

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Jovan Lončar

**Nadzorni sistem in simulator
avtomatskega skladiščnega sistema**

diplomsko delo
univerzitetnega študija

Mentor: doc. dr. Uroš Lotrič

Ljubljana, 2008

Zahvala

Najlepše se zahvaljujem mentorju doc. dr. Urošu Lotriču za vsestransko podporo, strokovno pomoč ter predvsem potrpljenje pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se staršem, vsem prijateljem ter ostalim, ki so kakorkoli pripomogli in sodelovali pri nastajanju tega diplomskega dela.

Kazalo

Povzetek	1
Abstract	3
1 Uvod	5
2 Opis skladišča in dvigala	11
2.1 Skladišče	11
2.2 Visokoregalno krivinsko dvigalo	13
2.3 Računalniški sistemi za vodenje visokoregalnega skladišča	17
2.4 Tok materiala v visokoregalnem skladišču	22
3 Nadzorni sistem	25
3.1 Nadzor sistemov	25
3.2 Nadzorni sistem avtomatskega visokoregalnega skladišča	29
3.2.1 Konfiguracija nadzornega sistema	29
3.2.2 Procesni zasloni	31
3.2.3 Alarmi	40
3.2.4 Pisanje skript	42
3.3 Prenosni panel	44
3.3.1 Vpisovanje lokacij v skladišču	47
4 Simulator	51
4.1 Strojna oprema	51
4.2 Programski jeziki programirljivih logičnih krmilnikov	54
4.3 Opis simulatorja	56
4.4 Meritve hitrosti in pospeškov na dvigalu	58
5 Sklepne ugotovitve	61
6 Viri	63

Povzetek

Danes se za potrebe skladiščenja izdelkov vedno več gradijo avtomatska visokoregalna skladišča. V okviru diplomskega dela je predstavljena zasnova in razvoj nadzornega sistema za potrebe takšnega skladišča. Pri tem je bil poseben poudarek dan na uporabniku prijazen in enostaven uporabniški vmesnik, ki vključuje enostavne grafične prikaze stanja sistema ter beleženje in alarmiranje ob napakah. Za potrebe ročnega posredovanja ob napakah v samem skladišču je bil na podoben način zasnovan tudi prenosi panel.

Poleg nadzornega sistema je bil razvit še simulator avtomatskega regalnega dvigala, saj se je med razvojem nadzornega sistema in višjih računalniških sistemov vodenja pokazalo, da bi z njim celoten proces močno pohitrili. Simulator teče na programirljivem logičnem krmilniku v realnem času in je zasnovan tako, da so za njegovo uporabo potrebne le minimalne spremembe programa, na programirljivem logičnem krmilniku, ki se uporablja za vodenje dvigala.

Ključne besede:

- Avtomatizacija
 - Visokoregalno skladišče
 - Nadzorni sistem
 - Simulator
-

Abstract

Today, for the purpose of warehousing, companies are more and more building fully automated high-bay warehouses. In the thesis design and development of supervisory and control system is presented. Special attention was given to the user friendly user interface, which comprehends simple but informative graphical screens together with logging and notification of user in case of unusual events. For the purpose of intervention in the warehouse, a mobile panel was designed and developed in the same way.

While developing the control system and all other connected information systems a need for a simulator of a stacker-crane was indicated in order to shorten the development cycle. The integration of simulator, running on a programmable logic controller in real time, requires only minimal changes of programming code on the programmable logic controller of the stacker-crane.

Keywords:

- Automation
 - High-bay warehouse
 - Supervisory and control system
 - Simulator
-

1 Uvod

Skladišča so komercialni prostori namenjeni shranjevanju različnih dobrin. Uporabljajo jih na primer proizvajalci, uvozniki, izvozniki, trgovci na debelo in prevozniki. Običajno so to ogromne stavbe, ki se nahajajo v industrijskih delih mesta. Opremljena so s posebnimi površinami namenjenim za nakladanje in razkladanje tovornjakov, nekatera tudi vlakov, letal in ladij. Dobrine so zapakirane na paletah standardnih velikosti in se hranijo v paletnih regalih. Z uporabo dvigal in viličarjev premikamo palete glede na to ali so namenjene nakladanju, razkladanju ali zaradi notranjega urejanja. Notranja ureditev skladišča mora biti takšna, da nam omogoča učinkovito poslovanje. Poleg tega je ureditev skladišča v večji meri odvisna od lastnosti dobrine, ki jo skladiščimo in od posamezne količine dobrine. Izgradnja skladišč in njihova notranja ureditev morata zagotavljati ohranitev količine in kakovosti uskladiščenih dobrin, čim nižje stroške shranjevanja in čuvanja dobrin, ter varnost dela v skladišču.

Osnovni cilj skladiščenja je zagotavljanje preskrbe vseh uporabnikov s potrebnim materialom ob čim večji ekonomičnosti te preskrbe [1]. Skladiščenje s svojimi stroški lahko bistveno vpliva na celoten poslovni uspeh organizacije. Zato je ključnega pomena optimizacija zaloge različnih vrst materialov. Zaloge morajo biti dovolj visoke, da še zagotavljajo nemoteno poslovanje, ne povzročajo pa nepotrebnih dodatnih stroškov. Osnovne naloge skladiščenja so prevzemanje in izdajanje materiala, čuvanje in varovanje materiala, zagotavljanje načrtnega razporeda materiala v skladišču in kontrola stanja zalog.

Za vsako skladišče je pomemben čim hitrejši pretok blaga, kar dosežemo z dobro organizacijo in logistiko. Ob povečevanju proizvodnje se pojavi potreba po boljši sledljivosti blaga,

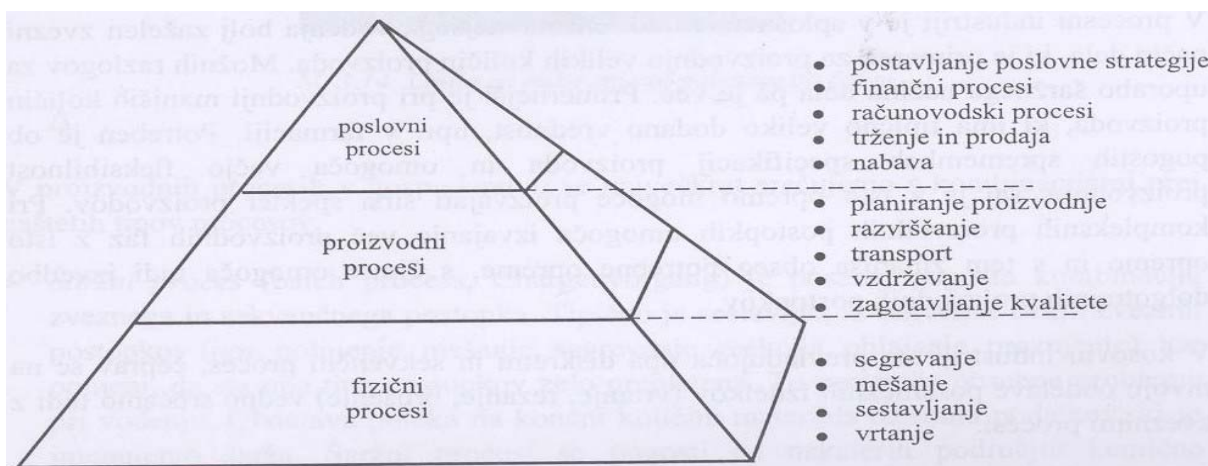
nadzoru nad izdajo blaga in stanjem v skladišču. To delo omogočata in olajšata avtomatizacija skladiščenja in povezovanje v poslovni informacijski sistem. Cilji uvedbe popolnoma avtomatiziranega skladišča so med drugim avtomatizacija uvoza in izvoza iz skladišča s popolnoma avtomatskimi transportnimi sistemi, kvaliteten pregled nad stanjem v skladišču, pomoč pri komisioniranju, neposredna povezava med poslovnim sistemom naročil in skladiščnim sistemom, povečanje produktivnost dela, zmanjšanje vpliva človeškega faktorja, lažje upravljanje in povečanje varnosti poslovanja. Prednost viskoregalnega skladišča je predvsem učinkovito skladiščenje z odlično izkoriščenostjo prostora (gradnja v višino).

Seveda poleg razlogov, ki govorijo v prid uvajanja sistemov za vodenje, obstajajo tudi razlogi proti. Med te razloge na prvem mestu spada potencialna izguba delovnih mest. Sistemi za vodenje, posebej tisti z visoko stopnjo avtomatizacije, se pogosto uvajajo zato, da bi nadomestili delavce. Tudi če ne gre za direktno odpuščanje delavcev, lahko uvajanje sistema za vodenje zanje pomeni zmanjšanje zadovoljstva pri delu. Saj gre pri temu pogosto za razvrednotenje tradicionalnih veščin in znanja, potrebo po učenju in prilagajanju na nov način dela ali v skrajnih primerih celo za razpad delovnega okolja. Teh slabih strani uvajanja tovrstne tehnologije se seveda ne moremo v celoti izogniti. Lahko pa jih s pravilnim in celovitim pristopom k načrtovanju, izgradnji in uporabi sistemov vodenja precej omilimo.

Uvajanje sistemov za vodenje in avtomatizacija lahko bistveno vpliva na povečevanje učinkovitosti posameznih procesov znotraj podjetja. Pri realizaciji teh sistemov je pa pomembno, da struktura funkcij vodenja ustreza strukturi procesov, ki jih vodimo. Zato je smiselno, da funkcije razporedimo tudi na tak način. Konkreten nabor funkcij in njihova razporeditev je seveda mogoča samo v povezavi s konkretnim procesom, za katerega razvijamo sistem. Tradicionalno omenjene različne vrste procesov strukturiramo v različne plasti. Eno od takih struktur, ki jo imenujemo tudi piramida podjetja, prikazuje shema na sliki 1.1.

V podjetju je dominanten poslovni proces. Namen poslovnega procesa je, da nudi vsaki stranki pravi proizvod ali storitev z visoko stopnjo učinkovitosti z ozirom na stroške, trajnost, podporne storitve in kvaliteto. Če se omejimo na proizvodna podjetja, potem poslovni proces

seveda ni mogoč, če nimamo procesov, katerih rezultat je proizvod. Torej govorimo o proizvodnih procesih. Da pa lahko proizvodni proces teče, potrebuje še vrsto podpornih fizičnih procesov.



Slika 1.1: Struktura procesov v podjetju.

Vsi ti procesi seveda zahtevajo svoje vodenje, ki je prilagojeno specifični posameznega procesa. Pri projektiranju industrijskih obratov je bistvenega pomena, da načrtovanje procesa in vodenja potekata sočasno. Načrtovanje kompleksnih procesov je izrazito interdisciplinarna dejavnost, pri kateri morajo svoje znanje združiti strokovnjaki z različnih področij, ki vidijo proces vsak s svojega zornega kota.

Tradicionalno se vprašanja vodenja med načrtovanjem žal zanemarija. Procesni inženirji večinoma raje uporabljajo pristope, ki omogočajo obratovanje s preprostim sistemom vodenja, čeprav so ti včasih daleč od optimalnih rešitev. Z učinkovitim vodenjem je mogoče obvladovati procese z izrazitimi interakcijami, kar omogoči naprednejšo zasnovo celotnega procesa. Učinkovit sistem vodenja je s procesom pogosto tesno prepleten, zato zahteva njegova naknadna vgradnja velike posege v samem procesu in nepotrebne stroške. Sočasno načrtovanje procesa in vodenja je zlasti pomembno pri dimenzioniranju naprav. Doseči je mogoče manjšo porabo energije in surovin, manjše obremenjevanje okolja in zmanjšanje investicij v procesno opremo.

V skladu s strukturo procesov v podjetju lahko razdelimo funkcije vodenja na tri nivoje:

- upravljanje podjetja
- upravljanje proizvodnje
- vodenje fizičnih procesov

Upravljanje podjetja zajema informacijsko podporo in podporo pri odločanju pri ključnih poslovnih procesih, kot so na primer postavljanje poslovne strategije, definiranje ciljev posameznim enotam v podjetju, investicijska politika, finančna politika in prodajna politika. Vsi navedeni procesi tvorijo okvir za proizvodno politiko.

Najpogostejše funkcije na nivoju proizvodnje so tiste, ki se ukvarjajo z obvladovanjem logističnih procesov. Gre predvsem za funkcije planiranja in razvrščanja [2]. Planiranje proizvodnje mora odgovoriti na vprašanja, kot so: kaj se bo proizvajalo, koliko se bo proizvajalo, kje se bo proizvajalo, kdaj mora biti narejeno in podobno. Razvrščanje proizvodnje pa tipično vključuje opredelitve kot so: v kako velikih saržah se bo proizvajalo, na katerih postrojenjih, napravah in strojih se bo delalo, kdaj se bo delalo, kakšne so omejitve. Na tem nivoju srečamo še funkcije optimizacije proizvodnje, optimizacije kapacitet in pa funkcije, ki zagotavljajo delovanje spremljevalnih procesov kot so na primer vodenje skladišč, upravljanje z zalogami, vodenje transporta, vodenje vzdrževanja in zagotavljanje kvalitete. Na nivoju vodenja procesov prevladujejo funkcije, ki so neposredno vezane na fizična postrojenja, naprave in stroje.

Ideja za diplomsko nalogo je nastala pri sodelovanju na projektu avtomatizacije visokoregalnega skladišča Kovinoplastike Lož d.d. Namen diplomske naloge je predstaviti razvoj nadzornega sistema SCADA in simulator skladišča. Glavne zahteve za nadzorni sistem so, da naj bo uporabniku čim bolj prijazen, da zagotavlja učinkovito vizualizacijo, možnost posredovanja v primeru napak ali izpadov naprav in omogoča zanesljivo komuniciranje tako s spodnjim, kot tudi z zgornjim nivojem v hierarhiji sistemov vodenja. V času testiranja dvigala in nadzornega sistema se je izkazalo, da bi ustrezna simulacija skladišča omogočila hitrejši razvoj programske opreme. Preverjanje novih rešitev ali posodobitev bi lahko potekalo neodvisno od samega stanja fizičnega dvigala. Ta bi lahko bil v okvari, na servisu ali pa tudi v končni uporabi. Hkrati se s pomočjo simulatorja izognemo težavam kot je obraba materiala ali

morebitne poškodbe dvigala in večvredne opreme v primeru okvare na programski opremi.

V naslednjem poglavju je podrobno opisano skladišče in visokoregalno avtomatsko dvigalo v njem, ter hierarhija računalniških sistemov. V tretjem poglavju je opisan nadzorni sistem SCADA, zasnovan na programskem orodju SIMATIC WinCC, in postopek njegove izdelave. V četrtem poglavju je opisan simulator dvigala, ter postopek programiranja. V petem poglavju so podane sklepne ugotovitve in ideje za nadaljnje delo.

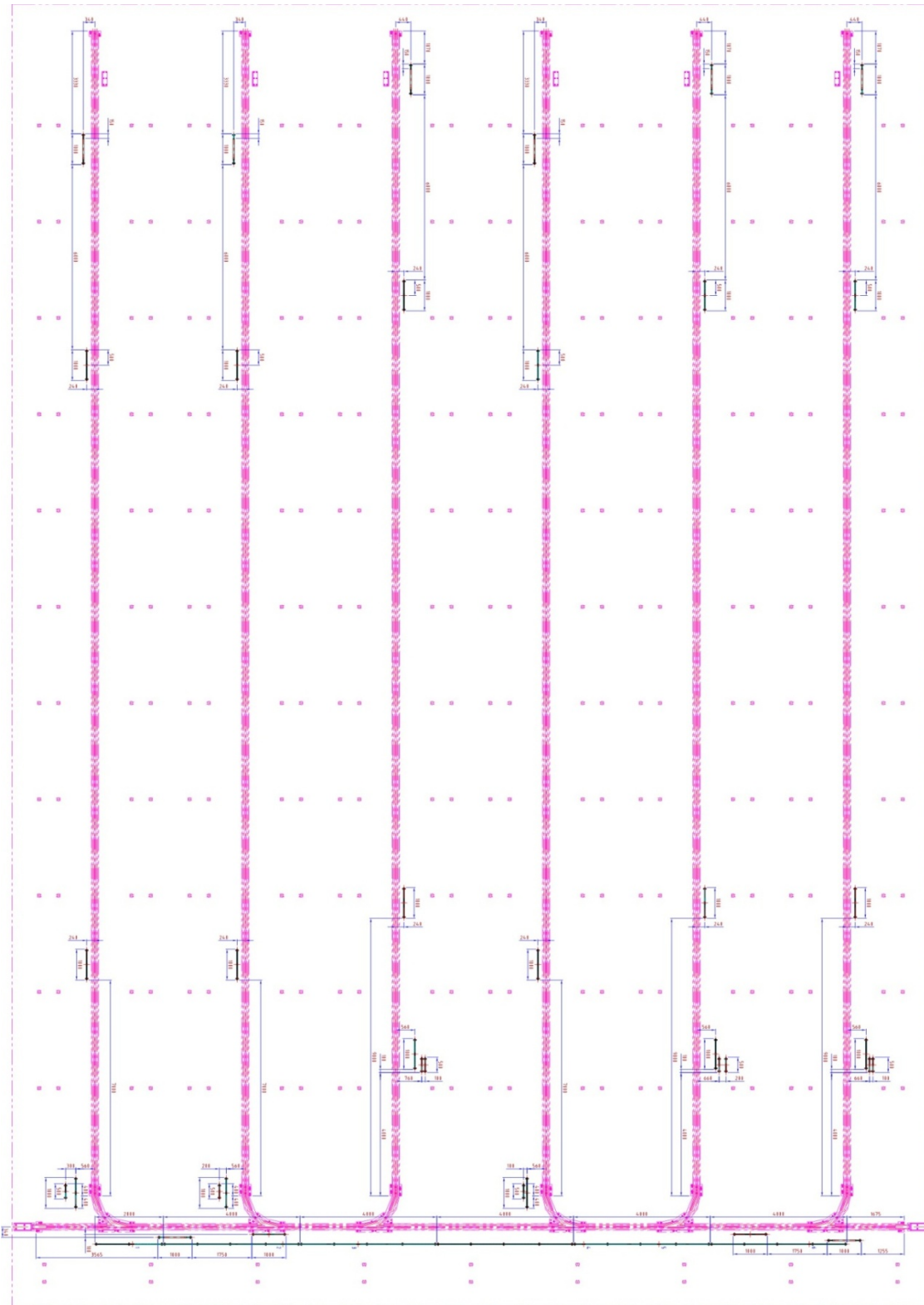
2 Opis skladišča in dvigala

Za razvoj učinkovitega nadzornega sistema je potrebno razumeti strukturo skladišča. Ta nam pomaga ne samo v razumevanju delovanja samega skladišča, temveč tudi kot opora pri sestavljanju grafične podobe nadzornega sistema. Poleg prostora za shranjevanje blaga, v katerem se vozi avtomatično dvigalo, se v skladišču nahajajo še prostori za prevzem, izdajo in komisioniranje blaga, ter pisarniški prostori. Nadzorni sistem se nahaja v pisarniških prostorih, kjer operater preverja pravilno delovanje dvigala in transporterjev. V primeru napake lahko tudi posreduje preko nadzornega sistema. Pri diplomskem delu se bom večinoma omejil na dvigalo, kjer sem tudi sodeloval pri razvoju. V tem poglavju so tudi opisane mehanske in električne lastnosti dvigala, kot tudi samo delovanje. Pri transporterjih se bom omejil samo na bistvene stvari, ki so zanimive za nadzorni sistem.

