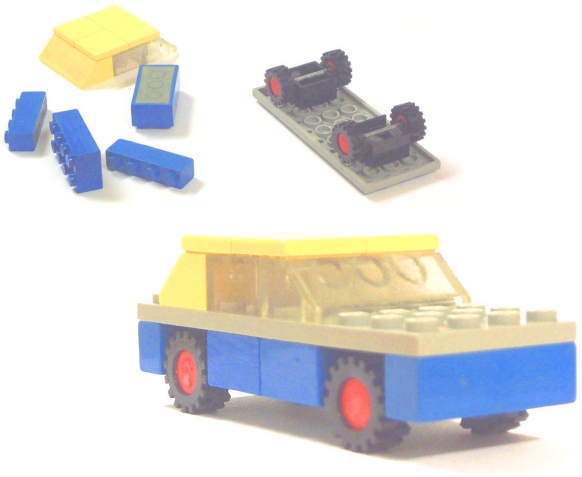
Styrning av legofabrik

Denna version: 17 april 2012



REGLERTEKNIK

AUTOMATIC CONTROL

LINKÖPING

Namn: _____

Personnr: _____

Datum: _____

Godkänd: _____

1 Inledning

Syftet med denna laboration är dels att ge insikt i problem kring sekvensstyrning i allmänhet, dels att visa hur ett sekvensstyrningsproblem kan lösas med hjälp av industriella verktyg i synnerhet. För att lösa denna typ av problem används idag vanligen PLC-styrsystem (eng. Programmable Logic Controller). Dessa utgörs av relativt enkla men robusta datorsystem.

I laborationen ska ni programmera en PLC med hjälp av funktionsdiagram (GRAFCET) och reläscheman. Er uppgift är att i en grupp om två studenter konstruera och implementera ett program som styr en bilfabrik i LEGO. Bilfabriken finns färdig i Laboteket och är inkopplad på en PLC som i sin tur kommunicerar med en vanlig dator där själva programutvecklingen sker. Till hjälp ges ett programskelett, detta PM samt en kort schemalagd introduktion. Laborerandet sker till stor del självständigt på icke schemalagd tid, varefter en fungerande bilfabrik uppvisas för laborationsassistenten vid ett examinationstillfälle. Bilfabriken ska då fungera enligt kravspecifikationen i avsnitt 3. Vid denna examination ska ni dessutom kunna förklara och motivera lösningen samt självkritiskt reflektera över eventuella brister och svaga punkter i systemet.

2 Laborationens upplägg

Det praktiska upplägget för laborationen är följande:

1. På en *föreläsning* innan laborationen gås viss teori igenom och laborationens upplägg förklaras.
   Att förbereda: Läs igenom motsvarande kapitel i kurskompendiet.

2. Vid ett *introduktionstillfälle (2h)* i Laboteket (med obligatorisk närvaro) visar laborationsassistenten fabrikerna och förklarar laborationens utförande.
   Att förbereda: Läs igenom detta häfte noggrant och lös de tre förberedelseuppgifterna. Dessa är obligatoriska och lösningarna kommer att kontrolleras av laborationsassistenten vid introduktionstillfället.
   Uppgifter under tillfället: Bekanta er med fabriken, bland annat genom att provköra den manuellt från det grafiska gränssnittet. Implementera förberedelseuppgift 3, och fortsätt sedan på själva laborationsuppgiften om tid finns över.

3. Den stora delen av laborationen utgörs av *eget arbete*, varvid erforderlig laborationstid för programutveckling bokas i Laboteket. Det är tillåtet att boka *max 4 timmar* totalt per grupp åt gången, se bokningslistan i pärmen som hör till varje fabrik. Skriv noga i *namn* och *epostadress* på listan. När dessa timmar har avverkats, får laborationsgruppen naturligtvis boka 4 nya timmar, o.s.v. Dessa regler gäller även helgtiderna, och vi har dem för att alla ska få en likvärdig chans att sitta vid fabrikerna.

4. Det kommer att finnas *resurstillfällen* i Laboteket kl 12.30 alla dagar under laborationstiden, utom lördagar, söndagar och måndagar. En laborationsassistent finns då tillgänglig för frågor och diskussion om någon har anmält behov av detta via det frågeformulär som finns på följande websida:

   `http://www.control.isy.liu.se/student/laboteket/legolab/`

   Där finns även ett formulär som kan användas för anmälning av fel på utrustningen. Sådana fel kommer att åtgärdas så snart som möjligt, medan svar på frågor i första hand ges på nästa resurstillfälle. Websidan innehåller även en del aktuell information om laborationen.

5. *Examinationstillfället (1h eller 2h beroende på kurs)* i Laboteket (med obligatorisk närvaro) äger rum cirka en vecka efter introduktionstillfället. Laborationsassistenten kontrollerar då att kravspecifikationen i avsnitt 3 är uppfylld. Dessutom ska varje laborationsgrupp *implementera ett fel* hos en annan grupp, samt få ett fel implementerat i sin egen kod. Felet ska hittas och åtgärdas inom 30 minuter.

Att tänka på

Eftersom arbetet med laborationsuppgifterna till största delen kommer att ske på egen hand finns det några saker som ni bör tänka på:

- Bilfabrikerna får inte byggas om på något sätt. Om utrustningen inte fungerar anmäler ni detta i webformuläret på webadressen ovan. Genomtänkta förbättringsförslag mottages tacksamt, men eventuella förändringar i hårdvaran får endast utföras av institutionens personal.

- Det är inte tillåtet att äta mat i Laboteket eller att ta med några drycker till laborationsplatserna. Det främsta motivet för denna regel är er egen säkerhet (styrenheterna kan kortslutas av utspillda vätskor)

men också för att öka livslängden på utrustningen och att se till att laborationsplatserna är fräscha.

- Visa hänsyn till era medstudenter. Följ regeln som nämndes ovan om hur mycket tid man får boka. Tänk också på att det kan pågå annan undervisning i Laboteket samtidigt som ni är där för att arbeta med legofabriken och se till att laborationsplatsen är ren och städad när ni lämnar den.

3 Kravspecifikation för examination

För att ni ska kunna examineras med godkänt resultat på laborationen krävs det att styrprogrammet uppfyller ett antal krav (samt närvaro på introduktions- och examinationstillfällena). Punkterna 1–9 nedan beskriver de krav som gäller i kursen TSRT07 Industriell reglerteknik. Motsvarande krav för övriga kurser finns beskrivna i en separat fil på kurshemsidan.

1. När nödstoppet trycks in ska samtliga motorer stanna omedelbart. Vidare ska alla funktionsdiagram få sina startsteg aktiverade och alla andra steg deaktiverade. (Denna funktionalitet finns redan implementerad i programskelettet som ni utgår ifrån, så det enda ni behöver göra är kontrollera att ni inte har gjort något som har satt denna funktionalitet ur funktion.)

2. Den del av bilfabriken ni valt (LEGO A eller LEGO B) ska kunna köras i normal drift och alla stationer ska kunna arbeta parallellt. Det innebär att det samtidigt ska kunna finnas en bil under bearbetning vid varje station (station = den del av en fabrikshalva som utför ett arbetsmoment).

3. Programmet ska hantera att det kan ta godtyckligt lång tid för en bil att anlända till nästkommande station.

4. Då tillverkningen startas ska motorernas lägen sakna betydelse, likaså om bottenplattorna/taken är slut eller lagret är fullt. Vid starten antas att inga delvis tillverkade bilar finns i fabriken.

5. Vid normalstopp, dvs. då man klickar på stoppknappen i det grafiska gränssnittet, ska varje station göra färdigt den bil den håller på med och sedan stanna. Även transportbandet ska stanna, ej nödvändigtvis omedelbart. Efter ett normalstopp ska bearbetningen återupptas automatiskt då man klickar på startknappen.

6. Felaktiga bilar, dvs. bilar som saknar någon chassibit i LEGO A och bilar som saknar tak i LEGO B, ska automatiskt sorteras bort.

7. LEGO A ska kunna hantera situationerna att bottenplattorna tar slut och att lagret med defekta bilar blir fullt. När något av detta händer ska motsvarande delprogram stanna i ett larmläge som lämnas först när problemet har åtgärdats och man har klickat på startknappen i det grafiska gränssnittet. Arbetet vid övriga stationer ska naturligtvis inte stanna bara för att bottenplattorna är slut eller lagret är fullt utan produktionen vid fabrikshalvans stationer ska fortsätta så långt det är möjligt.

8. LEGO B ska kunna hantera att biltaken tar slut och att något av billagren blir fullt. När något av detta händer ska motsvarande delprogram stanna i ett larmläge som lämnas först när problemet har åtgärdats och man har klickat på startknappen i det grafiska gränssnittet. Arbetet vid övriga stationer ska naturligtvis inte stanna bara för att taken är slut eller lagret är fullt utan produktionen vid fabrikshalvans stationer ska fortsätta så långt det är möjligt.

9. Er fabrikshalva (LEGO A eller LEGO B) ska vid examinationstillfället demonstreras tillsammans med den grupp som är bokad på den andra fabrikshalvan (LEGO B eller LEGO A). Fabrikshalvorna ska vara synkroniserade, vilket här innebär att LEGO A inte får leverera bilar till LEGO B om denna inte är redo att ta emot.

Vid examinationstillfällets början ska ni vara klara att demonstrera fabriken. Eventuella fel på utrustningen ska då vara inrapporterade. Examinationen består, förutom demonstrationen, i att ett (1) hemligt fel läggs in i ert styrprogram. För att bli godkända måste ni lokalisera och åtgärda felet inom 30 minuter. Sabotaget ombesörjs av en annan laborationsgrupp, varför ni ska vara inställda på att själva implementera ett fel i någon annan laborationsgrupps styrprogram. Att uppfinna ett sådant fel *är en del av examinationen*, varför följande krav ställs:

- Felet ska vara utslagsgivande i den bemärkelsen att då man kör fabriken ska det vara uppenbart att något är fel.

- Felet får inte vara trivialt, ej heller svårt att upptäcka för den som förstår styrprogrammet.

- Felet måste implementeras i mjukvara eftersom det inte är tillåtet att bygga om något i fabrikerna ens tillfälligt.

- Endast ett fel ska implementeras, dvs. endast en sak får ändras i programmet.

Inför examinationstillfället ska ni även ha reflekterat över följande frågeställningar.

- Om ni hade gjort laborationen igen, skulle ni då ha löst uppgifterna på något annat sätt?
- Har er arbetstid varit optimalt fördelad över laborationsveckan?

