoint" za uređaj "pullout_ram_hy_cy_H1"

```
152 ⊞      IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."8 H1 ...
168 ⊞      IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."9  ...
186 ⊞      IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."2 Main ...
201        ///10. step: tilting plate up
202 ⊞      IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."10 ...
214        ////11. step: pullout ram hy cy to spw
215 ⊟      IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."11 WR pull out cylinder to waiting position (OFF CICLE)" = TRUE THEN
216 ⊟          IF "DB_VRIJEDNOSTI_KORAKA".AAA."11" = FALSE THEN
217                "DB_VRIJEDNOSTI_KORAKA".START."11" := "DB1".t_uk;
218                "DB_VRIJEDNOSTI_KORAKA".AAA."11" := TRUE;
219                ;
220            END_IF;
221            "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_position.spw := TRUE;
222 ⊟          IF "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.spw = TRUE THEN
223                "DB1".status_step_done."11" := TRUE;
224                "DB_VRIJEDNOSTI_KORAKA".FINISH."11" := "DB1".t_uk;
225                "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_position.spw := FALSE;
226                "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."11 WR pull out cylinder to waiting position (OFF CICLE)" := FALSE;
227                ;
228            END_IF;
229            ;
230        END_IF;
231 ⊞      IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."12  ...
249 ⊞      IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."13  ...
265 ⊞      IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."14  ...
282 ⊞      IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."15  ...
299 ⊞      IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."16  ...
315 ⊞      IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."17  ...
330 ⊞      IF "WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1"."18 ...
349        ////19. step: pullout ram hy cy to sp1
```

Sl. 3.15. Dio programskog koda "wr_changing_procedure" funkcijskog bloka

```
1110    #called_position.sp0 := "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_position.sp0;
1111    #called_position.spw := "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_position.spw;
1112    #called_position.sp1 := "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_position.sp1;
1113    #called_position.sp2 := "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_position.sp2;
1114    #called_position.sp3 := "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_position.sp3;
1115    #called_position.sp4 := "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_position.sp4;
1116    #called_position.sp5 := "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_position.sp5;
1117    #called_position.sp6 := "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_position.sp6;
1118
1119    IF #tag_1 = TRUE THEN ... END_IF;
1124
1125
1126    IF #called_position.sp0 = TRUE THEN
1127        #set_point_value := #sp0;
1128        ;
1129    END_IF;
1130    IF #called_position.spw = TRUE THEN
1131        #set_point_value := #spw;
1132        ;
1133    END_IF;
1134    IF #called_position.sp1 = TRUE THEN
1135        #set_point_value := #sp1;
1136        ;
1137    END_IF;
1138    IF #called_position.sp ... THEN ... END_IF;
1142    IF #called_position.sp ... THEN ... END_IF;
1146    IF #called_position.sp ... THEN ... END_IF;
1150    IF #called_position.sp ... THEN ... END_IF;
1154    IF #called_position.sp ... THEN ... END_IF;
```

Sl. 3.16. Dodjeljivanje vrijednosti varijabli za setpoint

Idući dio je izvršavanje one IF petlje za koju je usporedba važeća koji je prikazan slikom 3.17. Tada se dobiveni "setpoint" uspoređuje s trenutnom vrijednosti položaja te sukladno tim, donosi se odluka što blok treba činiti. Jedna se odnosi na strogo veće, druga na strogo manje.

```
1329    IF #s > #set_point_value OR #tag_2 = TRUE THEN
1330        #s := #s + #t_k * #v;
1331 (*  IF #s = 0.95 * #set_point_value THEN
1332            #target_velocity := 0;
1333            ;
1334        END_IF; *)
1335        #v1 := 10;
1336        #v2 := 40;
1337        #v3 := 80;
1338        #v4 := 150;
1339        #v_step := 0.03;
1340
1341        IF #tag_speed_chosen  ... THEN ... END_IF;
1348
1349
1350        #called_speed.zero := "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_speed.zero;
1351        #called_speed.low_speed := "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_speed.low_speed;
1352        #called_speed.intermediate_speed := "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_speed.intermediate_speed;
1353        #called_speed.top_speed := "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_speed.top_speed;
1354        #called_speed.top_speed_no_load := "DB1".pullout_ram_hy_cy.calling_speed.top_speed_no_load;
1355        IF #called_speed.zero = TRUE THEN
1356            #target_velocity := #v_zero;
1357            ;
1358        END_IF;
1359        IF #called_speed.low_speed = TRUE THEN ...
1363        IF #called_speed.intermediate_speed = TRUE ...
```

Sl. 3.17. Usporedba vrijednosti pozicija

Unutar svakog od navedenih IF-ova nalazi se ramp funkcija brzine (Sl. 3.18.), koja povećava ili smanjuje za određeni iznos, koji definiramo na početku i predstavlja korak brzine, prema željenoj brzini koja se također postavlja na isti način kao i željena vrijednost položaja. Korak povećavanja brzine je unaprijed postavljen kao konstanta, ali je moguće i da se generira putem "runtime" bloka. U programu je napravljeno da je brzina negativnog predznaka, ukoliko se ide iz položaja veće vrijednosti u položaj manje vrijednosti. Ukoliko se ne odabere brzina putem korisničkog sučelja, tada je brzina postavljena u određenu vrijednost (v3/-v3).

```
1215        IF #target_velocity > #v OR #tag_5 = TRUE THEN
1216            #v := #v + #v_step;
1217            #tag_5 := TRUE;
1218            IF #target_velocity <= #v THEN
1219                #v := #target_velocity;
1220                #target_speed_achieved := TRUE;
1221                //#a := 0;
1222                #tag_5 := FALSE;
1223                ;
1224            END_IF;
1225            ;
1226        END_IF;
1227        IF #target_velocity < #v OR #tag_6 = TRUE THEN
1228            #v := #v - #v_step;
1229            IF #target_velocity >= #v THEN
1230                #v := #target_velocity;
1231                #target_speed_achieved := TRUE;
1232                //#a := 0;
1233                #tag_6 := FALSE;
1234                //flag_2 ?
1235                ;
1236            END_IF;
1237            ;
1238        END_IF;
1239
```

Sl. 3.18. Funkcija "ramp" brzine

Idući dio je IF koji se odnosi na poništavanje vrijednosti pozvanih brzina, a uz to i pridodjeljivanje statusa radi potrebe vizualnog prikaza na korisničkom sučelju (Sl. 3.19.).

```
1255        IF #target_speed_achieved = TRUE THEN
1256            IF #v = #v_zero THEN
1257                #stat_speed.zero := TRUE;
1258                "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_speed.zero := #stat_speed.zero;
1259                #flag_2 := TRUE;
1260                ;
1261            END_IF;
1262            IF #v = #v1 THEN
1263                #stat_speed.low_speed := TRUE;
1264                "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_speed.low_speed := #stat_speed.low_speed;
1265                #flag_2 := TRUE;
1266                ;
1267            END_IF;
1268            IF #v = #v2 THEN ... END_IF;
1274            IF #v = #v3 THEN ... END_IF;
1279            IF #v = #v4 THEN ... END_IF;
1285            ;
1286        END_IF;
1287
1288        IF #flag_2 = TRUE THEN
1289            #called_speed.low_speed := FALSE;
1290            #called_speed.intermediate_speed := FALSE;
1291            #called_speed.top_speed := FALSE;
1292            #called_speed.top_speed_no_load := FALSE;
1293            #called_speed.zero := FALSE;
1294            #target_speed_achieved := FALSE;
1295            #flag_2 := FALSE;
1296            ;
1297        END_IF;
```

Sl. 3.19. Statusi postignutih brzina

Isto tako dolaskom u željeni položaj, poništavaju se pozivi u određeni setpoint, a osim toga ukoliko se postigne željeni setpoint, tada i određeni korak unutar procedure "wr_chanege_procedure" završava pa je vrijednost potrebno upisati u odgovarajuću varijablu tog bloka.

```
1299        IF #tag_5 = TRUE OR #tag_6 = TRUE THEN
1300            #stat_speed.low_speed := FALSE;
1301            "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_speed.low_speed := #stat_speed.low_speed;
1302            #stat_speed.intermediate_speed := FALSE;
1303            "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_speed.intermediate_speed := #stat_speed.intermediate_speed;
1304            #stat_speed.top_speed := FALSE;
1305            "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_speed.top_speed := #stat_speed.top_speed;
1306            #stat_speed.top_speed_no_load := FALSE;
1307            "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_speed.top_speed_no_load := #stat_speed.top_speed_no_load;
1308            #stat_speed.zero := FALSE;
1309            "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_speed.zero := #stat_speed.zero;
1310            ;
1311        END_IF;
```

Sl. 3.20. Poništavanje aktivnosti odabrane brzine

```
1546    IF #set_point_achieved = TRUE THEN
1547        IF #s = #sp0 THEN
1548            #stat_position."0" := TRUE;
1549            "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.sp0 := #stat_position."0";
1550            #flag := TRUE;
1551            ;
1552        END_IF;
1553        IF #s = #spw THEN
1554            #stat_position.w := TRUE;
1555            "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.spw := #stat_position.w;
1556            #flag := TRUE;
1557            ;
1558        END_IF;
1559        IF #s = #sp1 THEN
1560            #stat_position."1" := TRUE;
1561            "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.sp1 := #stat_position."1";
1562            #flag := TRUE;
1563            ;
1564        END_IF;
1565        IF #s = #sp2 THEN
1566            #stat_position."2" := TRUE;
1567            "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.sp2 := #stat_position."2";
1568            #flag := TRUE;
1569            ;
1570        END_IF;
1571        IF #s = #sp3 THEN ... END_IF;
1577        IF #s = #sp4 THEN ... END_IF;
1583        IF #s = #sp5 THEN ... END_IF;
1589        IF #s = #sp6 THEN ... END_IF;
```

Sl. 3.21. Poništavanje setpointa pozicije nakon njezinog postizanja

```
1599    IF #flag = TRUE THEN
1600        #called_position.sp0 := FALSE;
1601        #called_position.sp1 := FALSE;
1602        #called_position.sp2 := FALSE;
1603        #called_position.sp3 := FALSE;
1604        #called_position.sp4 := FALSE;
1605        #called_position.sp5 := FALSE;
1606        #called_position.sp6 := FALSE;
1607        #called_position.spw := FALSE;
1608        #set_point_achieved := FALSE;
1609        #flag := FALSE;
1610        ;
1611    END_IF;
1612
1613    IF #tag_1 = TRUE OR #tag_2 = TRUE THEN
1614        #stat_position."0" := FALSE;
1615        "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.sp0 := #stat_position."0";
1616        #stat_position.w := FALSE;
1617        "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.spw := #stat_position.w;
1618        #stat_position."1" := FALSE;
1619        "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.sp1 := #stat_position."1";
1620        #stat_position."2" := FALSE;
1621        "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.sp2 := #stat_position."2";
1622        #stat_position."3" := FALSE;
1623        "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.sp3 := #stat_position."3";
1624        #stat_position."4" := FALSE;
1625        "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.sp4 := #stat_position."4";
1626        #stat_position."5" := FALSE;
1627        "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.sp5 := #stat_position."5";
```

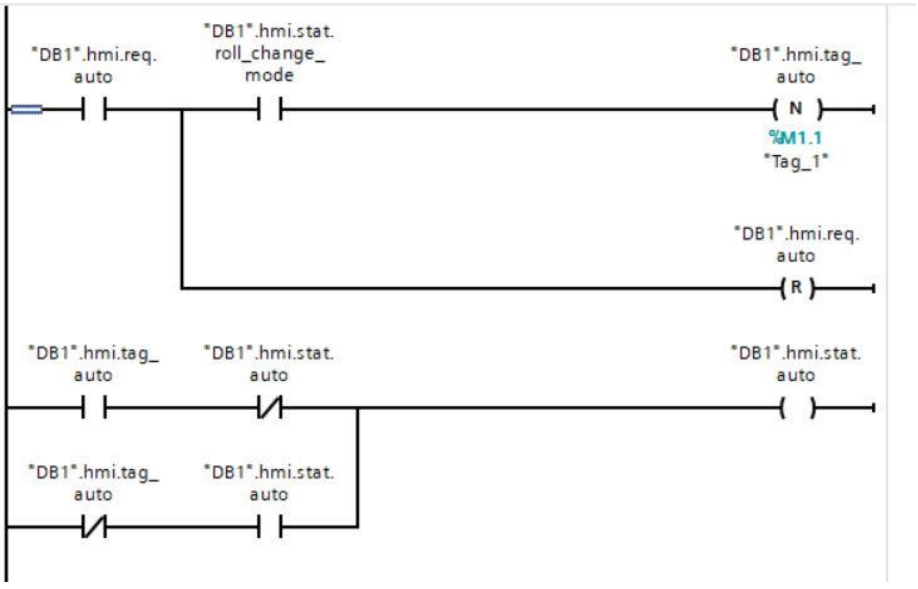
Sl. 3.22. Poništavanje poziva i dodjeljivanje glavnom bloku

Pozicija je točno određena realnim brojem. Kako bi se mogla postići željena pozicija u ručnom načinu rada, davanjem operaterske naredbe za određeni smjer kretanja, uzeta je u obzir proizvoljna tolerancija za položaj. Prikaz navedenog daje slika 3.23.