2.1 Skladišče

V visokoregalnem skladišču je šest vzdolžnih hodnikov in en prečen, ki jih povezuje. Po hodnikih so speljani tiri, na katerih se vozi avtomatizirano dvigalo in so povezani kot prikazuje slika 2.1. Ob straneh vsakega vzdolžnega hodnika so postavljeni paletni regali. Na vsak paletni regal lahko naložimo 459 palet (51 palet vodoravno in 9 palet navpično). V prečnem hodniku je postavljen paletni regal samo na eni strani, tik ob steni. Po dimenzijah se razlikuje od paletnih regalov v vzdolžnih hodnikih in na njega lahko naložimo 168 palet. Skupaj je vseh paletnih mest v skladišču 5676. Na isti strani so tudi posebna mesta, ki služijo kot vhod ali izhod iz skladišča. Dva sta uporabljena za izdajo ali prevzem blaga v pritličju, tretji pa vodi v komisionirnico, ki se nahaja nadstropje višje. Eno od paletnih mest v skladišču

je rezervirano za kabino, ki jo skladiščni delavci uporabljajo med ročno inventuro skladišča.



Slika 2.1: Tloris tirnic skladišča z označenimi položaji končnih stikal in magnetov.

Skladišče je ob pravilnem delovanju zaprto in osebam vstop ni dovoljen. S tem se poveča varnost tako blaga pred krajo, kot se tudi zmanjša možnost nesreč na delovnem mestu. Dvigalo nima dodatnih senzorjev, da bi lahko zaznalo prisotnosti predmeta ali osebe na tirih. V primeru da se nekaj pojavi na tirih, se ne ustavi. Najlažja rešitev je popolna ustavitev dvigala v primeru, ko so vrata odprta ali pride do požara. Tako da pred servisiranjem operater postavi dvigalo na servisno mesto in serviser lahko vstopi v skladišče.

Na tla ob tirnicah so nameščeni posebni magneti, ki preklaplajo magnetnega stikala na dvigalu, ko se le-to zapelje čeznje. Signalizirajo območje krivine ter območje v katerem je dovoljena hitra vožnja dvigala. Poleg tega so z magneti označeni tudi hodniki. Na koncih vzdolžnih hodnikov so nastavljena še varnostna mehanska končna stikala, ki ustavijo dvigalo, če jih nehote doseže. Ob tirih so speljani drsni vodi za napajanje dvigala in za prenos pomembnih varnostnih signalov.

2.2 Visokoregalno krivinsko dvigalo

Visokoregalno krivinsko regalno dvigalo, ki je prikazano na slikah 2.2 in 2.3 je nameščeno v visokoregalnem skladišču in omogoča popolnoma avtomatizirano polnjenje in praznjenje skladišča. Giblje se lahko po tirnicah v šest vzdolžnih in enem prečnem hodniku. Dvosteberno dvigalo ima na vsakem stebri gibljivi preklopnik, ki dvigalu omogoča menjavanje hodnikov. Med stebroma je nameščena dvižna miza, na katero so pritrjene dvoje vilice. Dvigalo je težko 10500 kg, visoko 17,5 m, dolgo 5,5 m in široko 1,5 m. Vilice se lahko iztegnejo do 1,625 m. Dvigalo na dveh parih vilic lahko nosi palete skupne teže do 1000 kilogramov. Palete nalaga oziroma odlaga bodisi v regale bodisi na transportni sistem v pritličju ali v prvem nadstropju (komisioniranje).

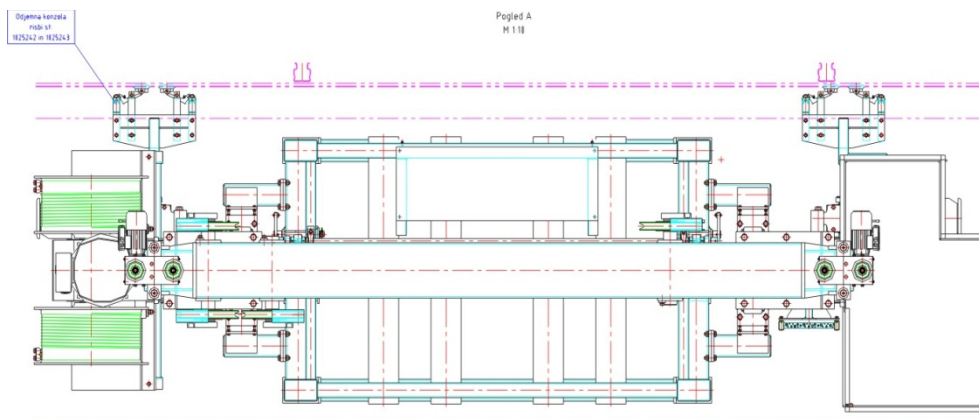
Za napajanje dvigala skrbita dva para odzemnikov, eden na sprednjem in drugi na zadnjem gibljivem delu. Prikazana sta na sliki 2.4. Odzemnika sta vezana vzporedno. Na ravnem delu hodnikov sta oba odzemnika na drsnem vodu, medtem ko je v krivini eden od odzemnikov odklopljen. Za premikanje dvigala so potrebni pogoni za vertikalno premikanje dvižne mize, dva pogona za horizontalno premikanje celotnega dvigala, dva pogona za premikanje

teleskopskih vilic in štirje pogoni za preklonike.



Slika 2.2: Avtomatsko skladiščno dvigalo.

V pogonu dviga je nameščen 30 kW motor, s katerim dosežemo dvižno hitrost 50 m/min. Za preprečitev poškodovanja dvigala so v mejnih legah dvižne mize postavljena mehanska končna stikala. Ob prekoračitvi stikal pogon dviga izgubi napajalno napetost in se ustavi. Pred končno lego je še z magnetom označena meja za upočasnitev gibanja. Na dvižni mizi je nameščeno magnetno stikalo, ki ob prehodu zazna magnet. Upravljanje motorja v pogonu dviga poteka preko frekvenčnega pretvornika, ki na podlagi želene hitrosti dviga nastavi ustrezno frekvenco vrtenja motorja. Trenutni položaj dvižne mize podaja absolutni vrvični enkoder. Iz podatka o številu prešteti impulzov na absolutnem enkoderju je enostavno določiti dejansko višino v metrih. Na podlagi meritve položaja in hitrosti vrtenja motorja je izvedena zaprto-zančna regulacija gibanja dvižne mize.

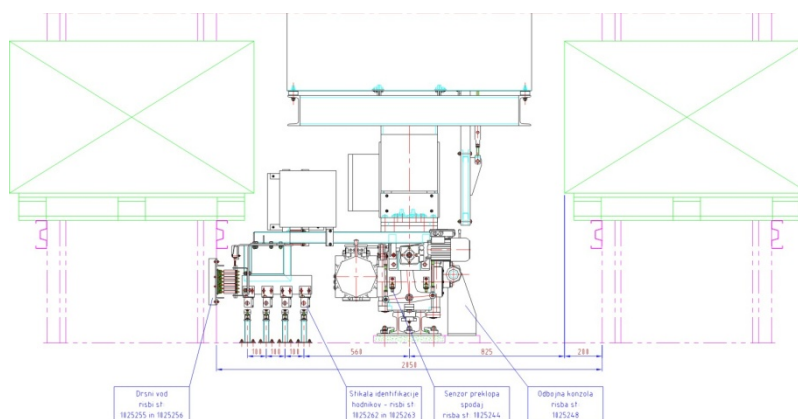


Slika 2.4: Dvigalo iz ptičje perspektive.

Za pogon vožnje v vodoravni smeri sta uporabljena dva 5,5 kW motorja, eden na sprednjem in eden na zadnjem gibljivem delu. Omogočata premikanje dvigala s hitrostjo do 140 m/min z največjim pospeškom $0,5 \text{ m/s}^2$. Ker vožnja skozi ovinek zahteva različno hitrost vrtenja sprednjega in zadnjega motorja, ima vsak motor svoj regulator hitrosti. Regulatorja sta parametrizirana tako, da delujeta usklajeno, eden je definiran kot gospodar in drugi kot suženj, ki mu sledi. Na ravnem delu imata oba motorja enaki hitrosti in navora, v krivini pa morata biti hitrosti različni in en motor mora slediti drugemu tako, da ne pride do spodsavanja koles. Na podlagi meritve položaja in hitrosti vrtenja motorja je izvedena zaprto-zančna regulacija gibanja.

Položaj dvigala podaja laserski merilnik in glede na ta položaj in ciljni položaj se preračunava zahtevana hitrost vožnje. Za pravilno delovanje laserskega merilnika je nujno potrebno zrcalo, od katerega se laserski žarek lahko odbije. Zrcala so zato nameščena na ustreznih mestih na regalni konstrukciji v skladišču. Ko je dvigalo v krivini nima informacije o položaju, ker tu laserski merilnik ne dela. Zato sta na sprednjem in zadnjem pogonskem sklopu dve magnetni stikali, ki imata magnetne razporejene na koncu vzdolžnih ter na prečnem hodniku tako, da je omogočeno zaznavanje kdaj se dvigalo nahaja v krivini. Iz samega laserskega merilnika tudi ne moremo razbrati v katerem hodniku se dvigalo nahaja, zato so na zadnjem preklonem delu še tri magnetna stikala za kodiranje hodnikov (slika 2.5). Posamezni hodniki imajo magnetne na tleh razporejene tako, da sprožijo določeno kombinacijo, ki jo uporabimo kot kodo za hodnik. Pred koncem hodnikov, na obeh straneh, vozi dvigalo samo počasi. Za preklon poskrbi magnetno stikalo na dvigalu ter magneti na tleh vsakega hodnika.

Dvigalo ima dva para neodvisnih vilic. Vsak par vilic ima svoj pogon ter osni absolutni enkoder za določitev položaja. Poleg tega ima vsak par vilic še mehansko stikalo za detekcijo srednjega položaja, ter dve induktivni stikala za detekcijo mejnih leg. Za krmiljenje vilic so pomembni še optični senzorji, ki tipajo zasedenost regala, zasedenost vilic in kontrolirajo poravnavo palet na vilicah.



Slika 2.5: Spodnji del dvigala (levo spodaj je drsni vod in magnetna stikala).

Za premikanje iz vzdolžnega v prečni hodnik in obratno je potrebno na dvigalu ustrezno nastaviti mehanizem na spredjem in zadnjem preklonniku. Motorji za premikanje mehanizma so štirje, po dva spodaj (spredaj in zadaj) in po dva zgoraj (spredaj in zadaj). Ti motorji so krmiljeni direktno preko kontaktorjev, omogočajo pa preklon koles ob progi in s tem določajo ali naj se dvigalo pelje naravnost ali naj zavije. Vsak sklop ima dva senzorja, ki zaznavata obe skrajni legi. Na osnovi te informacije, ter informacije o položaju dvigala krmilimo vse motorje preklopnega mehanizma.

2.3 Računalniški sistemi za vodenje visokoregalnega skladišča

Z dvigalom lahko upravljamo avtomatsko prek višjih sistemov vodenja, polavtomatsko preko nadzornega sistema ali prenosnega panela in ročno preko prenosnega panela. S preklonnikom na ključ na omari zunaj skladišča lahko izbiramo med vodenjem iz pisarne z višjimi sistemi

vodenja ali vodenjem iz skladišča preko prenosnega panela (polavtomatsko ali ročno).

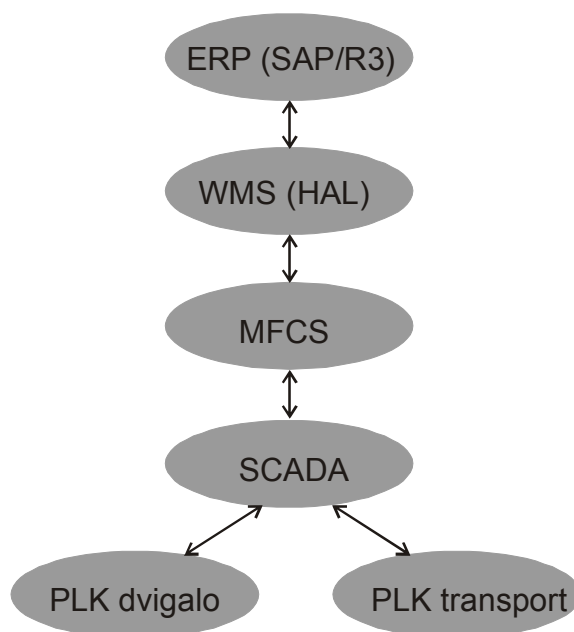
Za avtomatsko vodenje dvigala je uporabljen programirljivi logični krmilnik Siemens S7-315-2DP, ki ima integrirana dva vmesnika Profibus. Preko vmesnika Profibus so na programirljivi logični krmilnik povezani:

- vhodno - izhodni signalni moduli,
- laserski merilnik položaja dvigala,
- absolutni enkoderji za merjenje višine dvižne mize,
- absolutna enkoderja za merjenje položaja teleskopskih vilic,
- frekvenčni pretvorniki pogonov dviga, vožnje in vilic,
- bralnik črtne kode in
- prenosni panel.

Krmilnik ima dodan še modul Ethernet Siemens CP 343-1, ki je povezan na brezžični usmerjevalnik. Tako je omogočena brezžična komunikacija z nadzornim sistemom preko protokola Ethernet TCP/IP.

Komunikacija med računalniškimi sistemi (sliki 2.6 in 2.7) poteka tako, da ukazi potujejo od zgoraj navzdol, medtem ko pa v obratno smer potujejo potrditve o opravljenem delu in sporočilo o stanju sistema.

Sistem SAP R3 je programska rešitev za integriran poslovno-informacijski sistem z bogato funkcionalnostjo za zagotavljanje urejene preglednosti nad operacijskimi podatki in informacijami o poslovanju celotnega podjetja [3]. Združuje operativne podatke v vodstvene informacije za podporo odločanja pri nadzoru in vodenje kritičnih dejavnikov uspeha na vseh nivojih podjetja. S sistemom SAP R3 je podjetjem zagotovljen informacijski sistem z možnostjo širitve in povezovanja z drugimi rešitvami. Omogoča obvladovanje vseh poslovnih procesov tako v podjetju, kakor tudi na področju njegovega povezovanja z okoljem. Z vidika skladišča je poleg vsega kar ponuja sistem SAP najbolj zanimiva funkcionalnost, ki skrbi za napovedi prejema blaga v skladišče in zahteve za odpreme materiala iz skladišča.



Slika 2.6: Nivoji računalniških sistemov v viskoregalnem skladišču Kovinoplastika Lož, d.d.

HAL (ang. Harding Logistic) je skladiščni informacijski sistem (ang. Warehouse Management System), ki ga je razvilo podjetje Harding d.o.o. in je sestavljen iz petih programskih modulov za vodenje skladišča [4][5]. Skrbi za določanje mesta skladiščenja, pripravo pošiljk, izdajo materiala, določanje prioritete izdaje ter optimalno delo v skladišču. S tem zagotavlja povečanje učinkovitosti in kakovosti skladišča. Sistem HAL lahko deluje povsem samostojno, vendar je običajno povezan s poslovnim sistemom in s proizvodnim sistemom. Za povezavo ima pripravljene univerzalne vmesnike, tako da je integracija relativno hitra. Zelo dobro sodeluje s poslovnim sistemom SAP R3. Iz poslovnega sistema sprejema napovedi prejema trgovskega blaga in zahteve za odpremo. Iz proizvodnega pa napovedi proizvodne realizacije in zahteve za surovine. Obema sistemoma tudi poroča. Sistem HAL omogoča enostavno in celovito upravljanje avtomatskih in ročnih skladišč, različne načine prejema in izdaje, optimizacijo prostora in premikov, različne načine inventure ter številne preglede in izpise. Operacije se izvajajo z avtomatskimi dvigali, viličarji in ustreznimi terminali ali ročno. Za identifikacijo se lahko uporablja ročen vpis ali črna koda. Sistem HAL je vmesnik, ki ve kaj se kje v skladišču nahaja, ter zna pretvoriti zahteve sistema SAP R3 v zahtevo razumljivo nižjim računalniškim sistemom vodenja.

Sistem MFCS (ang. Material Flow Control System) je sistem za sledenje materiala oziroma

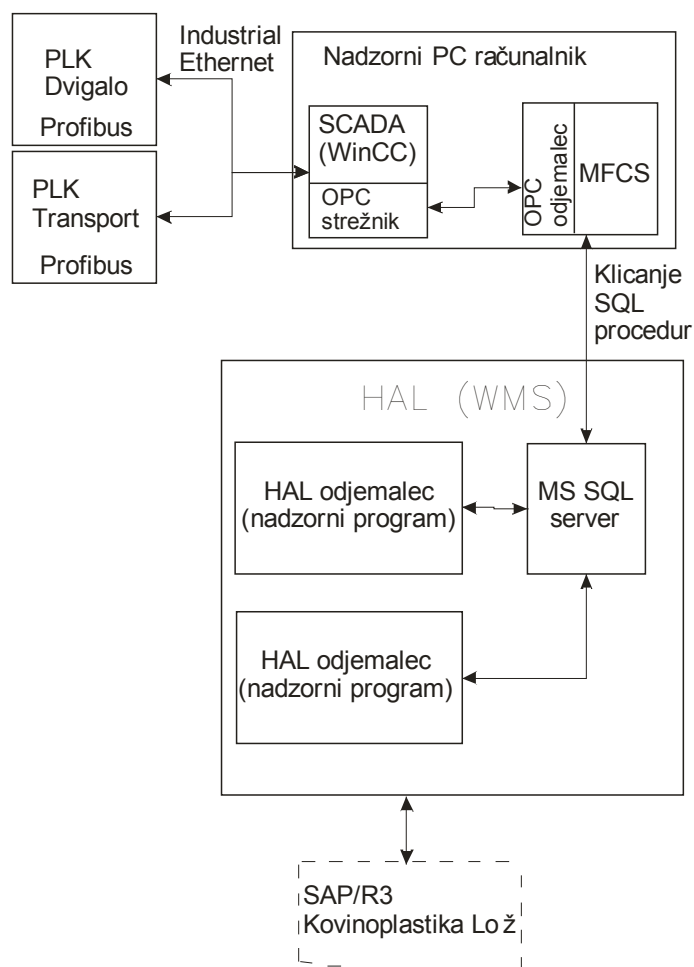
kontrolni sistem za pretok materiala. V povezavi z nadzornim sistemom skrbi za povezavo med programirljivimi logičnimi krmilniki in sistemom HAL. Zmore pa naslednje stvari:

- Spremlja stanje v skladišču in beleži na katerem mestu v skladišču je paleta z določeno črtno kodo, vendar ima samo to informacijo. Vse ostalo o paleti je znano samo sistemu HAL.
- Izvaja ukaze, ki jih pošilja sistem HAL.
- Obvešča sistem HAL o statusu ukazov in položaju palet v skladišču.
- Omogoča direktno vnašanje ukaza v nujnih primerih.
- Shranjuje natančen dnevnik vseh dogodkov v skladišču.

Nadzorni sistem ali sistem SCADA uporablja operater skladišča [6]. Skrbi za povezavo med MFCS in programirljivima logičnima krmilnikoma. Tako kot sistem HAL omogoča neposredno vnašanje ukazov v nujnih primerih. Z višjimi sistemi komunicira preko strežnika OPC (ang. Object Linking and Embedding for Process Control), ki je vključen v nadzornem sistemu SCADA. Več o nadzornem sistemu je opisano v tretjem poglavju.