Omförhandling av kraven

Programmeringsuppgiften i denna laboration kan liknas vid ett litet projekt och i alla projekt finns det en risk för oförutsedda händelser. För att kunna hantera detta finns det därför en möjlighet för er att omförhandla kravspecifikationen ovan om det skulle behövas. En sådan omförhandling ska ske med en laborationsassistent på ett resurstillfälle *senast dagen innan ert examinationstillfälle* och ni måste noga kunna motivera varför det inte är möjligt att uppfylla något eller några av kraven. Bokför därför redan från början hur många timmar ni lägger ner på laborationen och tänk på att inte skjuta upp för mycket av arbetet till slutet av laborationsveckan. Det är inte möjligt att förhandla om kraven för att man har planerat sitt arbete dåligt och fått ont om tid på slutet.

4 Laborationsutrustning

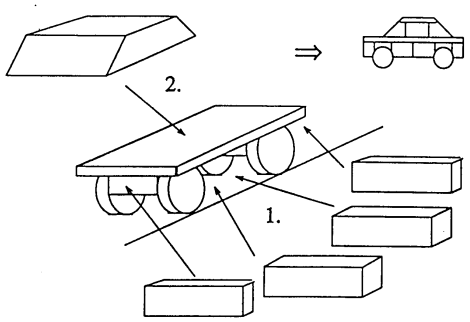
Varje laborationsgrupp om två studenter förfogar över:

1. En *halv* bilfabrik i LEGO (benämnd LEGO A eller LEGO B).
2. En styrenhet som består av en industriell PLC (ABB PM571) på vilken styralgoritmen ska exekveras, nätaggregat, relän för motorstyrning samt elektronik för spänningsanpassning och för förstärkning av sensorsignaler.
3. En vanlig dator med utvecklingsverktyg för PLC-program (*CoDeSys*).

En komplett legofabrik består av *två* separata fabrikshalvor: *LEGO A* som monterar bilens underrede (chassibitar) samt *LEGO B* som monterar bilens tak. Styrsystemen för LEGO A och LEGO B är oberoende av varandra och kommunicerar endast med en optisk länk för att synkronisera produktionen. Ni väljer redan från början vilken fabrikshalva ni ska programmera, dvs. *antingen* LEGO A *eller* LEGO B. De två fabrikshalvorna är dock ganska lika så det är samma principiella styrproblem som ska lösas i LEGO A som i LEGO B.

4.1 Bilfabrik i LEGO

De bilar som tillverkas i fabriken sätts samman av sex delar, se figur 1 och omslaget till detta laborationshäfte. Delarna monteras i två separata arbetsmoment: chassibitar på bottenplatta i LEGO A och tak i LEGO B.

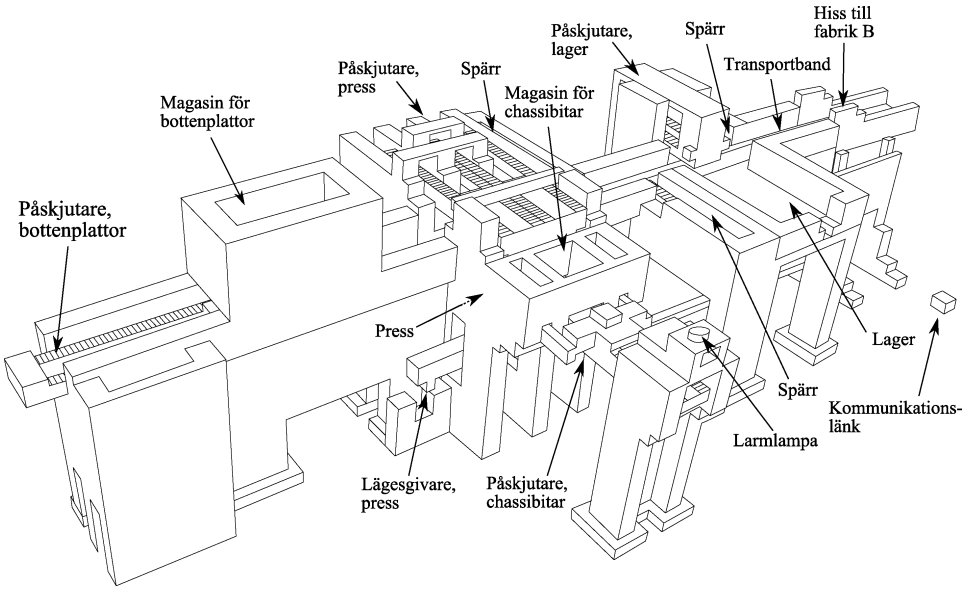


Figur 1: Två arbetsmoment ger en färdig bil: 1. Chassibitar monteras på en bottenplatta i LEGO A. 2. Tak monteras i LEGO B.

I legofabrikerna finns det sensorer med namn Sn där n är ett heltal och motorer med namn En. Dessa sensorer och motorer är kopplade till in- och utgångar på PLC:n så att man i styrprogrammet kan läsa av värdet på en sensor genom att titta på variabeln med samma namn (t.ex. S0 eller S3). Likaså kan man köra en motor framåt genom att ettställa variabeln EnF (t.ex. E1F) och bakåt genom att ettställa EnB (t.ex. E1B). I några fall heter motorvariablerna EnU (körning uppåt) och EnD (körning nedåt) eftersom det ger en bättre bild av deras funktion och om en motor bara kan köras åt ett håll heter dess variabel En.

LEGO A

Figur 2 visar LEGO A. I denna figur går tillverkningsprocessen i riktning från vänster till höger och de olika momenten i tillverkningen beskrivs enligt följande lista.



Figur 2: LEGO A: Montering av chassibitar.

1. Transportbandet (E0) sträcker sig genom hela LEGO A och är en gemensam resurs som förflyttar bilar mellan de olika stationerna. Transportbandet är konstruerat så att det kan gå kontinuerligt och oberoende av om någon spärr är utskjuten eller ej. Detta gör att stationerna längs transportbandet i princip kan arbeta oberoende av varandra, vilket gör parallell bearbetning möjlig. Transportmotorn kan endast köras åt ett håll, dvs. transportera bilarna framåt.

2. Det finns en alarmlampa (ALARM) monterad ovanpå pressen. Denna lampa kan användas för att göra operatören uppmärksam på att något behöver åtgärdas i fabriken.

3. Den första stationen är ett magasin för bottenplattor med en påskjutare (E1) för att skjuta ut bottenplattor på transportbandet. Påskjutarmotorn kan köras framåt (påskjutning av platta) och bakåt. Att påskjutaren är i sitt främre ändläge detekteras av S0=1 och i sitt bakre läge av S1=1. Ett tomt magasin detekteras av S2=1.

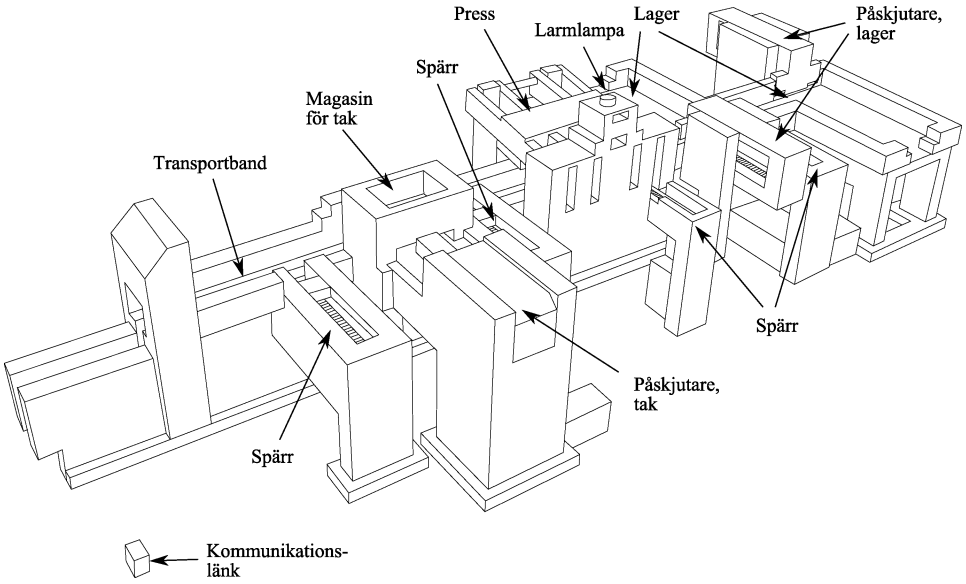
4. Den andra stationen är pressen där de fyra chassibitarna ska pressas fast på bottenplattan underifrån. Här finns en spärr (E5) som stoppar bilen i rätt läge. Att spärren är i sitt främre ändläge (och kan stoppa en bil) detekteras av S10=1 och i sitt bakre läge av S11=0. Närvaron av en bil indikeras av sensorn S3 som är placerad strax innan pressen. I presstationen finns en kloliknande påskjutare (E4) som kan skjuta bort bilen från transportbandet till pressen och även dra tillbaka den. Att denna påskjutare är i sitt främre ändläge detekteras av S4=1 och i sitt bakre läge av S5=0. Det finns även ett magasin för chassibitar och en påskjutare (E2) som kan ladda in bitar i pressen. Att denna påskjutare är i sitt främre ändläge detekteras av S6=1 och i sitt bakre läge av S7=0. Den bör förbli framskjuten under hela pressförloppet för att garantera att bitarna pressas rakt upp. Pressen måste vara i sitt nedre läge för att det ska gå att skjuta ut bitar. Pressen pressar fast bitar underifrån och drivs av motorn E3. Denna motor kan bara rotera i en riktning och har inte några egentliga ändlägen. Att pressen befinner sig i sitt nedre läge detekteras dock av S8=0. Det finns även en rotationsgivare (S9) som kommer att beskrivas mer senare.

5. Den tredje stationen är en diagnosstation vid vilken en bil kan stoppas av en spärr (E6). Att spärren är i sitt främre ändläge detekteras av S17=1 och i sitt bakre läge av S18=0. Närvaron av en bil kan detekteras av S13=0. I diagnosstationen finns även fyra sensorer (S12, S14, S15 och S16) som blir ettställda om motsvarande legobit saknas på bilen.

6. Den fjärde stationen är en lagerstation där defekta bilar (som saknar någon chassibit) kan föras åt sidan för vidare manuell bearbetning. Även här kan en bil stoppas av en spärr (E8). Att spärren är i sitt främre ändläge detekteras av S22=1 och i sitt bakre läge av S23=1. Närvaron av en bil vid lagerstationen kan detekteras med sensorn S19 som är placerad strax innan stationen. Påskjutaren (E7) som kan föra bilar åt sidan har ett främre ändläge som detekteras av S20=0 och ett bakre läge som detekteras av S21=0.

7. Den femte och sista stationen är en hiss som levererar bilar till LEGO B. Närvaron av en bil här kan detekteras av sensorn S24 som är placerad strax innan stationen. Hissen (E9) har ett övre ändläge som detekteras av S25=1 och ett nedre som detekteras av S26=0.