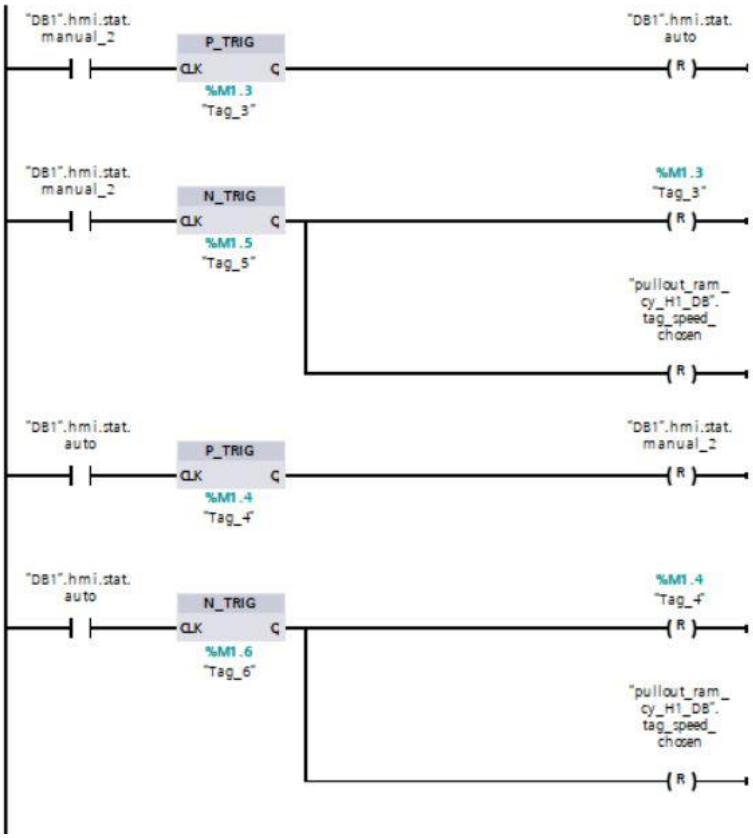
```
2062            ;
2063        END_IF;
2064        ;
2065    END_IF;
2066    IF #s< (#spw+20) AND #s>(#spw-20) THEN
2067        "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.spw := TRUE;
2068    ELSE
2069        "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.spw := FALSE;
2070        ;
2071    END_IF;
2072    IF #s < (#sp1 + 20) AND #s > (#sp1 - 20) THEN
2073        "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.sp1 := TRUE;
2074    ELSE
2075        "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.sp1 := FALSE;
2076        ;
2077    END_IF;
2078    IF #s < (#sp2 + 2) AN ... THEN ... END_IF;
2084    IF #s < (#sp3 + 20) AND #s > (#sp3 - 20) THEN
2085        "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.sp3 := TRUE;
2086    ELSE
2087        "DB1".pullout_ram_hy_cy.stat_position.sp3 := FALSE;
2088        ;
2089    END_IF;
2090    IF #s < (#sp4 + 5) AN ... THEN ... END_IF;
2096    IF #s < (#sp5 + 20) AN ... THEN ... END_IF;
2102    IF #s < (#sp6 + 20) AN ... THEN ... END_IF;
2108    IF #s<(#sp0+5) AN ... THEN ... END_IF;
```

Sl. 3.23. Prikaz dijela koda "pullout_ram_hy_cy_H1" u slučaju ručnog rada

Osim navedenih blokova, napravljeni su blokovi i za naredbe koje su potrebne za korisničko sučelje te je njihova programska realizacija u obliku obične funkcije. U njima je osposobljena funkcija svih potrebnih tipaka na zaslonima korisničkog sučelja što prikazuju slike 3.24. i 3.25, te su formirani uvjeti za rad svakog koraka izmjene.



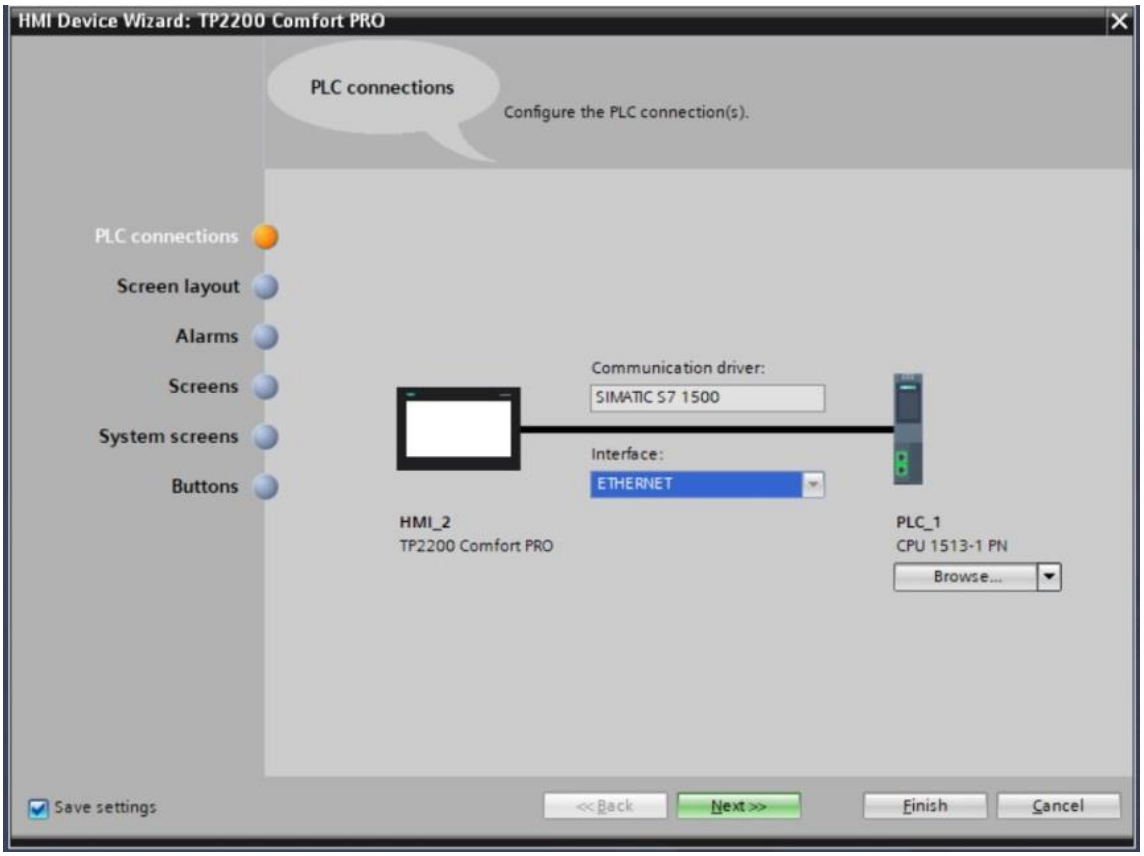
Sl. 3.24. Logika tipaka za automatski način rada



Sl. 3.25. Međusobno poništavanje načina rada

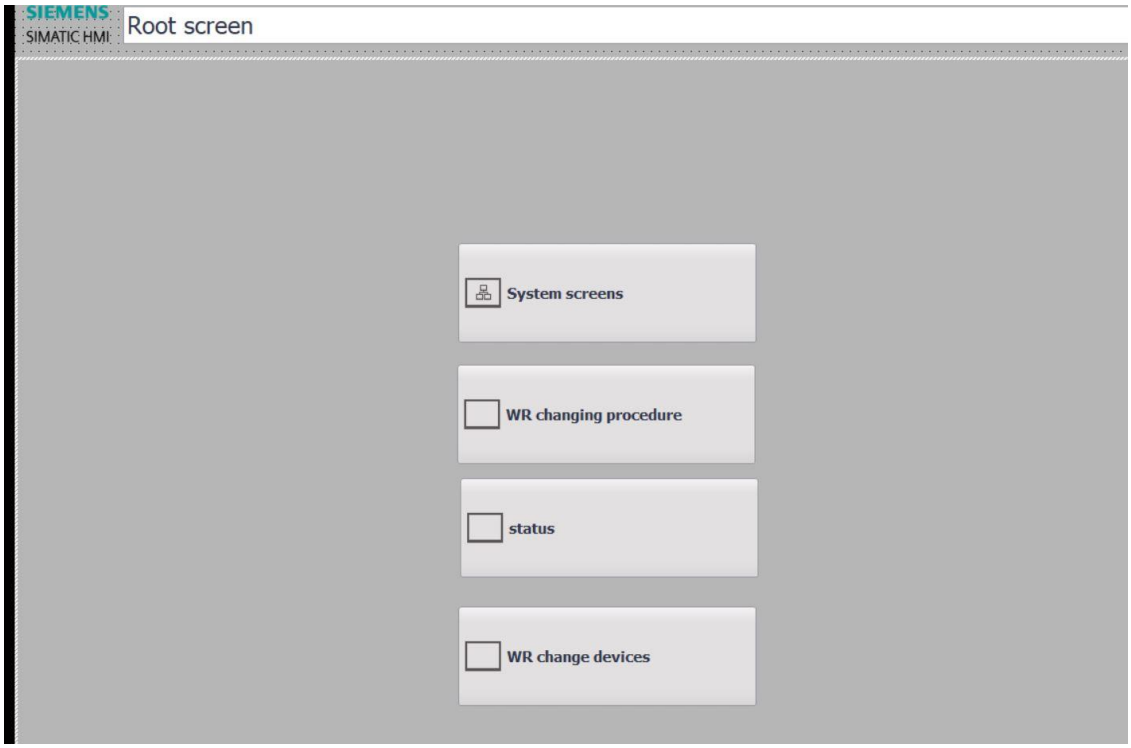
3.2. Korisničko sučelje

Korisničko sučelje *(eng. human-to-machine interface*), kratica HMI kao dio SCADA sustava za nadzor procesa i procesnih veličina koristi se za vizualizaciju statusnih veličina procesa, alarma, operaterskih akcija i sl. Osim toga na korisničkom sučelju su realizirane funkcije upravljanja uređajima unutar procesa. Korisničko sučelje se povezuje s PLC-om i služi za operateru jasan prikaz potrebnih vrijednosti u postrojenju, ali i za jednostavno upravljanje uređajima. Ono je zamišljeno da bude zbog preglednosti i brzine korištenja što kompaktnije, jednostavnije napravljeno.