Programirljivi logični krmilnik ali PLK je na mikroprocesorju zasnovana krmilna naprava, ki je bila razvita kot nadomestek relejske logike. V osnovi je namenjena za realizacijo sekvenčnega vodenja, omogoča pa tudi reševanje enostavnejših regulacijskih nalog. [2]. Uporabljeni so krmilniki družine Siemens Simatic S7-300, ki preko brezžičnega in ožičenega industrijskega Etherneta komunicirajo s sistemom SCADA.

Industrijski Ethernet je omrežje zasnovano na Ethernet standardu z uporabo inteligentne stikalne metode [7]. Ustrezna stikala namreč dajejo prednost TCP/IP paketom naprav, ki komunicirajo preko Industrial Etherneta, pred običajnimi TCP/IP paketi. Organizacije ali naprave lahko še vedno uporabljajo ista tradicionalna orodja in aplikacije, le na izboljšani in bolj učinkoviti omrežni infrastrukturi, kar je še dodatna prednost. Omogočena je uporaba različnih produktov, katere ponuja paleta proizvajalcev mrežne opreme. Tehnologija je podprta z mednarodnimi industrijskimi standardi in je zanesljiva alternativa dragim lastniškimi sistemom.



Slika 2.7: Prikaz komunikacije v avtomatiziranem visokoregalnem skladišču.

Profibus (ang. Process Field Bus) je odprt digitalni komunikacijski sistem z velikim nizom aplikacij, posebno v avtomatizaciji procesov [8]. Primeren je za hitre, časovno kritične aplikacije in zahtevne komunikacijske naloge. Skladen je z mednarodnimi standardi (IEC 61158 in IEC 61784) ter bazira na plasteh OSI (angl. Open System Interconnection). S tem pa zadošča zahtevi po neodvisnosti od kateregakoli proizvajalca in zagotavlja komunikacijo med napravami različnih proizvajalcev, s čimer se zavarujejo obstoječe investicije podjetij. V večini primerov komunikacija po standardih Profibus poteka po vmesniku RS485. Obstaja več variacij Profibus-a v odvisnosti na aplikacije v katerih je uporabljen:

- Profibus DP (ang. Decentralized Peripherals) je preprost, ciklični in determinističen za izmenjavo procesnih podatkov med gospodarjem vodila (ang. Bus master) in sužnjem vodila (ang. Bus slave)

- Profibus FMS (ang. Fieldbus Message Specification) je razširitev protokola Profibus DP za prenos podatkov. Uporablja se predvsem v procesnih sistemih za prenos merjenih podatkov.
- Profibus PA (ang. Process Automation) je razširitev Profibus DP za eksplozivna območja.

2.4 Tok materiala v visokoregalnem skladišču

V tem podpoglavju bom predstavil tok materiala v visokoregalnem skladišču. Z gibanjem materiala sta v grobem povezana dva procesa. To sta

- prejem blaga od dobavitelja ali neposredno iz proizvodnje in
- izdaja materiala na naročilnico ali delovni nalog.

Prejem blaga se začne, ko količina materiala v skladišču pade pod določeno mejno vrednost in se sestavi naročilo materiala. Mejna vrednost je odvisna od planske porabe materiala in od dobavnih rokov materiala. V podjetje pripeljejo material s tovornjaki. Skladiščniki z viličarji pobirajo palete iz tovornjaka in jih odlagajo na vhodno dvižno mizo. Transportni sistem najprej preveri ali je paleta primerna za v skladišče. Odčita se črna koda, preveri se velikost palete in njena teža. Vse odčitane vrednosti se iz programirljivih logičnih krmilnikov pošljejo preko nadzornega sistema SCADA in sistema MFCS v višji sistem vodenja HAL, ki skrbi za materialni tok in stanje v skladišču. V primeru napake ali napačnega odčitavanja vrednosti sistem HAL paletu zavrne. V obratnem primeru pa se paletu pripelje do točke, kjer jo lahko prevzame avtomatsko regalno dvigalo. Glede na število palet na vhodnem transportu in njihove ciljne lokacije sistem HAL določi ali dvigalo odpelje eno samo paletu ali počaka, da transportni sistem pripravi še eno. Ko sta paleti pripravljene, se zapelje dvigalo na mesto za prevzem, pobere paleti in vsako odloži na cilj, ki ga določi sistem HAL. Če sta obe paleti namenjeni v isti hodnik potem se s to metodo lahko prihrani čas prejemanja blaga. Ves čas pa se sporočajo spremembe v toku materiala iz nadzornega sistema v sistem za urejanje skladišča.

Izdaja materiala se začne, ko podjetje sprejme naročilo stranke. V naročilu so podatki, za

katere skrbi poslovno-informacijski sistem, ki pa niso bistvenega pomena za skladišče. Glavni podatek, ki nas zanima, gledano iz vidika skladišča je seznam naročenega blaga. Zbrana naročila se tudi urejajo po urgentnosti in so posredovana sistemu za upravljanje s skladiščem HAL. Le-ta najprej preveri zaloge in v primeru, da ni dovolj blaga takoj obvesti poslovno-informacijski sistem SAP R3, nato pa se odgovorne osebe lahko s pregledom stanja odločajo o naslednjih korakih. Če pa je celotni naročeni material v skladišču, se sestavi delovni nalog in navodila, ki se posredujejo do nadzornega sistema v skladišču. Pred tem so navodila tudi ustrezno optimizirana, saj ima sistem za urejanje skladišča HAL celoten pregled nad stanjem v skladišču. Na primer, če dve stranki naročita isti material in je vsota manjša ali enaka količini na paleti, potem lahko z eno samo vožnjo dvigala rešimo problem, namesto dveh posebnih voženj. Kasneje se material pravilno razporedi v komisionirnici. S podobnimi optimizacijskimi metodami se lahko bistveno skrajša čas izdaje materiala. Iz nadzornega sistema skladišča so ukazi posredovani naprej do dvigala. Material se prenese iz skladišča ali neposredno na transporterje za izdajo ali v komisionirnico, če je naročen le del materiala na paleti. Naprej pa skladiščniki z viličarji poskrbijo, da je material naložen na prave tovornjake. Uspeh celotnega materialnega toka se iz nadzornega sistema SCADA preko sistema MFCS sporoči do sistema za urejanje skladišča HAL, ter s tem osveži stanje zalog v skladišču.

3 Nadzorni sistem

V tem poglavju bom najprej opisal namen nadzora, s posebnim poudarkom na avtomatskem skladiščnem sistemu. V nadaljevanju se bom osredotočil na opis nadzornega sistema SCADA in njegove realizacije za avtomatsko visokoregalno skladišče ter prenosnega panela za potrebe ročnega vodenja.

3.1 Nadzor sistemov

Pojem nadzora opredeljuje nalogo sprotnega ugotavljanja stanja tehnološkega sistema [2]. Pri tem gre za tri pomembne vidike: stanja procesa, stanje opreme ter stanje produktov in proizvodnje. Stanje v katerem sistem obratuje je običajno definirano z nekim območjem procesnih veličin. Regulacijski sistem poskrbi, da se procesne veličine tudi dejansko gibljejo v tem področju. Morebitno odstopanje se sporoči operaterju v obliki alarma. Sleherni izpad, denimo dvigala, pomeni zastoj skladišča in velikanske stroške zaradi zamud pri dobavah. V takih primerih je nujno potrebno sprotno ugotavljanje stanja opreme, to je merilnih in izvršnih členov ter procesnih komponent, ter odkrivanja napak v dovolj zgodni fazi, še preden se poruši funkcionalnost sistema. Namen ugotavljanja stanja produkta je sprotno določanje njegove kakovosti in odkrivanje vzrokov za morebitna odstopanja od predpisanih normativov. Zadnji vidik v visokoregalnem skladišču ni posebno pomemben.

V podporo omenjenim funkcijam služijo funkcije zbiranja podatkov iz merilnih členov, njihovo shranjevanje v obliki zgodovine procesa ter predstavitev v numerični ali grafični obliki na zaslonu. Na podlagi prispelih podatkov iz procesa operater najprej izloči pomembne

informacije in nato sprejema odločitve ter ukrepa. Opazovanje, izločanje informacije, odločanje in ukrepanje operaterja tvorijo nadzor procesa. Pri nadzoru procesa mora operater:

- opazovati prikaze s podatki o izmerjenih spremenljivkah v procesu,
- ugotoviti sleherno odstopanje v delovanju procesa od normalnega stanja ,
- sklepati o možnih vzrokih za nepravilno delovanje,
- ukrepati v izjemnih situacijah in spraviti sistem v področje varnega in učinkovitega delovanja in
- pravilno oceniti stanje v primeru pomanjkljivih ali premalo natančnih podatkov.

Vseh nalog je lahko toliko, da jih operater težko kakovostno in zanesljivo opravlja. Glavni problem je v tem, da ni vsaka številka ali izmerjeni podatek tudi informacija. Dejstvo je, da operater potrebuje relevantno informacijo in ne zgolj kopico podatkov. Zato se od sodobnih sistemov nadzora pričakuje, da bodo nudili podporo operaterju predvsem pri izločanju kvalitetne informacije iz podatkov, ki prihajajo iz procesa ter njene predstavitev v jasnem in preprosto dosegljivem formatu.

Programska orodja, ki podpirajo razvoj in izvedbo aplikacij na nadzornih računalniških sistemih imenujemo tudi orodja SCADA (angl. Supervisory Control And Data Acquisition) [2]. Najprej so se pojavila na centraliziranih sistemih vodenja, na velikih računalnikih. Uporabljali so jih v elektrarnah, dispečerskih centrih in drugih večjih sistemih. S padanjem cen računalnikov in rastjo njihove zmogljivosti je prišlo tudi do njihove širše uporabe. Pravi razmah so dosegli z uvedbo porazdeljenih sistemov vodenja, osebnih računalnikov ter dostopnih cen delovnih postaj in osebnih računalnikov. Z razvojem lokalnih omrežij in uporabo sodobnih orodij tipa SCADA lahko omogočimo vpogled v delovanje procesa in zbirko procesnih podatkov tudi strokovnjaku na oddaljenem delovnem mestu.

Tipičen nadzorni sistem vsebuje naslednje funkcije:

- zbiranje procesnih podatkov,
 - prikaze in ročno vodenje,
 - alarmiranje,
 - shranjevanje procesnih podatkov ter
-

- generiranje poročil.

Celovito obvladovanje industrijskih procesov vodenja zahteva sprotno spremljanje procesa in posredovanje v realnem času. Tovrstne zahteve vplivajo na razvoj orodij SCADA, ki vsebujejo arhitekture za izvajanje v realnem času in vmesnike za dostop do procesnih podatkov. Sistemi SCADA omogočajo branje in pisanje podatkov iz procesnega računalnika, prikazovanje na ekranu ter shranjevanje na disk v naprej zahtevanem času. Zbiranje podatkov se lahko izvaja v določenem časovnem intervalu ali ob pojavu določenega dogodka.

Poleg sprotnega zbiranja procesnih podatkov se sistemi SCADA tudi v funkciji podpore operaterju in omogočajo vpogled in poseganje v delovanje procesa. Interakcija z operaterjem mora biti enostavna in razumljiva. Pomemben element uporabniških vmesnikov so prikazi, ki so podani bodisi v grafični ali tekstovni obliki, stanje procesa pa prikazano s pomočjo animacije posameznih procesnih komponent. Sodobni SCADA sistemi vsebujejo gradnike, ki podpirajo vizualno programiranje, razvoj grafičnih vmesnikov in animiranih elementov.

Pomembna funkcija nadzornih sistemov je tudi obveščanje operaterja v primeru odstopanj merljivih veličin iz območja dovoljenih vrednosti. Orodja SCADA podpirajo definiranje seznama alarmov in pogoje za nastop le-teh. Glede na vrsto ali kritičnost pojava alarma je mogoče alarme grupirati v posamezne skupine. V primeru pojava posameznih alarmov pa sledi obvestilo operaterju z opisom vrste alarma.

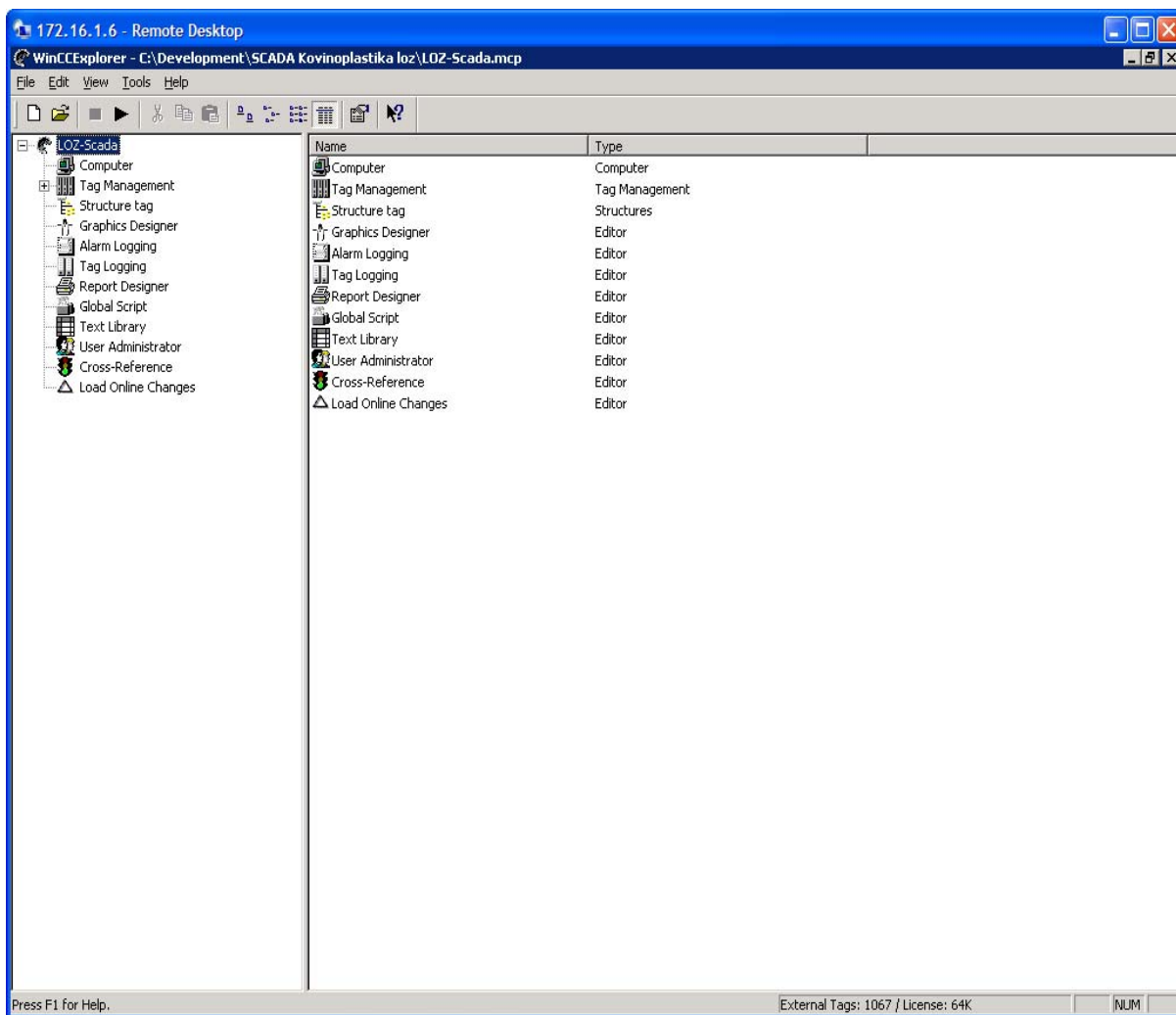
Na trgu je ponudba orodij za razvoj nadzornih sistemov zelo široka in raznovrstna. V diplomu se bom omejil samo na prikaz orodja WinCC (ang. Windows Control Center) podjetja Siemens [6], s katerim sem razvijal nadzorni sistem za visokoregalno skladišče. WinCC je klasično SCADA programsko orodje, saj nam omogoča opravljati vse naloge navedene na začetku poglavja. Sestavljeno je iz razvojnega orodja in orodja za poganjanje nadzornega sistema (ang. runtime).

Jedro razvojnega okolja SCADA predstavlja raziskovalec WinCC Explorer (slika 3.1), ki združuje urejevalnike namenjene konfiguraciji posameznih podsistemov. Ti pa so:

- grafični podsistem – urejevalnik za ustvarjanje različnih zaslonov se imenuje Graphics
-

Designer,

- alarmni podsistem – urejevalnik za konfiguracijo alarmov se imenuje Alarm Logging,
- shranjevalni ali arhivski podsistem – urejevalnik s katerim določamo kateri podatki se bodo shranjevali v arhiv se imenuje Tag Logging,
- podsistem za poročila – urejevalnik za ustvarjanje izgleda poročil se imenuje Report Designer,



Slika 3.1: Okno raziskovalca v okolju WinCC.

- podsistem za komunikacijo in zbiranje podatkov pa se nahaja neposredno v raziskovalcu in
- podsistem za programiranje skript – imenovan Global Script.

Raziskovalec je razdeljen na dva dela. Na levi strani se nahaja navigacijsko okno, ki prikazuje posamezne podsisteme, medtem ko na desni pa so elementi ali detajli vsakega podsistema.

3.2 Nadzorni sistem avtomatskega visokoregalnega skladišča

Pri snovanju nadzornega sistema visokoregalnega skladišča sem posebno pozornost namenil naslednjim dejstvom:

- Izpad kateregakoli podsistema pomeni zastoj pri delovanju vsaj dela skladišča. To je zelo pomembno pri regalnem dvigalu, saj okvara na njem povzroči popolno blokado delovanja skladišča.
- Značilno za skladišča je, da je izobrazbena struktura zaposlenih dokaj nizka.
- Zaradi oddaljenosti lokacije od proizvodnje je vzdrževalna služba precej težko dostopna.