8. För kommunikation med LEGO B finns en sensor S27 som blir 1 när LEGO B är redo att ta emot en bil.



Figur 3: LEGO B: Montering av tak.

LEGO B

LEGO B förses med chassin från LEGO A som anländer från vänster i figur 3. I denna figur går tillverkningsprocessen sedan i riktning från vänster till höger och de olika momenten i tillverkningen beskrivs enligt följande lista.

1. Det finns en lysdiod (LOBBY_READY) som ska användas för att kommunicera med LEGO A. Denna lysdiod ska tändas när lobbyn är redo att ta emot en bil.

2. Transportbandet (E0) sträcker sig genom hela LEGO B och är en gemensam resurs som förflyttar bilar mellan de olika stationerna. Transportbandet är konstruerat så att det kan gå kontinuerligt och oberoende av om någon spärr är utskjuten eller ej. Detta gör att stationerna längs transportbandet i princip kan arbeta oberoende av varandra, vilket gör parallell bearbetning möjlig. Transportmotorn kan endast köras åt ett håll, dvs. transportera bilarna framåt.

3. Det finns en alarmlampa (ALARM) monterad ovanpå pressen. Denna lampa kan användas för att göra operatören uppmärksam på att något behöver åtgärdas i fabriken.

4. Den första stationen är lobbyn dit bilchassin anländer från LEGO A. Här finns en spärr (E1) som kan se till att en bil inte åker vidare förrän nästa station är redo att ta emot den. Att spärren är i sitt främre ändläge (och kan stoppa en bil) detekteras av S2=1 och i sitt bakre läge av S1=0. Närvaron av en bil vid stationen detekteras av S0=0.

5. Den andra stationen är ett magasin för biltak. En bil kan stoppas här med en spärr (E3) vars främre ändläge detekteras av S7=1 och vars bakre läge av S8=1. Närvaron av en bil vid stationen detekteras av S3=0. I stationen finns en påskjutare (E2) som kan skjuta ut ett tak på ett tomt chassi. Att påskjutaren är i sitt främre ändläge detekteras av S5=0 och i sitt bakre läge av S4=1. Ett tomt magasin detekteras av S6=1.

6. Den tredje stationen är pressen där taket ska pressas fast på bilen. Här finns en spärr (E5) vars främre ändläge detekteras av S12=1 och vars bakre läge av S13=1. Närvaron av en bil vid stationen detekteras av S9=0. Pressen drivs av motorn E4 som kan köras åt två håll och vars övre läge detekteras av S10=1. Det finns även en rotationsgivare (S11) som kommer att beskrivas mer senare.

7. Den fjärde stationen är en lagerstation där defekta bilar (som saknar tak) kan föras åt sidan för vidare manuell bearbetning. Även här kan en bil stoppas av en spärr (E7). Att spärren är i sitt främre ändläge detekteras av S17=1 och i sitt bakre läge av S18=1. Närvaron av en bil vid lagerstationen kan detekteras med sensorn S14 som är placerad strax innan stationen. Påskjutaren (E6) som kan föra åt sidan bilar har ett främre ändläge som detekteras av S15=0 och ett bakre läge som detekteras av S16=0.

8. Den femte och sista stationen är även den en lagerstation där färdigproducerade och korrekta bilar kan lagras i väntan på leverans till kund. Närvaron av en bil vid denna lagerstation kan detekteras med sensorn S19 som är placerad strax innan stationen. Påskjutaren (E8) som kan föra ut bilar i lagret har ett främre ändläge som detekteras av S20=0 och ett bakre läge som detekteras av S21=0.

Kommentarer till konstruktionen av LEGO A och LEGO B

Konstruktionen av LEGO A och LEGO B är gjord så att legobilsproduktionen ska vara så robust som möjligt trots fabrikernas relativt enkla byggelement och sensorer. För att kunna skriva ett robust styrprogram är det nödvändigt att känna till lite av tankarna bakom fabrikskonstruktionen.

- Alla motorer som utför förflyttningar mellan väldefinierade ändlägen är försedda med ändlägesgivare. Om en motor stoppas i sitt ändläge utan att spänningen bryts, stiger strömmen snabbt till ett värde som kan medföra överhettning. Därför ska styrprogrammen vara skrivna så att spänningen till motorn omedelbart bryts då den aktuella ändlägesgivaren aktiveras. Var uppmärksam på att vissa ändlägesgivare kvitterar med 0 (aktivt låg) medan andra kvitterar med 1 (aktivt hög). Vilka signaler som är aktivt låga respektive höga anges i appendix A/D (LEGO A/LEGO B).

- Utmed bilens väg genom fabriken finns ett antal fotosensorer utplacerade för att hålla reda på bilens läge. Dessa sensorer har relativt låg precision – de utgör närvarodetektorer snarare än positionsdetektorer. Detta förklarar behovet av transportbanans mekaniska spärrar, vilka är nödvändiga för att uppnå tillräcklig precision vid positioneringen inför de olika arbetsmomenten. För att bilen ska hinna nå fram till spärren ordentligt, samt för att filtrera bort eventuella störningar, måste signalerna från fotosensorerna fördröjas med en tillslagsfördröjd timer, se exempel på sidan 18.

- Pressarnas rotationsgivare består av ett kugghjul med hål i som är kopplat till pressmotorns axel samt en fotosensor med tillhörande lysdiod. Då motoraxeln roterar belyses fotosensorn med ett pulserande ljus vars frekvens är proportionell mot axelns varvtal. Då presstrycket stiger, sjunker varvtalet och signalfrekvensen från sensorn i motsvarande grad. När periodtiden överstiger ett kritiskt värde ettställs signalen TACHO. Det kritiska värdet är en global variabel (TACHOTIME) som kan ändras vid behov. TACHO-signalen ska användas för att avbryta pressningen vid ett lämpligt presstryck i LEGO B medan rotationsgivaren i LEGO A endast används för att stoppa pressen om den har fastnat.

4.2 Styrenhet

Det styrsystem som ni ska utveckla i den här laborationen ska exekveras i en styrenhet som består av följande delar

- En industriell PLC (ABB PM571).

- Ett nätaggregat som förser PLC:n med 24V likspänning.

- En spänningsomvandlare som ger 9V likspänning.

- Relän som är kopplade så att man kan köra motorerna åt två håll med hjälp av de binära styrsignalerna från PLC:n.
- Ett kretskort som dels förstärker sensorsignalerna och dels anpassar strömmen till lysdioderna i fabrikerna.
- Ett nödstopp som bryter strömmen till motorerna när det trycks in. Nödstoppet är även kopplat till PLC:n så att det avbryter exekveringen av programmet (se avsnittet om kompilering och körning på sidan 18).

Styrenheterna är redan kopplade till både fabrikerna och datorerna när ni kommer till laborationen så ni behöver inte själva utföra något kopplingsarbete.

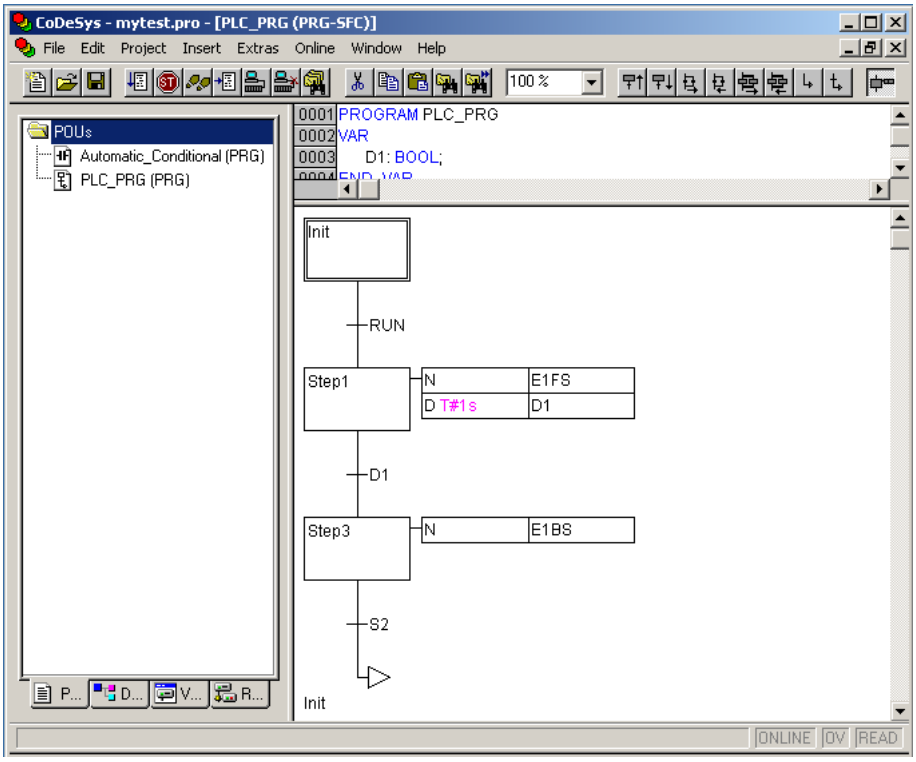
5 Utvecklingsverktyget CoDeSys

CoDeSys är ett program med vilket man kan utveckla programkod och operatörsgränssnitt till PLC:er. Ett exempel på hur programmeringsmiljön i CoDeSys ser ut visas i figur 4. CoDeSys har bland annat stöd för funktionsdiagram (SFC, Sequential Function Chart), reläscheman (LD, Ladder Diagram), blockdiagram (FBD, Function Block Diagram) och strukturerad text (ST, Structured Text). Man har full frihet att för olika uppgifter i ett projekt välja det programspråk som är mest lämpligt. I denna laboration rekommenderar vi dock att ni håller er till funktionsdiagram och reläscheman eftersom de är programspråk som många använder och som ger relativt tydliga och lättöverskådliga program.

Ni behöver långtifrån lära er allt om CoDeSys. I de programskelett ni förslagsvis utgår från finns de flesta grundinställningar redan gjorda så att ni redan från början kan koncentrera er på programmeringen. Detta avsnitt är till för att ni ska kunna komma igång snabbt utan att behöva läsa någon manual. Om ni senare märker att ni behöver komplettera med mer uttömmande information finns det mycket att läsa under hjälpmenyn i programmet.

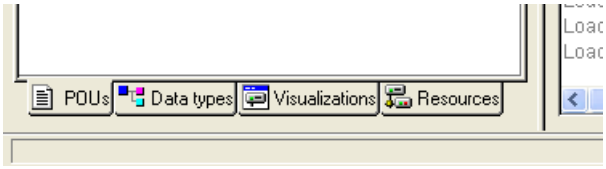
5.1 Projekt

Ett komplett PLC-program i CoDeSys kallas för ett projekt och består av flera delar som man kan hitta under någon av de fyra flikarna POUs, Da-



Figur 4: Ett exempel på ett funktionsdiagram i CoDeSys.

ta types, Visualizations och Resources i den vänstra delen av fönstret (se figur 5).



