



CHALMERS



Digital tvilling av en slutstation inom pappersindustrin

Virtuell modellering i Emulate3D

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammen i Elektroteknik och Mekanik.

NAWAR ALTOUBA
YAMEN ALTOUBA

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2026
www.chalmers.se

Examensarbete, kurskod EENX20 2026

Digital tvilling av en slutstation inom pappersindustrin

Virtuell modellering i Emulate3D

Nawar Altouba
Yamen Altouba



CHALMERS

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2026

Digital tvilling av en slutstation inom pappersindustrin
Virtuell modellering i Emulate3D
NAWAR ALTOUBA
YAMEN ALTOUBA

© NAWAR ALTOUBA, 2026.
© YAMEN ALTOUBA, 2026.

Examensarbete, kurskod EENX20 2026
Institutionen för elektroteknik
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg Sverige
Telefon +46 31-772 1000

Göteborg, Sweden 2026

Förord

Denna rapport är ett examensarbete som har tagits fram vid Chalmers tekniska högskola. Arbetet har genomförts i samarbete med Core Link AB i Falkenberg och behandlar utvecklingen av en digital tvilling för ett pappersproduktionssystem. Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng och har utförts under en period på 20 veckor. Projektet innefattar centrala huvuddelar inom både mekatronik och elektronik med fokus på programmering, maskinteknik, fysik samt projektplanering.

Vi vill rikta ett stort tack till handledarna och medarbetarna på Core Link AB för deras stöd, tekniska vägledning och tillgång till relevant material under projektets gång. Vi vill även tacka vår examinator vid Chalmers för värdefulla synpunkter och vägledning under arbetets utveckling.

Nawar Altouba och Yamen Altouba, Göteborg 2026

Sammanfattning

Produktionslinjer inom pappersindustrin består ofta av flera sammankopplade delsystem där materialflöde, styrlogik och signalutbyte behöver fungera i rätt ordning. Syftet med arbetet är att utveckla en digital tvilling som kan användas för att simulera en slutstation i ett pappersproduktionssystem, testa styrlogiken och identifiera felkällor innan systemet byggs fysiskt. Arbetet genomförs i samarbete med Core Link AB i Falkenberg.

Arbetet utgår från frågeställningen om hur en digital tvilling kan utvecklas för att möjliggöra simulering av flöde, verifiering av styrlogik och identifiering av fel i ett tidigt skede. Målet är att skapa en virtuell modell i Emulate3D som kan kopplas till PLC-logik i Siemens TIA Portal och köras via S7-PLCSIM Advanced. Genom denna koppling kan signalutbytet mellan den virtuella modellen och styrprogrammet testas och justeras. Arbetet avgränsas genom att vissa komponenter förenklas eller egenmodelleras i Emulate3D eftersom fullständigt CAD-underlag saknas. Mekanisk dimensionering, hållfasthetsberäkningar och optimering av materialegenskaper ingår inte i arbetet.

Resultatet är en fungerande digital tvilling där det modellerade rullflödet kan simuleras enligt den avsedda funktionen. PLC-programmet styr modellen och testerna visar att signaler, sekvensövergångar och prioriteringar i flödet kan verifieras och korrigeras tills systemet fungerar enligt specifikationerna. Den framtagna modellen kan därmed användas som stöd för teknisk granskning, simulering och visualisering av systemets funktion innan fysisk byggnation. Resultatet kan även bidra till att minska risken för fel i styrlogik och materialflöde, underlätta fortsatt utveckling samt ge ett tydligare underlag vid kunddialog och försäljning.

Abstract

Production lines in the paper industry often consist of several interconnected subsystems where material flow, control logic and signal exchange need to function in the correct order. The purpose of the work is to develop a digital twin that can be used to simulate an end station in a paper production system, test the control logic and identify sources of error before the system is physically built. The work is carried out in collaboration with Core Link AB in Falkenberg.

The work is based on the research question of how a digital twin can be developed to enable flow simulation, verification of control logic and identification of errors at an early stage. The aim is to create a virtual model in Emulate3D that can be connected to PLC logic in Siemens TIA Portal and run via S7-PLCSIM Advanced. Through this connection, the signal exchange between the virtual model and the control program can be tested and adjusted. The work is limited by the fact that some components are simplified or self-modelled in Emulate3D because complete CAD data is missing. Mechanical dimensioning, strength calculations and optimization of material properties are not included in the work.

The result is a functioning digital twin in which the modelled roll flow can be simulated according to the intended function. The PLC program controls the model, and the tests show that signals, sequence transitions and priorities in the flow can be verified and adjusted until the system functions according to the specifications. The developed model can therefore be used as support for technical review, simulation and visualization of the system's function before physical construction. The result can also contribute to reducing the risk of errors in control logic and material flow, facilitate further development and provide a clearer basis for customer dialogue and sales.

Innehåll

Terminologi/ Förkortningar	v
1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Precisering av frågeställningen	2
2. Teoretisk / Teknisk bakgrund	3
2.1 Slutstation i en produktionslinje inom pappersindustrin	3
2.2 Digital tvilling	4
2.3 Emulate3D	4
2.3.1 Styrfunktioner i Emulate3D	4
2.3.2 C# i Emulate3D	5
2.4 PLC och styrlogik	5
2.4.1 Siemens TIA Portal	5
2.4.2 S7-PLCSIM Advanced	6
2.4.3 GRAPH programmeringsspråk	6
2.5 Simulering av materialflöden och virtuell idrifttagning	6
2.6 Verifiering och validering	6
3. Metod	7
3.1 Arbetsmetod	7
3.2 Datainsamling	7
3.3 Modellering och styrlogik	9
3.4 Verifiering och validering av systemet	10
4. Genomförande	11
4.1 Förberedelser och systemförståelse	11
4.2 Uppbyggnad av modellen i Emulate3D	13
4.2.1 Delstation 1: Inmatning av parent-rullar	13
4.2.2 Delstation 2: Inmatning och sammanföring av rullflöden	14
4.2.3 Delstation 3: Omplastning och vertikal orientering	16
4.2.4 Delstation 4: Vägning och slutlig transport	17
4.3 Utveckling av styrlogik	20
4.3.1 Delstation 1: Inmatning av parent-rullar	21
4.3.2 Delstation 2: Inmatning och sammanföring av rullflöden	23
4.3.3 Delstation 3: Omplastning och vertikal orientering	26
4.3.4 Delstation 4: Vägning och slutlig transport	32
4.4 Integrering mellan Emulate3D och PLC-simulering	37
4.5 Genomförda tester och justeringar	39
5. Resultat och diskussion	40
5.1 Modellens funktion och materialflöde	40
5.2 Verifiering av PLC-styrning och signalutbyte	40
5.3 Felkällor och justeringar	41
5.4 Diskussion, begränsningar och fortsatt arbete	42
5.5 Hållbarhet, säkerhet och etik	42
6. Slutsats	44
Referenser	45
Personreferenser	47
Bilagor	

Terminologi/ Förkortningar

Shuttle: Rörligt transportband som används för att flytta en rulle mellan två positioner i modellen.

I/O: Input/Output. In- och utgångssignaler som används för signalutbyte mellan PLC-programmet och den virtuella modellen.

CAD: Computer-Aided Design. Digitala konstruktionsunderlag och modeller av komponenter eller system.

.NET: Programplattform från Microsoft som används tillsammans med C#. I detta arbete är .NET relevant eftersom C#-skripten bygger på .NET-miljön.

IEC-61131-3: Bibliotek med standardiserade PLC-funktioner och instruktioner som kan användas vid programmering av styrlogik i PLC-miljön.

1. Inledning

Digitala tvillingar har under de senaste åren fått en allt större betydelse inom utvecklingen av tekniska och industriella system [1]. En digital tvilling kan beskrivas som en digital representation av ett fysiskt objekt, en struktur eller en process och används för att skapa en bättre förståelse för hur ett system fungerar och förändras över tid. Tekniken har framför allt fått genomslag inom industrin men har också börjat uppmärksammas inom andra områden, där den ses som ett möjligt stöd för analys, planering och beslutsfattande.

Inom industrin är digitala tvillingar särskilt relevanta eftersom de gör det möjligt att analysera system innan förändringar genomförs i verklig drift [2]. Genom simulering kan företag pröva olika scenarier, upptäcka svagheter i ett tidigt skede och skapa bättre underlag för utveckling och investeringar. Tekniken lyfts också fram som ett sätt att effektivisera resursutnyttjandet, minska kostnader och förebygga oplanerade produktionsstopp, vilket gör den värdefull i komplexa produktionsmiljöer.

1.1 Bakgrund

Core Link AB är ett företag med huvudkontor i Falkenberg som utvecklar kundanpassade systemlösningar för pappers- och convertingindustrin [3]. Företaget arbetar bland annat med system för rullhantering, rullinplastning och andra delar av materialflöden inom industrin. Det aktuella arbetet behandlar en slutstation till en produktionslinje inom pappersindustrin. Slutstationen omfattar flera delstationer där rullar ska transporteras, positioneras och hanteras i rätt ordning. Eftersom stationen består av flera sammankopplade enheter behöver materialflöde, styrlogik och signalutbyte fungera tillsammans. Om fel i materialflöde, givarsignaler eller sekvenslogik upptäcks sent i projektet kan det leda till tidskrävande justeringar vid byggnation och driftsättning. I värsta fall kan felaktiga rörelser eller bristande samordning mellan delsystem innebära risk för skador på personal, utrustning eller material. Därför fanns ett behov av att kunna testa och visualisera systemets funktion i en virtuell miljö innan fysisk byggnation.

Uppdraget gick därför ut på att utveckla en digital tvilling av en industriell slutstation i en produktionslinje. Genom den digitala modellen skulle flödet kunna simuleras, PLC-logiken verifieras och möjliga felkällor identifieras i ett tidigt skede. Modellen skulle även kunna användas som ett visuellt underlag vid genomgångar med kund eftersom systemets funktion kan visas innan det är färdigbyggt. Arbetet utfördes i samarbete med Core Link AB och baserades på ritningar, komponentlista, muntliga genomgångar med personal samt tillgängliga CAD-underlag för vissa delar, exempelvis komponentben och styrspår.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att utveckla en digital tvilling av en slutstation i en produktionslinje inom pappersindustrin. Den digitala tvillingen ska representera rullflödet genom stationens delsystem och användas för att simulera hur rullarna transporteras, positioneras, plastas, vägs och lämnar stationen. Modellen ska även kopplas till PLC-baserad styrlogik för att testa och verifiera samspelet mellan givarsignaler, interna kommunikationssignaler, rörelsekommandon och delstationernas sekvenser i en virtuell miljö. Arbetet ska resultera i en fungerande modell där stationens huvudsakliga flöde och styrfunktioner kan verifieras mot avsedd funktion innan fysisk byggnation och driftsättning.

1.3 Avgränsningar

1. Vissa komponenter i modellen är förenklade eller egenmodellerade eftersom fullständiga CAD-underlag ännu inte har varit tillgängliga. Detta innebär att modellen i vissa delar kan avvika något från den slutliga anläggningen.
2. Fokus i arbetet ligger på att identifiera felkällor i logik och flöde. Optimering av flödets effektivitet, materialegenskaper, mekaniska hållfasthetsberäkningar och konstruktionstekniks dimensionering ingår därför inte i arbetet.