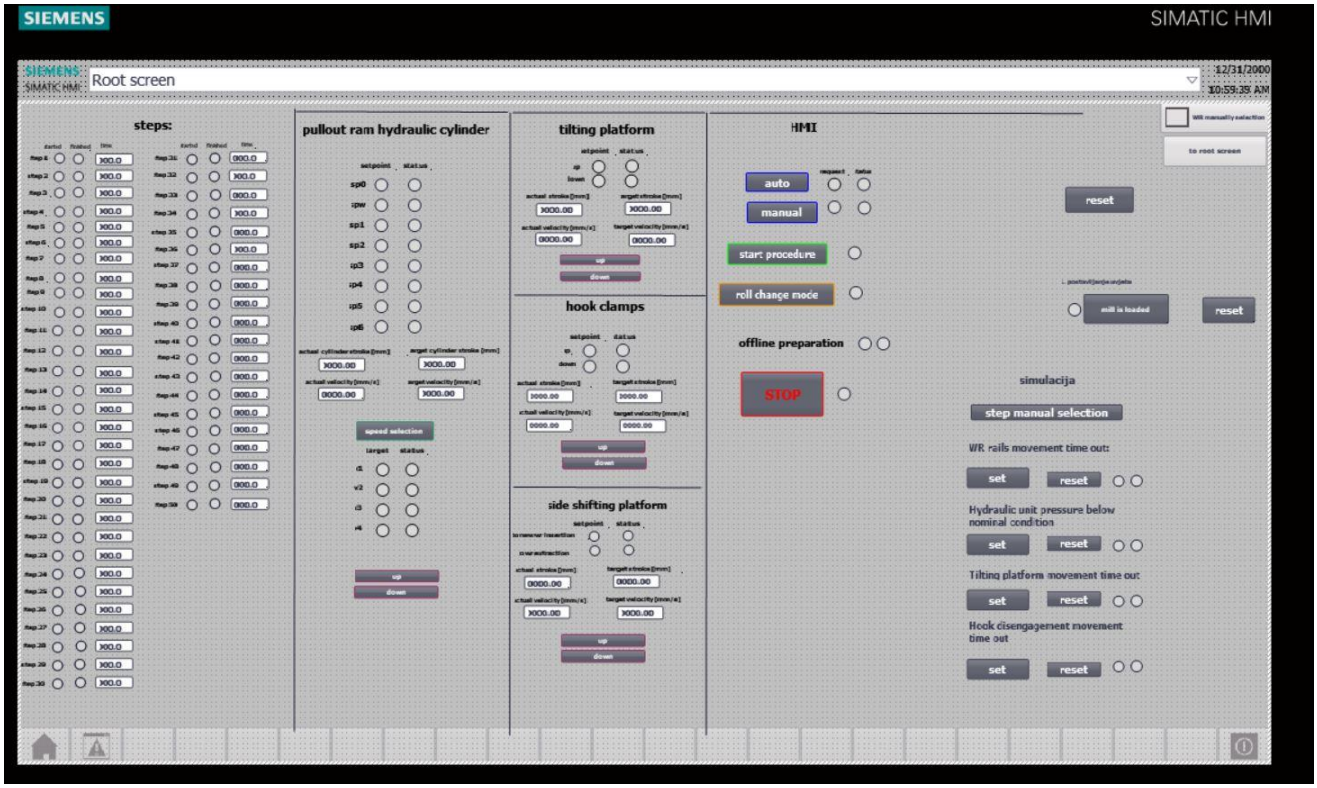


Sl. 3.26. Odabrani tip HMI-ja

Sučelje čine četiri ekrana koja se dohvaćaju davanjem naredbe putem napravljenih gumba na središnjem izborniku, putem funkcije aktiviranja željenog ekrana, koji je prethodno podešen u opcijama prilikom kreiranja sučelja.

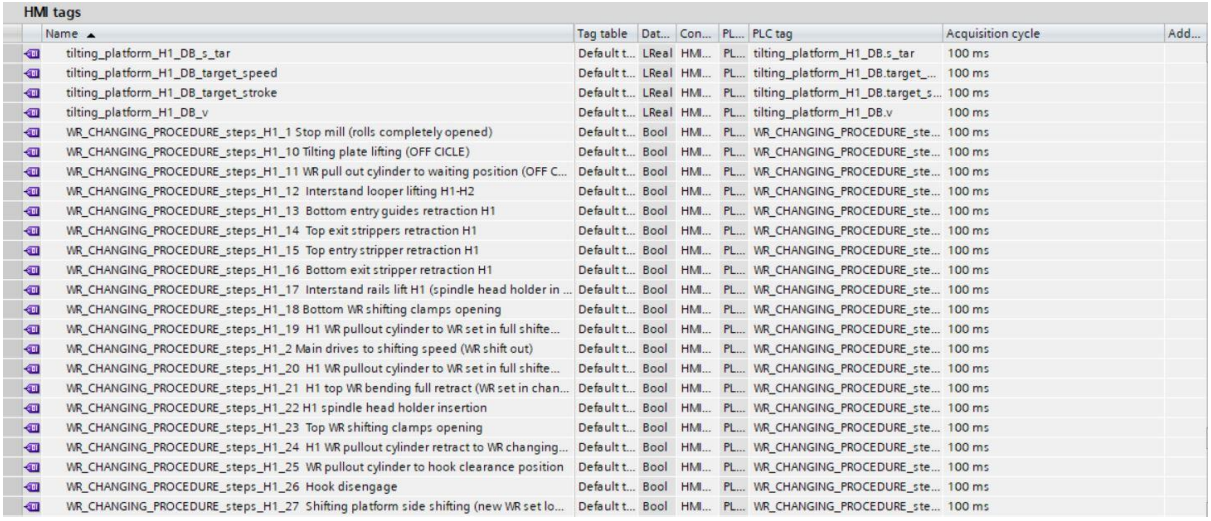


Sl. 3.27. Središnji izbornik ekrana



Sl. 3.28. Ekran za upravljanje i nadzor koraka procedure te simuliranje stanja

Ekran koji prikazuje slika 3.28**.** je glavni ekran na kojemu se prati procedura stanja koraka i na kojem se prethodno odabire željeni način rada. Ekran se sastoji od prikaza stanja koraka procedure kao što je status za početak koraka te za kraj koraka koji je realiziran putem vizualnog signala te i proteklo vrijeme izvršavanja koraka. Nalaze se naredbe za praćenje veličina poput ciljane vrijednosti položaja klipa te brzine, ali i one trenutne vrijednosti. Svaki od uređaja ima realizirane naredbe za jedan odnosno drugi smjer kretanja, a u funkciji su jedino ukoliko je aktivan ručni način rada za što je bilo potrebno napraviti odgovarajuću logiku unutar funkcije "hmi_wr". Gumbi na korisničkom sučelju se povezuju putem HMI tag-ova koji su povezani s pripadajućim PLC tag-ovima, dok su sami tag-ovi u slučaju tipki logičke varijable *(eng.bool).* Na HMI tag-ovima podesimo vrijeme kojim želimo da se vrijednosti učitavaju, kao primjerice 100 milisekundi (Sl. 3.29.). Korišteni su i realni tipovi za praćenje vrijednosti poput brzina i položaja. Stoga da bi tipke bile funkcionalne, one moraju imati dodatne varijable tj. mora se koristiti princip slanja zahtjeva pritiskom tipke koji se odmah poništava bilo da može proći na status ili ne, a sama funkcija ovisi o varijabli "status".



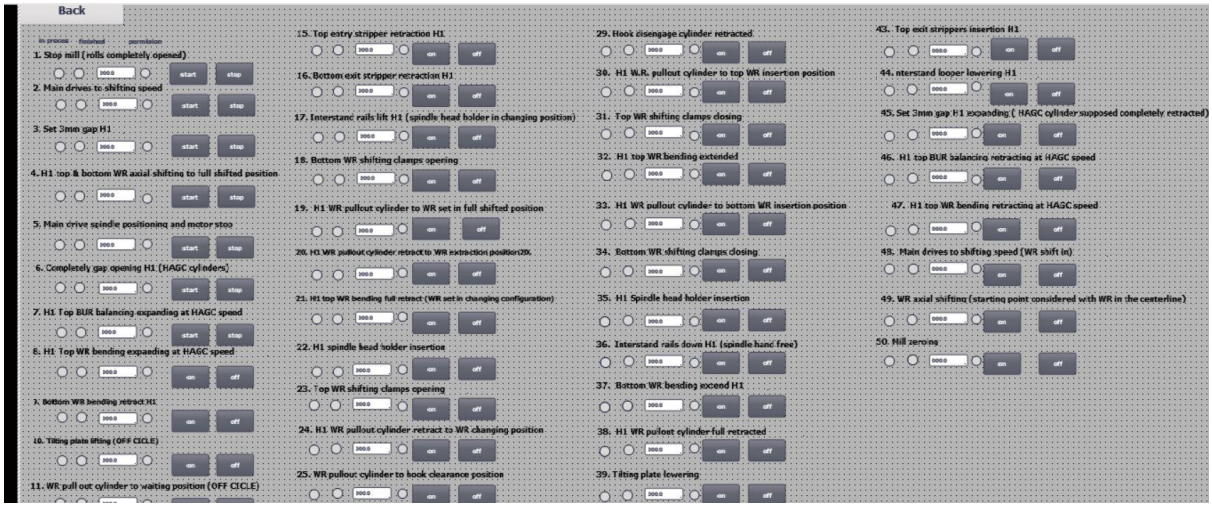
HMI tags

Name	Tag table	Dat...	Con...	PL...	PLC tag	Acquisition cycle	Add...
tilting_platform_H1_DB_s_tar	Default t...	LReal	HMI...	PL...	tilting_platform_H1_DB.s_tar	100 ms	
tilting_platform_H1_DB_target_speed	Default t...	LReal	HMI...	PL...	tilting_platform_H1_DB.target_...	100 ms	
tilting_platform_H1_DB_target_stroke	Default t...	LReal	HMI...	PL...	tilting_platform_H1_DB.target_s...	100 ms	
tilting_platform_H1_DB_v	Default t...	LReal	HMI...	PL...	tilting_platform_H1_DB.v	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_1 Stop mill (rolls completely opened)	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_10 Tilting plate lifting (OFF CICLE)	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_11 WR pull out cylinder to waiting position (OFF C...	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_12 Interstand looper lifting H1-H2	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_13 Bottom entry guides retraction H1	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_14 Top exit strippers retraction H1	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_15 Top entry stripper retraction H1	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_16 Bottom exit stripper retraction H1	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_17 Interstand rails lift H1 (spindle head holder in ...	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_18 Bottom WR shifting clamps opening	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_19 H1 WR pullout cylinder to WR set in full shifte...	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_2 Main drives to shifting speed (WR shift out)	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_20 H1 WR pullout cylinder to WR set in full shifte...	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_21 H1 top WR bending full retract (WR set in chan...	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_22 H1 spindle head holder insertion	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_23 Top WR shifting clamps opening	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_24 H1 WR pullout cylinder retract to WR changing...	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_25 WR pullout cylinder to hook clearance position	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_26 Hook disengage	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	
WR_CHANGING_PROCEDURE_steps_H1_27 Shifting platform side shifting (new WR set lo...	Default t...	Bool	HMI...	PL...	WR_CHANGING_PROCEDURE_ste...	100 ms	

Sl. 3.29. Prikaz nekih HMI tag-ova

Odabir automatskog načina rada mora najprije prethoditi odabirom načina rada za promjenu radnih valjaka "work roll change mode". Naredba za uključivanje načina rada za izmjenu valjaka smije raditi jedino ako je prostor oko valjaonice, kao i sama valjaonica prazan. Tako imamo napravljen gumb na korisničkom sučelju koji simulira stanje kad je valjaonica u radu te tako se svaki zahtjev poništava sve dok je u istinitoj vrijednosti. Ručni način rada i automatski se međusobno poništavaju. Rastući brid signala odnosno tranzicija vrijednosti iz

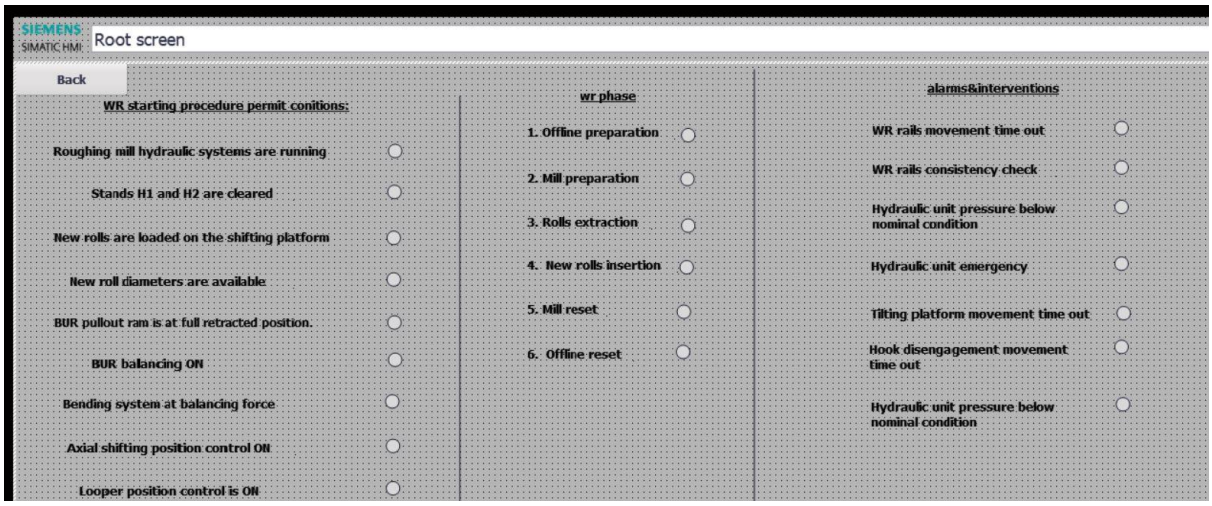
"false" u "true" jednog, poništit će drugi način rada. Tipka za brzo zaustavljanje se aktivira u hitnom slučaju, a takvo stanje simuliramo putem simulatora gdje imamo opcije odabira nekoliko mogućnosti simuliranja uvjeta: simuliranje kvara na sustavu hidraulike klipova, kvar na vodilicama te slučaj ako uređaji nagibna platforma i kuka ne uspiju u odgovarajućem vremenu dostići krajnju poziciju. Brzo zaustavljanje je omogućeno i direktnom operaterskom reakcijom, pritiskom na gumb "stop", ne ovisno o načinu rada, a tada se poništavaju sve načini rada i nije moguće davati bilo kakve naredbe, sve dok se stanje ne poništi, a što tada simbolizira rješavanje kvara.