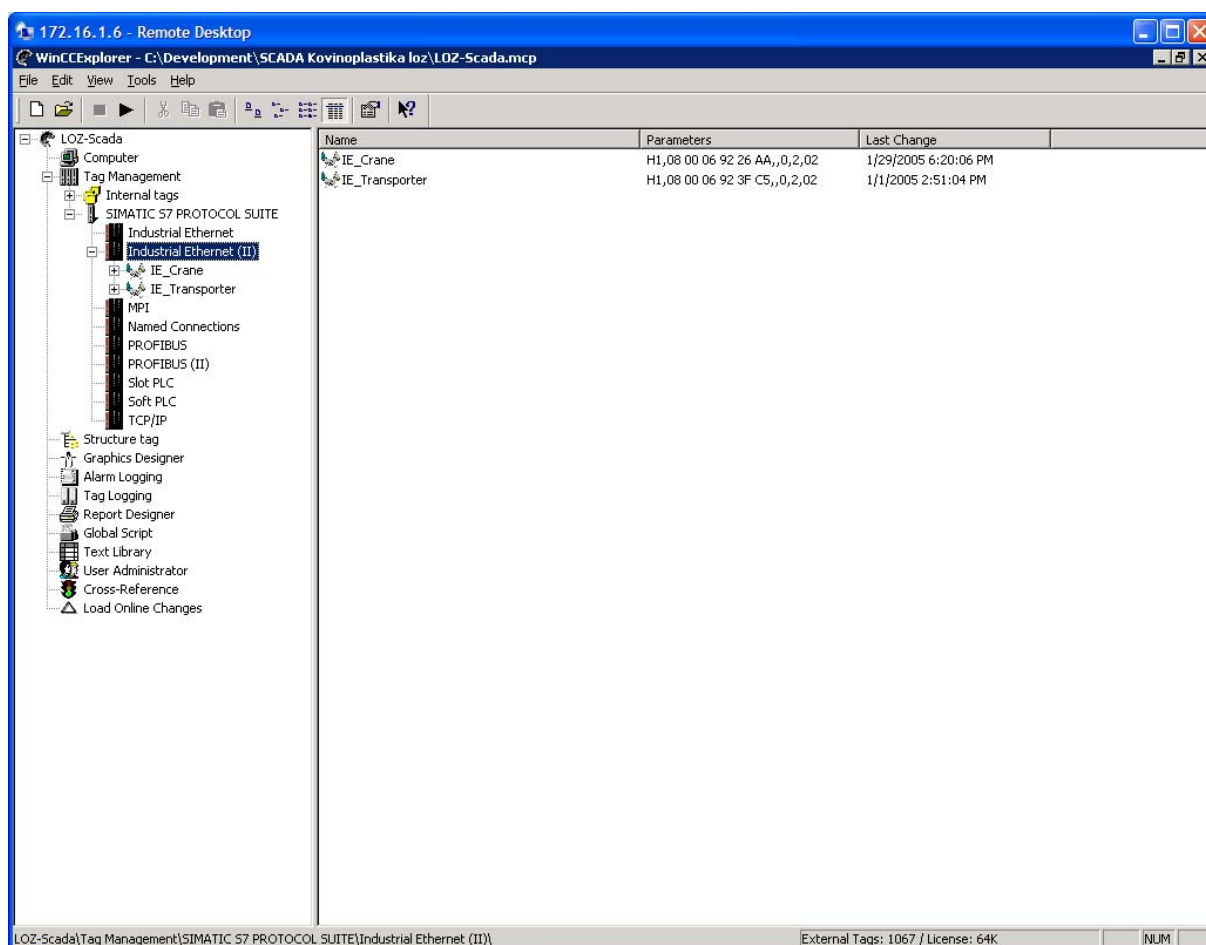
To pomeni, da mora biti obveščanje o napakah učinkovito - hitro in dobro vidno. Uporabniški vmesnik mora biti pregleden in jasno zasnovan. Uporabnikom mora nuditi res najnujnejše informacije, brez odvečnih detajlov. Okvare morajo biti opisane v enostavnem jeziku z natančno specifikacijo lokacije.

V ta namen je bila uporabljena pregledna tri-dimenzionalna animacija objektov – tako transportnega sistema in palet na njem, kot tudi večine gibov dvigala. Podobno so barve izbrane tako, da kar najbolj jasno označujejo stanje sistema, na primer, zelena delovanje sistema brez napak, rdeča napako, modra ustrezna in rdeča neustrezno paleto.

3.2.1 Konfiguracija nadzornega sistema

Komunikacijo do posameznih programirljivih logičnih krmilnikov vzpostavimo z dodajanjem

novih komunikacijskih gonilnikov v urejevalniku točk (ang. tag management). Na izbiro je več različnih protokolov, vendar je za komunikacijo s krmilniki SIMATIC S7 potrebno izbrati sklop gonilnikov imenovan SIMATIC STEP7 Protocol Suit (slika 3.2). V tem sklopu so združeni gonilniki za protokole, ki jih podpirajo Siemensovi krmilniki (MPI, Profibus, TCP/IP, industrijski Ethernet). Oba programirljiva logična krmilnika, tako na dvigalu kot tudi na transporterjih, sta povezana do nadzornega računalnika preko industrijskega Etherneteta. Po vzpostavitvi povezava lahko definiramo točke s katerimi dostopamo do želenih podatkov.



Slika 3.2: Pregled komunikacijskih gonilnikov.

Točke (ang. Tags) povezujejo izbrane pomnilniške lokacije z oznako v sistemu SCADA. Točke so lahko zunanje ali procesne (ang. external or process tags) in predstavljajo prave podatke, kot je na primer višina dvižne mize, ki je vpisana na izbrani pomnilniški lokaciji programirljivega logičnega krmilnika na dvigalu, ali pa tudi notranje (ang. internal),

pravzaprav spremenljivke v pomnilniku nadzornega računalnika. Zaradi preglednosti in boljše organizacije lahko točke porazdelimo v določene skupine. V projektu so točke porazdeljene v odvisnosti od ponora ali izvora komunikacije. Torej na materialno poslovanje (notranje točke), točke programirljivega logičnega krmilnika na transportnem sistemu in točke programirljivega logičnega krmilnika na dvigalu.

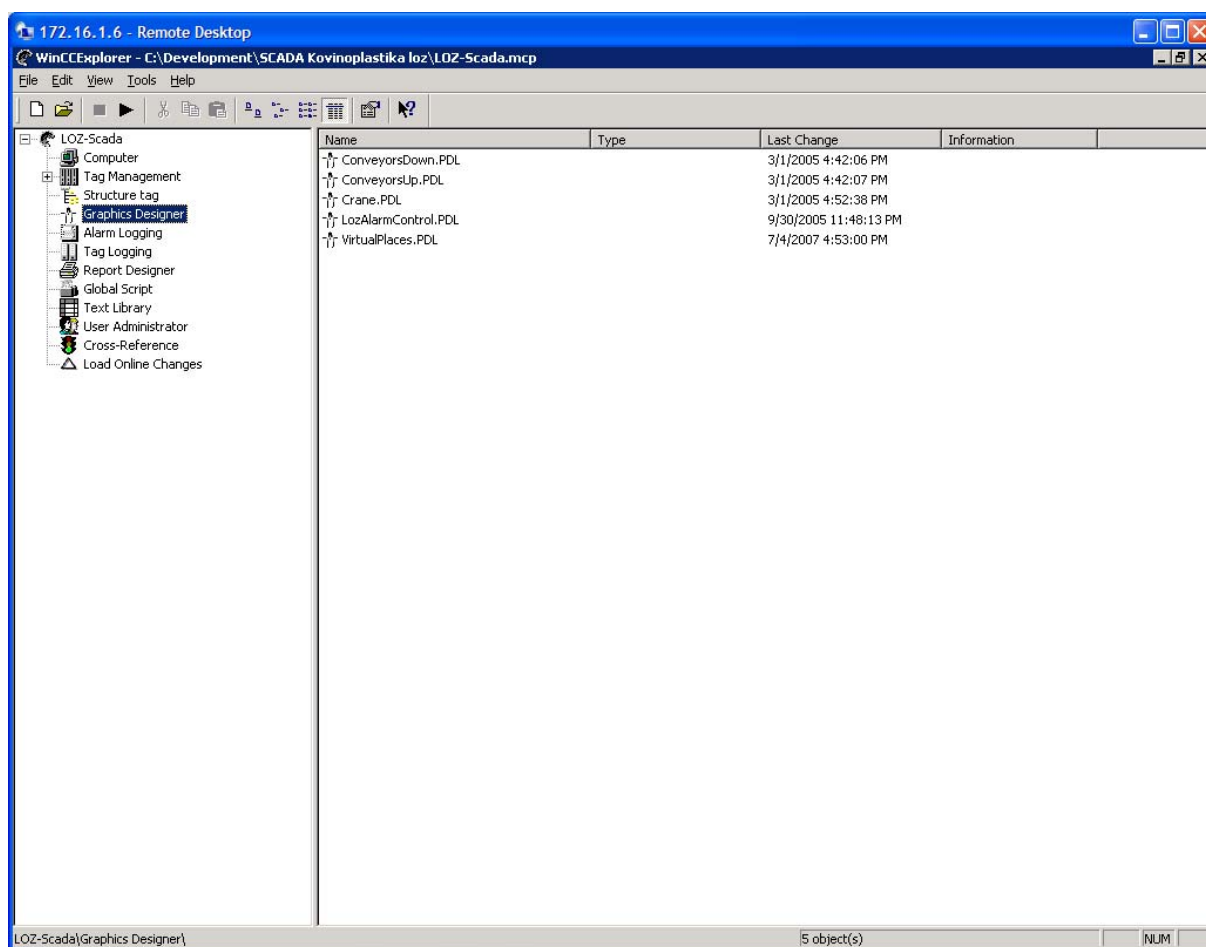
3.2.2 Procesni zasloni

Za prikaz procesov med delovanjem sistema je potrebno v grafičnem podsistemu sestaviti procesne zaslone. V tem delu razvoja nadzornega sistema lahko posameznik uporabi vso svojo kreativnost in domišljijo. Cilj je enostavnost in razumljivost.

Procesne zaslone narišemo v urejevalniku slik (ang. graphic designer). Na prvi pogled se nič ne razlikuje od običajnih urejevalnikov slik. Poleg risanja in urejanja slik omogoča tudi dodajanje aktivnih objektov, kot so na primer tekstovna polja, gumbi, poligoni in kvadrati. Vse objekte lahko postavljamo na različne plasti (angl. layers) in lahko določamo kateri bo kdaj viden.

Vsak narisani objekt se lahko dinamično spreminja v odvisnosti od podanih pogojev. Lahko je tudi neposredno povezan na procesno točko in prikazuje njeno vrednost. Vendar na tak način nikakor ne izkoristimo vsega kar nam omogoča programsko orodje. Za doseganje cilja razumljivosti je idealno prevesti nek fizični model v grafični model. Kot primer lahko navedem pozicijo dvigala v skladišču. Če bi se izpisovale samo koordinate dvigala bi to bilo dodatno obremenjevanje operaterja. Tako pa se lahko iz podatkov, ki jih pošlje logični krmilnik nemudoma izračuna pozicija dvigala in se ga vriše v tloris načrta skladišča.

Za visokoregalno skladišče je izdelanih pet procesnih zaslonov (slika 3.3). Na ločenih zaslonih so predstavljeni spodnji transportni sistemi, zgornji transportni sistem, dvigalo, alarmi in servisni zaslon.



Slika 3.3: Prikaz seznama procesnih zaslonov.

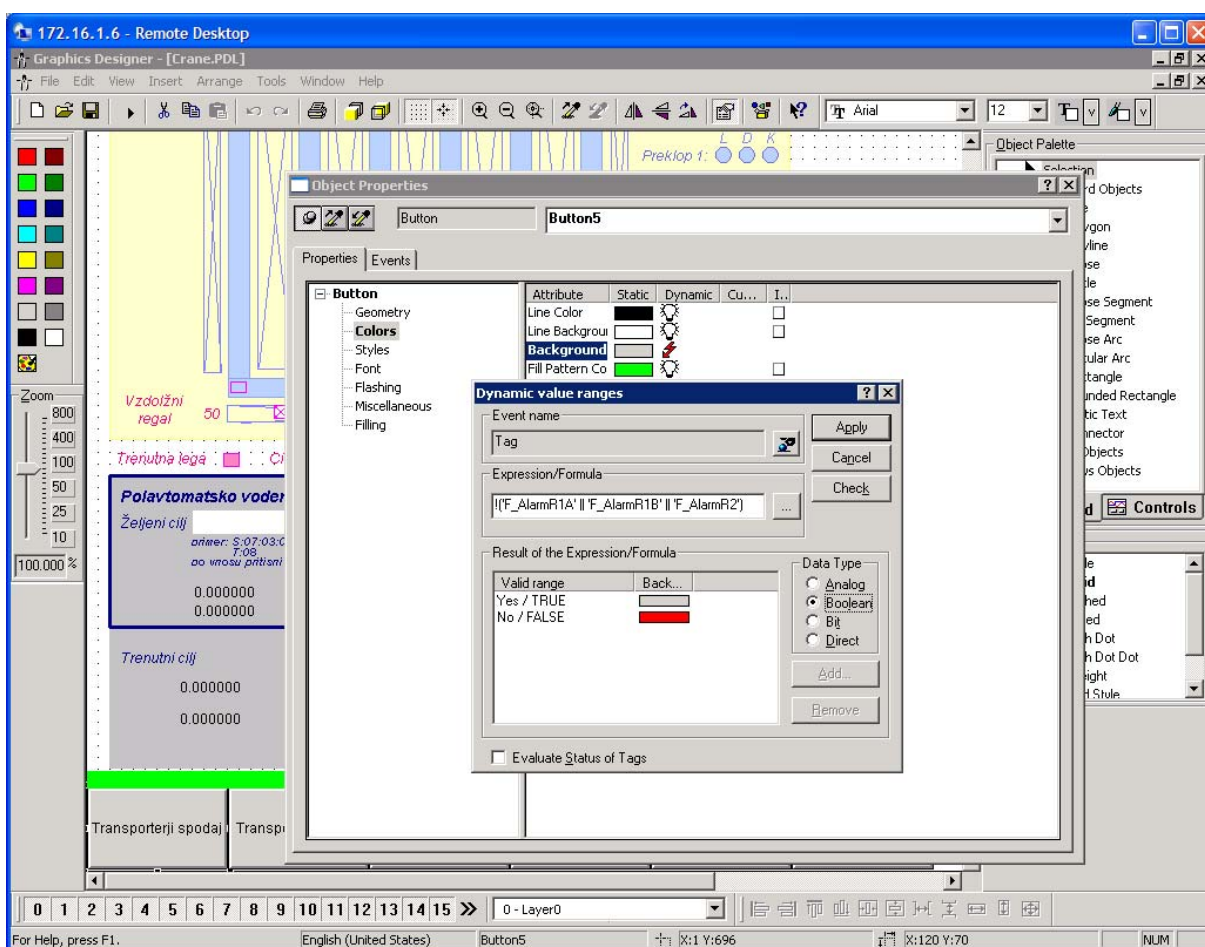
Na sliki 3.4 je prikazan grafični urejevalnik z odprtim procesnim zaslonom za spremljanje dvigala. Hkrati je na sliki prikazan dialog, preko katerega določamo lastnosti objektov in dogodke, do katerih pride ob spremembi vrednosti podanih točk.

Nadzorni sistem SCADA povezuje dvigalo in transportni sistem v celoto in hkrati omogoča računalniško vizualizacijo in nadzor delovanja obeh delov skladiščnega sistema. Vizualno na podoben način kot procesne slike je v sistem SCADA vključena tudi podpora za sistem MFCS.

Na vseh zaslonih so v spodnji vrstici veliki gumbi, preko katerih je mogoč brezpogojen premik na zahtevano sliko sistema. Ti gumbi so:

- Transporterji spodaj – za ogled stanja vhodnega in izhodnega transportnega sistema,

- Transporterji zgoraj – za ogled stanja transportnega sistema za povezavo skladišča in komisionirnice,
- Žerjav – za ogled položaja in stanja dvigala v skladišču,
- Alarmi – z listo vseh aktivnih in potrjenih ter odpravljenih napak na sistemu,
- Reset alarmov – za enostavno ničenje napak,
- MFCS – za elegantne preklop med sistemom SCADA in sistemom MFCS ter
- Izhod – za izklop nadzornega sistema.



Slika 3.4: Grafični urejevalnik s primerom spreminjanja lastnosti objekta gumb.

Izjema je samo gumb za vzdrževanje, ki preklopi na zaslon za vzdrževanje in ga predstavlja logotip proizvajalca sistema. Zaslon za vzdrževanje se uporablja le v primeru hude napake in je bolj namenjen vzdrževalcem kot operaterjem. Le oseba z administratorskimi pravicami lahko dostopa do tega zaslona. Operater brez administratorskih pravic ne more izklopiti

nadzornega sistema. V nasprotnem bi lahko nehote prekinil vertikalne povezave z nižjimi in višjimi sistemi vodenja in tako zaustavil celoten sistem.

Na zaslonih, ki prikazujejo stanje naprav, je nad gumbi izrisan pravokotnik ki označuje način delovanja posameznega sklopa:

- zelen poln pravokotnik predstavlja avtomatsko delovanje,
- zeleno obrobljen bel pravokotnik ročno delovanje,
- rdeče obarvan pravokotnika pa napako na posameznem sistemu. Hkrati se napaka, zaradi katere se je sistem ustavil, vpiše med alarme.

Ob gumbu za Izhod iz sistema se nahaja informacija o tem ali je dvigalo in transportni sistem voden iz skladišča ali iz pisarne.

Ob zagonu nadzornega sistem se pojavi najprej slika spodnjih transporterjev (slika 3.5). Od tu lahko operater spremeni procesni zaslon tako da klikne na določen gumb, ki se nahaja na dnu zaslona.

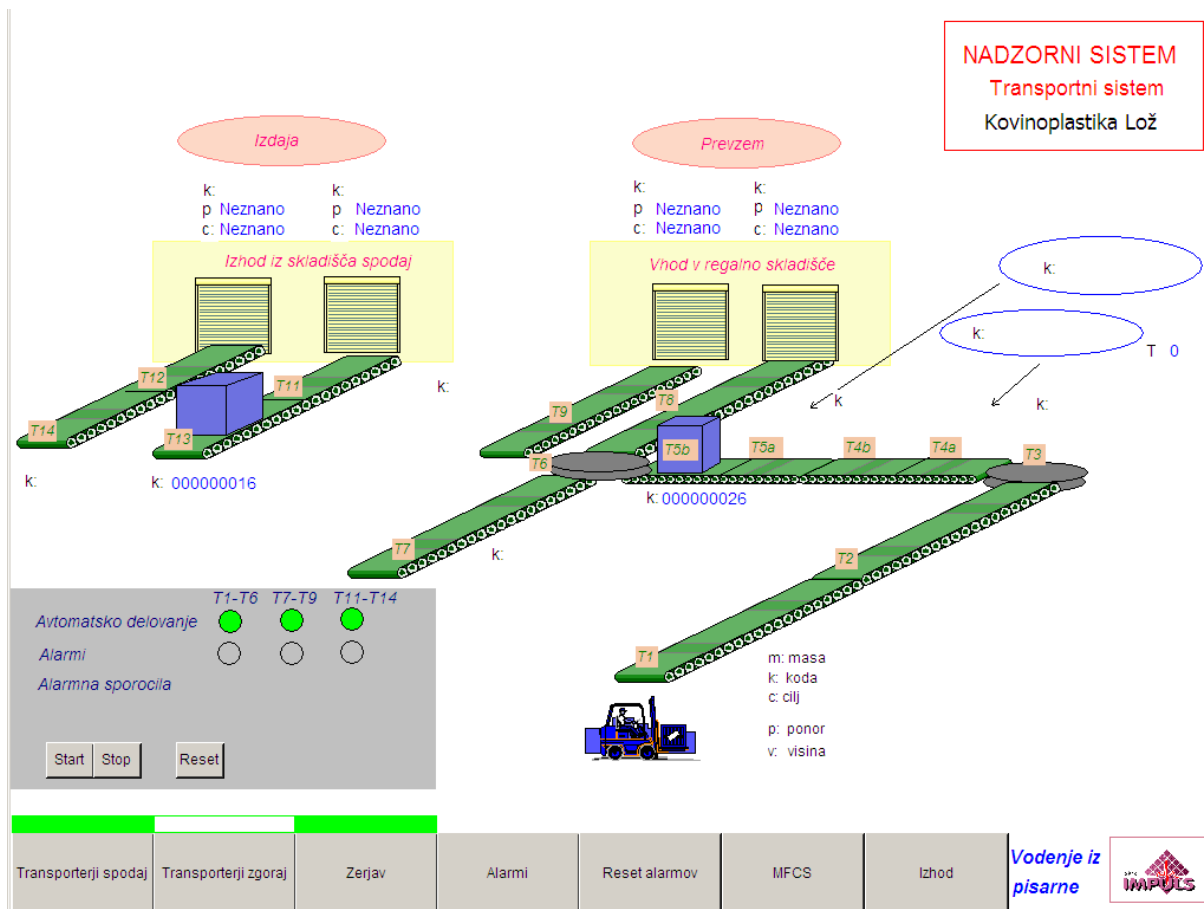
Spodnji transportni sistem je naprej razdeljen na odseke, ki so označeni z veliko črko T in ustrezno številko. Odseki so razporejeni v tri skupine:

- prevzemni del T1 – T6 (desno spodaj),
- zavrnitev T7 in sprejem v skladišče T8 – T9 (desno zgoraj) in
- izdaja iz skladišča T11 – T14 (levo zgoraj).