1.4 Precisering av frågeställningen

Frågeställningen är hur en digital tvilling av slutstationen i ett pappersproduktionssystem kan utvecklas för att möjliggöra simulering av flöde, verifiering av styrlogik och identifiering av möjliga felkällor innan systemet byggs fysiskt. Med slutstationen avses i detta arbete den avslutande delen av produktionslinjen där rullar hanteras innan de lämnar det modellerade systemet.

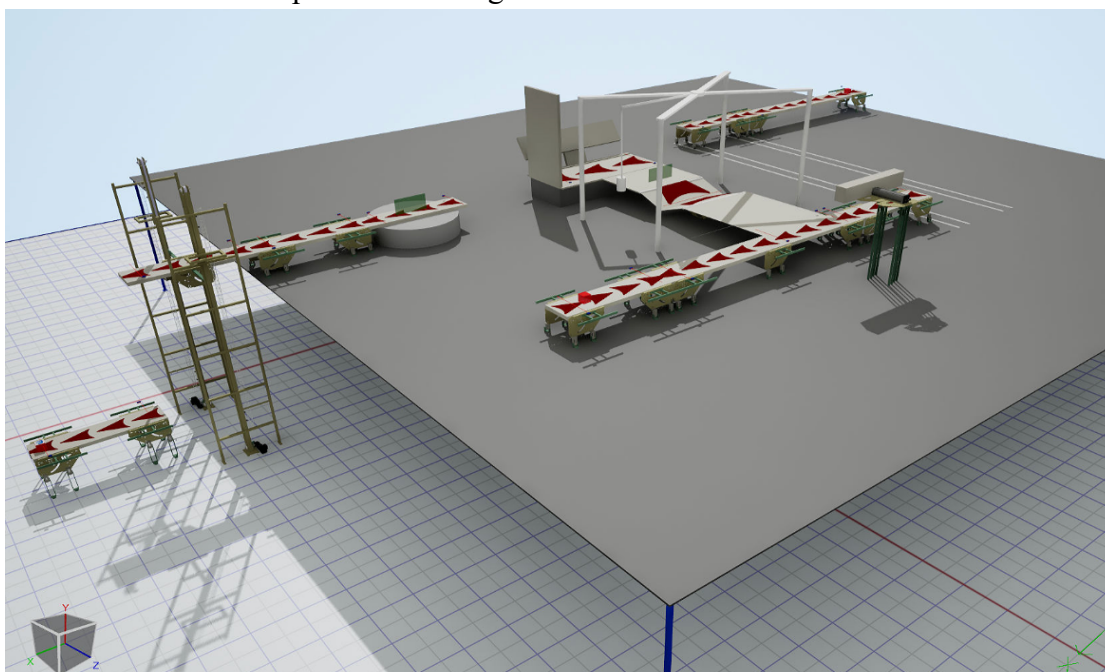
För att besvara frågeställningen behandlas vilka funktioner och komponenter som behöver ingå i den digitala modellen, hur slutstationens flöde ska byggas upp i Emulate3D och hur PLC-styrningen ska utformas i TIA Portal för att samverka med den digitala modellen genom signalutbyte. Vidare undersöks vilka felkällor i logik och flöde som kan identifieras genom simulering, hur olika driftfall och prioriteringar kan testas för att verifiera att flödet fungerar enligt den avsedda sekvensen samt hur den digitala tvillingen kan användas som underlag för vidare utveckling, teknisk granskning och visualisering av systemets funktion.

2. Teoretisk / Teknisk bakgrund

Detta kapitel ger den tekniska bakgrund som behövs för att förstå arbetets genomförande och resultat. Fokus ligger på de begrepp, verktyg och principer som är centrala för utvecklingen av en digital tvilling med koppling till PLC-baserad styrning och virtuell simulering.

2.1 Slutstation i en produktionslinje inom pappersindustrin

Den studerade slutstationen utgör den avslutande delen av en produktionslinje inom pappersindustrin och används för vidare hantering av pappersrullar. Stationen hanterar två typer av rullar: parent-rullar och reload-rullar. Parent-rullar är ordinarie rullar som matas in från produktionslinjen medan reload-rullar är omarbetade rullar och matas in separat i flödet. Slutstationen är uppbyggd för att ta emot, transportera och vidarebehandla både parent-rullar och reload-rullar innan de lämnar systemet för fortsatt hantering. Enligt underlag från Core Link AB består den första delstationen av en rullinmatning av parent-rullar, där rullarna matas in via en anslutande ramp till den mottagande transportören och därefter transporteras vidare med hjälp av en rörlig transportenhet. Reload-rullar matas in från ett annat håll via en separat rullinmatning. De två flödena sammanförs därefter i den fortsatta hanteringen inom slutstationen. Modellens olika delar presenteras i Figur 2.1.



Figur 2.1. Översikt över den modellerade slutstationen i Emulate3D.

I den senare delen av stationen transporteras rullarna vidare mot en hydraulisk skjutenhet som leder dem vidare till omplastningsmaskinen. Därefter följer funktioner för orientering, vägning och märkning, där systemet omfattar bland annat upplyftningsenhet, vägningsstation, automatisk etikettering samt efterföljande transportörer och hissfunktioner för vidare förflyttning. Slutstationen är därmed uppbyggd som ett sammanhängande system där flera mekaniska delfunktioner och sensorsignaler samverkar för att säkerställa att rullarna hanteras, positioneras och förbereds korrekt innan upphämtning eller vidare transport.

2.2 Digital tvilling

En digital tvilling är en virtuell representation av ett fysiskt objekt eller system och används för att spegla systemets beteende, prestanda och tillstånd med hjälp av data [4]. Den skiljer sig från en vanlig 3D-modell eftersom en 3D-modell främst beskriver hur ett objekt ser ut, medan en digital tvilling även kan användas för att analysera hur systemet fungerar under olika förutsättningar.

Digitala tvillingar kan användas för simulering, analys och uppföljning under ett systems livscykel samt för att testa scenarier i en virtuell miljö innan förändringar genomförs i verkligheten [4]. Detta gör tekniken användbar vid utveckling och felsökning av tekniska processer, eftersom möjliga problem och förändringar kan undersökas digitalt innan de påverkar det fysiska systemet.

2.3 Emulate3D

Emulate3D är ett simuleringsverktyg som används för att bygga upp och analysera industriella system i en virtuell miljö [5]. Verktøget kan användas för att skapa dynamiska modeller där mekaniska objekt, rörelser, sensorer och styrfunktioner kopplas samman.

För maskinbyggare kan Emulate3D användas för att skapa testmodeller i en virtuell miljö och för att prova sekvenser och timing innan en fysisk prototyp används [6]. Verktøget kan även kombinera mekaniskt CAD-underlag med verklig styrlogik för att skapa en dynamisk digital tvilling där systemets funktion kan visualiseras och verifieras.

Emulate3D kan också användas för kontroll av styrsystem, där en virtuell modell kopplas till ett styrsystem för att testa logik, signaler och sekvensbeteende innan driftsättning [7]. Detta gör verktøget användbart vid virtuell idrifttagning, eftersom fel i styrlogik och signalutbyte kan identifieras innan systemet byggs eller testas fysiskt.

2.3.1 Styrfunktioner i Emulate3D

Emulate3D innehåller flera funktioner för att styra rörelser och skapa signaler i en virtuell modell. *Generic Controller* används för att styra rörelsebeteenden hos objekt, exempelvis genom parametrar för motorläge, målhastighet, acceleration och retardation [8]. *Advanced Actuation Controller* kan användas för rörelse och lägesrelaterad styrning, där rörliga komponenter kopplas till styrsignaler och återkoppling från exempelvis bestämda lägen eller avstånd [9]. *Counting Encoder* används för positionsåterkoppling från en modellerad rörelse och räknar utifrån den sträcka som en motor har rört sig [10]. Detta gör att rörelsen kan omvandlas till ett positionsvärde som kan användas i styrlogiken.

2.3.2 C# i Emulate3D

C# är ett programmeringsspråk inom .NET-plattformen och används för att skapa program med tydlig struktur genom exempelvis klasser, metoder, egenskaper och händelser [11]. Språket bygger på objektorienterade principer, vilket innebär att funktioner och data kan samlas i objekt som beskriver hur en viss del av ett program ska bete sig. I Emulate3D kan C#-skript användas för att ge modellobjekt anpassade beteenden som inte enbart bygger på färdiga standardfunktioner [12]. Ett skript kan kopplas till ett objekt och reagera på händelser i modellen, ändra objektets egenskaper och hantera signalvärden som kan användas i kommunikationen med styrlogik.

2.4 PLC och styrlogik

En Programmable Logic Controller som förkortas till PLC, är en industriell styrenhet som används för realtidsstyrning av maskiner, processer och produktionslinjer [13]. PLC:n arbetar tillsammans med den omgivande processen genom in och utgångar som även kallas för I/O-moduler. Signaler från exempelvis givare, brytare och andra fältkomponenter läses in, bearbetas och används för att styra anslutna enheter såsom motorer, ventiler och andra ställdon. På så sätt fungerar PLC:n som den centrala styrenheten i ett automatiserat system och möjliggör kontinuerlig och tillförlitlig drift i industriella miljöer.

Styrlogiken utgör den del av PLC-programmet som bestämmer hur systemet ska reagera på olika signaler, tillstånd och förändringar i processen [13]. Denna logik kan uttryckas med olika programmeringsspråk beroende på vilken typ av funktion som ska implementeras. IEC 61131-3 omfattar bland annat programmeringsspråken Ladder Diagram (LD), Function Block Diagram (FBD), Structured Text (ST), Sequential Function Chart (SFC) och Instruction List (IL) [13]. LD används ofta för diskret styrning och bygger på en grafisk struktur med rötter i relälogik, FBD används för blockbaserad logik, ST är textbaserat och lämpar sig för mer avancerad databehandling medan SFC används för att beskriva sekvensstyrda förlopp steg för steg. IL är ett textbaserat instruktionsspråk med enklare, radbaserade kommandon och används för mer lågnivåorienterad PLC-programmering.

2.4.1 Siemens TIA Portal

Siemens TIA Portal är en utvecklingsmiljö för Siemens automationssystem. Verktöget används för att konfigurera hårdvara, skapa PLC-projekt, programmera styrlogik samt testa och diagnostisera SIMATIC-styrenheter [14]. TIA Portal används därmed som en central programmiljö för Siemens PLC-system och tillhörande automationskomponenter.

2.4.2 S7-PLCSIM Advanced

S7-PLCSIM Advanced är ett simuleringsverktyg från Siemens som används för att simulera och testa Siemens PLC-system i en virtuell miljö [15]. Programmet kan skapa en simulerad PLC-instans där ett PLC-program kan köras utan en fysisk styrenhet. Den simulerade PLC-instansen kan även kopplas till andra programvaror eller simuleringsmiljöer.