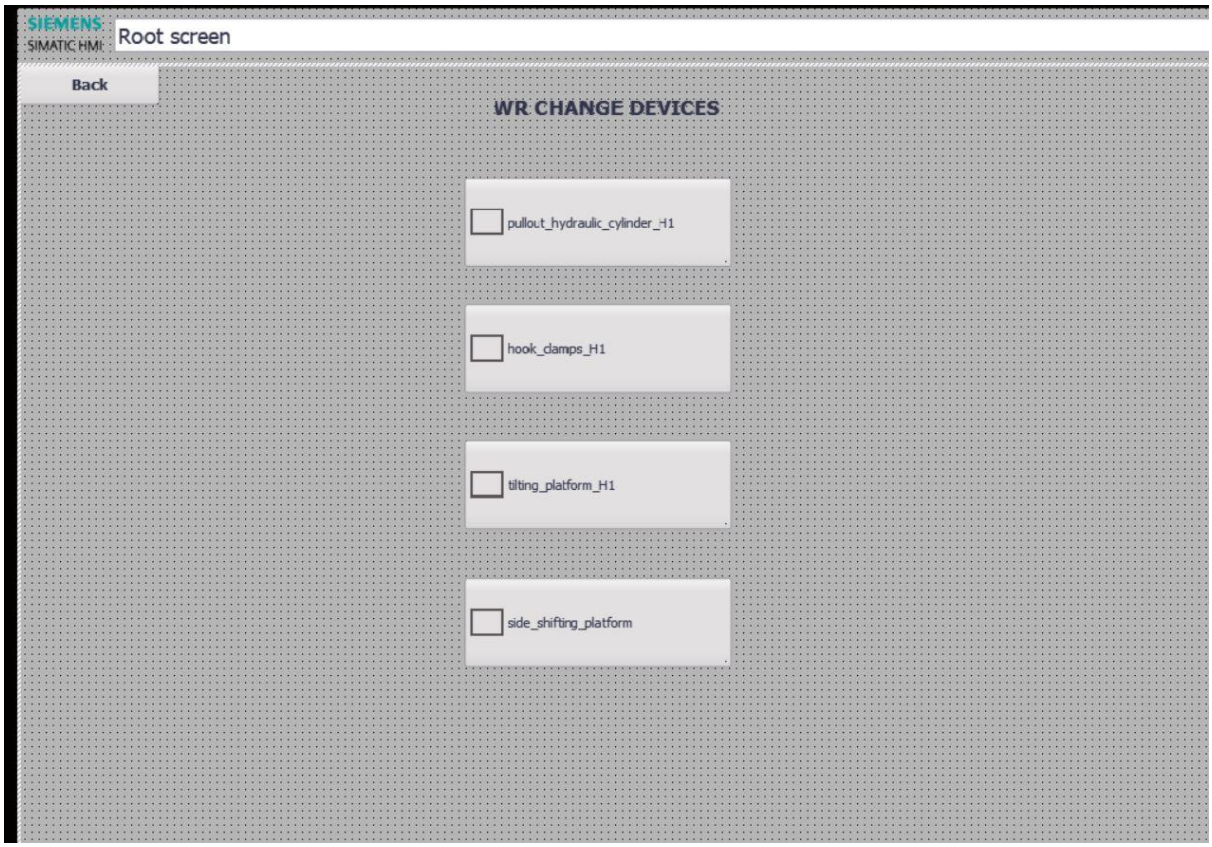
Sl. 3.30. Ekran za ručni odabir koraka

U gornjem desnom kutu nalazi se gumb za prelazak na ekran za ručni odabir koraka na kojem se osim odabiranja, mogu i pratiti putem signalizacije, dopuštenja za korake. Inače ako dopuštenja nema, naredba se poništava. Ukoliko postoji, naredba za početak odabranog koraka prolazi. Takav način odabiranja je nepregledan i znatno je sporiji u odnosu na automatski način rada stoga jedina primjena bi bila u slučaju kada nastupi kvar (Sl.3.30.).

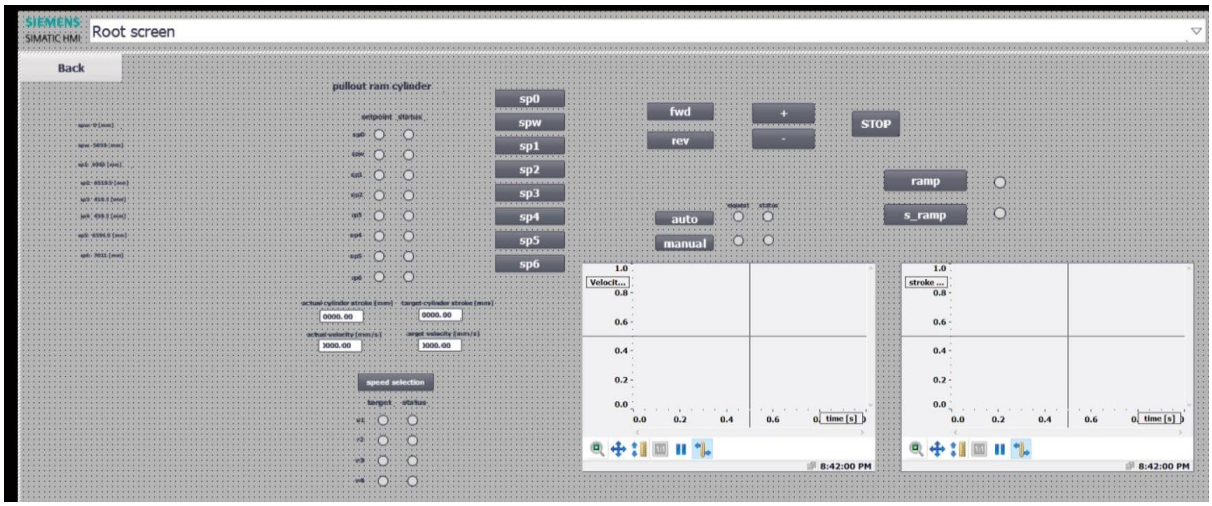
Uz navedene ekrane, postoji ekran sa statusima te ekrani za testiranje uređaja gdje su postavljene opcije praćenja veličina položaja i brzine u obliku funkcije u ovisnosti o vremenu simulacije. Prikazani su slikama redom od 3.31 do 3.36



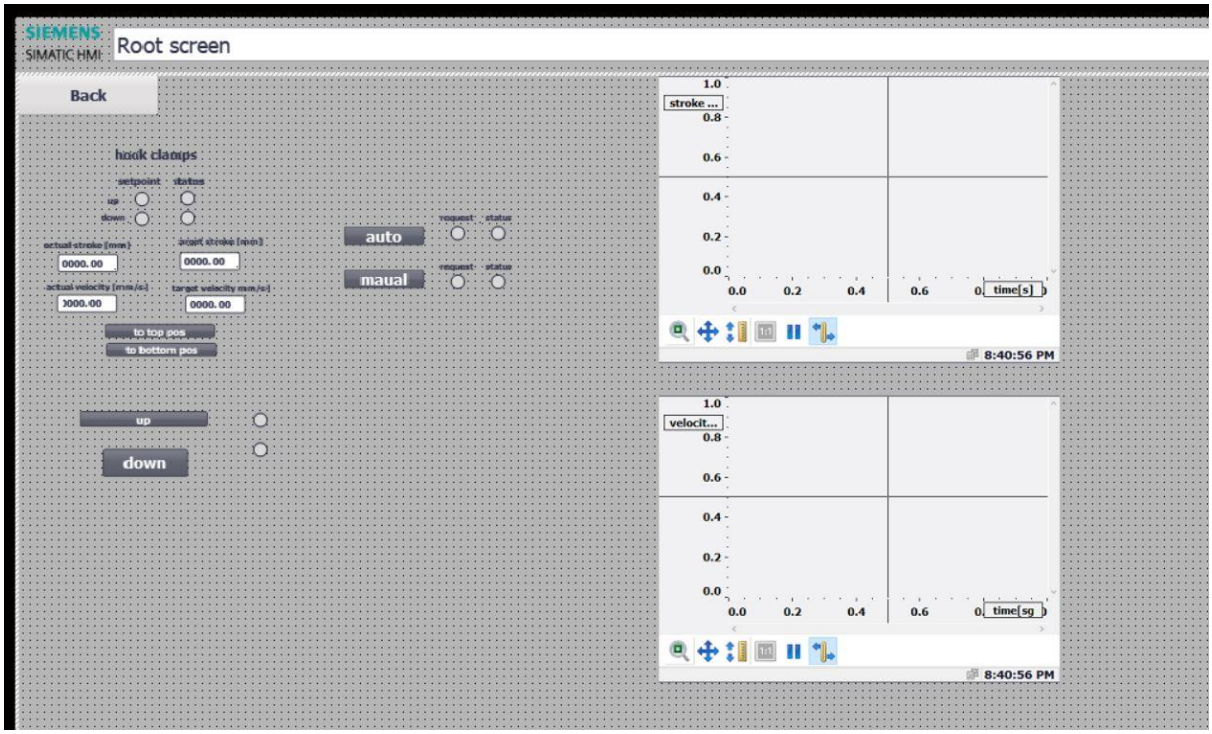
Sl. 3.31. Ekran za praćenje uvjeta, tijeka procesa te statusa alarma



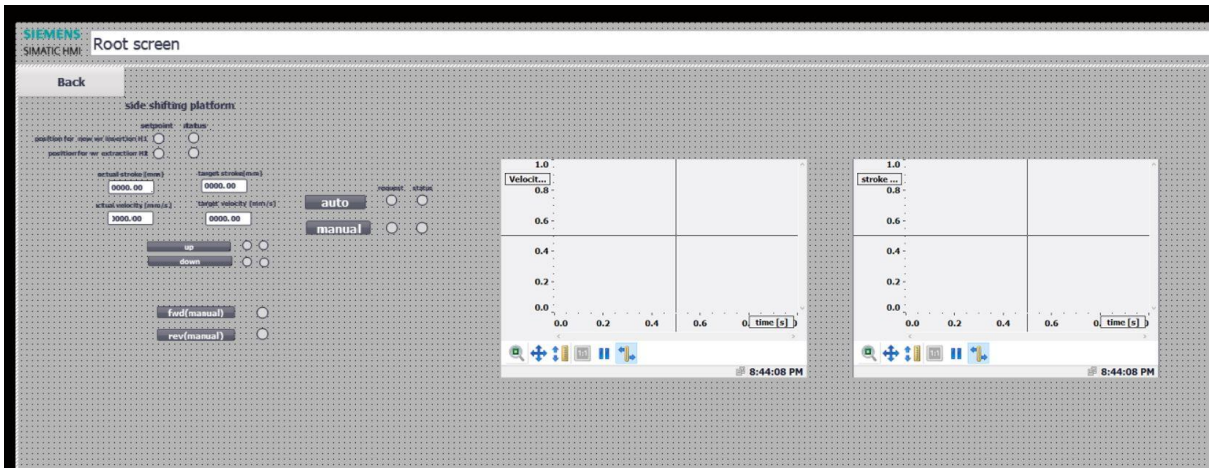
Sl. 3.32. Prikaz ekrana za odabir uređaja kod ručnog načina rada