Prisotnost palete (transportno skladiščne enote, TSE) na transporterju je prikazana s tridimenzionalno škatlo, ki se izriše na njem. Glede na status transportno skladiščne enote se škatla obarva:

- modro v normalnem delovanju ali
- rdeče v primeru, da ni znana črtna koda, da paleta ni ustrezna ali da tovor na paleti ni pravilno naložen.

Ob vsaki paleti na transportnem traku je izpisana njena črtna koda, le na sprejemu in pri izdaji iz skladišča so navedeni še končni cilj in ponor.



Slika 3.5: Osnovna slika nadzornega sistema SCADA.

Levo spodaj, v sivem pravokotniku, se nahajajo informacije o načinu delovanja spodnjega transportnega sistema. Za vsak odsek posebej (sprejemni del T1 – T6, sprejem v skladišče T7 – T9 in za izdajo T11 – T14) je podan način delovanja v obliki semaforja, na katerem

- zelena predstavlja avtomatsko delovanje,
- siva ročno delovanje oziroma alarm v avtomatskem delovanju in
- rdeča napako na določenem odseku.

V primeru napake se izpisuje še ustrezno alarmno sporočilo.

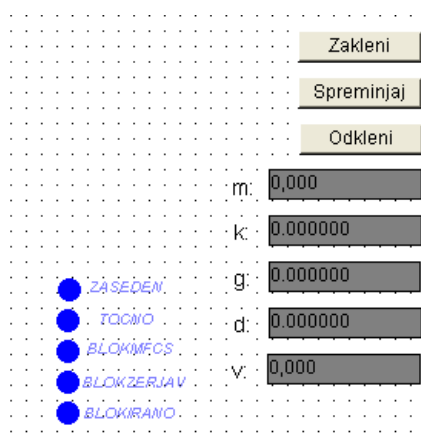
Gumba »Start« in »Stop« služita za zagon in ustavitev avtomatičnega režima, gumb »Reset« pa za izničenje alarmov na spodnjih transporterjih.

Pri vodenju iz pisarne v polavtomatskem režimu (SCADA) lahko operater spreminja

informacije o transportno skladiščnih enotah, ki se nahajajo na posameznih odsekih transporta. Med te informacije sodijo črna koda (k), masa (m), cilj (g), ponor (d), višinski razred (v), zasedenost mesta, točnost na poziciji in informacije o zaklepanju transportne enote s strani dvigala oziroma sistema MFCS.

Preden lahko operater spreminja podatke o posameznem odseku (slika 3.6) mora

- Označiti izbrani odsek. Potrebno je klikniti na ustrezen kvadrataček (npr. T1 ali T5a), ki hkrati spremeni barvo.
- Pred spreminjanjem mora operater odsek zakleniti, s pritiskom na tipko »Zakleni«, ki pa je aktivna le, če imamo ustrezna pooblastila.



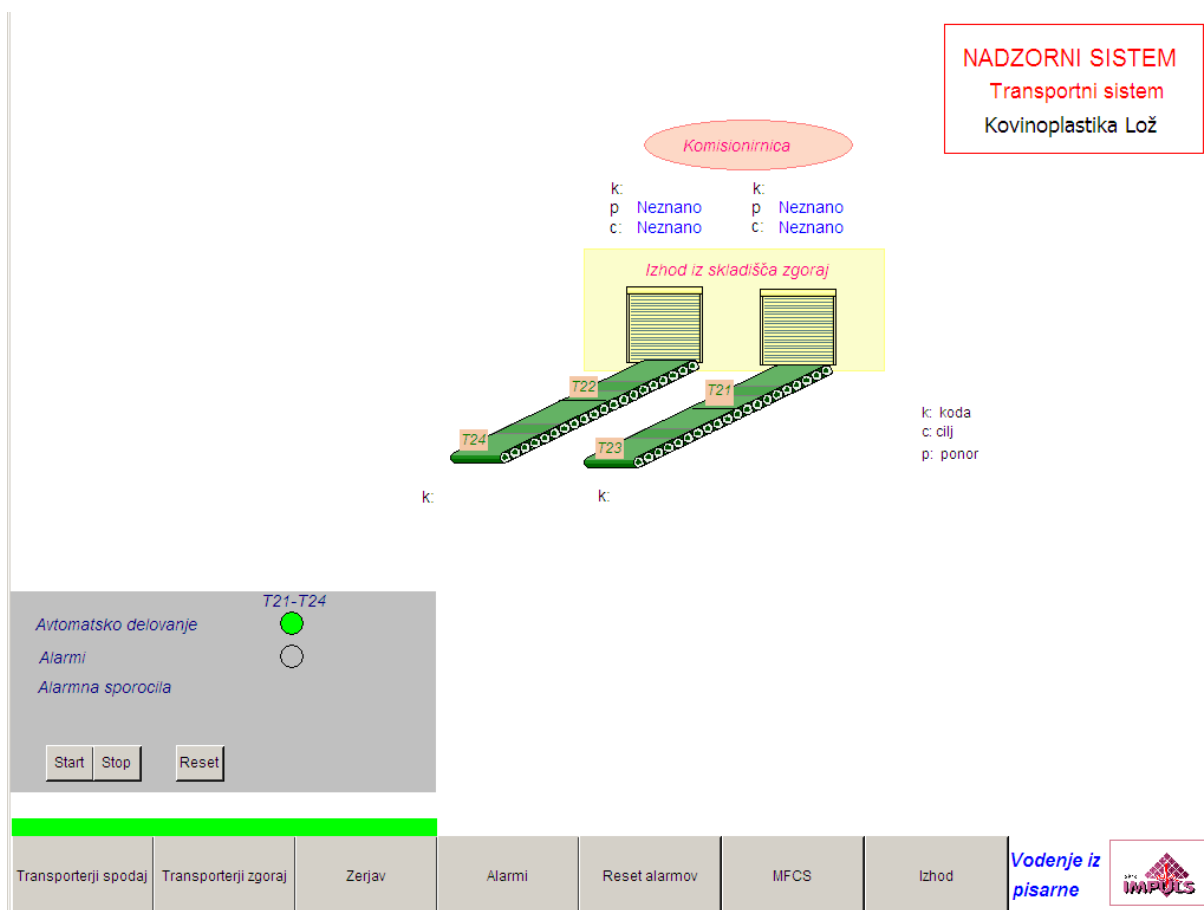
Slika 3.6: Spreminjanje podatkov na odseku transporta.

- Ko je odsek zaklenjen, lahko operater spreminja omenjene podatke.
 - Črtno kodo, maso in višinski razred določimo z vpisom zelene vrednosti
 - Cilj in ponor vpišemo kot niz v notaciji, ki je dogovorjena za vse računalniške sisteme v skladišču.
 - Binarne vrednosti (zasedenost, točnost, blokade) se spreminjajo s klikanjem na krogece, ki hkrati označujejo stanje posameznih bitov (modro aktivno, sivo neaktivno). Pomen posameznih vrednosti:
 - Zaseden – če je paleta na izbranem odseku,
 - Točno – če je paleta pravilno pozicionirana,
 - BlokMFCS – ali je zahteva za blokiranje prišla s strani MFCS-ja,

- Blok Zerjav – ali je zahteva za blokiranje prišla s strani dvigala in
- Blokirano – ali je mesto blokirano in dovoljuje spreminjanje dvigalu, sistemu MFCS ali nadzornemu sistemu SCADA.

Spreminjanje podatkov se zaključi s pritiskom na tipki »Spremenjaj« in »Odkleni«.

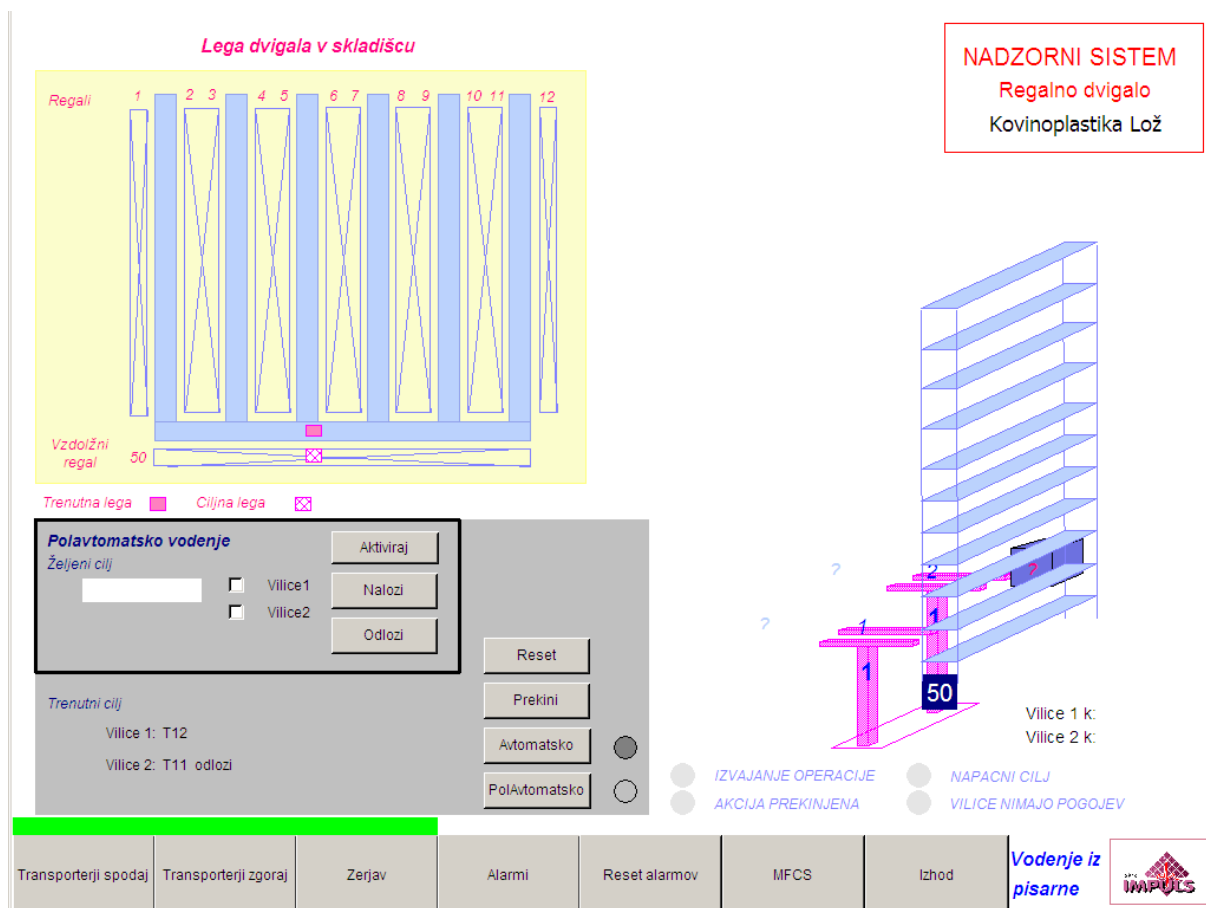
Ob pritisku na tipko »Transporterji zgoraj« se prikaže slika 3.7, ki predstavlja zgornji del transportnega sistema, komisijnico, ki je označeno z odseki T21 – T24. Prisotnost palete je prikazana in obravnavana na enak način kot na zaslonu spodnjih transporterjev. Prav tako sivi pravokotnik levo spodaj ima enako funkcijo, le da je odsek vezan na zgornje transporterje. Spreminjanje informacij o transportno skladiščnih enotah je prav tako enako kot pri spodnjih transporterjih. S tem je dosežena konsistentnost grafičnega vmesnika.



Slika 3.7: Zgornji sistem transporterjev.

Ob pritisku na tipko »Dvigalo« se nam prikaže slika 3.8. Levo zgoraj lahko opazujemo lego

dvigala v skladišču s ptičje perspektive (trenutna lega). S prečrtanim rdečim kvadratom je narisana trenutni cilj v skladišču (ciljna lega). Na desni strani je z višino vilic simbolično prikazan položaj dvižne mize. Na dvižni mizi je z modro škatlo označena prisotnost palete na vilicah, poleg tega pa je prikazana tudi prisotnost palete s tovorom v regalu na desni in levi strani obeh vilic.



Slika 3.8: Vizualizacija vodenja regalnega dvigala.

Desno spodaj je semafor, ki je v pomoč pri opazovanju delovanja dvigala:

- izvajanje operacije – je aktivno, ko dvigalo nekaj dela,
- akcija prekinjena – je aktivno, ko je operacija v fazi prekinjanja,
- napačni cilj – se aktivira, ko dvigalo prejme napačni cilj,
- vilice nimajo pogojev – je aktivno v primeru, ko stanje senzorjev na dvižni mizi ne ustreza zadani nalogi, na primer: nalaganje iz praznega paletnega mesta, odlaganje v že zasedeno paletno mesto ali če dvigalo ni dovolj točno na ciljnem položaju.

Siv pravokotnik levo spodaj nad osnovnimi gumbi predstavlja vmesnik za vodenje dvigala iz pisarne. Za delo z dvigalom preko sistema SCADA so na voljo tipke:

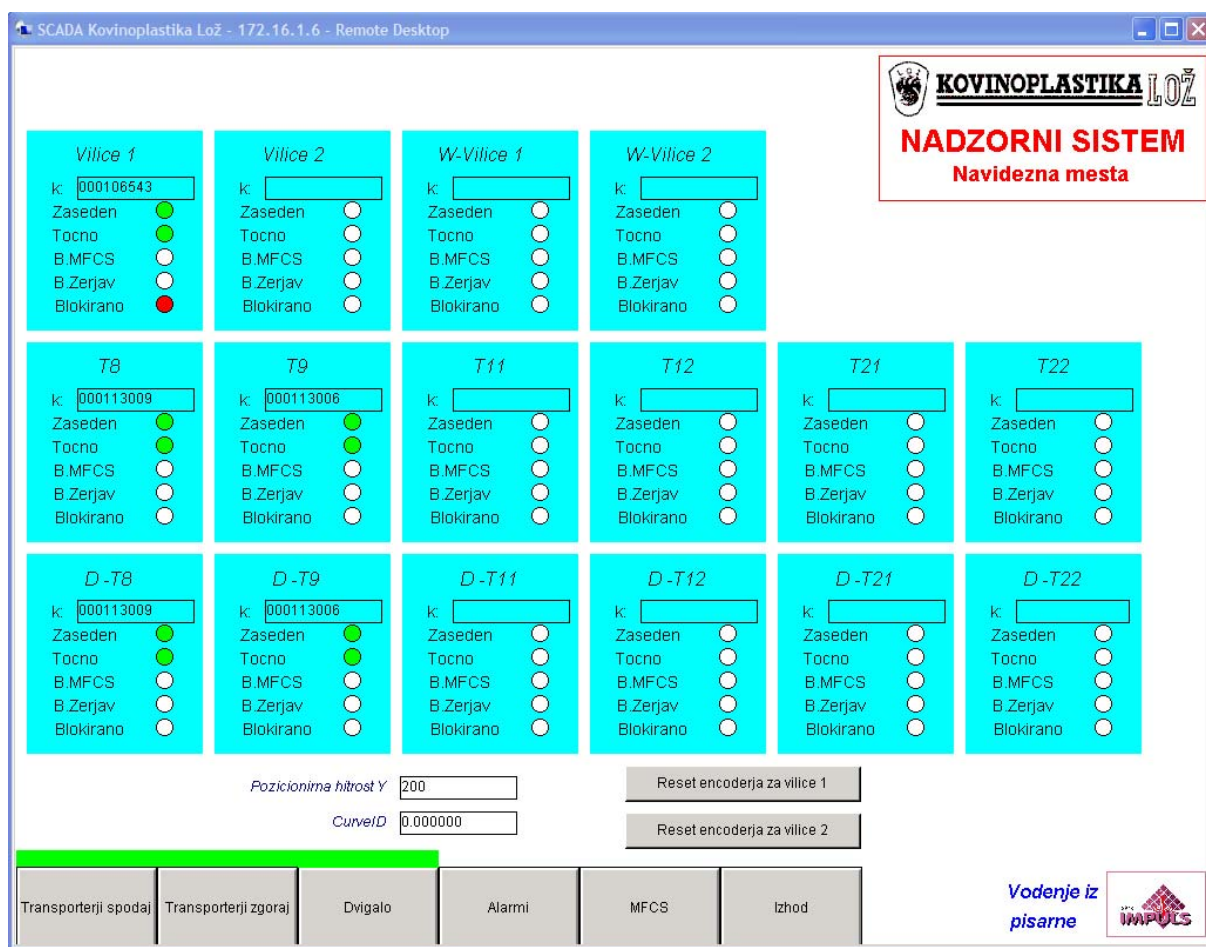
- »Reset« za izničenje napak na dvigalu,
- »Prekini« za prekinitev izvajanja trenutne operacije,
- »Avtomatsko« za izbiro avtomatskega režima delovanja preko sistemov MFCS in HAL in
- »Polavtomatsko« za polavtomatsko vodenje dvigala neposredno iz nadzornega sistema.

Vodenje dvigala preko sistema SCADA je mogoče v polavtomatskem načinu delovanja.

Postopek je naslednji:

- V polje »Zeleni cilj« vpišemo lokacijo na katero želimo premakniti dvigalo, na primer, T:11 za transport T11 in S:11:22:04 za lokacijo v skladišču v regalu številka 11, na lokaciji 22 v smeri vožnje na četrti višini.
- Označimo vilice s katerimi želimo opraviti operacijo in nato kliknemo še na enega od gumbov »Odloži« ali »Naloži«.
- S pritiskom na gumb »Aktiviraj« sprožimo izvajanje operacije. Parametri naloge se nato vpišejo pod rubriko »Trenutni cilj«.

Skriti procesni zaslon, namenjen resnim vzdrževalnim posegom, je prikazan na sliki 3.9. Uporablja se v primerih, ko se kaj hudo zalomi. Na primer, če je potrebno ponovno nastaviti enkoderje na teleskopskih vilicah. Dostop do tega zaslona je dovoljen samo vzdrževalcem sistema z ustrezno administratorsko kodo.



Slika 3.9: Delo z navideznimi mesti.

3.2.3 Alarmi

V primeru napake lahko operater na procesnem zaslonu Alarmi preveri, kaj točno se je zgodilo (slika 3.10). Le-tega aktiviramo s pritiskom na tipko Alarmi. Uporabljen je standarden vmesnik za delo z alarmi, ki je tesno povezan s sistemom za beleženje alarmov (ang. Alarm Logging System) v programu WinCC. Omogoča beleženje alarmnih sporočil s točnim datumom in uro ter podrobnim opisom napake in lokacije, razvrščanje, filtriranje po zadanih kriterijih in potrjevanje alarmov. Opazovanje alarmnih sporočil omogoča operaterju nadzornega sistema informiranje o procesnih napakah in o statusu procesa. Prav tako je omogočeno tudi arhiviranje alarmov in sporočil, da bi se kasneje lahko izdelala rekonstrukcija dogodkov v krmilnem sistemu. Kot je razvidno iz slike 3.10 razvidno se v primeru alarma izpiše datum, čas in tekst z obrazložitvijo napake.