2.4.3 GRAPH programmeringsspråk

GRAPH är ett grafiskt sekvensspråk i Siemens TIA Portal som används för att programmera processer där flera moment ska utföras i en bestämd ordning [16]. Språket liknar principen för Sequential Function Chart, SFC som nämns tidigare i avsnittet om PLC och styrlogik. I Siemens TIA Portal används GRAPH som verktyg för sekvensprogrammering. Programstrukturen delas upp i steg och övergångar, där varje steg innehåller de åtgärder som ska utföras och övergångarna innehåller villkor för när programmet får gå vidare till nästa steg [16]. Ett GRAPH-program byggs upp med ett GRAPH-funktionsblock, ett tillhörande instansdatablock och ett överordnat kodblock. Detta gör språket lämpligt för styrning av processer där flera moment ska utföras i en bestämd ordning och där varje steg styrs av tydliga villkor.

2.5 Simulering av materialflöden och virtuell idrifttagning

Simulering av materialflöden används för att utvärdera och optimera hur produkter och maskiner rör sig genom ett produktionssystem innan det byggs upp fysiskt [17]. När en virtuell anläggningsmodell kopplas till verklig styrlogik exempelvis PLC-system, övergår processen i virtuell idrifttagning. Denna sammankoppling gör det möjligt att i en digital miljö studera interaktioner samt verifiera systemets cykeltider, genomströmning och sekvenser. När mjukvarufel, flaskhalsar och integrationsproblem identifieras redan under utvecklingsfasen minskar behovet av fysiska stresstester, vilket kan förkorta ledtiderna och minska risken för kostsamma driftstopp vid den slutliga installationen.

2.6 Verifiering och validering

Verifiering och validering används för att bedöma om en simuleringsmodell är korrekt uppbyggd och användbar för sitt syfte [18]. Verifiering innebär att kontrollera att modellen är korrekt implementerad, medan validering handlar om att bedöma om modellen har tillräcklig noggrannhet för det användningsområde den är avsedd för. Skillnaden mellan begreppen är därför att verifiering fokuserar på om modellen har byggts på rätt sätt medan validering fokuserar på om modellen beskriver rätt systembeteende för sitt avsedda användningsområde.

3. Metod

I detta kapitel beskrivs projektets metodik och övergripande arbetsgång. Här behandlas hur arbetet har lagts upp samt vilka tillvägagångssätt som valts för projektets olika delar.

3.1 Arbetsmetod

Uppbyggnaden av den digitala tvillingen genomfördes med utgångspunkt i slutstationens funktion och materialflöde. Arbetet delades in i modellering av den virtuella miljön, utveckling av PLC-baserad styrlogik, koppling av I/O-signaler samt testning och justering av modellen. Dessa delar genomfördes iterativt, vilket innebär att modellen, styrlogiken och signalutbytet utvecklades parallellt och justerades efter återkommande tester.

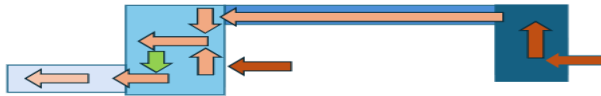
Slutstationen delades upp i flera delstationer utifrån rullflödets funktionella steg. Varje delstation analyserades utifrån vilka rörelser, givarsignaler och styrsignaler som behövdes för att rullen skulle kunna transporteras vidare enligt den avsedda sekvensen. Den virtuella modellen byggdes därefter upp i Emulate3D, samtidigt som motsvarande styrlogik utvecklades i TIA Portal. Genom S7-PLCSIM Advanced kunde PLC-programmet kopplas till modellen och användas för att styra den virtuella slutstationen.

Arbetsmetoden byggde på kontinuerlig verifiering av modellens funktion. Efter att en funktion eller delsekvens hade byggts upp testades den genom att jämföra rullens rörelse i Emulate3D med signalvärden och sekvenssteg i TIA Portal. När avvikelser upptäcktes justerades modellens komponenter, fotocellsensorernas placering och lägesindikeringar, signaladresser eller PLC-villkor tills funktionen motsvarade det avsedda beteendet. På detta sätt kunde modellen utvecklas stegvis till ett sammanhängande flöde där delstationerna samverkade med varandra. Det stegvisa arbetssättet gjorde det möjligt att verifiera varje delsystem innan nästa del kopplades in vilket minskade risken att fel spreds vidare i modellen.

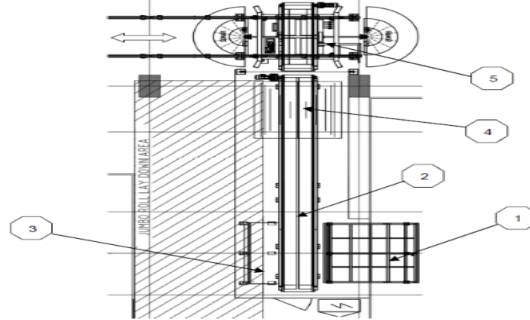
3.2 Datainsamling

Datainsamlingen genomfördes för att skapa en tillräcklig förståelse för slutstationens uppbyggnad, funktion och materialflöde. Underlaget bestod av ritningar, komponentlista, muntliga genomgångar med personal från Core Link AB samt tillgängliga CAD-underlag för vissa delar av systemet. Ritningarna användes för att identifiera stationens delsystem, rullflödets riktning och de komponenter som skulle ingå i den digitala modellen, medan komponentlistan användes för att koppla modellens delar till den numrering som fanns i ritningsunderlaget. De muntliga genomgångarna kompletterade ritningarna med funktionsbeskrivningar av hur rullarna skulle transporteras, positioneras och överlämnas mellan delstationerna. Genom dessa genomgångar klargjordes även vilka komponenter som var nödvändiga för modellens syfte och vilka delar som kunde förenklas eller exkluderas. Det projektspecifika underlaget visas i Figur 3.1 och Figur 3.2.

Produktionslinje Digital Tvilling

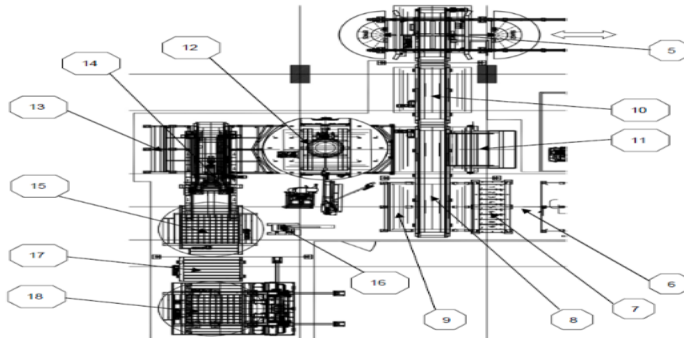


Roll handling including:		
1	Connecting steel ramp from Tissue Machine	1 pc
2	PVC V-shape conveyor for receiving parent rolls L=7000 mm	1 pc
3	Fixed stopper	1 pc
4	PVC V-shape conveyor for parent rolls L=3000 mm	1 pc
5	Shuttle with PVC V-shape conveyor for parent rolls L=3000 mm onboard (Distance of operation is approx. 45m)	1 pc

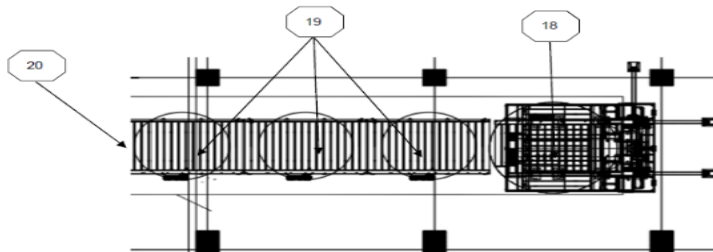


Figur 3.1. Projektunderlag del 1/2.

Roll handling including:		
6	Connecting steel ramp from Rewinder	1 pc
7	Selectable stopper with 9 wedges L=3000mm	1 pc
8	PVC V-shape conveyor for receiving parent rolls L=7000 mm	1 pc
9	Fixed stopper	1 pc
10	PVC V-shape conveyor for parent rolls L=3000 mm	1 pc
11	Hydraulic kicker	1 pc
12	Wrapper machine including steel ramps and ejection device	1 pc
13	Fixed stopper	1 pc
14	Hydraulic up-ender with PVC V-shape conveyor and rotating roller conveyor	1 pc
15	Weighing device on rotating roller conveyor (for 270 degrees application of label)	1 pc
16	Automatic label device incl. software	1 pc
17	Roller conveyor for feeding the roll elevator	1 pc



Roll handling including:		
18	Elevator with roller/slat conveyor for parent rolls L=3000 mm onboard	1 pc
19	Roller/slat conveyor for parent rolls L=3000 mm	3 pc
20	Truck stop for pick-up of parent rolls	1 pc



Figur 3.2. Projektunderlag del 2/2.

Utöver det projektspecifika underlaget inhämtades teknisk information om Emulate3D och TIA Portal genom programdokumentation, upplärningsmaterial och praktiska tester i programmiljöerna. Informationen användes för att förstå vilka funktioner som kunde användas vid modelluppbyggnad, rörelsestyrning, lägesindikeringar, C#-baserad skriptning, signalhantering och koppling mellan den digitala modellen och PLC-styrningen.

3.3 Modellering och styrlogik

Den digitala modellen byggdes upp i Emulate3D genom att slutstationen delades in i funktionella delstationer utifrån rullflödets olika steg. Varje delstation modellerades med de komponenter som behövdes för att återge stationens huvudsakliga funktion, exempelvis transport, positionering, överlämning och rörelse mellan olika delar av systemet. Där fullständiga CAD-underlag saknades användes förenklade eller egenmodellerade komponenter. Fokus låg därför på att återskapa stationens funktionella beteende snarare än att återge varje mekanisk detalj exakt.

Modellens rörliga delar tilldelades funktioner som motsvarade deras roll i systemet exempelvis transportbandsegenskaper, motorfunktioner, rörelseriktningar och styrda förflyttningar. Fotocellsensorerna samt vägningsgivaren modellerades med realistiska CAD-baserade sensorobjekt och fick sensorfunktion genom C#-skript i Emulate3D. Dessa användes för att registrera rullarnas positioner och vikt samt skapa de givarsignaler som behövdes i styrlogiken. Lägesindikeringar för rörliga komponenter skapades med *Advanced Actuation Controller* funktion i Emulate3D för att representera exempelvis hemposition, utposition och arbetsläge. I delar av omlastningsenheten användes *Counting Encoder* funktion i Emulate3D för att beräkna positionsvärde. Positionsvärde användes för att följa armens rotationsläge och beräkna slutpositionsvärdet i PLC-logiken.

Styrlogiken utvecklades i Siemens TIA Portal där sekvensprogrammering utfördes med språket GRAPH. PLC-systemet byggdes upp med en virtuell Siemens S7-1500-konfiguration. I konfigurationen ingick även en digital I/O-modul som användes för att strukturera in och utgångssignalerna i den simulerade PLC-miljön. Valet av dessa komponenter baserades på projektets behov samt Core Link AB:s rekommendation. PLC-programmet strukturerades genom att skapa separata funktionsblock för de olika komponenterna i modellen. Funktionsblocken anropades därefter från huvudprogrammet Main, där de kopplades samman till en övergripande styrstruktur. Till varje funktionsblock användes tillhörande datablock för att lagra sekvenssteg, interna tillstånd och kommunikationssignaler. Varje delsekvens byggdes upp med villkor baserade på givarsignaler, interna kommunikationssignaler och lägesindikeringar.