Figur 5: Flikarna i den nedre vänstra delen av CoDeSys-fönstret (jfr. figur 4).

POUs står för *Program Organization Units* och innehåller de olika delprogram som ingår i projektet. Ett delprogram kan till exempel utgöras av ett funktionsdiagram eller ett reläschema. Det överordnade programmet heter PLC_PRG och återfinns också under POUs-fliken.

Under fliken Data types kan man lägga till egendefinierade datatyper (behöver inte göras i denna laboration) och under Visualizations-fliken kan man göra ett grafiskt gränssnitt som kan användas för att styra och övervaka PLC:n under drift. Detta gränssnitt är redan färdigt i legoprogrammet (se

appendix B/E) och kan användas för att styra legofabriken både i manuellt och automatiskt läge. Den sista fliken, Resources, innehåller en rad inställningar och definitioner som rör projektet. Den enda sak som ni kan behöva titta på och ändra här i denna laboration är listan över globala variabler (Global variables). Det kan också vara intressant att veta att informationen om vilken PLC som används finns under Target settings och att dess in- och utgångar finns definierade under PLC Configuration.

5.2 Delprogram (POU)

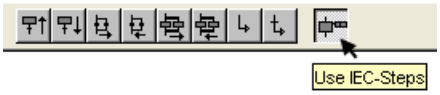
I ett projekt kan man ha ett eller flera delprogram samlade under POUs-fliken. Programmet som heter PLC_PRG är ett speciellt delprogram som alltid ska finnas i ett projekt och som alltid körs. I PLC_PRG bestäms det till exempel vilka av de övriga delprogrammen som ska vara aktiva och hur flera delprogram ska kunna påverka samma utsignal från PLC:n. I legoprogrammet behöver ni inte ändra något i PLC_PRG.

Delprogrammen som finns under POUs kan vara skrivna i något av de språk som CoDeSys stöder. Nya delprogram kan läggas till genom att man högerklickar på POUs-katalogen överst på POUs-fliken och väljer *Add Object...* Ett antal delprogram som räcker för att lösa denna laboration finns dock redan inlagda, men i utgångsläget finns det inte någon funktionalitet i dem utan det är er uppgift att åstadkomma denna. Ett delprogram öppnas för editering om man dubbelklickar på det. Den övre delen av fönstret som då öppnas innehåller variabeldeklarationer och den nedre delen visar själva programmet, som i legoprogrammet typiskt är ett funktionsdiagram eller ett reläschema.

5.3 Funktionsdiagram (SFC)

Ett exempel på hur ett funktionsdiagram i CoDeSys kan se ut visas i figur 4. För att funktionsdiagrammen i CoDeSys ska fungera enligt standarden IEC 61131-3 måste man klicka på Use IEC-Steps-knappen längst till höger i verktygsfältet i den övre delen av CoDeSys-fönstret när funktionsdiagrammet har öppnats. Denna knapp visar ett steg med en handling kopplad till sig (se figur 6).

Funktionsdiagrammet kan därefter editeras genom att man lägger till nya steg eller förgreningar med de övriga knapparna i högra delen av verktygsfältet. Varje steg i ett funktionsdiagram ska ha ett unikt namn som kan skrivas



Figur 6: Verktygsfältet när funktionsdiagram editeras i CoDeSys (jfr. figur 4).

in genom att man klickar på steget. Stegnamnen får inte innehålla svenska tecken. Befintliga steg och övergångar kan tas bort genom att man markerar dem och klickar på Delete-tangenten. För att funktionsdiagrammet inte ska bli felaktigt är det bara möjligt att ta bort ett steg tillsammans med övergången före eller efter steget genom att markera dem med Shift-tangenten intryckt.

Övergångsvillkor i funktionsdiagram

Ett övergångsvillkor (eng. transition condition) kan kopplas till en viss övergång genom att man skriver in ett logiskt uttryck till höger om övergången. Ett exempel på ett övergångsvillkor är

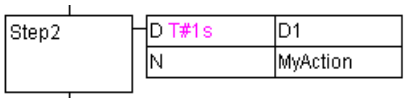
(NOT S2) AND TimeOut,

där S2 och TimeOut är variabler i PLC-programmet. Nyckelord som NOT, AND och OR ska vara skrivna med versaler men programmet ändrar dem automatiskt till det om ni skriver in dem med gemener.

Handlingar i funktionsdiagram

Handlingar (eng. actions) kan kopplas till IEC-steg genom att man högerklickar på steget och väljer *Associate Action*. Ett nytt IEC-steg har alltid en handling kopplad till sig och man kan maximalt ha nio handlingar kopplade till samma steg. En handling illustreras av en ruta bredvid steget (se figur 7. I den vänstra halvan av denna ruta anges det vilken typ av handling det är och i den högra halvan finns namnet på den variabel som ska aktiveras i det aktuella steget. I CoDeSys finns det bland annat stöd för standardhandlingar (N, Non-stored), tidsbegränsade handlingar (L, time-Limited), tidsfördröjda handlingar (D, time-Delayed), lagrade handlingar (S, Set; R, Reset) och pulshandlingar (P, Pulse). När man använder tidsfördröjda eller tidsbegränsade handlingar måste man också skriva in en tid till höger om

handlingstypen. Tiden ska vara angiven på formatet ”T#1s”, ”T#700ms”, etc.



Figur 7: Ett exempel på en handling i ett funktionsdiagram i CoDeSys (jfr. figur 4).

Ett generellt tips är att undvika lagrade handlingar så långt det är möjligt eftersom dessa försämrar programmets läsbarhet. Handlingar kan tas bort från ett steg genom att man högerklickar på steget och väljer *Clear Action/Transition*.

CoDeSys har, liksom många andra program för sekvensstyrning, inte direkt stöd för villkorliga handlingar i funktionsdiagram. Dessa måste istället implementeras i något annat programspråk, till exempel i ett reläschema.

5.4 Reläscheman (LD)

Med hjälp av reläscheman kan man skapa mer komplicerade handlingar som till exempel att en motor ska köras om ett visst villkor är uppfyllt eller att en viss variabel ska ettställas om ett villkor har varit uppfyllt under en viss tid. Ett reläschema kan innehålla flera nätverk (eng. networks) och nya nätverk kan läggas till genom att man klickar på Network (before)- eller Network (after)-knapparna till höger om zoomrutan i verktygsfältet (se figur 8).

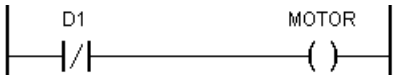
Figur 8: Knappar för att lägga till nya nätverk vid editering av reläscheman i CoDeSys.

Logiken byggs upp genom att man serie- eller parallellkopplar ett antal kontakter (eng. contacts) som antingen bryts eller sluts när en viss variabel blir ettställd. Kontakterna läggs till genom att man klickar på motsvarande symboler i verktygsfältet (se figur 9).

Figur 9: Knappar för editering av reläscheman i CoDeSys.

Ovanför varje kontakt skriver man sedan ett variabelnamn. Utsignalen från ett nätverk anges genom att man lägger till en spole (eng. coil) till vilken

man kopplar en variabel. En spole kan precis som en handling i ett funktionsdiagram vara lagrad (S, R) men rådet att undvika lagrade handlingar så långt det är möjligt gäller även här. Ett exempel på ett enkelt reläschema visas i figur 10.

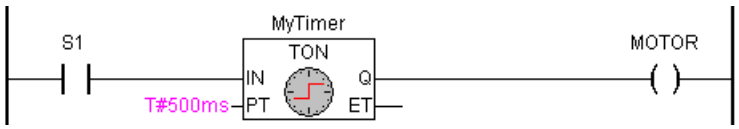


Figur 10: Ett enkelt reläschema som gör att variabeln MOTOR ettställs så länge variabeln D1 är nollställd.

Tidsfördröjningar i reläscheman

Ibland kan det vara smidigt att tidsfördröja signaler i ett reläschema. I CoDeSys kan detta göras genom att man lägger in en timer (TON, Timer ON) i nätverket genom att klicka på blocket med en klocka i verktygsfältet. Timerblocket som då dyker upp måste ges ett unikt namn, vilket man gör om man skriver något lämpligt istället för frågetecknen ovanför blocket. När man anger ett nytt namn får man upp en dialogruta som man bara ska klicka OK i.

Ett TON-block har två ingångar. IN är den booleska ingång till vilken ingångsvillkoret ska kopplas. PT (PresetTime) anger fördröjningstiden, vilken ska anges på formatet ”T#1s”, ”T#700ms”, etc. Q är den intressanta booleska utgången, vilken typiskt kopplas till en spole som påverkar en viss variabel. TON-blocket fungerar så att Q blir ettställd när IN har varit ettställd minst den tid som har angivits vid PT. Ett enkelt reläschema som innehåller en timer visas i figur 11.



Figur 11: Ett enkelt reläschema som gör att variabeln MOTOR ettställs efter att variabeln S1 har varit ettställd i 500ms.

5.5 Nya variabler

När man anger en ny variabel i ett funktionsdiagram eller ett reläschema kommer det upp en dialogruta där man kan ställa in hur den nya variabeln

ska deklareras. Normalt är det bara att klicka OK i denna ruta. Variabeldeklarationerna som hör till ett visst delprogram visas om man dubbelklickar på det aktuella programmet under POUs-fliken. Globala variabler deklareras under Resources-fliken.

5.6 Kompilering och körning

Innan man kan köra ett projekt på PLC:n måste dess kod kompileras. Detta gör man genom att välja *Project/Build* i menyraden (eller genom att klicka på F11-tangenten). Därefter väljer man *Online/Login* (Alt+F8) för att kopiera programmet till PLC:n och *Online/Run* (F5) för att starta det. I legoprogrammet finns det ett grafiskt gränssnitt med vilket man kan köra enskilda motorer eller starta det automatiska programmet (när det är skrivet). Under körning kan man i gränssnittet även se vilka sensorer som är aktiverade, något som kan vara mycket användbart vid felsökning. Man kan också följa exekveringen av ett enskilt delprogram genom att dubbelklicka på det under POUs-fliken. Exekveringen av ett program stoppas med *Online/Stop* (Shift+F8) och det är också ofta lämpligt att nollställa det med *Online/Reset* så att det befinner sig i sitt starttillstånd nästa gång man startar det. Onlineläget lämnas med *Online/Logout* (Ctrl+F8).