Pregled alarmov

...	Dan	Cas	Oznaka	Naprava	Opis napake
1	06/10/08	09:23:55	69	Dvigalo	Napaka: tovor na desni strani ni poravnan (64B4)
2	07/10/08	07:56:43	83	Transport	Napaka: na transporterjih od T11 do T14
3	07/10/08	09:06:31	82	Transport	Napaka: na transporterjih od T11 do T14
4	07/10/08	09:43:53	13	Dvigalo	Napaka na frekvenčnem pretvorniku za voznjo: obremenitev
5	07/10/08	10:33:45	11	Dvigalo	Napaka na frekvenčnem pretvorniku za voznjo
6	07/10/08	13:57:42	16	Dvigalo	Napaka na frekvenčnem pretvorniku za dvig: predolgotrajna ob
7	07/10/08	14:48:30	35	Dvigalo	Napaka: pritisnjena tipka izhod v sil (6K1)
8	07/10/08	14:48:30	36	Dvigalo	Napaka: aktivirano končno stikalo (7K1)
9	07/10/08	14:48:30	85	Dvigalo	Napaka: preklon 1 spodaj ni preklapljen v krivini
10	07/10/08	14:48:30	86	Dvigalo	Napaka: preklon 1 zgoraj ni preklapljen v krivini
11	07/10/08	14:48:30	87	Dvigalo	Napaka: preklon 2 spodaj ni preklapljen v krivini
12	07/10/08	14:48:30	88	Dvigalo	Napaka: preklon 2 zgoraj ni preklapljen v krivini
▶ 13	07/10/08	15:40:30	25	Dvigalo	Napaka na preklonniku 2 spodaj: predolgo delovanje motorja

10/8/2008 11:13 AM (LO) List: 13 Window: 13 Ack: 13

Transporterji spodaj Transporterji zgoraj Dvigalo Alarmi MFCS Izhod

Vodenje iz pisarne

Slika 3.10: Delo za alarmi.

Osnovno okno programskega orodja za konfiguracijo opazovanja alarmnih sporočil je prikazano na sliki 3.11. S pomočjo čarovnika lahko enostavno izdelamo sistem alarmnih sporočil. Ko je sistem izdelan, je potrebno samo še določiti, katera stanja procesnih veličin bodo sprožila alarm. Potem pa se sestavi seznam vseh alarmov, ter seveda primeren in smiseln opis alarma, ki bo v pomoč operaterju pri iskanju vzroka in lokacije napake.

Vsak alarm je predstavljen s svojo točko, ki je fizično povezana s naslovno lokacijo na programirljivem logičnem krmilniku. Vzroki za alarmi so lahko enostavni, kot na primer izpad varovalke ali zaščite pogonskega sklopa, kot tudi zelo kompleksni tehnološki alarmi, na primer neskladje logične slike materiala in senzorjev na transportnem sistemu. Ko je pogoj za alarm sprožen, se postavi ustrezen bit na programirljivem logičnem krmilniku. Ničenje alarma je možno s pritiskom na tipko »Reset« šele potem, ko so odpravljene vzroki za njegovo aktiviranje.

Number	Class	Type	Priority	MessageTag	MessageBit	Status tag	Status bit	Opis napake
63	Error	Alarm	0	M_Alarm_5452	0	0	0	Napaka: aktivirano varnostno s
64	Error	Alarm	0	M_Alarm_5453	0	0	0	Napaka: aktivirano varnostno s
65	Error	Alarm	0	M_Alarm_5551	0	0	0	Napaka: aktivirano varnostno s
66	Error	Alarm	0	M_Alarm_5553	0	0	0	Napaka: vrata kabine niso zapri
67	Error	Alarm	0	M_Alarm_65A1_1	0	0	0	Napaka: aktivirana tipka za izh
68	Error	Alarm	0	M_Alarm_64B3	0	0	0	Napaka: tovor na levi strani ni p
69	Error	Alarm	0	M_Alarm_64B4	0	0	0	Napaka: tovor na desni strani n
70	Error	Alarm	0	M_Alarm_5554	0	0	0	Napaka: aktivirana stop tipka v
71	Error	Alarm	0	M_Alarm_Connection	0	0	0	Napaka: ni WiFi povezave s tra
72	Error	Alarm	0	M_Alarm_PC_I1Q2	0	0	0	Napaka: zascita transformatorj
73	Error	Alarm	0	M_Alarm_PC_I1F2	0	0	0	Napaka: zascita transformatorj
74	Error	Alarm	0	M_Alarm_PC_I2K1	0	0	0	Napaka: izklop v sli v omari zun
75	Error	Alarm	0	M_Alarm_PC_I2S1	0	0	0	Napaka: pritis. gobasta tipka ne
76	Error	Alarm	0	M_Alarm_PC_I3S1	0	0	0	Napaka: vrata 1 (spredaj levo)
77	Error	Alarm	0	M_Alarm_PC_I3S2	0	0	0	Napaka: vrata 2 (spredaj desnc
78	Error	Alarm	0	M_Alarm_PC_I3S3	0	0	0	Napaka: vrata 3 (zadaj levo) ni
79	Error	Alarm	0	M_Alarm_PC_I3S4	0	0	0	Napaka: vrata 4 (zadaj desno)
80	Error	Alarm	0	F_AlarmR1A	0	0	0	Napaka: na transporterjih od T:
81	Error	Alarm	0	F_AlarmR1B	0	0	0	Napaka: na transporterjih od T:
82	Error	Alarm	0	F_AlarmR2	0	0	0	Napaka: na transporterjih od T:
83	Error	Alarm	0	F_AlarmR3	0	0	0	Napaka: na transporterjih od T:
84	Error	Alarm	0	M_Alarm_Laser0	0	0	0	Napaka: laser izgubil signal
85	Error	Alarm	0	M_Alarm_Boogey1BNoSwitc	0	0	0	Napaka: preklon 1 spodaj ni pre
86	Error	Alarm	0	M_Alarm_Boogey1TNoSwitc	0	0	0	Napaka: preklon 1 zgoraj ni pre
87	Error	Alarm	0	M_Alarm_Boogey2BNoSwitc	0	0	0	Napaka: preklon 2 spodaj ni pre
88	Error	Alarm	0	M_Alarm_Boogey2TNoSwitc	0	0	0	Napaka: preklon 2 zgoraj ni pre
89	Error	Alarm	0	M_Alarm_Enc_Forks1	0	0	0	Napaka: enkoder na vilicah 1 ni
90	Error	Alarm	0	M_Alarm_Enc_Forks2	0	0	0	Napaka: enkoder na vilicah 2 ni
91	Error	Alarm	0	M_Alarm_CurveID	0	0	0	Napaka: oznaka krivine se razlik
92	Error	Alarm	0	M_Alarm_HoistSlowTimeout	0	0	0	Napaka: predolgotrajna obrem
93	Error	Alarm	0	M_Alarm_TravelSpeedDiff	0	0	0	Napaka: prevelika hitrost v krivi

Slika 3.11: Konfiguracija alarmnih sporočil (ang. alarm logging).

3.2.4 Pisanje skript

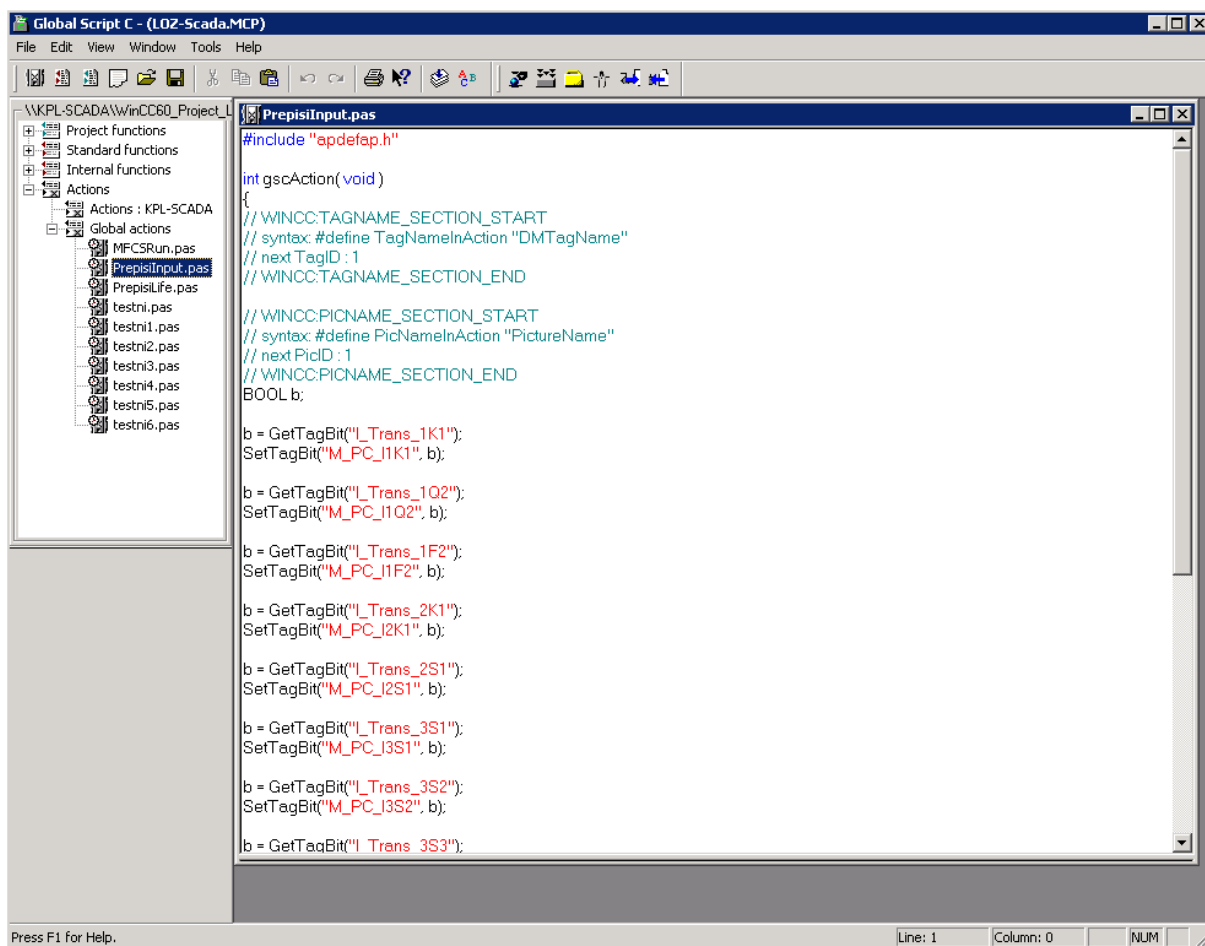
Mnogokrat enostavna uporaba procesnih in notranjih točk ni dovolj za vse zahtevane funkcionalnosti. Za take situacije orodje SCADA ponuja možnost pisanja programske kode ali skript v jeziku C ali Visual Basic. Urejanje skripte prikazuje slika 3.12.

Na primer, pri polavtomatskem vodenju dvigala, je potrebno vpisati želeni cilj, kam naj se dvigalo zapelje. Pri temu se uporablja posebna vrste notacije. Lokacijo v skladišču na katero želimo premakniti dvigalo podajajo trije parametri, ločeni z dvopičjem:

- R, številka regala ali oznaka transportnega sistema,
- Y, indeks paletnega mesta v regalu v smeri gibanja dvigala in
- Z, višinski indeks paletnega mesta.

Nekaj primerov lokacij je podanih v tabeli 3.1. S skripto, napisano v jeziku C, je bilo na

primer potrebno opisne oblike spremeniti v obliko, primerno za programirljivi logični krmilnik.



Slika 3.12: Delo s skriptami.

Tabela 3.1: Posebne oznake lokacij v skladišču.

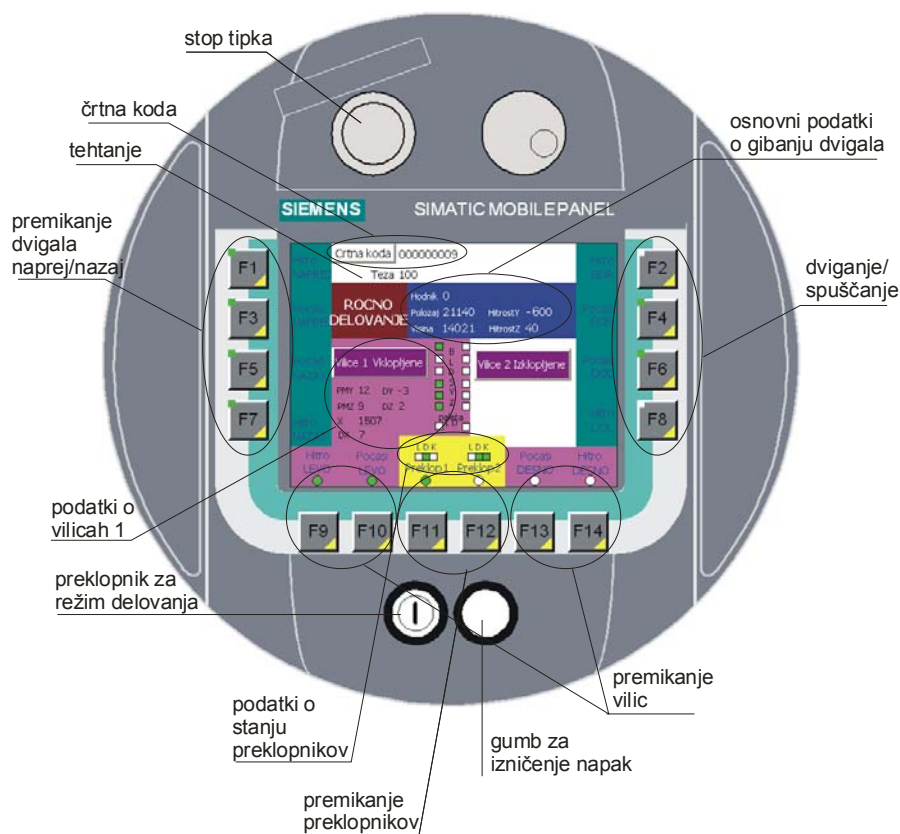
Regal	Y	Z	Opis
1	7	3	S:01:07:03 – sedmo paletno mesto na tretji višini v regalu 1
50	19	11	S:50:19:11 – paletno mesto 19 na vrhu (višina 11) prečnega regala
-1	1		T:09 – transporter T9, sprejem v skladišče
-1	2		T:08 – transporter T8, sprejem v skladišče
-2	1		T:12 – transporter T12, izdaja iz skladišča
-2	2		T:11 – transporter T11, izdaja iz skladišča
-3	1		T:22 – transporter T22, komisioniranje
-3	2		T:21 – transporter T21, komisioniranje
-4			Servisni položaj dvigala
-5			Položaj kabine

3.3 Prenosni panel

Za vodenje dvigala se lahko uporablja tudi prenosni panel (slika 3.14). V primeru inventure ali kakšne okvare lahko operater z njim posreduje neposredno na lokaciji. Na prenosnem panelu so zajeti podobni podatki kot na sistemu SCADA, zaradi manjšega zaslona so podani v mnogo bolj strnjeni obliki. Preko panela je možno ročno ali polavtomatsko vodenje dvigala. Prenosni panel v ročnem načinu dela prikazuje slika 3.13. Programiranje in parametriziranje panela poteka na podoben način kot v orodju SCADA, zato postopka ne bomo še enkrat opisovali.

Prikazani podatki

- Modro polje:
 - Hodnik v katerem se dvigalo nahaja: 0 – 6,
 - Položaj - oddaljenost od začetka hodnika v milimetrih, merjen z laserskim merilnikom,
 - Višina – višino dvižne mize merjeno v milimetrih glede na dno skladišča,
 - HitrostY: trenutna hitrost dvigala v enotah od -16384 do +16384. Negativen predznak označuje gibanje nazaj,
 - HitrostZ: trenutna hitrost dvižne mize v enotah od -16384 do +16384. Negativen predznak označuje gibanje navzdol,
 - Rumeno polje prikazuje stanje preklopnikov. Preklopnik 1 je sprednji preklopnik, preklopnik 2 pa zadnji preklopnik. Za vsak preklopnik so podane tri informacije:
 - L: preklopnik je obrnjen v levo – dvigalo ne bo zavijalo,
 - D: preklopnik je obrnjen v desno – dvigalo je pripravljeno za zavijanje iz enega hodnika v drugega,
 - K: preklopnik se nahaja v krivini (preklapljanje ni dovoljeno).
 - Zeleno obarvano polje označuje katera od informacij je pravilna. Tako iz slike 3.13 lahko razberemo, da je preklopnik 1 pripravljen za zavijanje (D) in ni v krivini, preklopnik 2 pa je ravno tako pripravljen za zavijanje (D) in je tudi že v krivini (K).
-



Slika 3.13: Prenosni panel, ročno delovanje.

- Vijolična polja prikazujejo podatke, ki se nanašajo na vilice: v stolpcu v srednjem delu zaslona so za vilice 1 na levi in za vilice 2 na desni strani prikazana stanja naslednjih senzorjev:
 - B: na vilicah je naložena paleta,
 - L: na levi strani vilic v regalu ali na transporterju je paleta,
 - D: na desni strani vilic v regalu ali na transporterju je paleta,
 - S: vilice so v srednjem položaju,
 - Y: dvigalo se je ustavilo na Y položaju v katerem lahko iztegnemo vilice in
 - Z: dvigalo se je ustavilo na Z višini pri kateri lahko iztegnemo vilice.

Zeleno obarvan kvadratak označuje, da je izbrani senzor aktiven, belo obarvani kvadratak pa, da senzor ni aktiven.

Na dnu pod stolpcem sta še dva senzorja, »paleta L, D«, ki sta aktivna, kadar je tovor na

dvigalo slabo naložen – ena od palet gleda čez dvižno mizo na levi oziroma na desni strani.

V primeru, da so vklopljene katere od vilic, se pod gumbom »Vilice 1 Vklopljene« prikazujejo še naslednji podatki

- PMY: Y oznaka najbližjega paletnega mesta,
- PMZ: Z oznaka najbližjega paletnega mesta,
- DY: napaka v milimetrih pri pozicioniranju dvigala na paletno mesto v smeri gibanja,
- DZ: napaka v milimetrih pri pozicioniranju dvigala na višino paletnega mesta,
- X: iztegnjenost vilic v milimetrih in
- DX: razlika do ciljnega iztega vilic.

Dvigalo v ročnem načinu vodenja krmilimo s pritiskanjem na funkcijske tipke F1 – F14 in na gumbe »Vilice 1 Vklopljene/Izklopljene«, »Vilice 2 Vklopljene/Izklopljene« na zaslonu, občutljivem na dotik. Za premikanje dvigala v smeri vožnje so namenjene tipke F1 (hitro naprej), F3 (počasi naprej), F5 (počasi nazaj) in F7 (hitro nazaj). Za dviganje in spušenje so uporabljene tipke: F2 (hitro gor), F4 (počasi gor), F6 (počasi dol) in F8 (hitro dol). Za delo s preklopniki sta namenjeni tipki: F11 (preklopnik 1) in F12 (preklopnik 2). Za delo z vilicami pa so namenjene tipke: F9 (hitro levo), F10 (počasi levo), F13 (hitro desno) in F14 (počasi desno). Premiki, ki so dovoljeni so označeni z zelenimi lučkami na tipkah F1-F8 in z zeleno obarvanimi krogci, ki so narisani na zaslonu nad tipkami F9-F14.