För att koppla styrlogiken till modellen skapades motsvarande I/O-signaler i både TIA Portal och Emulate3D. Givarsignaler från den virtuella modellen användes som insignaler till PLC-programmet medan PLC-utgångar användes för att styra motorer, rörelser och sekvenssteg i Emulate3D. S7-PLCSIM Advanced användes för att köra PLC-programmet som en virtuell PLC-instans, vilket gjorde det möjligt att testa styrlogiken mot modellen utan fysisk PLC-hårdvara. Denna struktur gjorde det möjligt att programmera och testa varje delsystem separat innan det kopplades samman med övriga delar av flödet. På detta sätt kunde modellen och styrlogiken utvecklas parallellt och anpassas efter varandra under arbetets gång.

3.4 Verifiering och validering av systemet

Verifieringen genomfördes för att kontrollera att den digitala modellen, PLC-logiken och signalutbytet var korrekt uppbyggda i förhållande till den avsedda funktionen. Detta gjordes genom att jämföra rullens rörelse och komponenternas beteende i Emulate3D med signalvärden och sekvenssteg i TIA Portal. På så sätt kunde det kontrolleras att givarsignaler och lägesindikeringssignaler från modellen påverkade rätt PLC-ingångar och att PLC-utgångarna styrde rätt motorer, rörelser och sekvenssteg i den virtuella modellen. Verifieringen utfördes både för enskilda delstationer och för det sammanhängande flödet. För varje delstation kontrollerades att givare aktiverades vid rätt position, att sekvensen gick vidare enligt rätt villkor och att överlämningen till nästa delstation endast skedde när mottagande del var redo.

Valideringen baserades på en jämförelse mellan modellens beteende och den funktionsbeskrivning som tagits fram utifrån ritningsunderlag och muntliga genomgångar med Core Link AB. Fokus låg på att bedöma om modellen återgav slutstationens huvudsakliga funktion på en tillräcklig nivå för virtuell testning. Därför kontrollerades att rullarna transporterades i rätt riktning, att övergångarna mellan delstationerna skedde i rätt ordning och att prioriteringen mellan inflöden följde den avsedda logiken. När avvikelser upptäcktes justerades modellen eller PLC-programmet varefter systemet verifierades på nytt. Justeringarna kunde exempelvis omfatta givarnas placering, signaladresser, villkor för sekvensövergångar eller återställning av interna signaler. Valideringen kompletterades även genom avstämningar med personal från Core Link AB, där modellens flöde, delstationernas funktion och överlämningarna mellan delsystemen jämfördes med den avsedda anläggningsfunktionen.

4. Genomförande

I detta kapitel beskrivs hur den digitala tvillingen och den PLC-baserade styrningen togs fram. Kapitlet redovisar modellens omfattning, delstationernas uppbyggnad i Emulate3D, PLC-programmets struktur, integrationen mellan Emulate3D och S7-PLCSIM Advanced samt de tester och justeringar som genomfördes för att verifiera systemets funktion.

4.1 Förberedelser och systemförståelse

För att ge en översikt över den digitala modellens omfattning redovisas de komponenter som ingick i modelluppbyggnaden i Tabell 4.1. Tabellen utgår från komponentnumreringen i ritningsunderlaget och används som referens i den fortsatta beskrivningen av delstationerna. Komponenterna är indelade efter vilken delstation de tillhör samt om de modellerades i Emulate3D eller exkluderades från modellen.

Tabell 4.1. Modellkomponenter och tillhörande numrering enligt ritningsunderlag

<i>Nr</i>	Komponentbenämning	Delstation
1	Rullgenerator	Delstation 1
2	Transportband	Delstation 1
3	Mekaniskt stopp	Exkluderad
4	Transportband	Delstation 2
5	Rörligt transportband	Delstation 1
6	Rullgenerator	Delstation 2
7	Valbart stopp	Exkluderad
8	Transportband	Delstation 2
9	Mekaniskt stopp	Exkluderad
10	Transportband	Delstation 2
11	Hydraulisk skjutare	Delstation 2
12	Omplastningsenhet	Delstation 3
13	Mekaniskt stopp	Delstation 3
14	Upprättare med roterande transportband	Delstation 3
15	Vägningsenhet	Delstation 4
16	Etiketteringsmaskin	Exkluderad
17	Transportband	Delstation 4
18	Hiss	Delstation 4
19	Utgående transportband	Delstation 4
20	Truckstopp	Exkluderad

Komponent 1 och 6 ersattes i modellen med rullgeneratorer för att representera inmatningen av parent-rullar respektive reload-rullar. Komponent 3, 7, 9, 16 och 20 exkluderades efter avstämning med personal från Core Link AB, eftersom de inte bedömdes vara nödvändiga för att återge modellens huvudsakliga flöde och styrlogik. I den fortsatta beskrivningen används komponentnumreringen i Tabell 4.1 för att koppla modellens uppbyggnad till ritningsunderlaget.

Modellen byggdes med en kombination av CAD-baserade delar och egenmodellerade komponenter i Emulate3D. De CAD-baserade delarna omfattade komponentben, fotocellsensorer, vägningsgivare, styrspår för rörliga enheter, hydrauliska armar, stativstödben för skjutare och stödarmar. Övriga komponenter byggdes upp eller förenklades direkt i Emulate3D utifrån den funktion de skulle representera i modellen. Syftet var därför inte att återskapa varje mekanisk detalj exakt utan att bygga en funktionell modell där rullflöde, rörelser och styrsignaler kunde testas mot PLC-logiken.

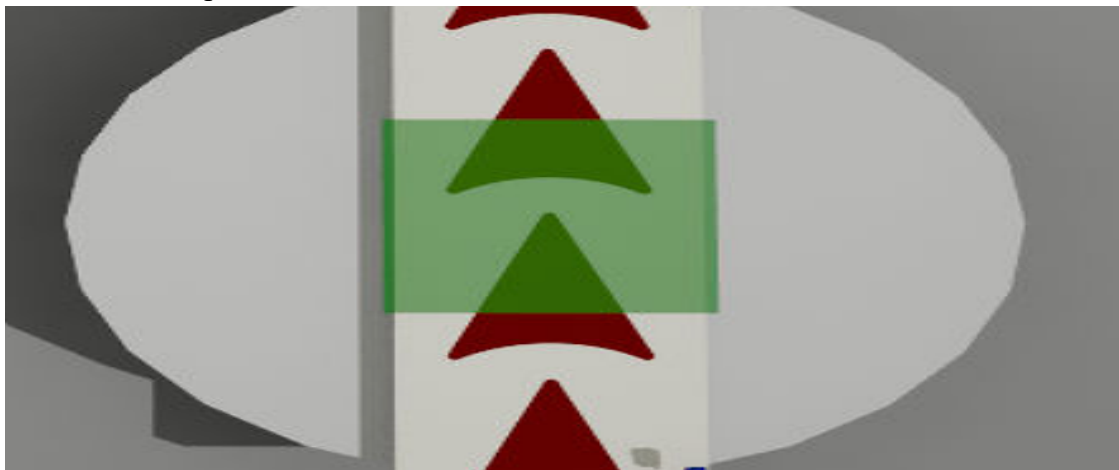
För att modellen ska kunna styras och verifieras mot PLC-programmet kompletterades den med flera typer av styrfunktioner och deras tillhörande signaler i Emulate3D. Fotocellsensorerna byggdes med en CAD-baserad sensormodell, vilket visas i Figur 4.1. Sensorerna tilldelades därefter funktion med hjälp av C#-skript.



Figur 4.1. CAD-baserad fotocellsensormodell i Emulate3D.

Fotocellsensorerna används för att skapa signaler när rullar passerar eller befinner sig vid bestämda positioner i flödet. Lägesindikeringar för rörliga komponenter, exempelvis hemposition, utposition och arbetsläge, skapas med Emulate3D styrfunktioner och används som återkoppling till PLC-logiken. Transportbandens och de rörliga komponenternas motorläge, körriktning och flödesriktning hanteras med *Generic Controller* funktioner. Plastningsarmens rotationsläge i omplastningsenheten hanteras med *Counting Encoder* funktion, som används för att beräkna positionsvärde under rörelse. I den avslutande delen av modellen används även en CAD-baserad vägningsensor, vilket visas i Figur 4.1.1. Viktavläsning och viktvisualisering hanteras

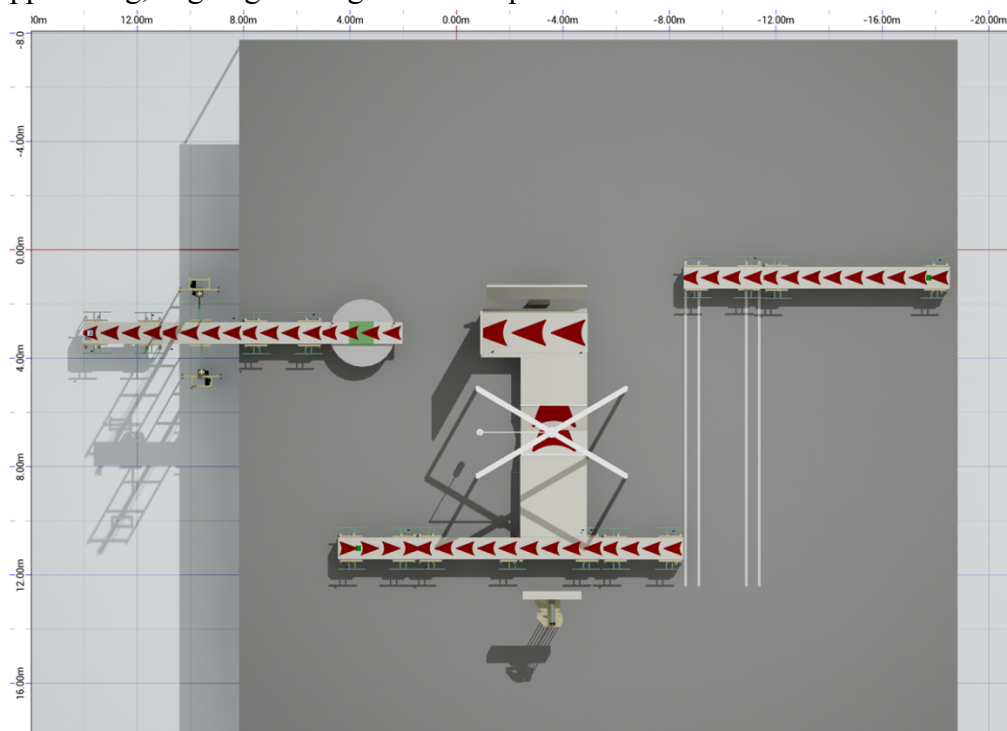
med ett C#-skript.



Figur 4.1.1. Vägningssensorsmodellen i Emulate3D.

4.2 Uppbyggnad av modellen i Emulate3D

Efter att modellens omfattning och komponentindelning hade fastställts byggdes slutstationen upp i Emulate3D. Modellen delades in i fyra delstationer utifrån rullflödets funktionella steg. Figur 4.2 visar en översikt över den färdiga digitala modellen där rullarna transporteras genom inmatning, sammanföring, omplastning, upprättning, vägning och utgående transport.