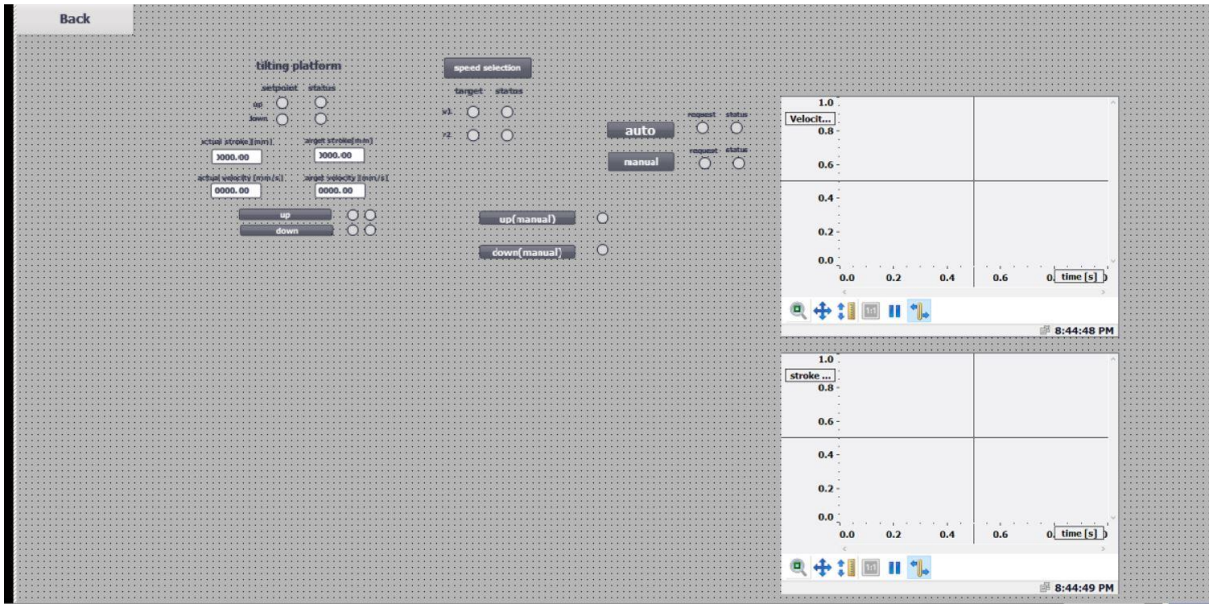
Sl.3.33. Izbornik za "pullout_ram_hy_cy_H1"



Sl. 3.34. Izbornik uređaja "hook_clamp"



Sl. 3.35. Izbornik uređaja "side_shifting_platform"



Sl. 3.36. Izbornik uređaja "tilting_platform"

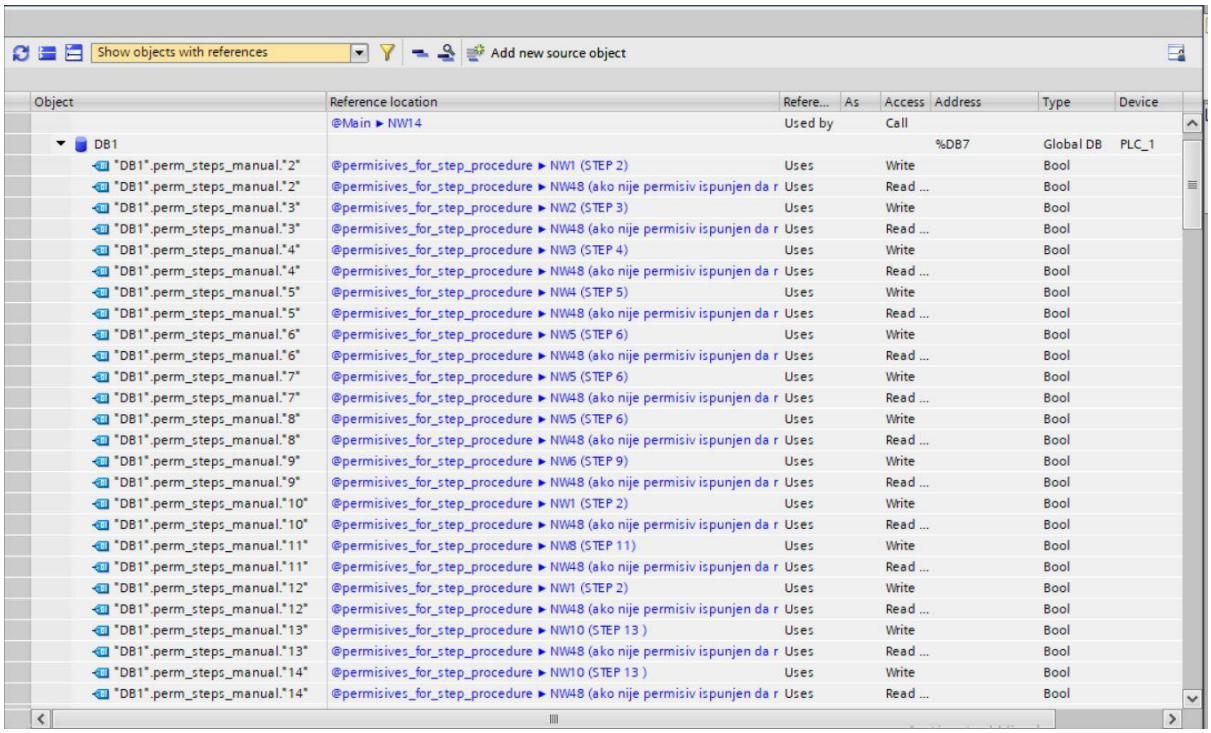
3.3. Testiranje sustava i simulacija

Pokretanje simulacije pokreće simulator koji je naveden početkom ovog poglavlja, a vizualizacija se odvija putem ugrađenog Siemensovog alata *WinCC Advanced* za čiji rad je prethodno potrebno pokrenuti simulator PLC-a. Davanjem naredbe putem tipke za početak, započet će procedura izmjene. Naredba smije proći tek ukoliko postoji dopuštenje, odnosno ispunjeni su uvjeti. Ukoliko ne, ona se poništava. (Sl. 3.37.)

29	starting_conditions_check	Struct	
30	Roughing mill hydraulic system...	Bool	false	TRUE
31	Stands H1 and H2 are cleared	Bool	false	TRUE
32	New rolls are loaded on the shif..	Bool	false	TRUE
33	New roll diameters are available	Bool	false	TRUE
34	BUR pullout ram is at full retract...	Bool	false	TRUE
35	BUR. balancing ON	Bool	false	TRUE
36	Bending system at balancing fo...	Bool	false	TRUE
37	WR pullout ram cylinder in sp0	Bool	false	TRUE
38	Axial shifting position control ON	Bool	false	TRUE
39	Looper position control is ON	Bool	false	TRUE

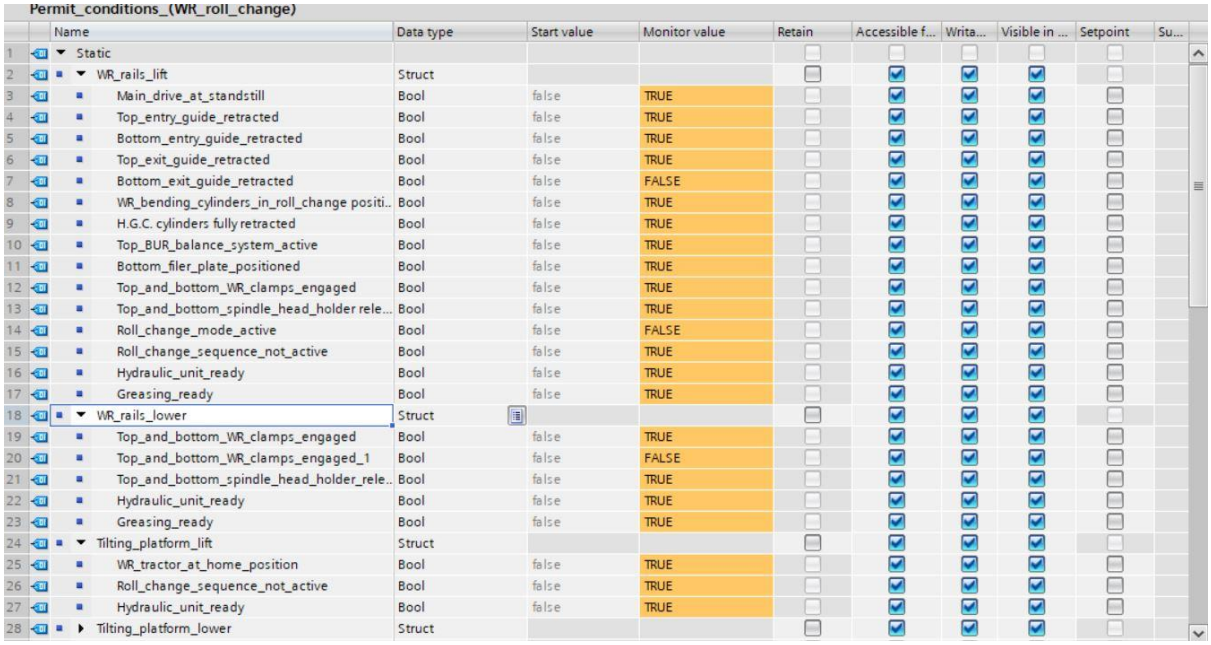
Sl. 3.37. Prikaz varijabli ispunjenih uvjeta unutar pripadajućeg DB-a

Sljedeće što se mora ispuniti je završetak prve faze, a to je faza pripreme novih radnih valjaka koja se simulira vremenskim trajanjem od 10 sekundi i tek tada je moguće započeti drugu fazu, a to je priprema valjaonice za proces izmjene. Odabire se način rada izmjene valjaka. Odabirom automatskog načina, kreće daljnja procedura sve do posljednjeg dijela i cijelo vrijeme se provjeravaju uvjeti rada, a u slučaju gubljenja uvjeta, poništit će se trenutna sekvenca izmjene radnih valjaka i proces će stati te će bit potrebno ponovno dati naredbu za početak. Otklanjanjem kvara, proces može dalje nastaviti željenim načinom rada, bilo automatski bilo ručnim odabirom rada, ovisno o odabiru. Kod automatske sekvence izmjene već je unaprijed zadan slijed koraka, koji je vremenski optimiziraniji nego manualni (ručni) jer automatski se uključuju svi koraci za koje postoji dopuštenje. Dan je prikaz varijabli potrebnih uvjeta za proceduru izmjene, slikom 3.39, a slika 3.38. pokazuje dopuštenja za korake koja ovise o fazi procedure.