Det finns ett motorskydd inbyggt i programmet som ska se till att motorerna inte förstörs om de körs trots att de är i sina ändlägen. Om motorskyddet aktiveras låses programmet och startstegen i alla funktionsdiagram aktiveras omedelbart (och alla andra steg deaktiveras). Dessutom kan man i det grafiska gränssnittet se en röd cirkel vid den motor som gav upphov till stoppet. I detta läge kan varken det automatiska eller manuella programmet startas om man inte först nollställer PLC:n med menyvalet *Online/Reset*. I många fall är det också lämpligt att återgå till programmeringsläget för att åtgärda det som gav upphov till att motorskyddet behövde aktiveras.

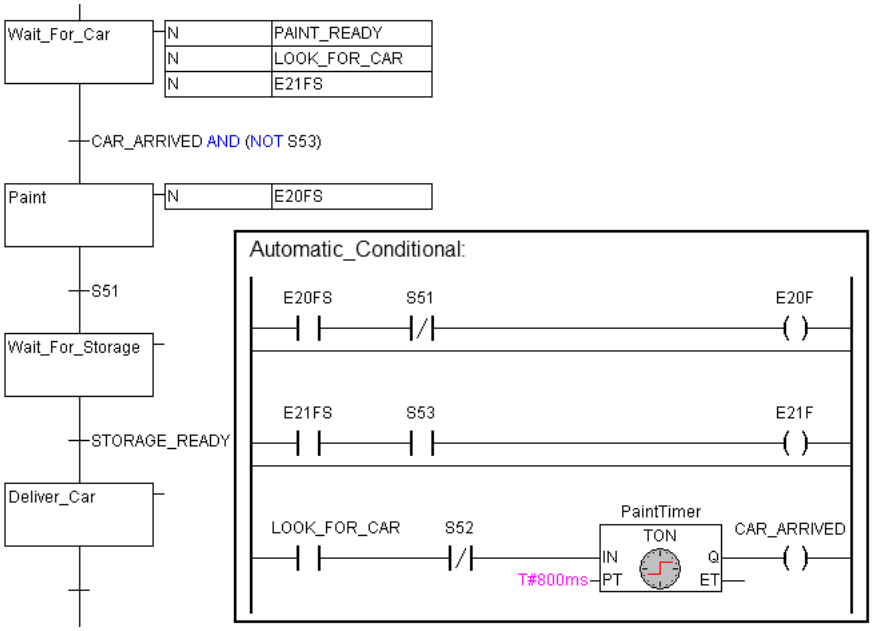
Om nödstoppet trycks in under körning blir effekten densamma som då motorskyddet har aktiverats förutom att man inte behöver nollställa PLC:n för att kunna starta programmet igen.

5.7 Ett sammanfattande exempel

För att sammanfatta avsnittet om utvecklingsverktyget CoDeSys och för att ge er lite inspiration när ni ska komma igång med programmeringen följer här ett exempel på hur en fiktiv station för målning av bilar skulle kunna

implementeras. Alla detaljer i programmeringen är dock inte medtagna här.

Antag att det finns en station där bilen ska målas innan den skickas vidare till ett lager. Vid målningsstationen finns det en spärr som kan köras fram med E21F. Att spärren är i sitt främre ändläge detekteras av S53=0. Vidare kan närvaron av en bil vid målningsstationen detekteras av fotosensorn S52=0. Målningen sker automatiskt genom att man ettställer E20F tills hela bilen är målad, vilket detekteras av S51=1. I figur 12 visas några steg i ett funktionsdiagram som styr målningsstationen.



Figur 12: Ett exempel på hur den fiktiva målningsstationen kan programmeras.

I steget Wait_For_Car förs spärren vid målningsstationen fram (E21FS). Motorn ska stoppas så snart spärrens ändlägesgivare S53 blir noll och logiken som ser till att så blir fallet är implementerad i ett reläschema i delprogrammet Automatic_Conditional. I steget Wait_For_Car skickas även en signal (PAINT_READY) till föregående station att målningsstationen är redo att ta emot en bil för bearbetning. Det förutsätts naturligtvis att transportbandet E0 körs under leveransfasen. Vi vill stanna kvar i steget Wait_For_Car ända tills vi säkert vet att en bil har kommit fram och tills spärrmotorn har nått sitt ändläge. Övergångsvillkoret efter steget blir därför uppfyllt först när *båda* dessa saker har inträffat. För att få en tillförlitlig närvaroindikering får signalen från fotosensorn gå genom en tillslagsfördröjd timer (TON). Härigenom filtreras eventuella störningar från fjädrarna på transportbandet bort. Den logik som ettställer flaggan CAR_ARRIVED för att indikera sä-

ker närvaro av en bil är implementerad i Automatic_Conditional. I detta delprogram används en instans av TON som vi har valt att kalla Paint-Timer. ”T#800ms” betyder att fördröjningen (Preset Time, PT) ska vara 800ms, dvs. S52 måste vara 0 och variabeln LOOK_FOR_CAR måste vara 1 under minst 800ms för att variabeln CAR_ARRIVED ska bli 1.

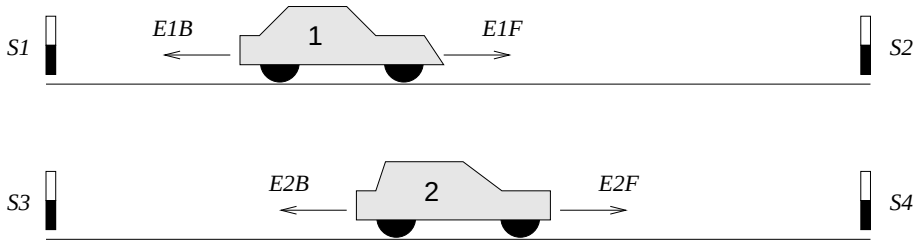
Då en bil säkert är framme vid målningsstationen går vi till steget Paint, i vilket målningsverktyget körs tills hela bilen är målad. Precis som med E21F i föregående steg styr man inte E20F direkt i funktionsdiagrammet utan bara via en hjälpvariabel E20FS. Med hjälp av reläschemat i Automatic_Conditional får man en säkrare ettställning av E20F som kräver både att E20FS är 1 och att S51 är 0. Även om man här i princip skulle kunna använda en standardhandling för ettställning av E20F så skulle det innebära en risk eftersom oförsiktig ändring av övergångsvillkoret efter Paint-steget skulle kunna leda till att motorn förstörs. Grundregeln är därför att alltid använda reläscheman med kontakter som stannar motorn när den når sitt ändläge.

Då målningen är klar väntar vi i steget Wait_For_Storage på att den efterföljande lagerstationen ska bli klar att ta emot en ny bil, vilket i så fall indikeras av flaggan STORAGE_READY.

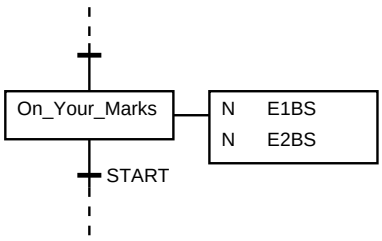
6 Förberedelseuppgifter

Uppgift 1: Återställning

Figur 13 visar två bilar som ska köra ikapp från ändlägesgivarna S1/S3 till S2/S4. Innan tävlingen kan börja måste bilarna dock backa till S1/S3, vilket ska göras i steget On_Your_Marks i funktionsdiagramsfragmentet i figur 14. Rita reläschemat Automatic_Conditional som backar båda bilarna samtidigt när E1BS och E2BS är 1. Respektive motor (E1B/E2B) ska genast slås av då bilen når sitt ändläge. Då båda bilarna nått startpositionen ska flaggan READY bli 1. Formulera även övergångsvillkoret START så att det blir 1 då båda bilarna är färdiga att starta och domaren ger signalen GO.



Figur 13: Motorerna E1F/E2F kör bilarna framåt, E1B/E2B bakåt. Givarna S1,. . . ,S4 indikerar att respektive ändposition är nådd.

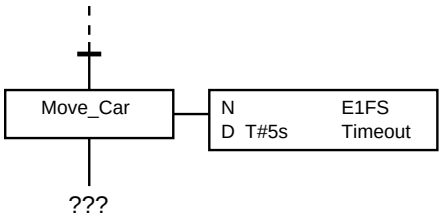


Figur 14: I On_Your_Marks ska bilarna i figur 13 backa till startläget S1/S3.

Uppgift 2: Timeout

Antag att vi vill köra bil 1 i figur 13 fram till S2, men att bilen eventuellt kan bli hindrad. Motorn E1F ska därför slås av om bilen inte nått fram inom 5 sekunder. En god början på ett funktionsdiagram som ska klara kraven ges i figur 15. Det är er uppgift att göra fortsättningen. Lägg till en

alternativförgrening som gör att exekveringen går vidare om bilen ohindrad når fram. Om bilen hindras ska motorn slås av och exekveringen stanna i ett larmsteg, i vilket flaggan ALARM ska vara 1. Larmsteget lämnas då signalen START blir 1, varefter exekveringen ska fortsätta som om inget hinder påträffats alls. (Denna typ av övervakning ger möjlighet att detektera fulla lager i LEGO A och LEGO B.)



Figur 15: Fortsättningsvis bör man ha en alternativförgrening som hanterar Timeout.

Uppgift 3: Driftstyrning

I appendix C/F (LEGO A/LEGO B) hittar ni skelettet till ett program för att tillverka legobilar. Koncentrera er först på Automatic_Operation, vars uppgift är att hantera drift och normalstopp. Se kravspecifikationen för en förklaring av vad som menas med ett normalstopp. Er uppgift är att komplettera detta diagram så att följande krav uppfylls:

> När man trycker på startknappen i det grafiska gränssnittet så att START ettställs ett kort ögonblick ska den interna hjälpvariabeln RUN bli 1. RUN ska sedan förbli 1 ända tills stoppknappen i det grafiska gränssnittet trycks in och STOP ettställs ett kort ögonblick. Startsteget ska då åter bli aktivt.

Komplettera diagrammet så att det blir fullständigt specificerat med avseende på handlingar och övergångar. I programskeletten är övergångsvillkoret FALSE inlagt provisoriskt på flera ställen. Detta byter ni förstås ut mot era egna!