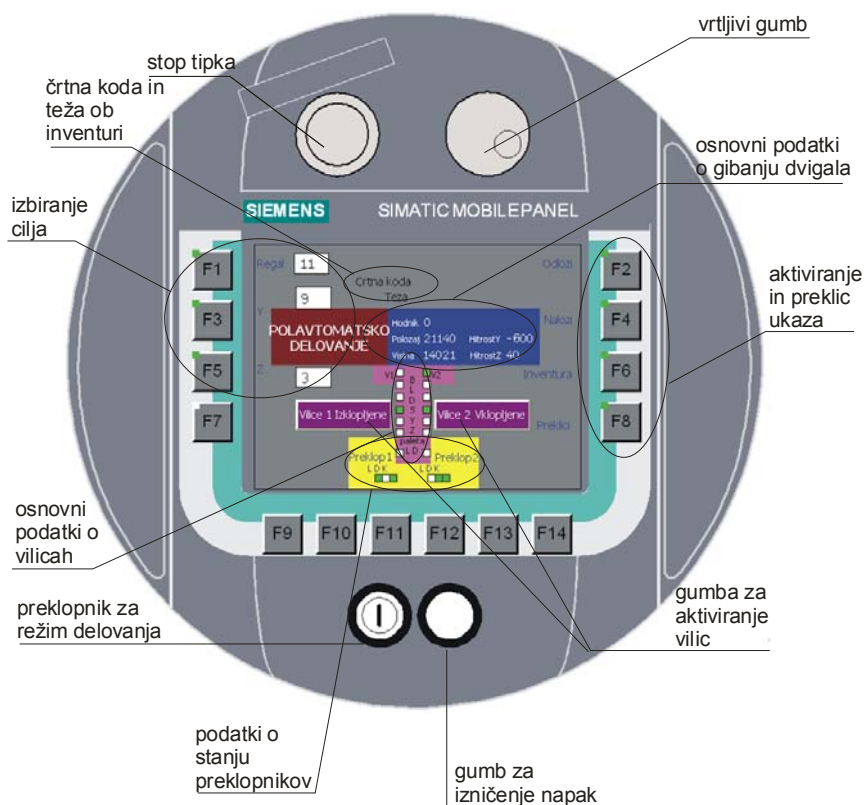
Pri ročnem vodenju lahko delamo samo z enimi vilicami na enkrat. Vilice s katerimi delamo izberemo tako, da pritisnemo na gumb »Vilice 1 Vklopljene/Izklopljene«, oziroma na gumb »Vilice 2 Vklopljene/Izklopljene«. Glede na to, katere vilice vklopimo, se pod ustreznim gumbom izpišejo tudi trenutne vrednosti podatkov za izbrane vilice. Tipke za premikanje vilic T9, T10, T13 in T14 se nanašajo samo na trenutno izbrane vilice.

V polavtomatskem delovanju dvigalo zna izvajati enostavne operacije kot so:

- odpelji se na lokacijo v skladišču,
 - odpelji se na lokacijo v skladišču in odloži tovor iz enih ali obojih vilic,
 - odpelji se na lokacijo v skladišču in naloži tovor z enimi ali dvojimi vilicami ali
-

- odpelji se na lokacijo v skladišču in ob nalaganju tovora na vilice 2 naredi inventuro (preberi črtno kodo in stehtaj tovor).

Za polavtomatsko vodenje dvigala preko prenosnega panela je potrebno ključ na prenosnem panelu obrniti v levi položaj. Prikaže se zaslon, podoben kot je na sliki 3.14.



Slika 3.14: Zaslon prenosnega panela pri polavtomatskem delovanju.

Napis »polavtomatsko delovanje« na rdečem polju potrjuje, da je prenosni panel trenutno v polavtomatskem načinu delovanja. Pomen spremenljivk na modrem, rumenem in vijoličnem polju je enak kot pri ročnem delovanju.

3.3.1 Vpisovanje lokacij v skladišču

Lokacijo vpišemo po naslednjem postopku:

- Pritisnemo tipko F1 in jo spustimo, nato pa z vrtljivim gumbom nastavimo ustrezno oznako regala. Ob številčni oznaki regala se nam v pomoč izpiše še tekst iz katerega je

lažje razvidno za katero mesto gre.

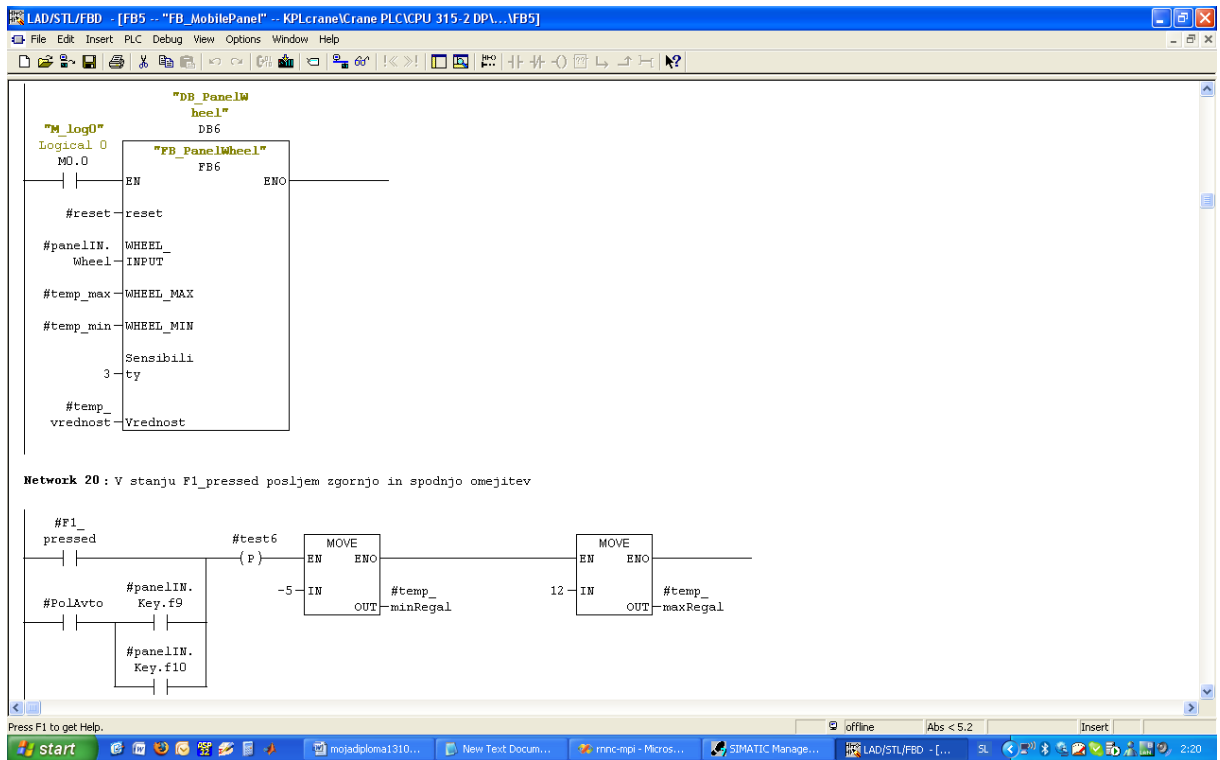
- Pritisnemo in spustimo tipko F3 in z vrtljivim gumbom nastavimo oznako Y položaja paletnega mesta. Območje lokacij, med katerimi lahko izbiramo je pogojeno z izbiro regala. Tako je za regal številka 1 možno izbirati med vrednostmi 1-51, za regal številka -1 pa samo med 1 in 2 (tabela 3.1).
- Pritisnemo in spustimo tipko F5 in z vrtljivim gumbom nastavimo oznako Z položaja paletnega mesta. Območje lokacij je ponovno pogojeno z izbiro regala.

Potem, ko uspešno nastavimo ciljno lokacijo, izberemo še

- vilice, s katerimi želimo akcijo izvesti. Slednje izberemo s pritiskanjem na »gumb za aktivacijo vilic 1« oziroma na »gumb za aktivacijo vilic 2«, ki sta narisana na zaslonu prenosnega panela, in
- eno od operacij: F2 – Odloži, F4 – Naloži ali F6 – avtomatska inventura.

V primeru, da želimo operacijo dokončno prekiniti pritisnemo gumb F8 - »Prekliči«.

Izdelovanje skript na panelu ni mogoče, zato je bila uporaba vrtljivega gumba in logika za dovoljena območja lokacij sprogramirana kar na programirljivem logičnem krmilniku dvigala z uporabo kombinacije lestvičnih diagramov, funkcijskih blokov in zbirnega jezika STL. Del programske kode v obliki lestvičnega diagrama in funkcijskih blokov prikazuje slika 3.15.



3.15 Programiranje z lestvičnimi diagrami in funkcijskimi bloki v okolju Siemens Step7.

4 Simulator

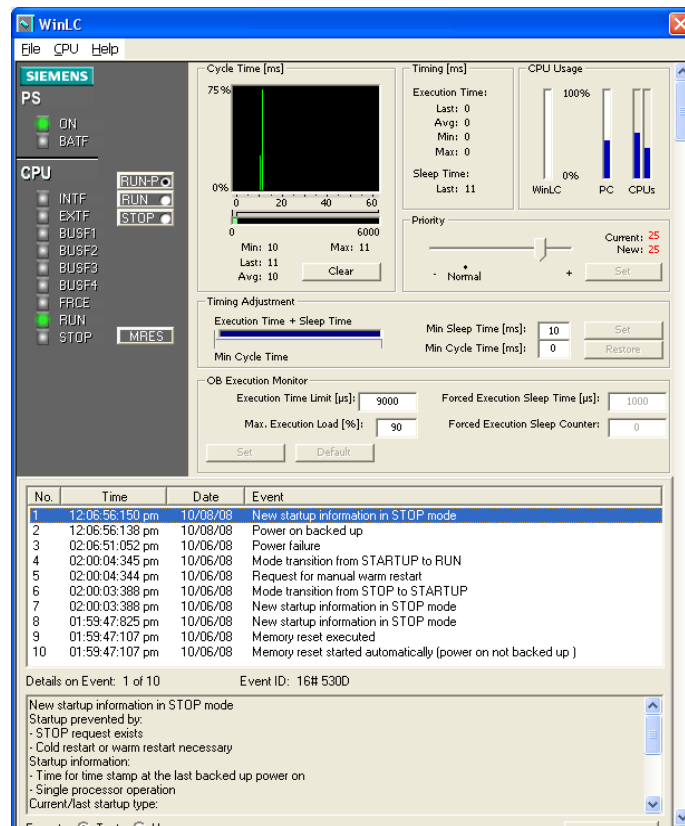
Simulator dvigala je bil razvit za potrebe testiranja nadzornega sistema SCADA, programa na programirljivem logičnem krmilniku za vodenje dvigala in ostalih višjih računalniških sistemov. Za izvedbo simulatorja, ki teče v realnem času, smo se odločili iz dveh pomembnih razlogov. Prvi je lažje testiranja pravilnosti delovanja programa v programirljivem logičnem krmilniku na dvigalu. S testiranjem programa pred zagonom na objektu se lahko izognemo težavam, ki lahko nastanejo v primeru okvare ali napake na programski opremi, na primer pretirana obraba materiala ali poškodovanje dvigala in večvredne opreme. Drugi razlog pa je morebitno izboljševanje karakteristik regulacije pogonov na dvigalu. Simulator lahko uporabimo tudi za izboljševanje algoritmov za optimizacijo poti. V tem primeru ni potrebno, da teče v realnem času, ampak ga lahko bistveno pohitrimo.

V nadaljevanju poglavja bo najprej predstavljena računalniška strojna oprema, ki smo jo imeli na voljo za izvedbo simulatorja, nato bo predstavljen programirni model za programirljive logične krmilnike Siemens Step7, sledil bo opis izvedbe simulatorja in meritve, iz katerih smo določili pomembne parametre dvigala.

4.1 Strojna oprema

Za izvedbo simulatorja smo uporabili programirljivi logični krmilnik WinLC (ang. Windows Logic Controler), ki se ga kot ISA kartico namesti v osebni računalnik, in programirljivi logični krmilnik Siemens S7-314C-2DP. Program za vodenje dvigala je bil naložen na krmilnik WinLC na osebem računalniku (slika 4.1), medtem ko se je simulator izvajal na

programirljivem logičnem krmilniku, ki ga prikazuje slika 4.2.



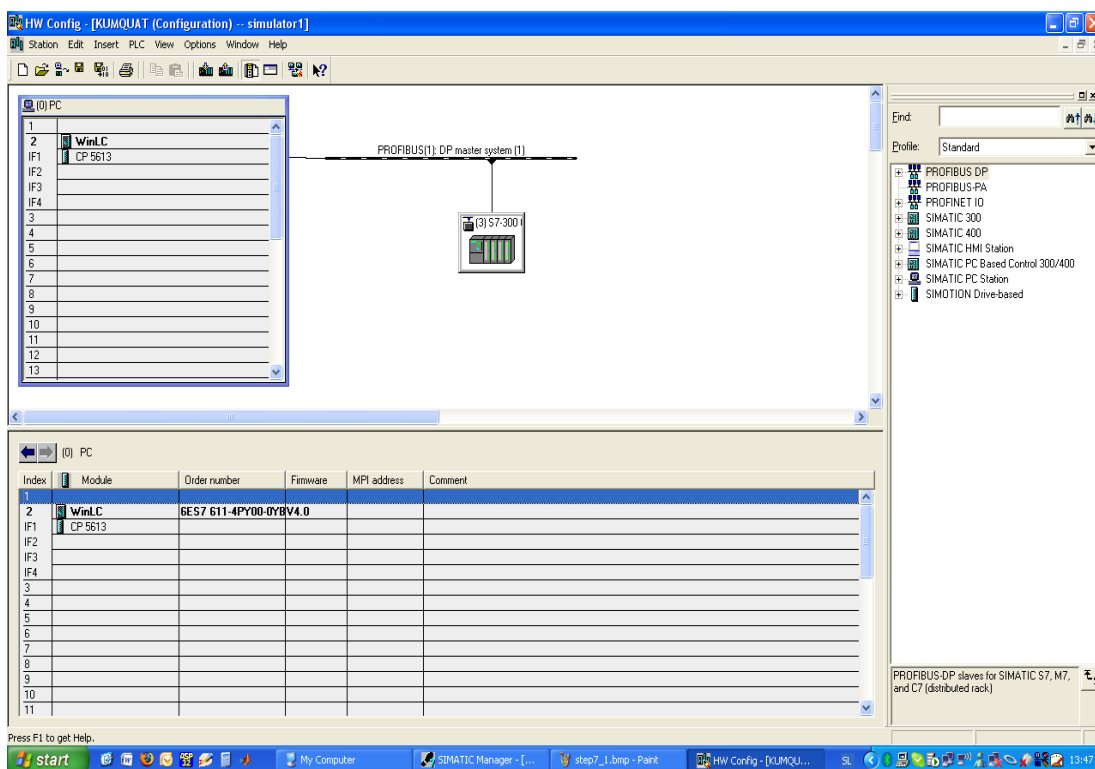
Slika 4.1. Programirljiva logična krmilnika WinLC. Sivo obarvani del levo zgoraj z diodami LED je zasnovan na enak način kot na programirljivem logičnem krmilniku S7-314C-2DP.



Slika 4.2. Programirljivi logični krmilnik Siemens S7-314C-2DP.

Programiranje obeh krmilnikov poteka z istim razvojnim orodjem Siemens Step7 na enak način. Slika 4.3 prikazuje konfiguracijo strojne opreme, natančneje, povezavo krmilnikov

preko vmesnika Profibus-DP, v katerem krmilnik WinLC nastopa kot gospodar, krmilnik S7-314C-2DP pa kot suženj. V režimu delovanja gospodar-suženj lahko krmilnika nastavimo tako, da podatke izmenjujeta preko navideznih vhodov in izhodov.



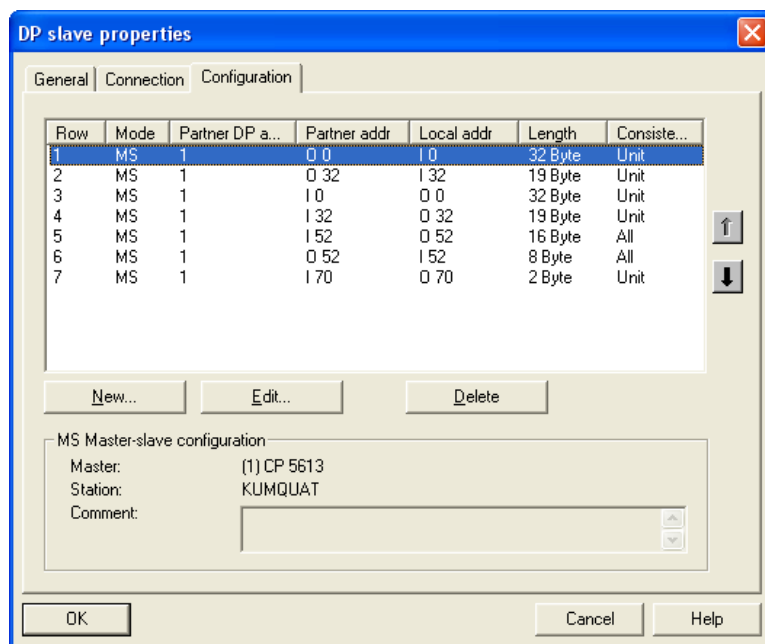
Slika 4.3. Konfiguracija vmesnika Profibus med krmilnikoma.

Na dvigalu vsaka vhodno izhodna naprava, ki je priključena na vmesnik Profibus samostojno komunicira z dvigalom, v našem primeru pa komunikacija poteka samo med obema krmilnikoma. Navidezni vhodi in izhodi so bili nastavljeni tako, da so sovpadli z vhodi in izhodi naprav, ki smo jih simulirali. Z omenjenim nastavljanjem vhodov, ki je prikazano na sliki 4.4, smo se elegantno izognili spreminjanju programske kode na programirljivem logičnem krmilniku dvigala.

Osnovne funkcije simulatorja, ki kar najbolj verno posnemajo delovanje

- osnovnih senzorjev, na primer magnetne senzorje za kodiranje hodnikov in detekcijo krivine ter območja, kjer je dovoljena hitra vožnja, senzorje položaja (končne in srednje lege),

- absolutnih enkoderjev: laserskega za vožnjo, vrvičnega za položja dvižne mize in osnega za položaj vilic,
- frekvenčnih pretvornikov vseh pogonskih sklopov ter
- enostavnih motorjev za premikanje mehanizmov za vožnjo skozi ovinek.



Slika 4.4. Nastavitve navideznih vhodov in izhodov.