Object	Reference location	Refere...	As	Access	Address	Type	Device
	@Main ▸ NW14	Used by		Call			
DB1					%DB7	Global DB	PLC_1
"DB1".perm_steps_manual."2"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW1 (STEP 2)	Uses		Write		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."2"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW48 (ako nije permisiv ispunjen da r	Uses		Read ...		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."3"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW2 (STEP 3)	Uses		Write		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."3"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW48 (ako nije permisiv ispunjen da r	Uses		Read ...		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."4"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW3 (STEP 4)	Uses		Write		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."4"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW48 (ako nije permisiv ispunjen da r	Uses		Read ...		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."5"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW4 (STEP 5)	Uses		Write		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."5"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW48 (ako nije permisiv ispunjen da r	Uses		Read ...		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."6"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW5 (STEP 6)	Uses		Write		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."6"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW48 (ako nije permisiv ispunjen da r	Uses		Read ...		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."7"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW5 (STEP 6)	Uses		Write		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."7"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW48 (ako nije permisiv ispunjen da r	Uses		Read ...		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."8"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW5 (STEP 6)	Uses		Write		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."8"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW48 (ako nije permisiv ispunjen da r	Uses		Read ...		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."9"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW6 (STEP 9)	Uses		Write		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."9"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW48 (ako nije permisiv ispunjen da r	Uses		Read ...		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."10"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW1 (STEP 2)	Uses		Write		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."10"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW48 (ako nije permisiv ispunjen da r	Uses		Read ...		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."11"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW8 (STEP 11)	Uses		Write		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."11"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW48 (ako nije permisiv ispunjen da r	Uses		Read ...		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."12"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW1 (STEP 2)	Uses		Write		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."12"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW48 (ako nije permisiv ispunjen da r	Uses		Read ...		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."13"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW10 (STEP 13)	Uses		Write		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."13"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW48 (ako nije permisiv ispunjen da r	Uses		Read ...		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."14"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW10 (STEP 13)	Uses		Write		Bool	
"DB1".perm_steps_manual."14"	@permisives_for_step_procedure ▸ NW48 (ako nije permisiv ispunjen da r	Uses		Read ...		Bool	

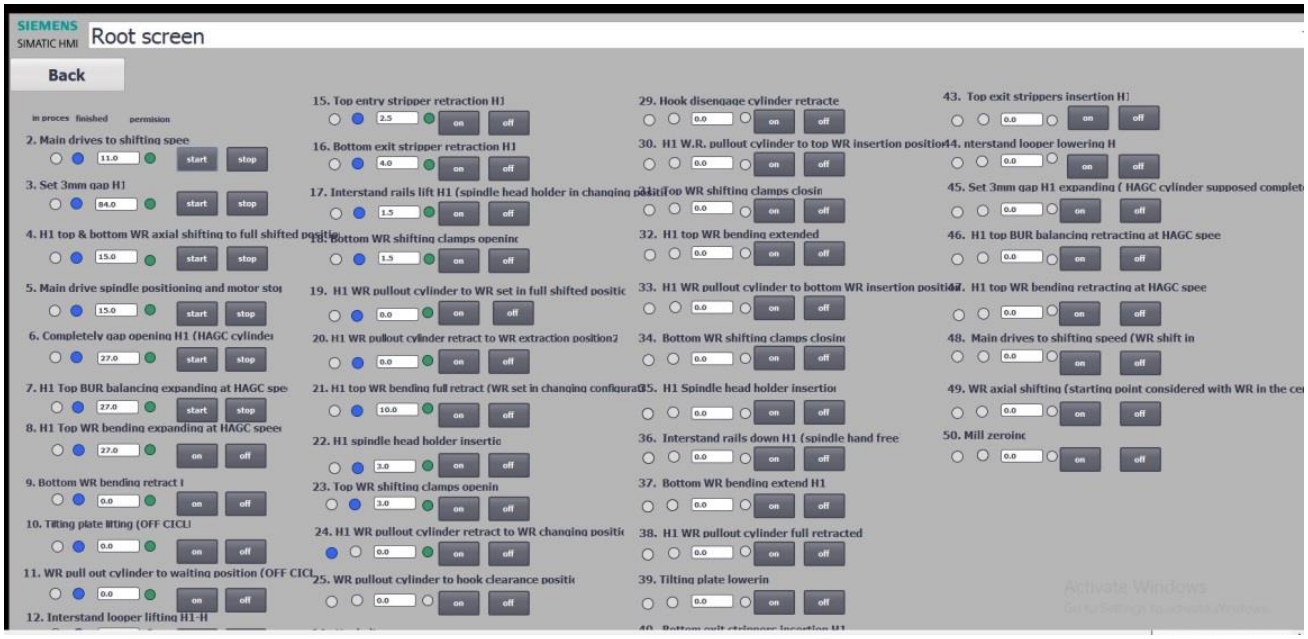
Sl. 3.38. Prikaz varijabli koraka unutar DB-a



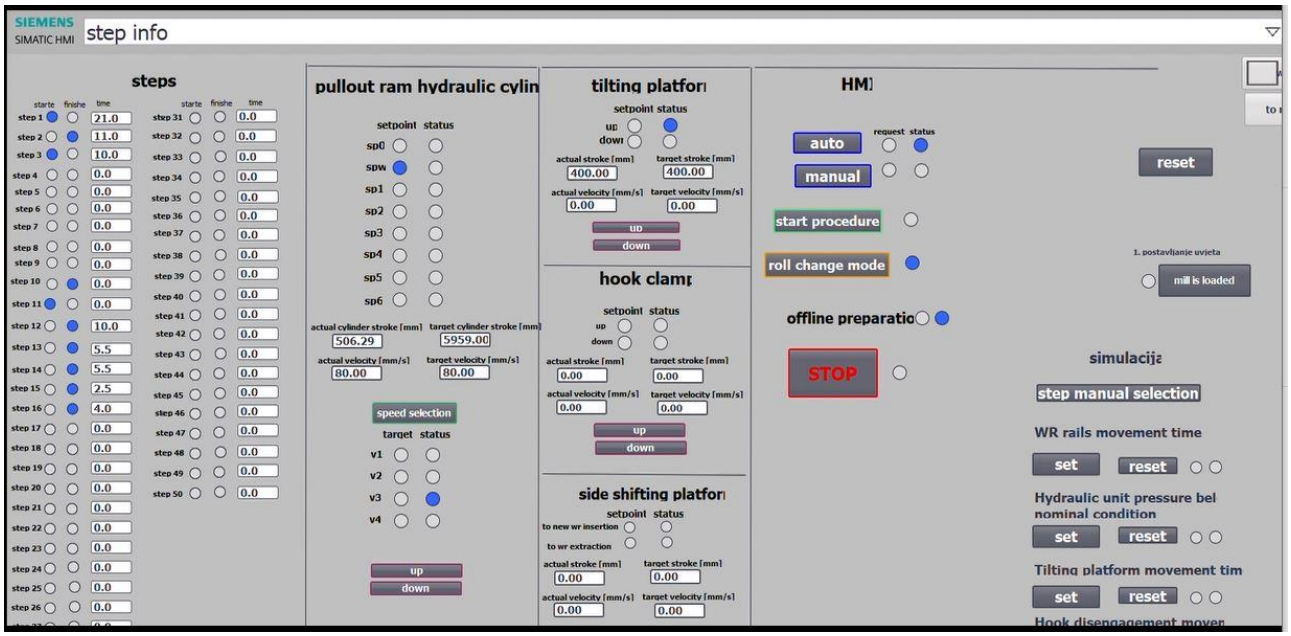
	Name	Data type	Start value	Monitor value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Su...
1	Static									
2	WR_rails_lift	Struct								
3	Main_drive_at_standstill	Bool	false	TRUE						
4	Top_entry_guide_retracted	Bool	false	TRUE						
5	Bottom_entry_guide_retracted	Bool	false	TRUE						
6	Top_exit_guide_retracted	Bool	false	TRUE						
7	Bottom_exit_guide_retracted	Bool	false	FALSE						
8	WR_bending_cylinders_in_roll_change positi..	Bool	false	TRUE						
9	H.G.C. cylinders fully retracted	Bool	false	TRUE						
10	Top_BUR_balance_system_active	Bool	false	TRUE						
11	Bottom_filer_plate_positioned	Bool	false	TRUE						
12	Top_and_bottom_WR_clamps_engaged	Bool	false	TRUE						
13	Top_and_bottom_spindle_head_holder rele...	Bool	false	TRUE						
14	Roll_change_mode_active	Bool	false	FALSE						
15	Roll_change_sequence_not_active	Bool	false	TRUE						
16	Hydraulic_unit_ready	Bool	false	TRUE						
17	Greasing_ready	Bool	false	TRUE						
18	WR_rails_lower	Struct								
19	Top_and_bottom_WR_clamps_engaged	Bool	false	TRUE						
20	Top_and_bottom_WR_clamps_engaged_1	Bool	false	FALSE						
21	Top_and_bottom_spindle_head_holder_rele..	Bool	false	TRUE						
22	Hydraulic_unit_ready	Bool	false	TRUE						
23	Greasing_ready	Bool	false	TRUE						
24	Tilting_platform_lift	Struct								
25	WR_tractor_at_home_position	Bool	false	TRUE						
26	Roll_change_sequence_not_active	Bool	false	TRUE						
27	Hydraulic_unit_ready	Bool	false	TRUE						
28	Tilting_platform_lower	Struct								

Sl. 3.39. Prikaz elemenata potrebnih uvjeta rada za izmjenu radnih valjaka

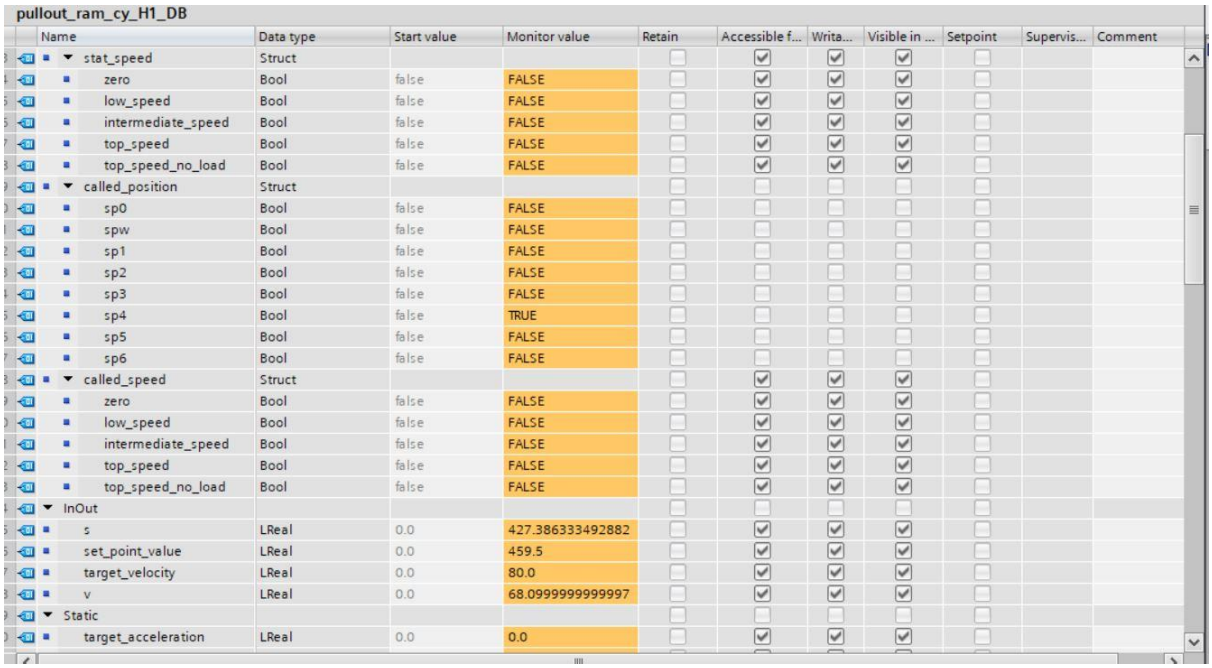
Ručnim odabiranjem će se moći tek postupno odabrati svaki korak za koji prolazi naredba odnosno ima dopuštenje za izvršavanje. Kontrolu dopuštenja izvršava programski blok u kojemu je sastavljen slijed uvjeta za svaki korak rada. Vrijedi za oba načina rada.