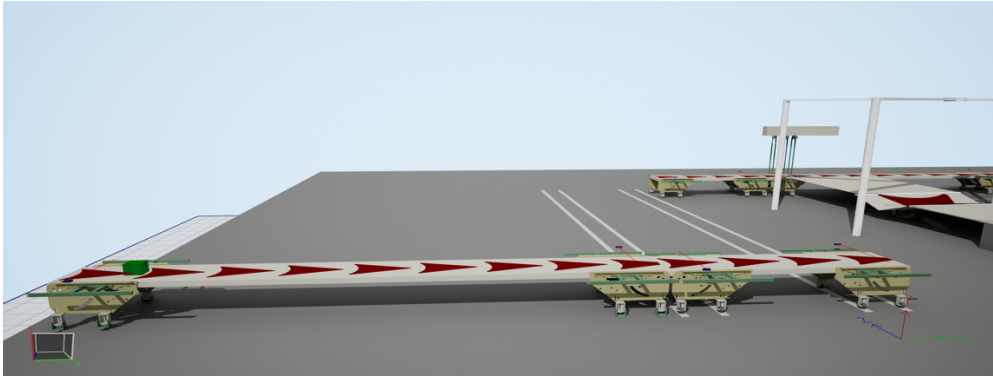


Figur 4.2. Översikt över den digitala modellen av slutstationen i Emulate3D.

4.2.1 Delstation 1: Inmatning av parent-rullar

Delstation 1 modellerades för att representera inmatningen av parent-rullar och den första transportsträckan i slutstationen. Delstationen består av en rullgenerator, ett sju

meter långt transportband 2 och ett tre meter långt rörligt transportband, även benämnt Shuttle se Figur 4.2.1.



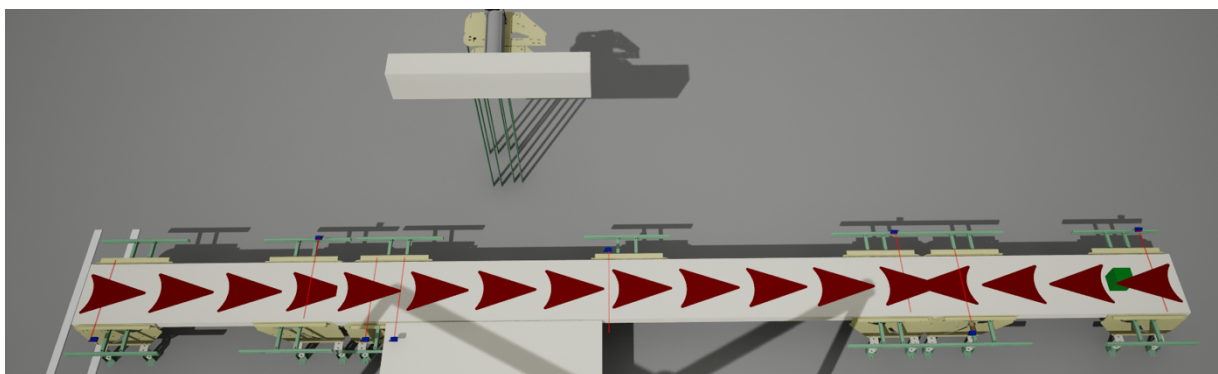
Figur 4.2.1. Delstation 1 i Emulate3D med rullgenerator, transportband 2 och rörligt transportband.

Transportbanden byggdes upp i Emulate3D som tomma plattor och tilldelades transportbandsegenskaper, motorfunktion och flödesriktning för att kunna föra rullen framåt i modellen. Det rörliga transportbandet har både banddrift och horisontell förflyttning. Den horisontella rörelsen används för att flytta hela transportenheten från inmatningsläget till överlämningsläget mot nästa transportband. Spåret som transportbandet följer under sin förflyttning samt transportbandens stödben bygger på tillgängligt CAD-underlag för att ge delstationen en mer representativ geometrisk utformning.

Fotocellsensorer placerades i början och slutet av det fasta och det rörliga transportbandet för att registrera rullens position vid inmatning, mottagning och överlämning. Den rörliga transportenheten är försedd med en lägesindikeringsfunktion i Emulate3D för att känna av när den har nått sin förutbestämda målposition. Genom denna uppbyggnad kan delstationen användas för att generera, transportera, positionera och lämna över parent-rullar till nästa del av modellen.

4.2.2 Delstation 2: Inmatning och sammanföring av rullflöden

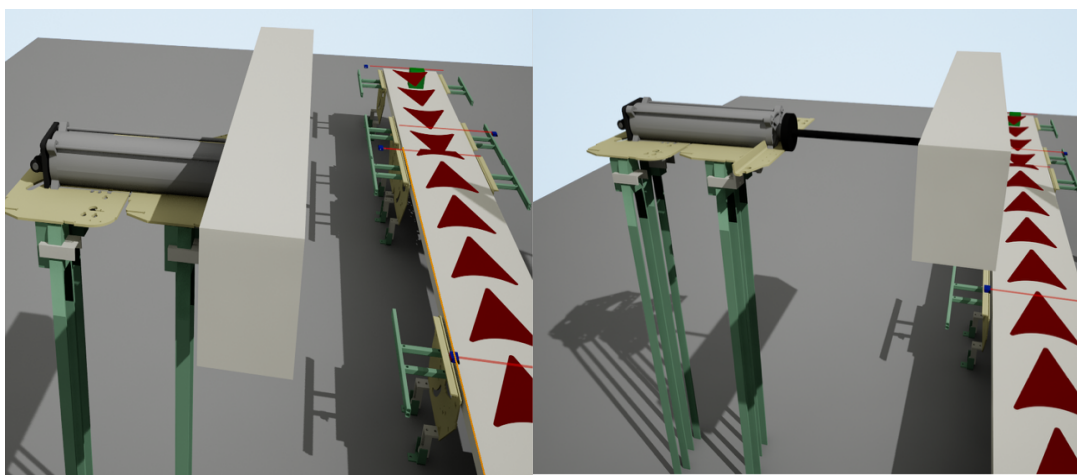
Delstation 2 representerar mottagning av parent-rullar, inmatning av reload-rullar samt sammanföring av de två rullflödena före vidare transport till nästa delstation. När det rörliga transportbandet från delstation 1 når sin målposition kan parent-rullen föras vidare till transportband 10, som transporterar rullen mot transportband 8. Reload-rullar matas in från en separat sida via en rullgenerator och transportband 4. Som framgår av Figur 4.2.2 möts de två inflödena vid transportband 8, vilket gör denna delstation central för samordningen mellan parent- och reload-flödet.



Figur 4.2.2. Delstation 2 i Emulate3D med transportband 10, 8 och 4, rullgenerator samt hydraulisk skjutare.

I Figur 4.2.2 visas transportbanden från vänster till höger som transportband 10, transportband 8 och transportband 4. Samtliga band är uppbyggda på samma sätt som i föregående delstation, med tomma plattor som tilldelas transportbandsegenskaper, motorfunktion och flödesriktning. Stödbenen bygger på CAD-underlaget. Transportband 10 och 4 fungerar som inmatningsband från varsin sida medan transportband 8 samlar rullflödena och positionerar rullen framför skjutaren. Denna uppbyggnad gör det möjligt att hantera både parent-rullar och reload-rullar i det fortsatta gemensamma flödet.

Vid sidan av transportband 8 finns den hydrauliska skjutaren, vars funktion är att föra rullen vidare till nästa delstation. Skjutaren består av en skjutplatta, en hydraulisk arm som för plattan framåt samt ett stativstöd. Skjutarenhetens hydrauliska arm och stativstöd bygger på CAD-underlaget för att ge rörelsen och placeringen en mer representativ utformning i modellen. Skjutarens två lägen visas i Figur 4.2.3.

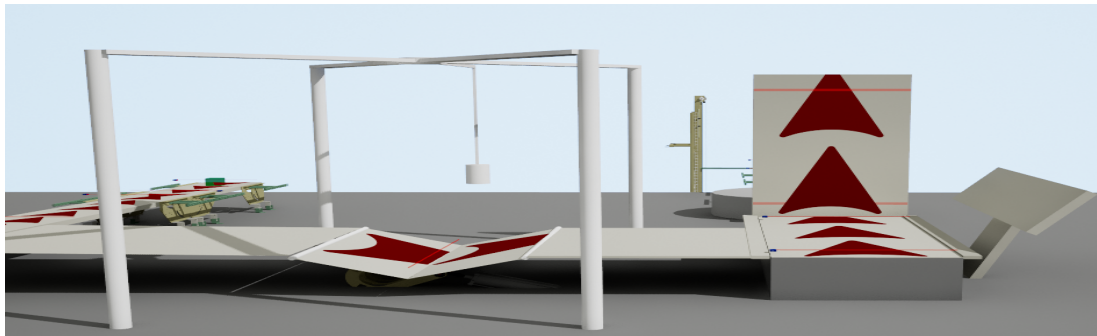


Figur 4.2.3. Skjutaren i hemposition och utposition i den digitala modellen.

Fotocellsensorer placerades vid början och slutet av transportbanden 4, 8 och 10 samt vid ytterkanterna av skjutarplattan för att registrera rullens position under processen. Skjutaren försågs även med lägesindikeringsfunktion för att känna av hemposition och utposition. Genom denna uppbyggnad kunde delstationen ta emot rullar från två olika inflöden, sammanföra dem i ett gemensamt flöde och föra dem vidare till nästa steg i modellen.

4.2.3 Delstation 3: Omplastning och vertikal orientering

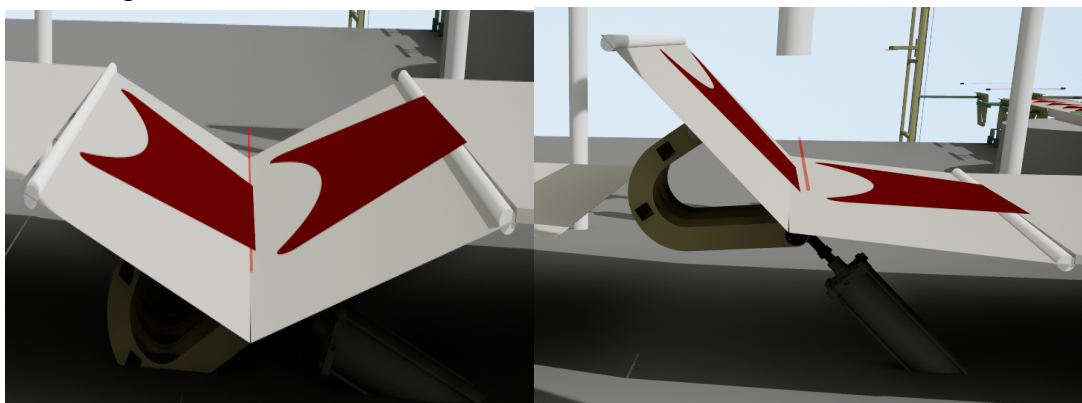
Delstation 3 representerar mottagning, omplastning och vertikal orientering av rullarna inför vidare transport. Delstationen består av två anslutande ramper, en omplastningsenhet, ett mekaniskt stopp och en upprättarenhet med roterande transportband. Ramper, hydraulisk skjutare och stödarm för V-bandet bygger på CAD-underlag, medan resterande delar är uppbyggda med Emulate3D standardkomponenter. Figur 4.2.4 visar hur omplastningsenheten, de anslutande ramperna, det mekaniska stoppet och upprättaren är placerade i förhållande till varandra i den digitala modellen.