4.2 Programski jeziki programirljivih logičnih krmilnikov

Za pisanje uporabniških programov, ki se izvajajo na programirljivih logičnih krmilnikih, se uporablja pet programskih jezikov, ki so standardizirani po standardu IEC 61131 [9]. Programiranje je mogoče v treh grafičnih jezikih: v obliki lestvičnih diagramov (ang. ladder logic, LAD), s funkcijskimi bloki (ang. function block diagram, FBD) ali v obliki diagramov poteka (ang. continuous function chart, CFC). Na voljo sta tudi dva tekstovna jezika, lista ukazov (ang. statement list, STL), ki zelo spominja na programiranje v zbirniku, in strukturirani tekst (ang. structured control language, SCL), ki v veliki meri spominja na višje programske jezike, še posebej Pascal. Medtem, ko so grafični jeziki bolj primerni za delo z bitnimi spremenljivkami, pa sta zadnja dva namenjena za bolj kompleksne programe. Z njima je mogoče izvesti tudi naprednejše načine naslavljanja. Z grafičnimi programskimi jeziki se

pišejo programi inkrementalno. To pomeni da programski urejevalnik preverja napake ob vsaki spremembi. Ko shranimo program, se takoj prevede v listo ukazov, ki jo procesor nato interpretira. Po drugi strani je programe v jeziku SCL potrebno prevajati v celoti, izjema je lista ukazov, ki jo procesor lahko neposredno interpretira.

Po omenjenem standardu imajo tudi krmilniki Siemens Simatic S7 za izvrševanje krmilnega programa na voljo širok spekter organizacijskih blokov (ang. organization blocks, OB). Le-ti predstavljajo povezavo med operacijskim sistemom in uporabniškim programom. Posamezni organizacijski blok ima lastno prioriteto izvajanja in ta je razvidna iz samega imena bloka, ki je sestavljen iz oznake OB in cifre prioritete. Manjša cifra pomeni tudi manjšo prioriteto. Na ta način je mogoče realizirati časovne in dogodkovne prekinitve v krmilnem procesu. Na primer, organizacijski blok OB1 se izvaja ciklično, zato v njem običajno kličemo uporabniške funkcije in funkcijske bloke.

Poleg organizacijskih blokov so na voljo tudi posebni sistemski funkcijski bloki (ang. system function blocks, SFB) in sistemske funkcije (ang. system function calls, SFC). Kličemo jih lahko v uporabniškem programu, uporabljajo se, na primer, za upravljanje s sistemsko uro, s časovnimi in zakasnitvenimi prekinitvami, za izmenjavo sporočil, ciklično naslavljanje vrednosti vhodov in izhodov, naslavljanje modulov in globalno komunikacijo.

Uporabniški program sestavljajo funkcijski bloki (ang. function blocks, FB), funkcije (ang. function calls, FC) in podatkovni bloki (ang. data blocks, DB). Funkcije vsebujejo samo ukaze, medtem ko funkcijski bloki vsebujejo, poleg ukazov, tudi svoj podatkovni blok. V podatkovnem bloku lahko shranjujemo vhodno - izhodne, lokalne in statične spremenljivke. Poznamo dva tipa podatkovnih blokov: podatkovne bloke kot del funkcijskih blokov (ang. instance data blocks) in splošno dostopne podatkovne bloke (ang. shared data blocks).

Izvajanje programa na programirljivem logičnem krmilniku poteka v programskih ciklih [9]. V vsakem programskem ciklu, ki običajno traja nekaj milisekund, se

- najprej preberejo vhodi,
 - nato se izvede uporabniški program,
-

- nazadnje pa se na izhode zapiše izračunanje vrednosti.

Ko se programski cikel z zapisom izračunanih vrednosti zaključi, se takoj sproži nov programski cikel. Izvajanje programskega cikla je lahko prekinjeno zaradi sistemskih operacij v krmilniku ali zaradi servisiranja uporabniških prekinitvenih zahtev.

4.3 Opis simulatorja

Simulator je zapisan v jeziku SCL. To je visokonivojski programski jezik razvojnega okolja Simens Step7, ki je zelo podoben Pascalu. Vsebuje pa tudi tipične elemente, ki so nujno potrebni za programiranje programirljivih logičnih krmilnikov, kot so dostop do vhodov, izhodov in bitnega spomina, časovniki in števniki. Jezik SCL v veliki meri dopolnjuje klasične jezike za programirljive logične krmilnike, na primer lestvične diagrame, predvsem v kontrolnih procesih, v katerih nastopajo kompleksne matematične operacije.

V organizacijskem bloku OB1 simulatorja se ciklično izvajajo štiri funkcije:

- FC_SimTransport,
- FC_Sensoric,
- FC_Simulator in
- FC_Activation.

Funkcija FC_SimTransport skrbi za to da so nastavljeni vsi pogoji za pravilno delovanje in gibanje dvigala. Preprečuje vklop raznih zaščitnih mehanizmov, ki niso pomembni za delovanje simulatorja.

Funkcija FC_Sensoric skrbi za branje zahtev in ukazov, ki jih pošilja logični krmilnik dvigala. Te so lahko zahteva za spremembo stanja preklonnikov, hitrosti dviga, vožnje in obojih vilic. Spremenljivke se uporabljajo kot lokalne, saj tabela preslikav vhodov in izhodov, prikazana na sliki 4.4 poskrbi za komunikacijo med programirljivima logičnima krmilnikoma.

Funkcija FC_Simulator skrbi za izvajanje posameznih ukazov v odvisnosti od notranjega

stanja dvigala. Za simulacijo lasersega merilnika položaja dvigala, vrvičnega enkoderja za dvig in osnega enkoderja za vilice je potrebno pri izračunu trenutne pozicije uporabljati običajne enote, saj nam ta sporoča pozicijo do milimetra natančno. Iz pospeška se zato izračuna trenutna hitrost in opravljena pot oziroma nov položaj. Za oboje je potrebno vedeti spremembo časa oziroma koliko časa je preteklo od zadnjega računanja. To rešimo tako da v notranjem stanju simulatorja shranjujemo čas zadnjega izračuna. Ob ponovnem računanju pa upoštevamo razliko med trenutnim časom in shranjenim časom. Za izračune se uporabljajo običajne fizikalne formule za enakomerno pospešeno gibanje

$$v(t) = v_0 + a(t - t_0) \quad \text{in} \quad (4.1)$$

$$s(t) = s_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2} a(t - t_0)^2 \quad , \quad (4.2)$$

kjer $v(t)$ in $s(t)$ označujeta hitrost in položaj objekta v času t , v_0 in s_0 pa predstavljata hitrost in položaj v času prejšnjega izračuna t_0 . Postopek določanja pospeška a iz dejanskih posnetkov vožnje dvigala za vse pogone je opisan v naslednjem poglavju, Logični krmilnik na dvigalu mora vsem regulatorjem pogonov pošiljati želena hitrost v posebnih enotah. Tako da je potrebno uporabiti razmerje med hitrostjo v običajnih enotah in pa posebnih enotah, da lahko določimo trenutno hitrost, ki jo mora simulator sporočiti krmilniku dvigala.

Mehanizmi za vožnjo skozi krivino na obeh preklopnikih so bili simulirani tako, da je premik zakasjen. Ob prihodu ukaza potrebuje fizični preklopnik določen čas, da opravi premik. Hkrati ob premiku sta tudi senzorja stanja preklopnikov (levo ali desno) tako spremenjena, da je senzor na strani preklopa prižgan, drugi senzor pa ugasnjen. Za zakasnitev je uporabljena posebna sistemska funkcija namenjena izvajanje akcij po določeni časovni zakasnitvi.

Preklapljanje vseh vrst magnetnih in mehanskih stikal v simulatorju je realizirano glede na položaj dvigala ali dvižne mize. Pozicije stikal so bile določene iz načrtov skladišča. S pomočjo izračuna trenutne pozicije in podatka o hodniku, v katerem se nahajamo, lahko vklopimo ustrezna stikala.

V primeru da se nahaja dvigalo v prečnem hodniku lahko ob ukazu za premik preklopnikov in

trenutne pozicije točno določimo oznako hodnika, v katerega bo dvigalo zavijalo. Najprej mu podamo signal, da je v krivini. Po določenem času, ki je potreben da pride dvigalo iz krivine, lahko podamo pravilno oznako hodnika in sporočimo, da ni več v krivini. Obratno velja isti postopek, le da nam ni potrebno računati v kateri hodnik bo prispel, ker vedno zavija iz vzdolžnega hodnika v prečni hodnik. Čas, potreben, da dvigalo pride iz krivine se določi tako, da se upoštevata hitrost s katero se vozi skozi krivini in pot, ki jo mora prevoziti.

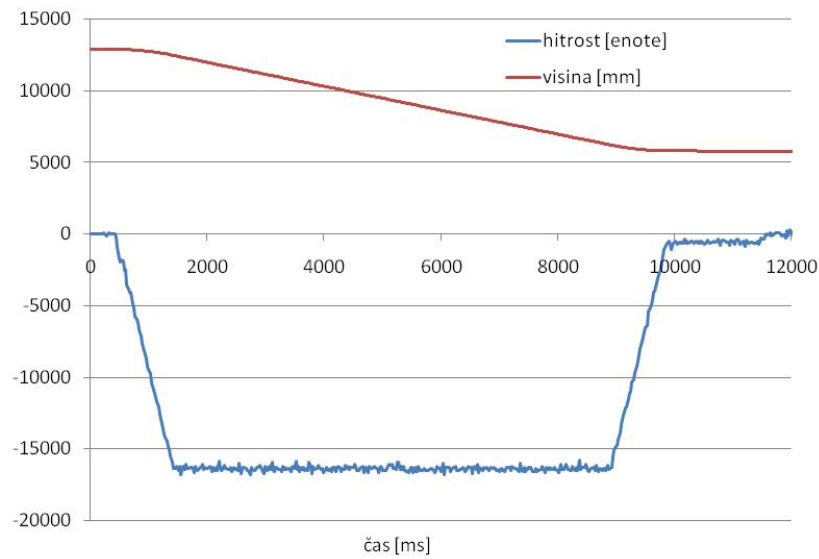
Funkcija `FC_Activation` po izvajanju predhodnih funkcij preverja in sporoča rezultate zahtevanih operacij. Krmilniku dvigala javi stanje senzorjev mehanizma za vožnjo v krivini na preklonu, novo izračunane položaje dviga, vožnje in vilic, pa tudi vse prekoračitve raznih magnetnih ali končnih stikal.

4.4 Meritve hitrosti in pospeškov na dvigalu

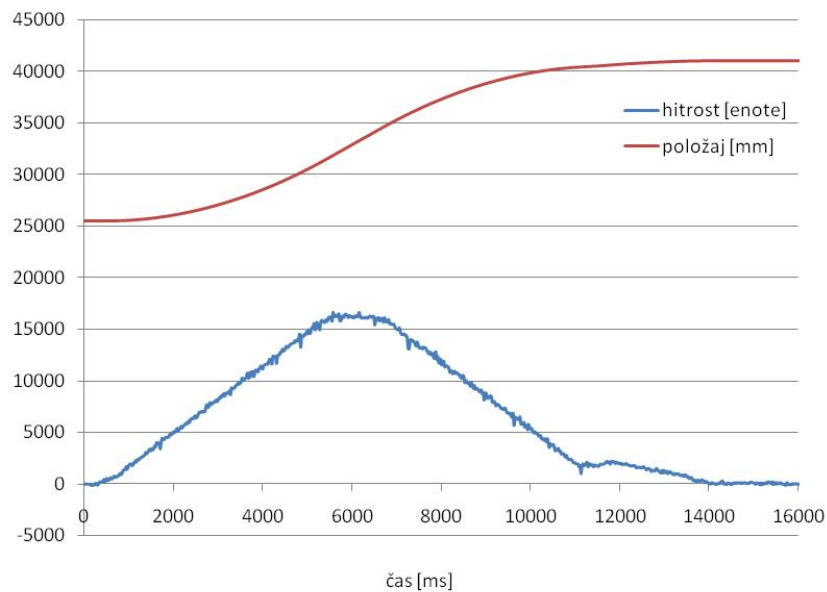
Za simulacijo dvigala v realnem času smo potrebovali natančne posnetke vožnje dvigala, ki vključujejo meritve položaja in hitrosti vseh pogonov. Dobili smo jih z beleženjem vrednosti v programirljivem logičnem krmilniku na dvigalu.

Na posnetku spusta dvižne mize (slika 4.5) je lepo vidno kako hitrost linearno pade na končno vrednost, nato pa se po nekaj sekundah spet linearno vrne na vrednost nič. Tako obnašanje je značilno za enakomerno pospešeno gibanje. Podobno je za enakomerno pospešeno gibanje značilno spreminjanje položaja po kvadratni paraboli. Na sliki je opazno samo v fazi pospeševanja in pojemanja. Šum, opazen predvsem pri meritvah hitrosti je posledica napake meritve.

Podobno odvisnost smo izmerili tudi pri vožnji dvigala v horizontalni smeri. Posnetek je prikazan na sliki 4.6. Na profilu hitrosti je opazen dodaten vrh v 12 sekundi posnetka. Do njega pride zaradi spremembe regulacije dvigala iz režima vožnje v režim natančnega pozicioniranja na lokacijo. V tem primeru je veliko bolj očitno, da spreminjanje položaja sledi kvadratni paraboli.

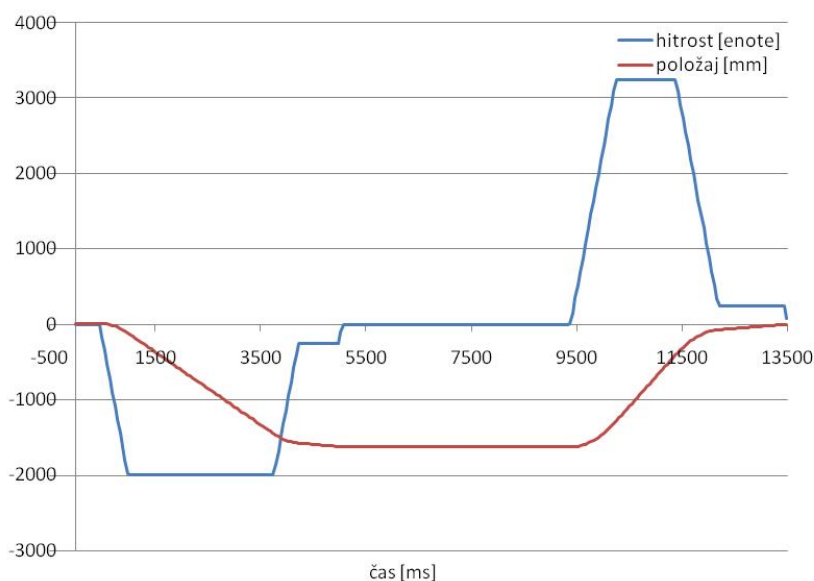


Slika 4.5: Posnetek spusta dvižne mize.



Slika 4.6: Posnetek vožnje v horizontalni smeri in pozicioniranja na lokacijo.

Na sliki 4.7 je predstavljen še posnetek hitrosti in položaja pri premikanju vilic. Podobno kot pri gibanju v horizontalni smeri se zaradi natančnega pozicioniranja na lokacijo, hitrost vilic pri vračanju v ničelno lego močno zmanjša.



Slika 4.7: Posnetek premikanja vilic.

Za izračun pospeška iz grafov in tudi za simulacijo pogonov so bile uporabljene fizikalne formule za enakomerno pospešeno gibanje podane v enačbah 4.1 in 4.2.

Hitrosti niso podane v običajnih fizikalnih enotah, temveč so podane v enotah, s katerimi neposredno krmilimo pogone. Po drugi strani vsi enkoderji podajajo položaje v milimetrih. Zato je bilo potrebno najprej določiti pospešek v običajnih enotah za vse pogone posebej. Za določanje pospeška iz posnetkov hitrosti in položaja smo uporabili linearno oziroma kvadratno regresijo. Iz pospeška se lahko naprej izračuna tako trenutna hitrost kot tudi opravljena pot oziroma položaj. Logični krmilnik na dvigalu je sprogramiran tako, da zna vsem pogonom pošiljat želeno hitrost v posebnih enotah. Zato je bilo potrebno izračunati razmerje med hitrostjo v običajnih enotah in pa enotah, ki jih uporabljajo naprave. Parametri, določeni iz posnetkov, so navedeni v tabeli 4.1.

Tabela 4.1: Vrednosti končnih hitrosti in pospeškov ter razmerje za simulator.

	hitrost (mm/ms)	pospešek (mm/ms ²)	razmerje
dvig (vertikalno)	0.84	0.000836	0.0000513
vožnja (horizontalno)	2.45	0.000483	0.0001494
vilice	0.48	0.000898	0.0002408

5 Sklepne ugotovitve

V diplomskem delu je predstavljena izdelava nadzornega sistema in simulatorja visokoregalnega skladišča. Nadzorni sistem SCADA in prenosni panel za posredovanje ob napakah sta bila zasnovana in razvita tako, da uporabniku omogočata prijazno uporabo skladiščnega sistema. Oba zadovoljujeta postavljene zahteve in cilje po enostavnosti in razumljivosti uporabniškega vmesnika. V uporabi sta že tri leta, učenje uporabe obeh sistemov je potekalo relativno hitro.

Pri razvoju nadzornega sistema so se orodja podjetja Siemens izkazala kot zelo učinkovita. Čeprav sem se ukvarjal samo z razvojem nadzornega sistema, sem dobil tudi zelo dober vpogled v način načrtovanja, razvoja, testiranja in izvedbe samega projekta avtomatizacije visokoregalnega skladišča. Pridobljene praktične izkušnje so neprecenljive.

Možne nadgradnje simulatorja in z njim povezane optimizacije vodenja dvigala v visokoregalnem skladišču lahko iščemo v smeri akademskega raziskovanja z uporabo znanih metod mehkega računanja kot so mehka logika, na primer za optimizacijo vožnje dvigala, in nevronske mreže ter genetski algoritmi, predvsem v smislu optimizacije poti za prevzem in izdajo izdelkov.

Smiselna razširitev simulatorja bi bila v smislu podpore za večje število avtomatskih regalnih dvigal, saj so simulacije in optimizacije poti v takih primerih veliko bolj kompleksne, poleg tega pa z večanjem števila dvigal v skladišču narašča verjetnost za nevarne situacije, na primer trke, ki kar kličejo k uporabi simulatorja pri razvoju programske opreme za dvigala.

6 Viri

- [1] (2008) Skladiščenje. Dostopno na: http://www.vpsmb.net/Predmeti/Skladiscenje_in_notranji_transport/Prezentacija_12_skladiscenje.pdf
 - [2] S. Strmčnik, *Celostni pristop k računalniškemu vodenju procesov*, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 1998.
 - [3] P. Badovinac, *Uvedba celovite rešitve SAP R/3*, Diplomsko delo, Ekonomska Fakulteta v Ljubljani, Ljubljana, 2005
 - [4] (2008) Sistem HAL. Dostopno na: <http://www.harding.si/HAL/Opis.htm>
 - [5] (2008) Učinkovite rešitve za podporo skladiščenju v povezavi s SAP. Dostopno na: http://www.spica.si/documents/mobilnoRacunalnistvo/MCL_SAP_razvoj.pdf
 - [6] Siemens, *WinCC V6, Getting Started*, Siemens, 2007.
 - [7] (2008) Industrial Ethernet: A Control Engineer's Guide. Dostopno na: http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps628/prod_white_paper0900aecd8013313e.pdf
 - [8] J. Weigmann in G. Kilian, *Decentralization with Profibus-DP*, Publicis MCD, Munich, 2000.
 - [9] F. D. Petruzella, *Programmable Logic Controllers*, Third Edition, McGraw Hill, New York, 2005.
-

Izjava o avtorstvu

Izjavljam, da sem diplomsko delo z naslovom Nadzorni sistem in simulator avtomatskega skladišnega sistema izdelal samostojno pod mentorstvom doc. dr. Uroša Lotriča. Hkrati soglašam z javno objavo diplomskega dela v elektronski zbirki Dela FRI.

Jovan Lončar