Sl. 3.40. Prikaz koraka tijekom izvršavanja procedure



Sl. 3.41. Prikaz dijela procedure u automatskom modu

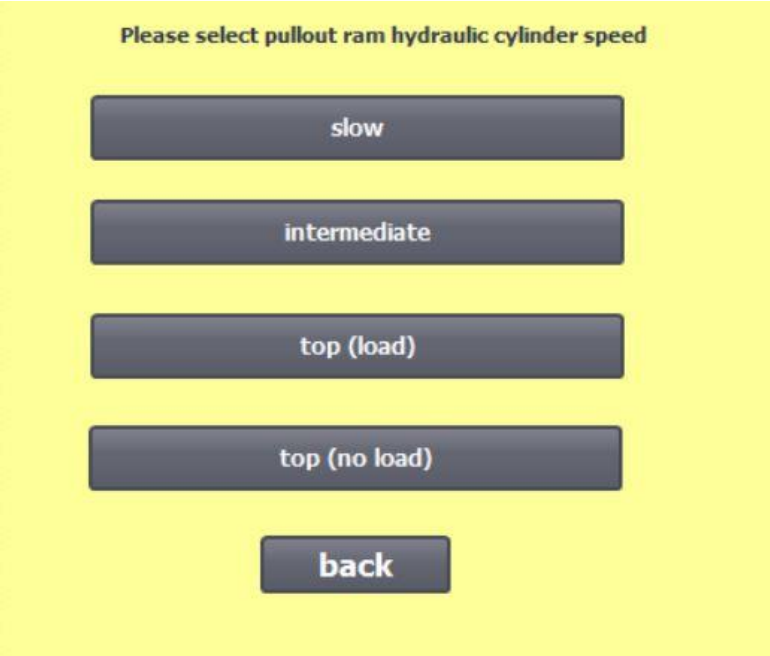


pullout_ram_cy_H1_DB

	Name	Data type	Start value	Monitor value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervis...	Comment
3	stat_speed	Struct			☐	☑	☑	☑	☐		
4	zero	Bool	false	FALSE	☐	☑	☑	☑	☐		
5	low_speed	Bool	false	FALSE	☐	☑	☑	☑	☐		
6	intermediate_speed	Bool	false	FALSE	☐	☑	☑	☑	☐		
7	top_speed	Bool	false	FALSE	☐	☑	☑	☑	☐		
8	top_speed_no_load	Bool	false	FALSE	☐	☑	☑	☑	☐		
9	called_position	Struct			☐	☐	☐	☐	☐		
10	sp0	Bool	false	FALSE	☐	☐	☐	☐	☐		
11	spw	Bool	false	FALSE	☐	☐	☐	☐	☐		
12	sp1	Bool	false	FALSE	☐	☐	☐	☐	☐		
13	sp2	Bool	false	FALSE	☐	☐	☐	☐	☐		
14	sp3	Bool	false	FALSE	☐	☐	☐	☐	☐		
15	sp4	Bool	false	TRUE	☐	☐	☐	☐	☐		
16	sp5	Bool	false	FALSE	☐	☐	☐	☐	☐		
17	sp6	Bool	false	FALSE	☐	☐	☐	☐	☐		
18	called_speed	Struct			☐	☑	☑	☑	☐		
19	zero	Bool	false	FALSE	☐	☑	☑	☑	☐		
20	low_speed	Bool	false	FALSE	☐	☑	☑	☑	☐		
21	intermediate_speed	Bool	false	FALSE	☐	☑	☑	☑	☐		
22	top_speed	Bool	false	FALSE	☐	☑	☑	☑	☐		
23	top_speed_no_load	Bool	false	FALSE	☐	☑	☑	☑	☐		
24	InOut				☐	☐	☐	☐	☐		
25	s	LReal	0.0	427.386333492882	☐	☑	☑	☑	☐		
26	set_point_value	LReal	0.0	459.5	☐	☑	☑	☑	☐		
27	target_velocity	LReal	0.0	80.0	☐	☑	☑	☑	☐		
28	v	LReal	0.0	68.0999999999997	☐	☑	☑	☑	☐		
29	Static				☐	☐	☐	☐	☐		
30	target_acceleration	LReal	0.0	0.0	☐	☑	☑	☑	☐		

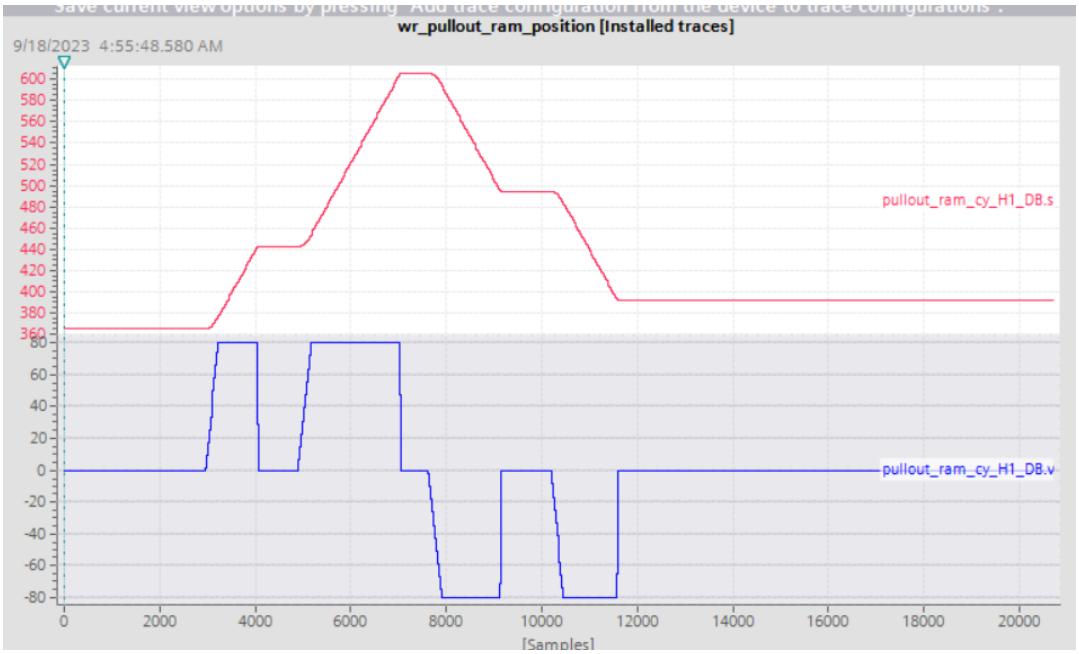
Sl. 3.42. Prikaz bloka za spremanje podataka u kojoj se prate vrijednosti uređaja za izvlačenje i uvlačenje radnih valjaka

Unutar automatskog načina rada moguće je odabrati ciljanu brzinu kojom želimo da se uređaj hidraulični cilindar za izvlačenje i uvlačenje giba, a odabire se pritiskom tipke za odabir brzine pri čemu se otvara izbornik u kojem je moguće odabrati četiri brzine rada. Prikaz izgleda izbornika dan je slikom 3.43. Ukoliko prethodno nije odabrana brzina, ona će se postaviti na vrijednost "top speed" od 80 [mm/s]. U koracima procedure u kojima se guraju ili povlače natovarena kolica s valjcima, ne smije biti mogućnost odabira opcije "top speed no load" od 150[mm/s], već maksimalna postaje prva manja po vrijednosti. Odabir brzina se odvija putem odgovarajućeg skočnog prozora (*eng. popup screen*). Ostali uređaji imaju zadane brzine rada i nije ih moguće mijenjati.

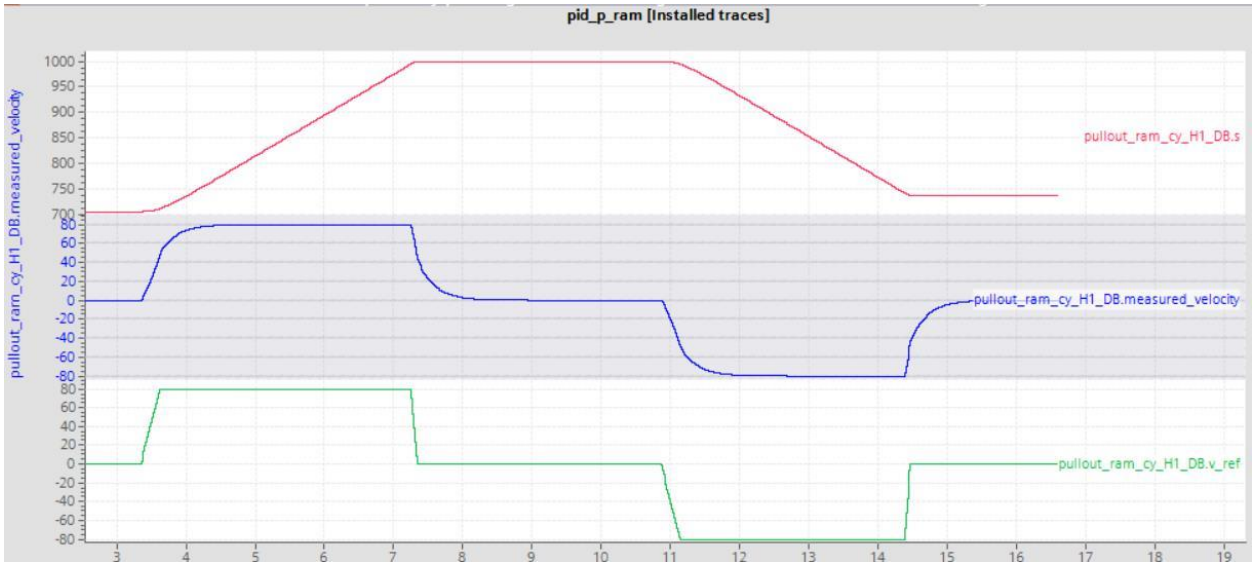


Sl. 3.43. Izbornik za brzine

Kod svih uređaja se brzine povećavaju postupno (po "rampi") od trenutne vrijednosti pa sve do ciljane vrijednosti. Tako će se i u slučaju davanja naredbe za gašenje uređaja, brzina spustiti na nulu, samo po rampi još veće strmine kao i u slučaju određenog kvara kad cijeli proces treba stati.



Sl. 3.44. Niz ručnih naredbi uređaja za hidraulični cilindar za uvlačenje i izvlačenje

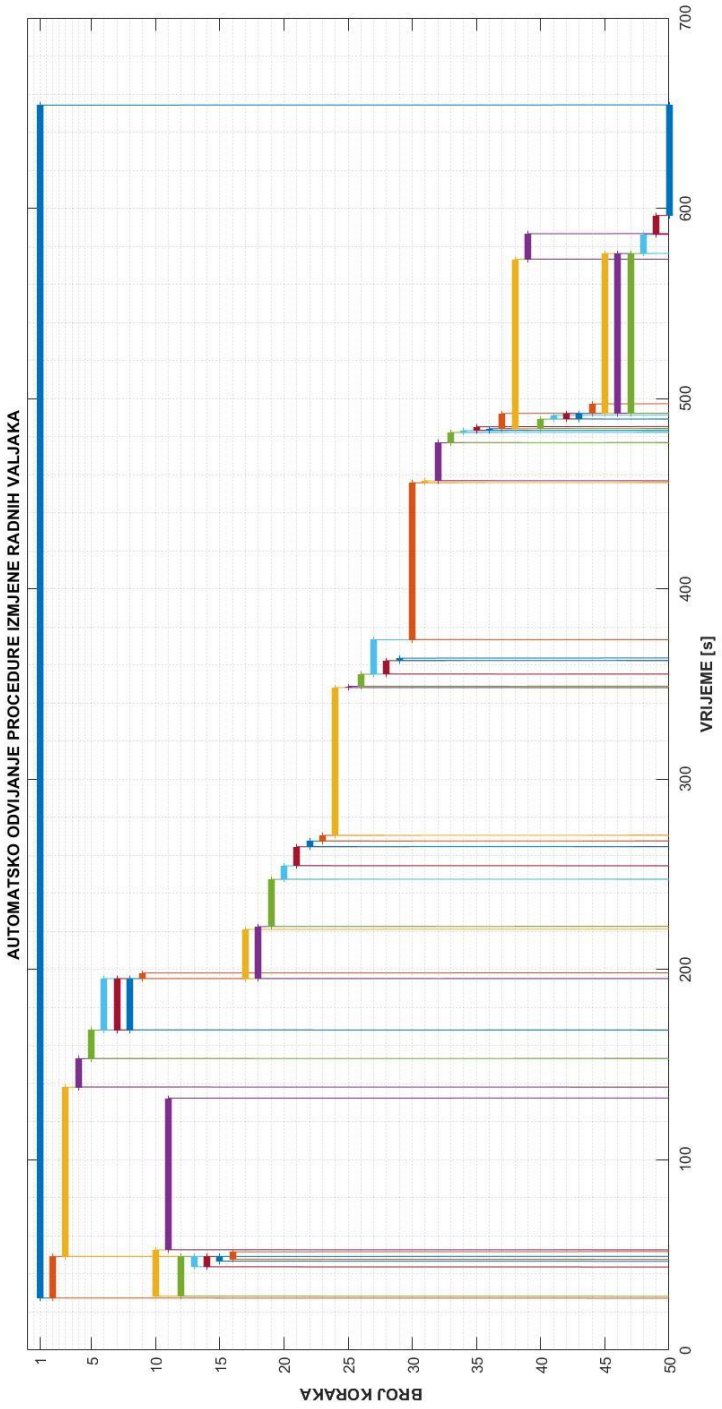


Sl. 3.45. Primjer testa davanja ručnih naredbi za hidraulični cilindar za uvlačenje i izvlačenje s dodanom PI regulacijom brzine