Figur 4.2.4. Delstation 3 i Emulate3D med omplastningsenhet, anslutande ramper, mekaniskt stopp och upprättare.

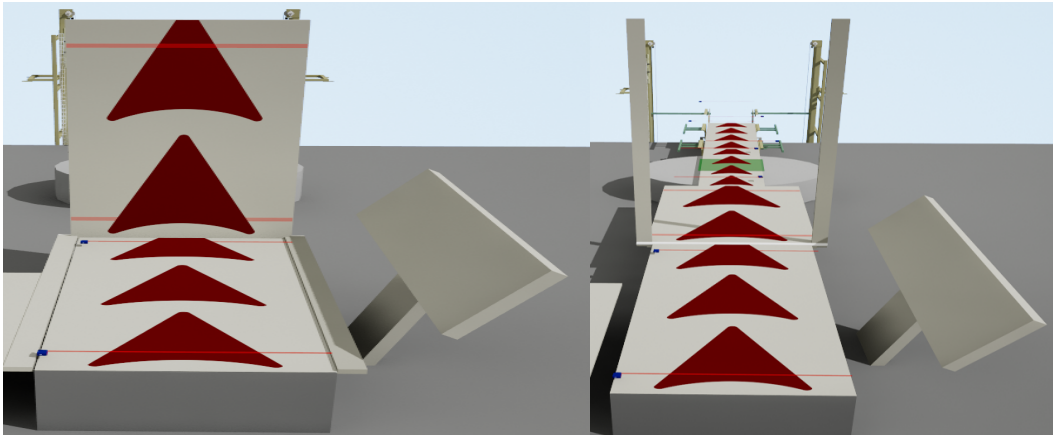
Det V-formade transportbandet består av två lutande plattor som är anpassade i längd, bredd och position. Plattorna har transportbandsegenskaper och motsatta flödesriktningar för att rullen ska kunna rotera kring sin egen axel under omplastningen. Bandet är även kompletterat med en fotocellsensor. Ovanför V-bandets centrumposition finns en motorstyrd horisontell L-formad arm med en hållare för plastrullen i ytterändan. Armen roterar runt rullen under omplastningen och rotationsläget följs med hjälp av ett positionsvärde från *Counting Encoder* funktionen.

Motorn är placerad i centrum av en ramkonstruktion med fyra ben och en X-formad överdel. Efter omplastningen lyfts ena sidan av V-bandet med hjälp av en hydraulisk skjutarenhet under bandet. Lyftningen skapar en lutning på 15 grader, vilket gör att rullen kan lämna V-bandet och rulla vidare över den anslutande rampen mot upprättarenheten. De anslutande ramperna består av tomma plattor vars bredd, längd och position är anpassade efter modellens behov. V-bandets hemposition och utposition visas i Figur 4.2.5.



Figur 4.2.5. V-bandet i hemposition och utposition i Emulate3D.

Vid sidan av upprättaren finns ett mekaniskt stopp som hindrar rullen från att fortsätta förbi upprättaren efter övergången från rampen som visas i Figur 4.2.6. Stoppet är lutat i förhållande till rullens rörelseriktning så att rullen fångas upp och hålls stabilt i mottagningsläget tills upprättaren tar över positioneringen.

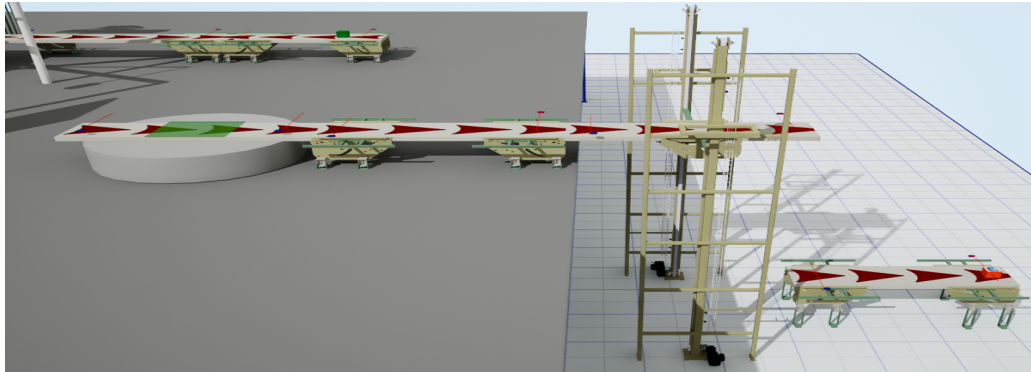


Figur 4.2.6. Upprättaren i hemposition och roterat läge.

Upprättarenheten är utformad som ett L-format transportband med tre anpassade plattor. Två av plattorna utgör transportdelen, där den horisontella delen är smalare än den vertikala delen. Den tredje plattan fungerar som gaffelarm och är placerad runt den smalare delen för att hålla rullen stabil under rotationen. Samtliga transportytor har motorfunktion och transportbandsegenskaper. När rullen är placerad på upprättaren matas den fram till rätt position inför rotationen. Därefter roterar den bredare delen tillsammans med gaffelarmarna medan den smalare delen förblir stationär. När rotationen är avslutad står rullen vertikalt på den bredare transportdelen och kan transporteras vidare till nästa delstation. Upprättaren är kompletterad med fotocellsensorer samt lägesindikeringsfunktioner för att känna av arbetsläge och position. Upprättarens hemposition och roterade läge visas i Figur 4.2.6.

4.2.4 Delstation 4: Vägning och slutlig transport

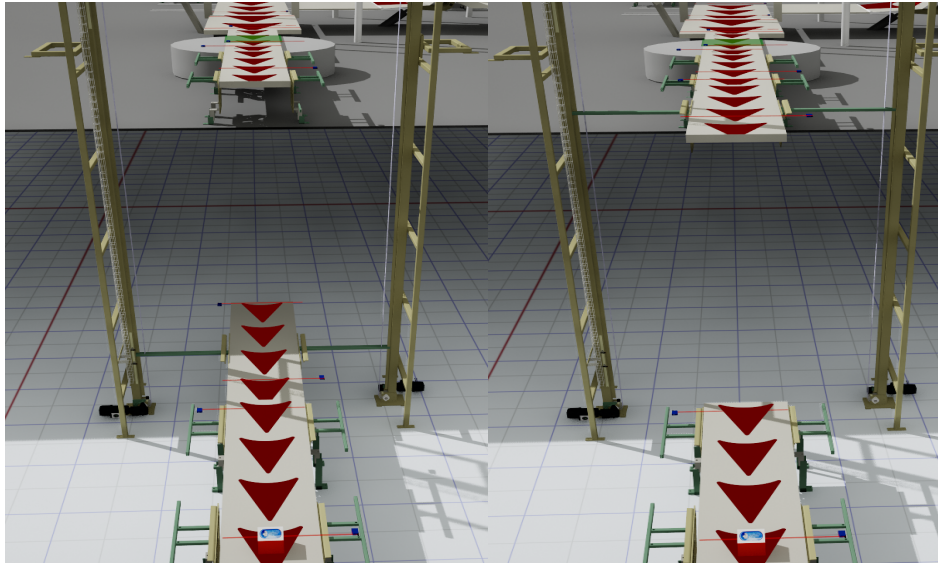
Delstation 4 representerar den avslutande delen av rullflödet där rullen vägs och transporteras vidare mot den utgående transportenheten. Delstationen består av en roterande transportenhet, en vägningsfunktion, transportband 17, en hiss och ett utgående transportband 19. Stationens huvudsakliga delar är uppbyggda i Emulate3D med hjälp av programmets standardkomponenter, där transportytor, cylinder och rörliga enheter är anpassade i längd, bredd, position och rörelsefunktion efter den avsedda modellen. Figur 4.2.7 visar hur den roterande transportenheten, vägningsfunktionen, hissen och det utgående transportbandet är placerade i förhållande till varandra.



Figur 4.2.7. Delstation 4 i Emulate3D med roterande vägningsenhet, hiss och utgående transportband.

Den roterande vägningsenheten är uppbyggd kring en cylinderformad komponent som utgör den roterande basen i modellen. Ovanpå cylinderbasen finns ett transportband med transportbandsegenskaper samt en CAD-baserad vägningsensor som är placerad i anslutning till transportbandets vägningsposition. Transportbandets funktion är att ta emot rullen från föregående delstation och föra den vidare efter vägningsmomentet medan vägningsensorn används för att registrera och visualisera rullens vikt när rullen befinner sig på bandet. Den roterande vägningsenheten är kompletterad med två fotocellsensorer för att registrera rullens position på bandet samt CAD-baserade enhetsben. För rotationslägena används lägesindikeringsfunktioner i Emulate3D för att styra den roterande vägningsenheten mellan hemposition och utposition samt bekräfta när respektive läge har uppnåtts. Viktvärdet genereras inte slumpmässigt av C#-skriptet, utan utgår från rullens fördefinierade massvärde i Emulate3D. När rullen blockerar vägningsensorn hämtar skriptet rullojektets befintliga Mass-egenskap och visar detta värde visuellt ovanför rullen i kilogram. I detta arbete används viktfunktionen därför som en virtuell visualisering av rullens massvärde i modellen, inte som en fysisk viktmätning. På så sätt kan enheten transportera, väga och rotera rullen innan den skickas vidare till transportband 17.

Transportband 17 fungerar som en kort transportsträcka mellan den roterande vägningsenheten och hissen. Bandet består av en anpassad platta med transportbandsegenskaper medan stödbenen bygger på CAD-underlag. Transportbandets funktion är att ta emot rullen från den roterande vägningsenheten och föra den vidare till hissen. I anslutning till transportband 17 finns hissen, som är uppbyggd som en transportenhet med både banddrift och vertikal rörelse. Hissens transportband är uppbyggt på motsvarande sätt som tidigare transportband, med en anpassad transportyta och transportbandsegenskaper för mottagning och utmatning av rullen.

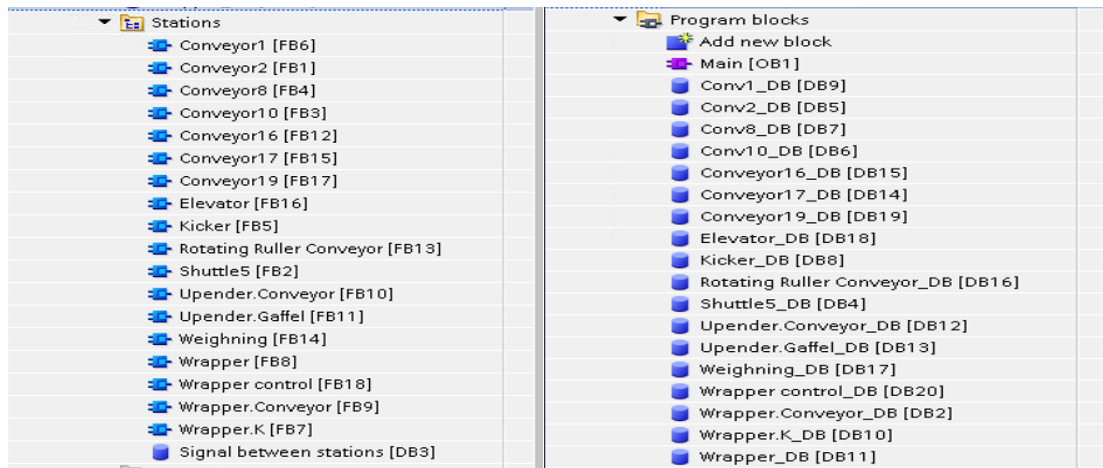


Figur 4.2.8. Hissen i hemposition och utposition i den digitala modellen.