7 Huvuduppgift: Parallell tillverkning av legobilar

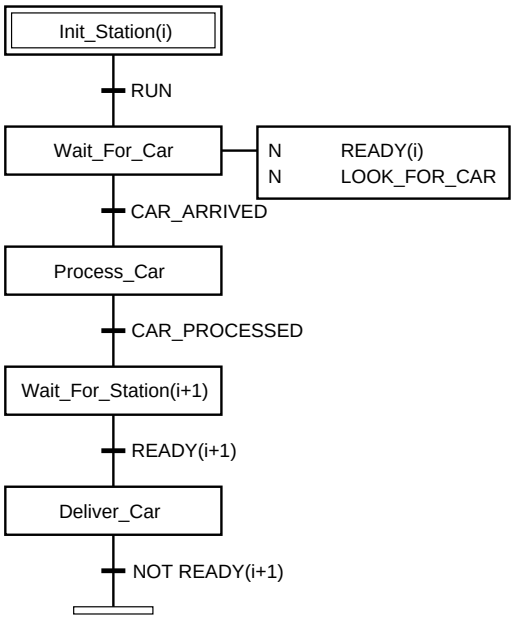
Huvuduppgiften i denna laboration är att programmera en halv legofabrik så att dess olika stationer tillverkar bilar parallellt, dvs. så snart en station levererat en bil till efterföljande station ska den påbörja bearbetningen av nästa bil. Till er hjälp har ni funktionsdiagramsmallarna i appendix C/F samt ett från början tomt reläschema som heter Automatic_Conditional. Uppgiften kan alltså lösas genom att ni kompletterar dessa funktionsdiagram med lämpliga handlingar och övergångsvillkor och reläschemat med lämpliga kontakter, spolar och timrar. I stort räcker de steg som redan finns i funktionsdiagrammen men när ni bygger ut funktionaliteten så att tomma magasin och överfulla lager detekteras måste ni förstås lägga in fler steg och troligtvis alternativförgreningar. För att programmet ska bli lättläst och enkelt att felsöka ska de sekvensiella förloppen styras med funktionsdiagrammen och reläschemat i Automatic_Conditional ska bara användas för att implementera de typer av handlingar som är omöjliga (eller svåra) att realisera direkt i ett funktionsdiagram.

Synkronisering

De olika funktionsdiagrammen i appendix C/F svarar mot fabrikshalvans olika stationer och exekveras helt parallellt. För att det inte ska bli kaos i fabriken krävs att stationerna är synkroniserade. Utan synkronisering kan det exempelvis hända att en station släpper iväg en bil till den efterföljande stationen trots att denna inte är klar med sin bearbetning av föregående bil. Synkroniseringen sker med globala hjälpvariabler. I appendix A/D finns ett antal fördefinierade hjälpvariabler listade och vid behov kan ni deklarera fler. En mycket enkel synkroniseringsprocedur är att en station meddelar föregående station så snart den är redo att ta emot en bil för bearbetning genom att sätta en hjälpvariabel (t.ex. PRESS_READY) till 1. Så snart stationen erhållit den bil som då levereras, sätts hjälpvariabeln till 0, och förblir 0 ända tills stationen är klar med bearbetningen och redo att ta emot ytterligare en bil, se figur 16 för ett generellt exempel.

Hantering av gemensamma resurser

Transportbandet (E0) och alarmlampan (ALARM) är utgångar från PLC:n som man behöver kunna styra från olika delprogram. För att man inte ska hamna i fall där ett program vill ettställa E0 eller ALARM samti-



Figur 16: Generellt funktionsdiagram för delprogram. Notera hur station i väntar på att station i+1 ska bli redo innan bilen levereras. Varför väntar station i (efter leveransen) även på NOT READY(i+1)? Fundera noga igenom vad som ska hända i de olika stegen. I vilket steg ska stationen återställas? När ska transportbandet köras?

digt som ett annat vill nollställa den finns det ett antal globala hjälpvariabler som man bör använda istället. Om en station vill köra transportbandet ska den ettställa en av variablerna E0A, E0B, ..., E0F och bandet kommer då att köras oavsett vad övriga variabler har för värden, dvs. det räcker att en av dessa variabler är ettställd för att bandet ska köras. Genom att det finns en bandstyrningsvariabel per steg där bandet ska köras undviker man konflikter i programmet. På motsvarande sätt finns det hjälpvariabler som styr när alarmlampan ska tändas. Dessa hjälpvariabler heter BASE_ALARM och DEFECT_ALARM i LEGO A respektive ROOF_ALARM, STORAGE1_ALARM och STORAGE2_ALARM i LEGO B.

Tips

- Börja med att köra igenom fabriken manuellt genom att använda knapparna i det grafiska gränssnittet för att förstå hur den fungerar och

var alla fotosensorer sitter.

- Under drift indikeras fotosensorernas värden både i det grafiska gränssnittet och av dioder på PLC:n. Styrsignalernas värden indikeras både av dioder på PLC:n och på reläerna som sitter på styrenheten. Dessa indikatorer kan vara mycket användbara vid felsökning.
- I LEGO B kan det vara bra att tänka på att pressen står stilla när man börjar pressa och att TACHO därför är ettställd initialt.
- Tänk på att om möjligt hålla er till samma fabrikshalva (nr 1, 2 eller 3) genom hela laborationstiden. Detta kan nämligen underlätta programmeringen eftersom de olika fabrikerna kan upplevas som något olika ”individer”.

8 Att komma igång...

Innan ni börjar programmera

Vid varje fabrikshalva finns en dator där ni kan logga in på era studentkonton (ISYEDU). Välj därefter *”Run...”* i startmenyn, skriv `\\site\edu\rt\lab` och kopiera katalogen `lego` till studentkontot (`H:`). Döp inte om katalogen eftersom det kommer att krävas att `H:\lego\` finns när ni ska kompilera ert program. Starta CoDeSys och öppna (*File/Open*) filen `factory_a.pro` eller `factory_b.pro` i katalogen som ni nyss kopierade.

Ett första program

Vi ska här bekanta oss med utvecklingsverktyget CoDeSys genom att skriva in och testa det enkla program som beskrivs i förberedelseuppgift 3.

1. Öppna delprogrammet Automatic_Operation under POUs-fliken och komplettera funktionsdiagrammet så att det stämmer överens med er lösning till förberedelseuppgift 3.
2. Kompilera programmet med *Project/Build* (F11), rätta eventuella fel och kompilera på nytt tills alla fel är rättade.
3. Kopiera programmet till PLC:n med *Online/Login* (Alt+F8).
4. Starta programmet med *Online/Run* (F5).

5. Öppna det grafiska gränssnittet under Visualizations-fliken.

6. Testa nu programmet genom att byta till automatisk mod och klicka på startknappen. Titta på delprogrammet Automatic_Operation under POUs-fliken. Vilket steg är aktivt nu? Klicka även på stoppknappen och observera vad som händer.

7. Stoppa och nollställ PLC:n med *Online/Reset* och avbryt monitoreringen med *Online/Logout* (Ctrl+F8). Ni kan nu antingen korrigera eventuella fel och därefter repetera stegen ovan, eller gå vidare med nästa delprogram.

Lycka till!

A Variabler för LEGO A

Ingångar, LEGO A	Namn
Påskjutare bottenplattor (främre/bakre ändl.)	S0/S1
Magasin för bottenplattor tomt	S2
Närvaroindikering vid press	•S3
Påskjutare (bil) vid press (främre/bakre ändl.)	S4/•S5
Påskjutare (bitar) vid press (främre/bakre ändl.)	S6/•S7
Press (nedre läge)	•S8
Rotationsgivare press	S9
Spärr vid press (främre/bakre ändl.)	S10/•S11
Närvaroindikering vid diagnosstation	•S13
Indikering av saknad chassibit	S12, S14, S15, S16
Spärr vid diagnosstation (främre/bakre ändl.)	S17/•S18
Närvaroindikering vid lagerstation	•S19
Påskjutare vid lagerstation (främre/bakre ändl.)	•S20/•S21
Spärr vid lagerstation (främre/bakre ändl.)	S22/S23
Närvaroindikering vid hiss	•S24
Hiss (övre/nedre ändl.)	S25/•S26
LEGO B redo	S27

Med • indikeras aktivt låg ingång.

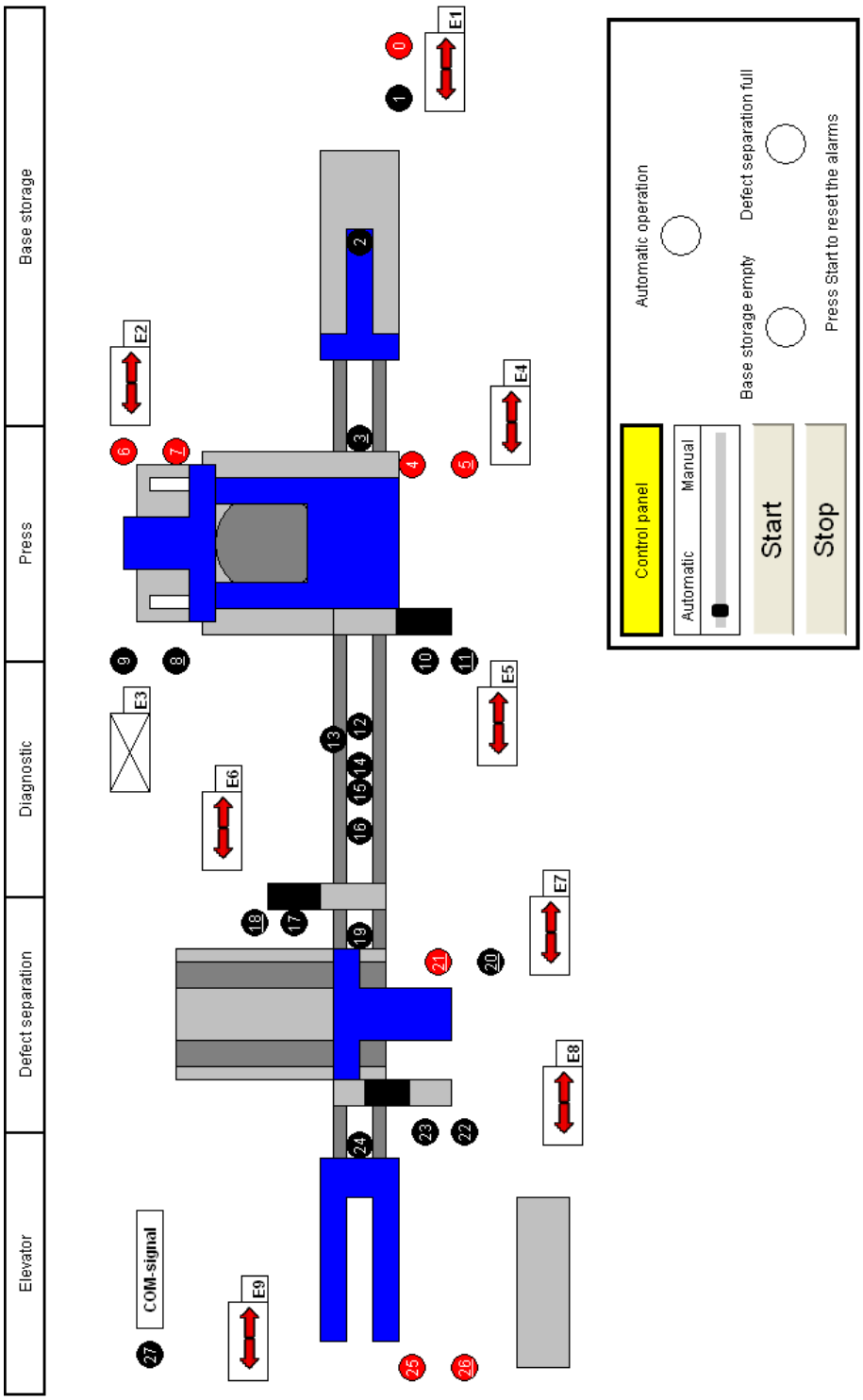
Utgångar, LEGO A	Namn
Transportband	E0*
Påskjutare för bottenplattor (fram/back)	E1F/E1B
Påskjutare (bitar) vid press (fram/back)	E2F/E2B
Press	E3
Påskjutare (bil) vid press (fram/back)	E4F/E4B
Spärr vid press (fram/back)	E5F/E5B
Spärr vid diagnosstation (fram/back)	E6F/E6B
Påskjutare vid lagerstation (fram/back)	E7F/E7B
Spärr vid lagerstation (fram/back)	E8F/E8B
Hiss (upp/ned)	E9U/E9D
Alarmlampa	ALARM**

* E0 ettställs med E0A, E0B, E0C, E0D, E0E eller E0F.
** ALARM ettställs med BASE_ALARM eller DEFECT_ALARM.