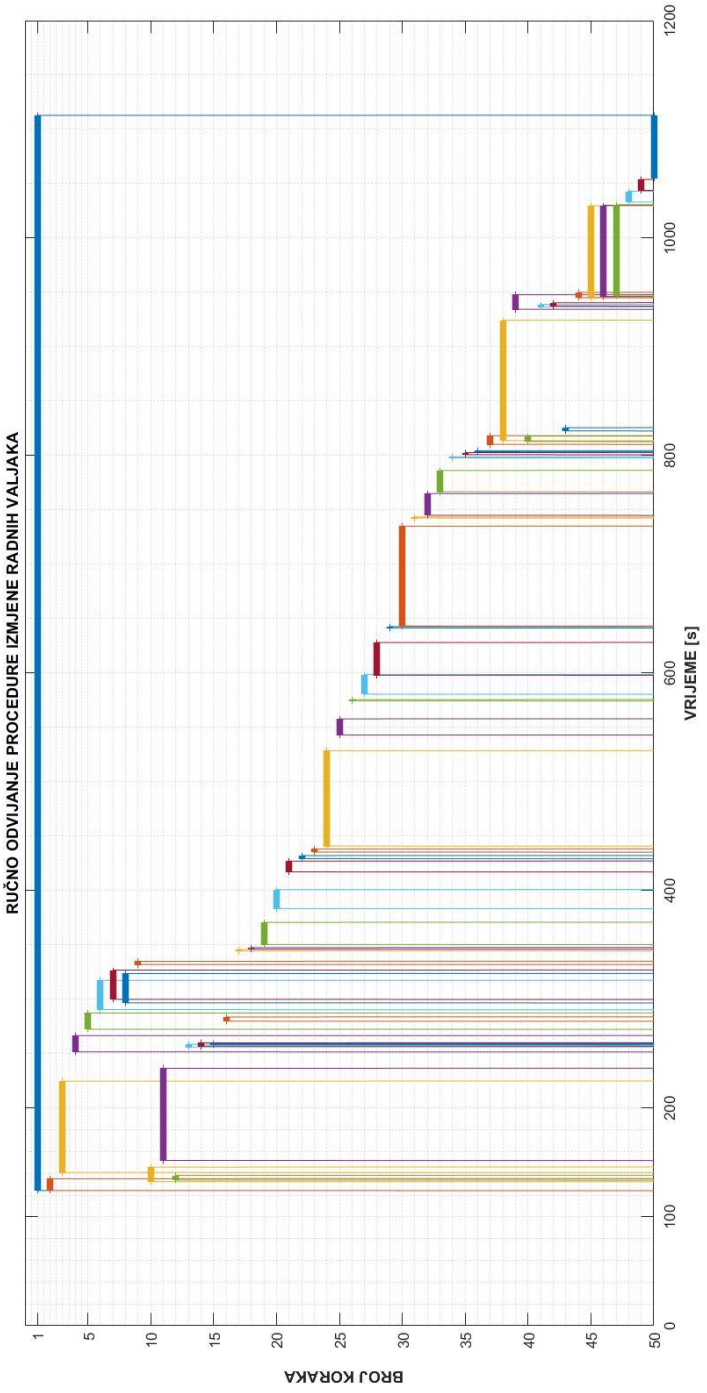
Ručnim načinom rada, omogućeno je odabrati korake za izvršavanje davanjem naredbe za početak izvršavanja koraka, a koraci na kojima je potrebno koristiti uređaje za izmjenu se moraju izvršavati cijelo vrijeme davanjem naredbe za željeni smjer kretanja tako sve do željene pozicije načinom da se tipka drži cijelo vrijeme pritisnuta, a otpuštanjem tipke se uređaj zaustavlja po istoj rampi za zaustavljanje.

4. REZULTATI

Provođenjem simulacije opisane u trećem poglavlju rada, dobiveni su rezultati koji su priloženi pripadajućim slikama u nastavku ovog poglavlja. Rezultati simulacije su dobiveni spremanjem podataka realnih vrijednosti iz programskih blokova (.db) u tekstualnu datoteku (.txt). Zatim je programskim alatom Matlab, proizvoljnim načinom prikazivanja dobivenim uređivanjem, prikazan tijek svakog koraka. Rezultati automatske procedure prikazani su slikom 4.1. dok kod ručne procedure slikom 4.2.



Sl. 4.1. Dobiveni rezultati koraka automatske procedura



Sl. 4.2. Prikaz koraka tijekom ručnog odvijanja koraka

Dobiveni rezultati pokazuju da su rezultati automatskog odvijanja koraka sukladni onima iz modela, odnosno prema očekivanom redoslijedu odvijanja, a vrijeme trajanja svakog koraka je također dobiveno kao i očekivano.

Ručna sekvenca se odvijala putem davanja naredbe za pokretanje svakog pojedinog koraka na pripadajućem ekranu korisničkog sučelja, onog prikazanog slikom 3.30. pri čemu su se na vizualni signal pripadajućeg koraka, reagiralo ručnom naredbom za pokretanje. Kao i kod automatskog načina, slijede se uvjeti za pokretanje svakog koraka te će u slučaju davanja naredbe za onaj korak kod kojeg uvjet za pokretanje nije ostvaren, uspješno poništiti. Oni koraci koji se odnose na pozivanje uređaja " pullout_ram_hy_cy_H1" u odgovarajuću poziciju, iako uspješno rade za automatski način rada, prilikom ručnog načina je potrebno najprije davanjem operaterske naredbe, putem tipke za određeni smjer, doći sve do željene pozicije, dok na ostalim uređajima je moguće i pozivanjem u odgovarajuću poziciju kao i postupno pomicanje operaterskim načinom držanjem naredbe.

Testiranjem se dobio uvid da će prilikom alarma ili kvara sustav reagirati pravilno, a otklanjanjem se ponovno vraća u funkciju. Pritiskom na tipku "stop", cijela procedura staje, poništavaju se odabrani načini rada te bilo kakva naredba bit će poništena sve dok se kvar ne otkloni.

Radi pokušaja što realnijeg prikaza modela, napravljeni su modeli uređaja s rampiranim vrijednostima brzina od početne sve do željene vrijednosti, a uzet je u obzir i veći nagib rampirane brzine za slučaj zaustavljanja. Izvedba je uspješno provedena.

Korisničko sučelje iako nije najbolje vizualno napravljeno, ipak je napravljeno funkcionalnim jer svaka tipka obavlja svoju funkciju te se uspješno prikazuju statusne veličine. Također valja naglasiti da pojedine opcije poput grafova za praćenje vrijednosti prikazane primjerice na Sl. 3.33 i korištene su samo pri testiranju uređaja, a zadržane su na korisničkom sučelju. Prilikom pokretanja simulacije neki elementi poput tekstualnih prikaza izobliče se, a kao razlog tome je vjerojatno ne kompatibilnost prozora sučelja simulatora s onim stvarnim ekranom na kojem se prikazuje, što je uočeno tek u kasnijoj fazi izrade sučelja pa se nije posezalo za izmjenama.

5. ZAKLJUČAK

Zadatak rada je bio napraviti simulator za izmjenu radnih valjaka zajedno s korisničkim sučeljem te simuliranim veličinama koji predstavljaju određeni kvar u sustavu. Za realizaciju je korišten *Siemens Tia Portal V15.*1, a za pisanje koda pripadajući *Simatic Step 7*. Vizualizacija je ostvarena putem *WinCC advanced* alata. Model je temeljen na danom primjeru iz literature pri čemu su uzeti svi odgovarajući uvjeti rada i redoslijed izvršavanja koraka procedure. Napravljeno je ukupno pedeset koraka procedure. Izradbom programa i njegovog korisničkog sučelja te kasnijim testiranjem, došlo se do zaključka kako je, uz navedene nedostatke u četvrtom poglavlju, ipak uspješno realiziran model simulatora sa svim pripadajućim i predviđenim elementima. Najveći problem cijelog rada je bio prikazivanje dobivenih rezultata, pri čemu je bilo pokušaja putem postojećih alata unutar Tia Portala, no nažalost ti alati za snimanje su ograničenih mogućnosti pa se putem programskog alata Matlaba pronašlo donekle zadovoljavajuće rješenje prikaza. Moglo bi se reći na kraju da je cijeli zadatak ispao zadovoljavajuće dobar, ali uz veliki prostor za napredak, što u pogledu funkcionalnosti tako i u pogledu vizualnog izgleda sučelja.

LITERATURA

1. Danieli Automation, Functional description of roughing mill, lipanj 2023.

2. https://www.steel.org/steel-technology/steel-production/ - Proizvodnja čelika, lipanj 2023.

3. https://www.danieli.com/en/products/products-processes-and-technologies/hot-strip mills_26_51.htm - Valjaonice za toplo valjanje, lipanj 2023.

4. https://www.semanticscholar.org/paper/Strip-Thickness-Control-of-Cold-Rolling-Mill-with-Hameed-Mohamad/860d332ccc23b0b0c9d79aae54b8a435b5b24665- Radni i pomoćni valjci, lipanj 2023.

5. https://www.danieli.com/en/news-media/news/rolling-mill-stand-geometry_37_545.htm-Valjaonički stanovi, lipanj 2023.

6. https://espace.library.uq.edu.au/data/UQ_2f2b623/Jie_Guang_Toh_thesis.pdf-Svojstva materijala pri valjanju, lipanj 2023.

7. https://www.ifm.com/in/en/applications/040/steel-and-metal industry.html#/!/content/documents/en/shared/applications/040/1020/2020/2020 - Podaci o postrojenju, lipanj 2023.

8. https://electricala2z.com/motors-control/plc-programmable-logic-controller-hardware-components-plc-hardware-basics/- PLC, lipanj 2023.

9.https://cache.industry.siemens.com/dl/files/558/59193558/att_112303/v1/s71500_cycle_and_reaction_times_function_manual_en-US_en-US.pdf - Opis funkcije, lipanj 2023.

10. https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1687814018824931 - Proces proizvodnje

11. https://content.iospress.com/articles/journal-of-intelligent-and-fuzzy-systems/ifs169183

12. https://www.researchgate.net/figure/Various-configurations-of-rolling-mills-a-2-high-b-3-high-c-4-high-d_fig35_325178996- Konfiguracije valjaonica, lipanj 2023.

13. https://www.ispatguru.com/rolling-mill-and-its-technological-equipments/-Mehanički uređaji na valjaoničkom stanu, lipanj 2023.

14. https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=4848&context=eispapers1-Bočno pomicanje i savijanje valjaka, lipanj 2023.

15. https://www.aptint.com/tr/kullanilmis-makine/warmwalsmachines/wean-united-contin-hot-strip-rolling-mill-8-stands_7357 - Konfiguracija valjaoničkog stana, lipanj 2023.

SAŽETAK

Cilj rada je napraviti simulator PLC-a za sekvencu izmjene radnih valjaka pri procesu toplog valjanja materijala pri čemu se zahtjeva, osim automatskog tijeka izvršavanja i realizacija ručnih naredbi koje se koriste u slučajevima pojave kvara u sustavu. Programsko rješenje i korisničko sučelje su napravljeni u Siemens-ovom programskom paketu - Tia Portal. Napravljeno korisničko sučelje daje informacije o stanju koraka, stanjima procesnih veličina koje se simuliraju uz mogućnost odabiranja načina rada te zaustavljanja procedure.

Ključne riječi: radni valjci, PLC, sekvencijalno odvijanje procesa, toplo valjanje materijala

ABSTRACT

Title: **Simulator for work roll changing procedure in process of hot rolling**

The goal of this paper is to make simulator for work roll change in process of hot rolling material. It includes automatic and manual mode of working; automatic for normal operation, manual in cases of emergency or system failure. The software solution and HMI are made in the Siemens software package - Tia Portal with purpose for implementation on PLC. The created HMI provides information about the state of steps and process variables that are simulated with possibility of selecting operating mode and stopping the procedure.

Key words: work rolls, PLC, process and sequence control, hot rolling

ŽIVOTOPIS

Ivan Tomašević, rođen 19.02.1998. u mjestu Požega, Republika Hrvatska. Pohađao je osnovnu školu Ivana Gorana Kovačića u Velikoj. Nakon osnovne škole, upisuje 2013. godine srednju školu Gimnazija Požega, smjer prirodoslovno-matematički. Nakon srednje škole, 2017. godine se upisuje na Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku i odabire sveučilišni studij elektrotehnike te se na drugoj godini usmjerava na elektroenergetiku. Nakon završetka preddiplomskog studija na istom fakultetu upisuje se 2020. godine na diplomski studij industrijske elektroenergetike - DEC. Trenutno je apsolvent druge godine tog studija.

PRILOZI

P.1. Projekt u Tia Portal-u

Nalazi se na CD-u.