Den vertikala rörelsen sker längs ett nedåtgående styrspår som bygger på CAD-underlag. Hissen är utrustad med två fotocellsensorer för registrering av rullens position. Lägesindikeringar används även för hissens hemposition och utposition. Efter hissmomentet matas rullen vidare till det utgående transportbandet 19, som utgör den sista transportsträckan i modellen. Även detta transportband är uppbyggt enligt samma princip som övriga band i systemet och är kompletterat med två fotoceller placerade vid bandets ändar. Genom denna uppbyggnad kan delstationen väga, lyfta och transportera rullen vidare ut ur den digitala modellen. Figur 4.2.8 visar hissens hemposition och utposition, vilket tydliggör den vertikala rörelse som används för att föra rullen vidare mot det utgående transportbandet.

4.3 Utveckling av styrlogik

Styrlogiken är utvecklad i TIA Portal och uppbyggd med en modulär struktur där varje komponent i modellen har ett separat funktionsblock. Funktionsblocken innehåller sekvenslogiken för respektive enhet och anropas från huvudprogrammet Main. Till varje funktionsblock hör ett instansdatablock som lagrar sekvenssteg, interna tillstånd och signalvärden för respektive delsystem. Programstrukturen med funktionsblock och tillhörande datablock visas i Figur 4.3.



Figur 4.3. Programstruktur i TIA Portal med separata funktionsblock samt datablock för modellens komponenter och delsystem.

I PLC-taggtabellen definieras I/O-signaler för bland annat givarsignaler, lägesindikeringar, motorstatus, körriktningar och rörelsekommandon. Figur 4.3.1 visar exempel på PLC-taggar som används för signalutbytet. Signalerna kopplar PLC-programmet till motsvarande objekt i Emulate3D, där givarsignaler och lägesindikeringar läses från den digitala modellen medan motorstatus, körriktningar och rörelsekommandon skickas från PLC-programmet till modellen. Sekvenslogiken är uppbyggd i GRAPH, där varje steg aktiveras först när rätt villkor är uppfyllda. Villkoren består av givarsignaler, lägesindikeringar, interna kommunikationssignaler eller tidsvillkor.

PLC tags	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Access	Write	Visible	Supervision	Comment
1	Conveyor2-B1	Default tag table	Bool	%I0.0						C2 Entry sensor
2	Conveyor2-B2	Default tag table	Bool	%I0.1						C2 exit sensor
3	Shuttle-B1	Default tag table	Bool	%I0.2						S enter sensor
4	Conveyor2.Motor.State	Default tag table	Bool	%Q0.0						C2 Motor state
5	Shuttle.Motor.State	Default tag table	Bool	%Q0.1						S.Motor state
6	Shuttle.Conveyor.State	Default tag table	Bool	%Q0.2						Shuttle.C motor state
7	Conveyor2.Forward	Default tag table	Bool	%Q0.3						C2.Motor Forward
8	Shuttle.Forwards	Default tag table	Bool	%Q0.4						Shuttle is moving forward
9	Shuttle.Reverse	Default tag table	Bool	%Q0.5						Shuttle is moving Reverse
10	Shuttle.Conveyor.Forward	Default tag table	Bool	%Q0.6						Shuttle.C Forward
11	Load.C	Default tag table	Bool	%Q0.7						
12	Shuttle-B2	Default tag table	Bool	%I0.3						S.exit sensor
13	Shuttle.inposition Conv2	Default tag table	Bool	%I0.4						Shuttle in conv2 position
14	Shuttle.inposition Conv10	Default tag table	Bool	%I0.5						Shuttle is not in Conv10 position
15	Shuttle-Go to pos Conv2	Default tag table	Bool	%Q1.0						
16	Shuttle-Go to pos Conv10	Default tag table	Bool	%Q1.1						
17	Recieve load	Default tag table	Bool	%I0.6						
18	Conveyor10-B1	Default tag table	Bool	%I0.7						
19	Conveyor10-B2	Default tag table	Bool	%I1.0						
20	Conveyor8-B1	Default tag table	Bool	%I1.1						
21	Conveyor8-B2	Default tag table	Bool	%I1.2						
22	Kicker.Forward	Default tag table	Bool	%Q1.3						
23	Kicker.Reverse	Default tag table	Bool	%Q1.4						
24	Conveyor10.Forward	Default tag table	Bool	%Q1.6						
25	Conveyor10.Motor.State	Default tag table	Bool	%Q1.7						
26	Conveyor8.Motor.State	Default tag table	Bool	%Q2.0						
27	Conveyor8.Forward	Default tag table	Bool	%Q2.1						
28	Conveyor8.Revers	Default tag table	Bool	%Q2.2						
29	Kicker.B1	Default tag table	Bool	%I1.3						
30	Kicker.B2	Default tag table	Bool	%I1.4						
31	kicker.in.hemposition	Default tag table	Bool	%I1.5						
32	Kicker.in.out.position	Default tag table	Bool	%I1.6						
33	Reload-Release-Enabled	Default tag table	Bool	%Q2.3						
34	Recieve Reload	Default tag table	Bool	%I1.7						
35	Conveyor1.B1	Default tag table	Bool	%I2.0						
36	Conveyor1.B2	Default tag table	Bool	%I2.1						
37	Conveyor1.Forward	Default tag table	Bool	%Q2.4						
38	Conveyor1.Motor.State	Default tag table	Bool	%Q2.5						
39	Wrapper.Kicker.in.hemposition	Default tag table	Bool	%I2.2						

Figur 4.3.1. En del av PLC-taggar i TIA Portal med definierade I/O-signaler.

För signalutbytet mellan delstationerna används en återkommande grundstruktur med signaler som *Infeed OK*, *Wants to deliver* och *Receive*. Figur 4.3.2 visar uppdelningen

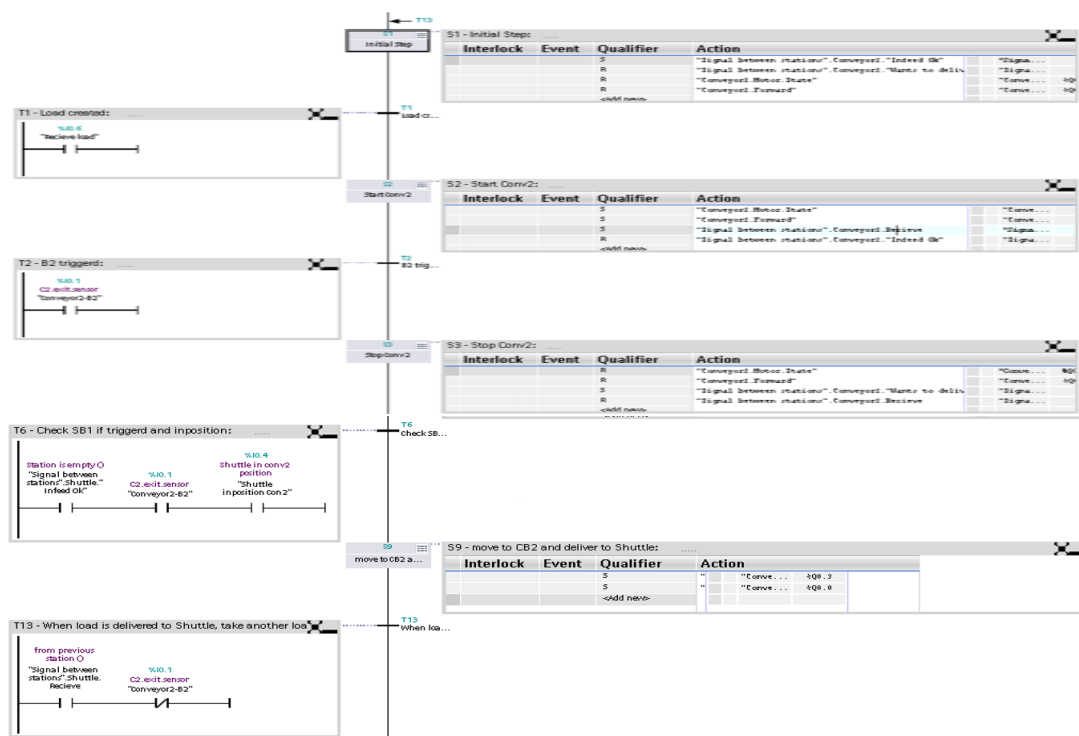
av signalerna i TIA Portal. *Infeed OK* används för att indikera att en station är tom och redo att ta emot en rulle. *Wants to deliver* används när en station har en rulle som ska skickas vidare till nästa del medan *Receive* används för att bekräfta mottagning från föregående station. Utöver dessa signaler används även komponent- och funktionspecifika signaler, exempelvis för prioritering, positionskontroll, skjutarfunktion, upprättning och vägningsmoment.

Signal between stations										
Name	Data type	Start value	Retain	Accessible	Write	Visible in	Setpoint	Supervision	Comment	
1	Static									
2	Conveyor2									
3	Infeed OK	Bool	false						Station is empty to next station	
4	Wants to deliver	Bool	false						from previous station	
5	Receive	Bool	false							
6	Shuttle	Struct								
7	Conveyor10	Struct								
8	Conveyor8	Struct								
9	Conveyor1	Struct								
10	Wrapper Kicker	Struct								
11	Wrapper Conveyor	Struct								
12	Wrapper	Struct								
13	Uppender Conveyor	Struct								
14	Conveyor16	Struct								
15	Rotating Roller Conve.	Struct								
16	Conveyor17	Struct								
17	Elevator Conveyor	Struct								
18	Conveyor19	Struct								
19	Uppender Gaffel	Struct								
20	Weighning	Struct								
21	Infeed OK	Bool	false						Station is empty to next station	
22	Wants to deliver	Bool	false						from previous station	
23	Receive	Bool	false							
24	Kicker	Struct								
25	Signal Load in rig	Bool	false							
26	Signal Re-Load in	Bool	false							
27	Signal kicker is e...	Bool	false							
28	Infeed ok	Bool	false							
29	Weight	Struct								
30	Weight is visible	Bool	false							

Figur 4.3.2. Interna kommunikationssignaler mellan delstationer.

4.3.1 Delstation 1: Inmatning av parent-rullar

Styrlogiken för delstation 1 är uppbyggd med separata funktionsblock för transportband 2 och det rörliga transportbandet, benämnt Shuttle5 i PLC-strukturen. Transportband 2 hanterar rullgenerering och den första transportsträckan, medan Shuttle ansvarar för mottagning av rullen, horisontell förflyttning och överlämning till transportband 10. Varje funktionsblock har separat instansdatablock där sekvenssteg, interna tillstånd och signalvärden lagras.