Globala variabler, LEGO A

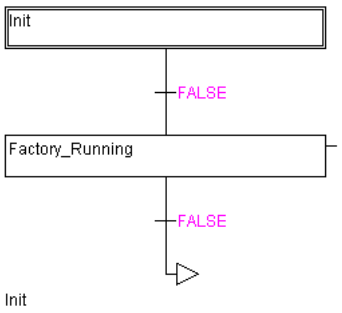
START	LOOK_FOR_CAR_PRESS	E3S
STOP	CAR_DETECTED_PRESS	E9US
RUN	CAR_ARRIVED_PRESS	E9DS
PRESS_READY	LOOK_FOR_CAR_DIAGNOSTICS	BASE_ALARM
DIAGNOSTICS_READY	CAR_ARRIVED_DIAGNOSTICS	DEFECT_ALARM
DEFECT_READY	LOOK_FOR_CAR_DEFECT	
ELEVATOR_READY	CAR_DETECTED_DEFECT	
LOOK_FOR_PLATES	CAR_ARRIVED_DEFECT	
NO_BASE_PLATES	LOOK_FOR_CAR_ELEVATOR	
START_PRESS	CAR_DETECTED_ ELEVATOR	
LOOK_FOR_BRICKS	CAR_ARRIVED_ELEVATOR	
MISSING_BRICKS	E0A, E0B, E0C, E0D, E0E, E0F	
FAULTY_CAR	EkFS, EkBS, k = $1, 2, 4, 5, 6, 7, 8$	

B Grafiskt gränssnitt för LEGO A

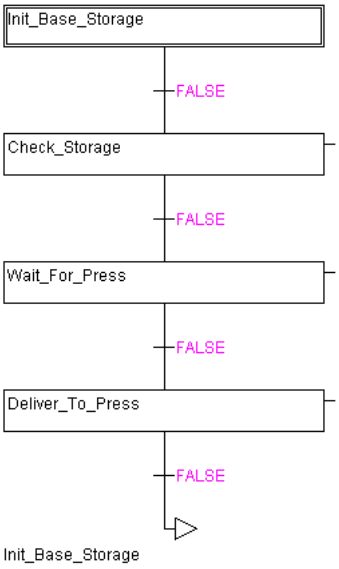


C Programmallar för LEGO A

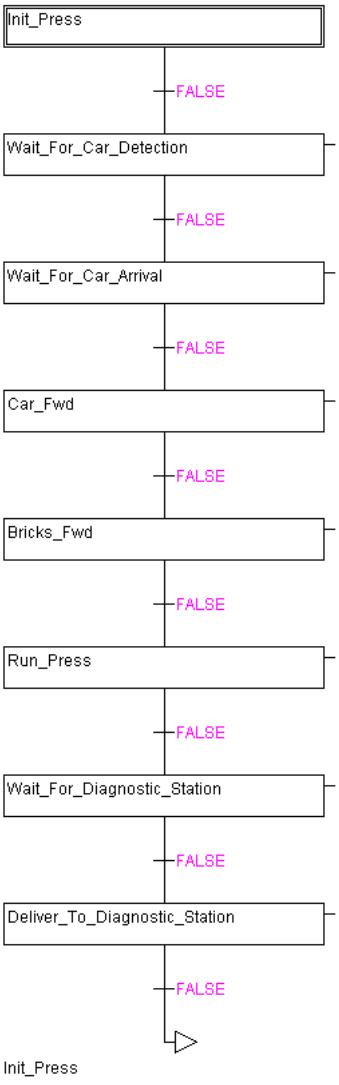
Automatic_Operation:



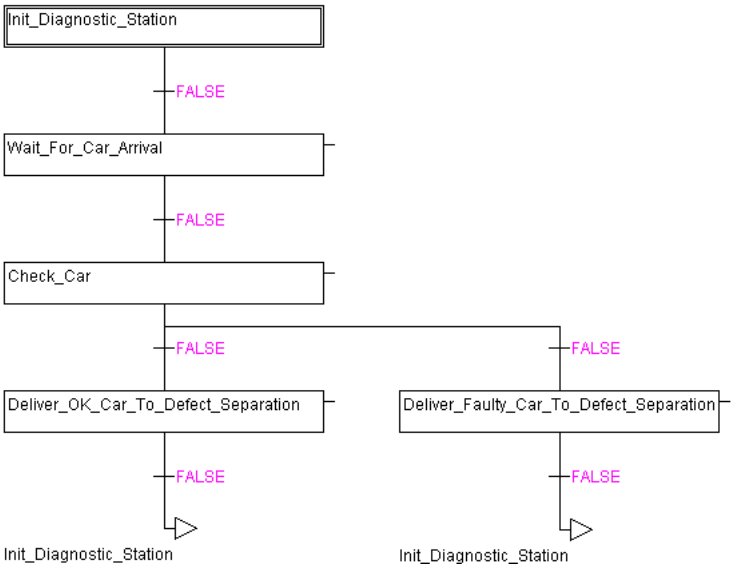
Base_Storage:



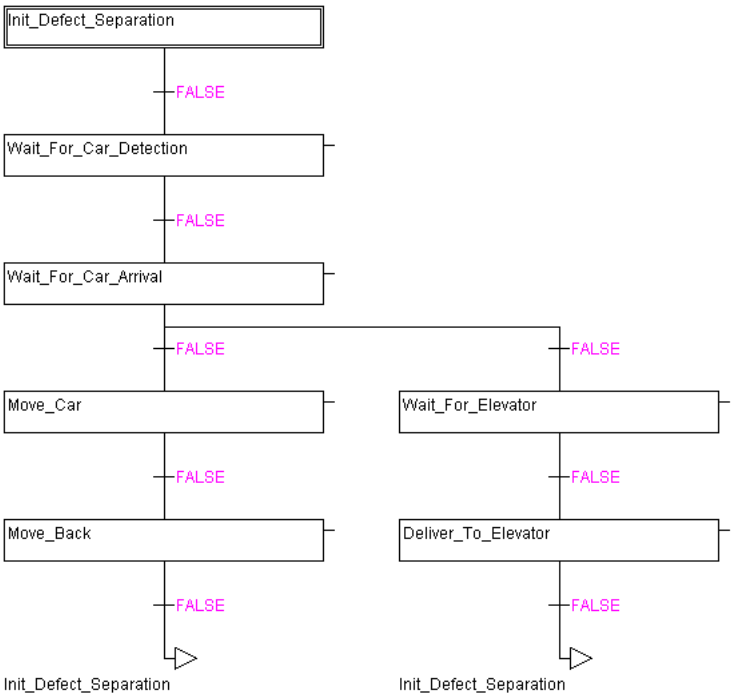
Press:



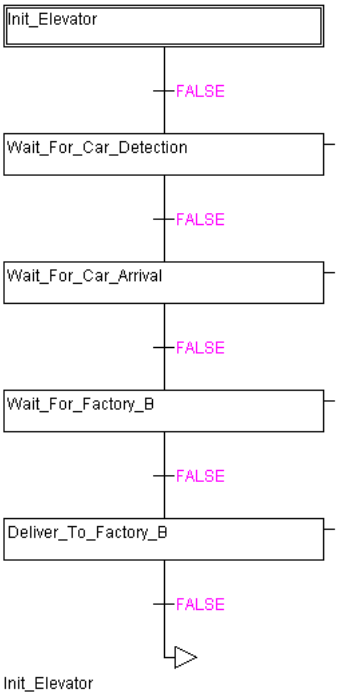
Diagnostic_Station:



Defect_Separation:



Elevator:


Init_Elevator
FALSE
Wait_For_Car_Detection
FALSE
Wait_For_Car_Arrival
FALSE
Wait_For_Factory_B
FALSE
Deliver_To_Factory_B
FALSE
Init_Elevator

D Variabler för LEGO B

Ingångar, LEGO B	Namn
Närvaroindikering vid lobby	•S0
Spärr vid lobby (främre/bakre ändl.)	S2/•S1
Närvaroindikering vid takmagasin	•S3
Påskjutare för tak (främre/bakre ändl.)	•S5/S4
Magasin för tak tomt	S6
Spärr vid takmagasin (främre/bakre ändl.)	S7/S8
Närvaroindikering vid press	•S9
Press (övre läge)	S10
Rotationsgivare press	S11
Spärr vid press (främre/bakre ändl.)	S12/S13
Närvaroindikering vid lager 1	•S14
Påskjutare vid lager 1 (främre/bakre ändl.)	•S15/•S16
Spärr vid lager 1 (främre/bakre ändl.)	S17/S18
Närvaroindikering vid lager 2	•S19
Påskjutare vid lager 2 (främre/bakre ändl.)	•S20/•S21

Med • indikeras aktivt låg ingång.

Utgångar, LEGO B	Namn
Transportband	E0*
Spärr vid lobby (fram/back)	E1F/E1B
Påskjutare för tak (fram/back)	E2F/E2B
Spärr vid takmagasin (fram/back)	E3F/E3B
Press (upp/ned)	E4U/E4D
Spärr vid press (fram/back)	E5F/E5B
Påskjutare vid lager 1 (fram/back)	E6F/E6B
Spärr vid lager 1 (fram/back)	E7F/E7B
Påskjutare vid lager 2 (fram/back)	E8F/E8B
Signal till LEGO A	LOBBY_READY
Alarmlampa	ALARM**

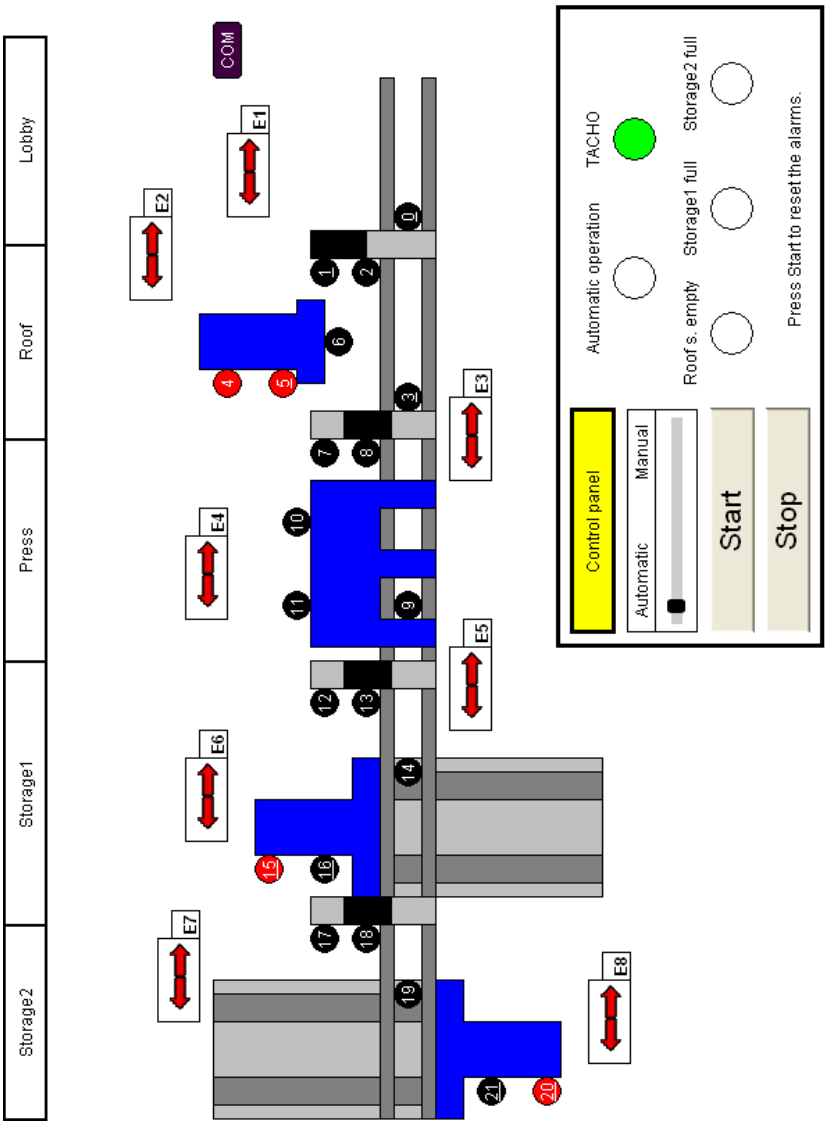
* E0 ettställs med E0A, E0B, E0C, E0D, E0E eller E0F.

** ALARM ettställs med ROOF_ALARM, STORAGE1_ALARM eller STORAGE2_ALARM.

Globala variabler, LEGO B

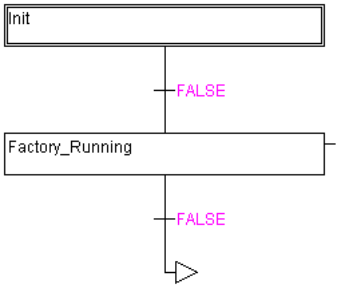
START	LOOK_FOR_CAR_LOBBY	E0AS
STOP	CAR_ARRIVED_LOBBY	E4US
RUN	LOOK_FOR_CAR_ROOF	E4DS
ROOF_READY	CAR_ARRIVED_ROOF	ROOF_ALARM
PRESS_READY	LOOK_FOR_CAR_PRESS	STORAGE1_ALARM
STORAGE1_READY	CAR_ARRIVED_PRESS	STORAGE2_ALARM
STORAGE2_READY	LOOK_FOR_CAR_STORAGE1	
LOOK_FOR_ROOFS	CAR_DETECTED_STORAGE1	
NO_ROOFS	CAR_ARRIVED_STORAGE1	
START_PRESS_UP	LOOK_FOR_CAR_STORAGE2	
START_PRESS_DOWN	CAR_DETECTED_STORAGE2	
TACHO	CAR_ARRIVED_STORAGE2	
TACHOTIME	E0A, E0B, E0C, E0D, E0E, E0F	
FAULTY_CAR	EkFS, EkBS, k = $1, 2, 3, 5, 6, 7, 8$	

E Grafiskt gränssnitt för LEGO B



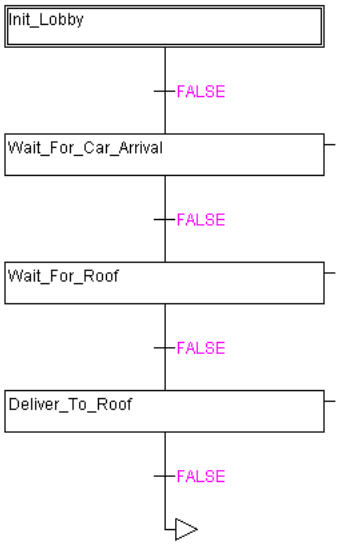
F Programmallar för LEGO B

Automatic_Operation:



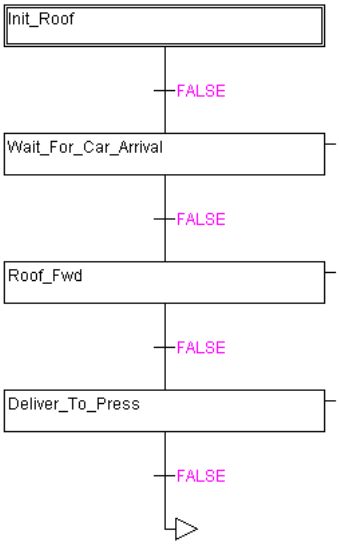
Init

Lobby:



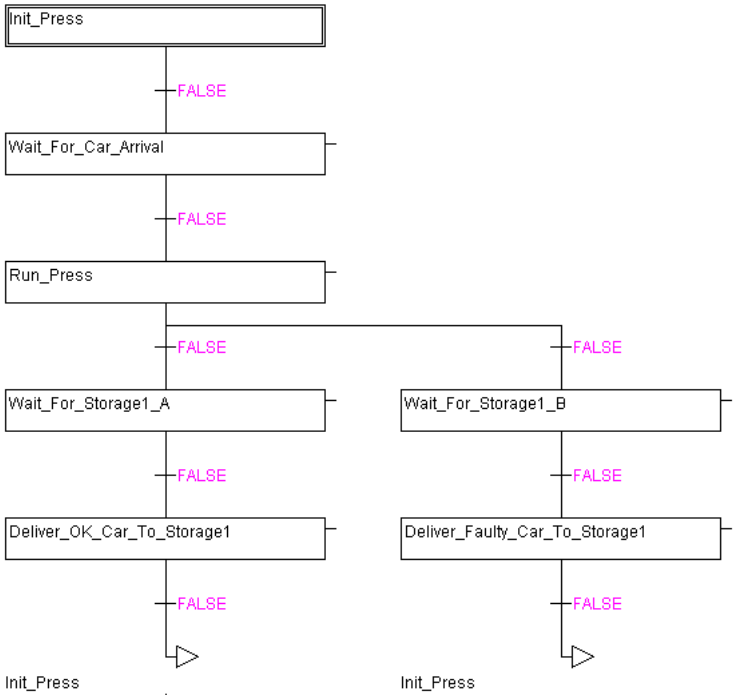
Init_Lobby

Roof:

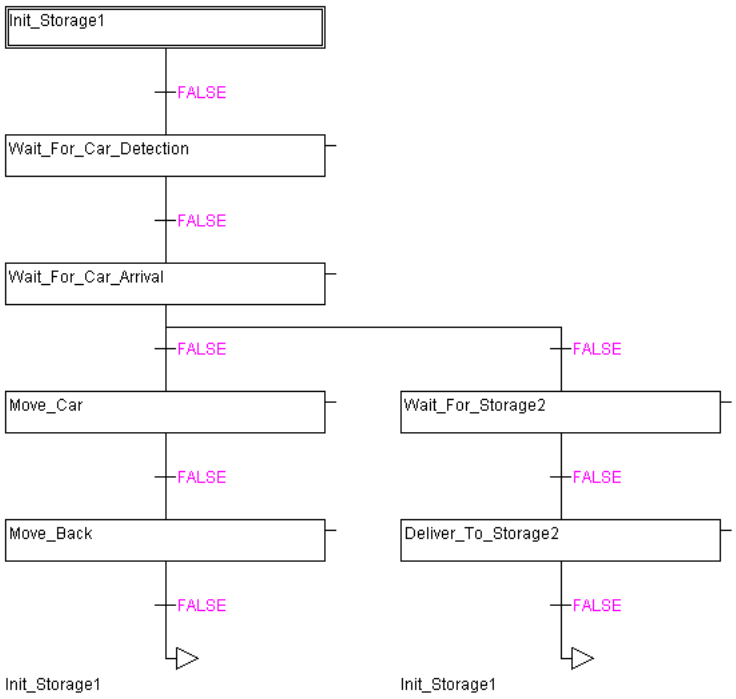


Init_Roof

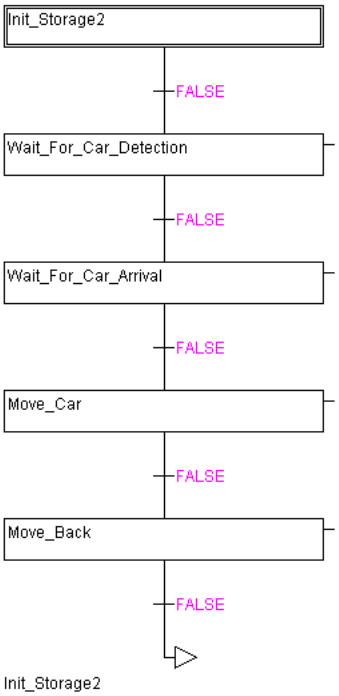
Press:



Storage1:



Storage2:


Init_Storage2
FALSE
Wait_For_Car_Detection
FALSE
Wait_For_Car_Arrival
FALSE
Move_Car
FALSE
Move_Back
FALSE
Init_Storage2