Figur 4.3.3. PLC-sequens för transportband 2.

För transportband 2 inleds sekvensen med att rullgeneratoren aktiveras och en parent-rulle skapas på bandet. När signalen för skapad rulle är aktiv startar transportbandet med framåtriktad drift. Rullen transporteras framåt tills slutgivaren på transportband 2 aktiveras, vilket markerar att rullen har nått överlämningspositionen. Innan transportbandet kan lämna över rullen till Shuttle kontrolleras flera villkor samtidigt: rullen ska blockera fotocellgivaren vid slutet av bandet, Shuttle ska vara i mottagningsposition vid transportband 2 och Shuttle ska signalera att den är redo att ta emot genom sin interna mottagningssignal. När dessa villkor är uppfyllda aktiveras överlämningen från transportband 2. Efter att Shuttle har bekräftat mottagningen återgår transportbandets sekvens till initialt läge. PLC-sekvensen för transportband 2 visas i Figur 4.3.3.

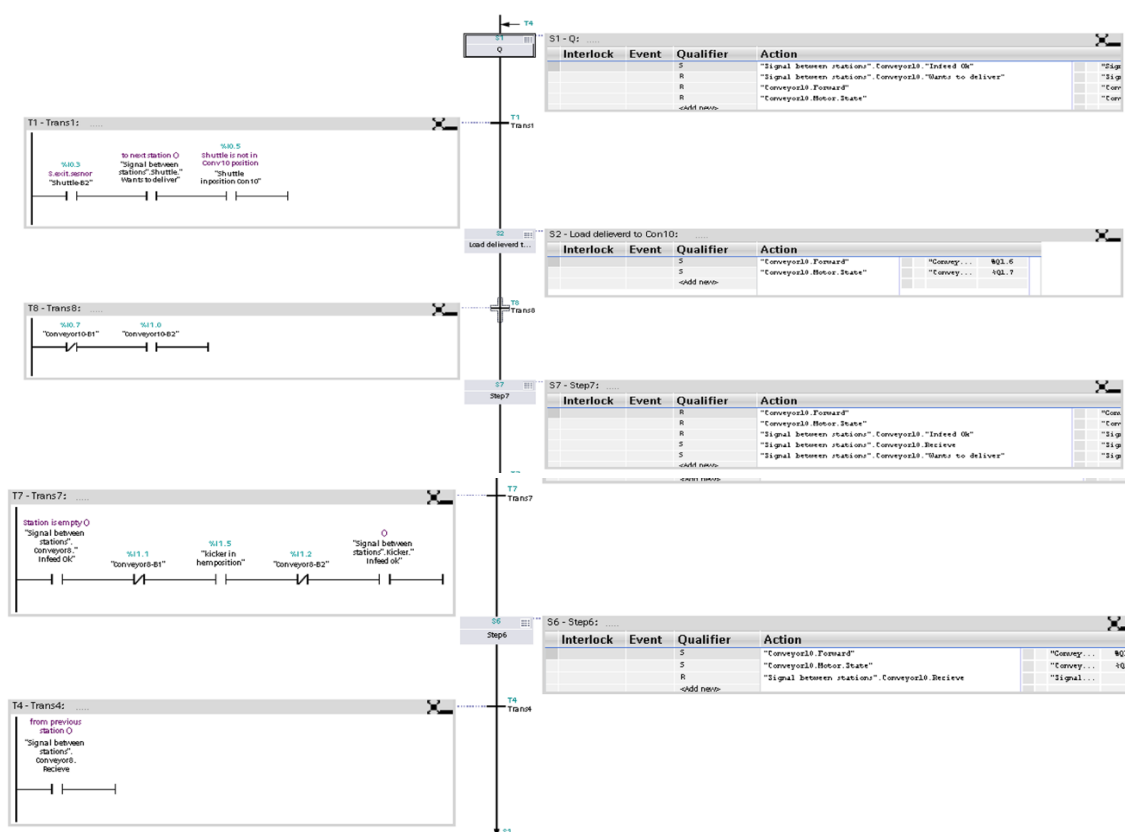


Figur 4.3.4. PLC-sekvens för Shuttle.

Shuttle-sekvensen börjar med att enheten markeras som redo att ta emot rullen från transportband 2. För att mottagningen ska starta krävs att transportband 2 har begärt överlämning, att rullen står vid transportbandets slutgivare och att Shuttle befinner sig i rätt mottagningsposition. När rullen har transporterats över till Shuttle kontrolleras dess position med hjälp av Shuttles givare. Därefter stoppas banddriften och den horisontella förflyttningen mot transportband 10 aktiveras. För att rullen ska få lämnas vidare krävs att Shuttle har nått positionen vid transportband 10 och att transportband 10 signalerar att det är redo att ta emot. När dessa villkor är uppfyllda startar banddriften på Shuttle igen och rullen förs över till transportband 10. Efter att transportband 10 har bekräftat mottagningen återställs överlämningssignalerna och Shuttle återgår till sin hemposition vid transportband 2. Shuttle-sekvensen visas i Figur 4.3.4.

4.3.2 Delstation 2: Inmatning och sammanföring av rullflöden

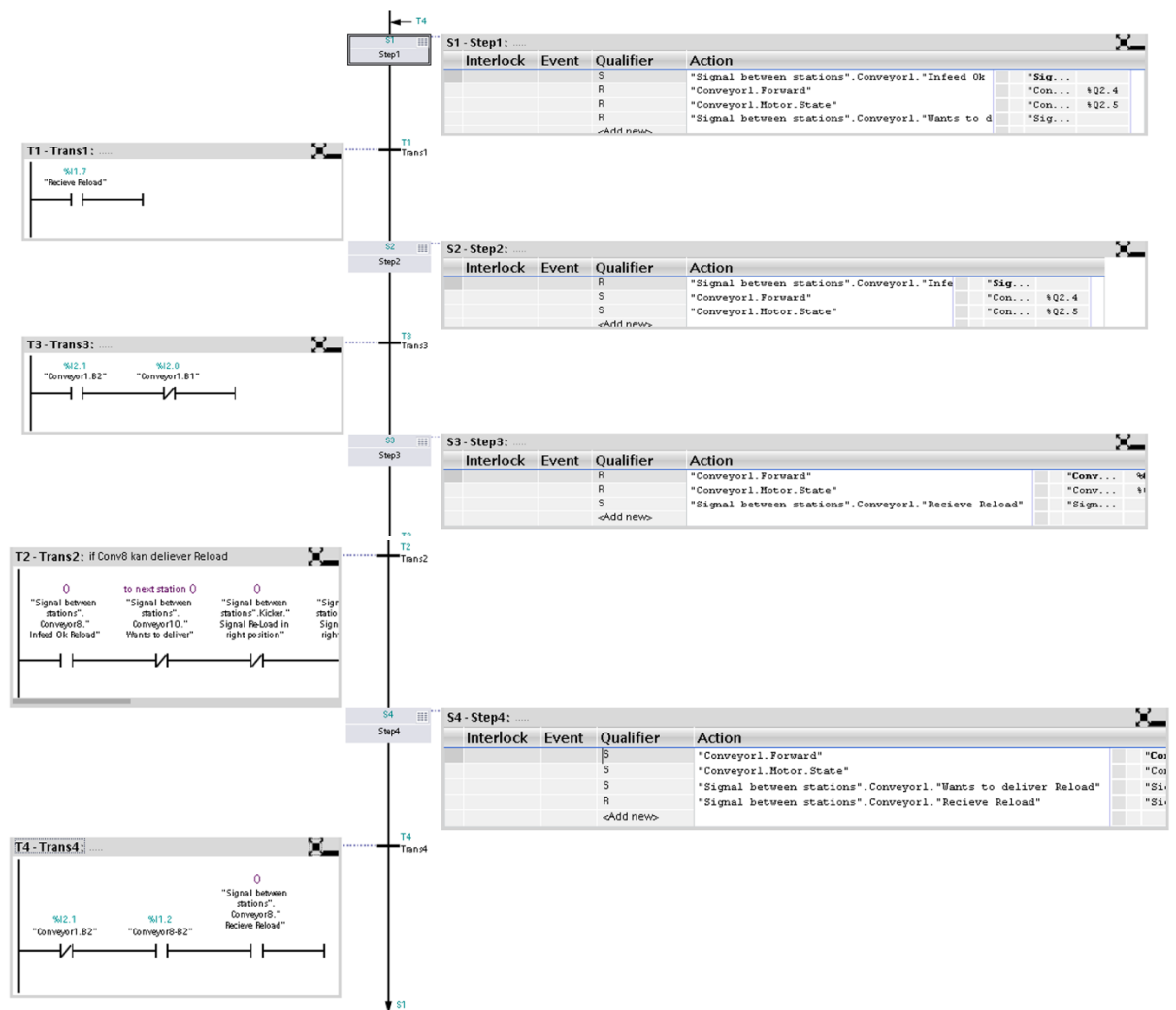
Styrlogiken för delstation 2 är uppbyggd med separata funktionsblock för transportband 10, transportband 8, transportband 4 och skjutarenheten. Transportband 10 hanterar mottagning av parent-rullar från Shuttle i delstation 1, medan transportband 4 hanterar reload-rullar från den andra inmatningssidan. Transportband 8 fungerar som gemensam mottagningsenhet för båda inflödena och ansvarar för att positionera rullen framför skjutaren. Skjutaren ansvarar därefter för att föra rullen vidare till omplastningsenheten.



Figur 4.3.5. PLC-sequens för transportband 10.

Figur 4.3.5 visar huvudsekvensen för transportband 10. Sekvensen inleds med att bandet markeras som redo att ta emot från Shuttle. Överlämningen från Shuttle förutsätter att Shuttle står i överlämningsposition mot transportband 10, har aktiv överlämningsignal och att rullen befinner sig vid Shuttles slutfotocellgivare. När dessa villkor är uppfyllda startar transportband 10 med framåtriktad drift och rullen förs över från Shuttle. Rullen transporteras vidare tills slutfotocellgivaren på transportband 10 aktiveras, vilket markerar att rullen har nått överlämningspositionen mot transportband 8. Innan transportband 10 kan lämna över rullen kontrolleras flera villkor samtidigt: transportband 8 ska vara redo att ta emot, mottagningsområdet ska vara tomt, skjutaren ska stå i hemposition och skjutaren ska inte redan hantera en rulle. När dessa villkor är uppfyllda aktiveras överlämningen från transportband 10 till

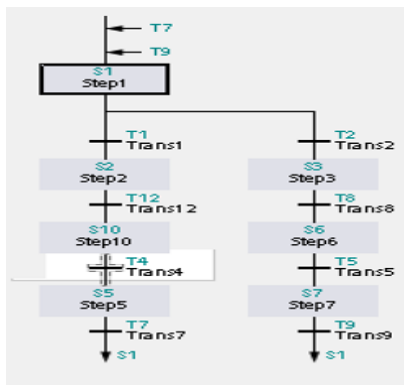
transportband 8. Efter att transportband 8 har bekräftat mottagningen återgår transportband 10 till sitt initiala läge.



Figur 4.3.6. PLC-sekvens för transportband 4.

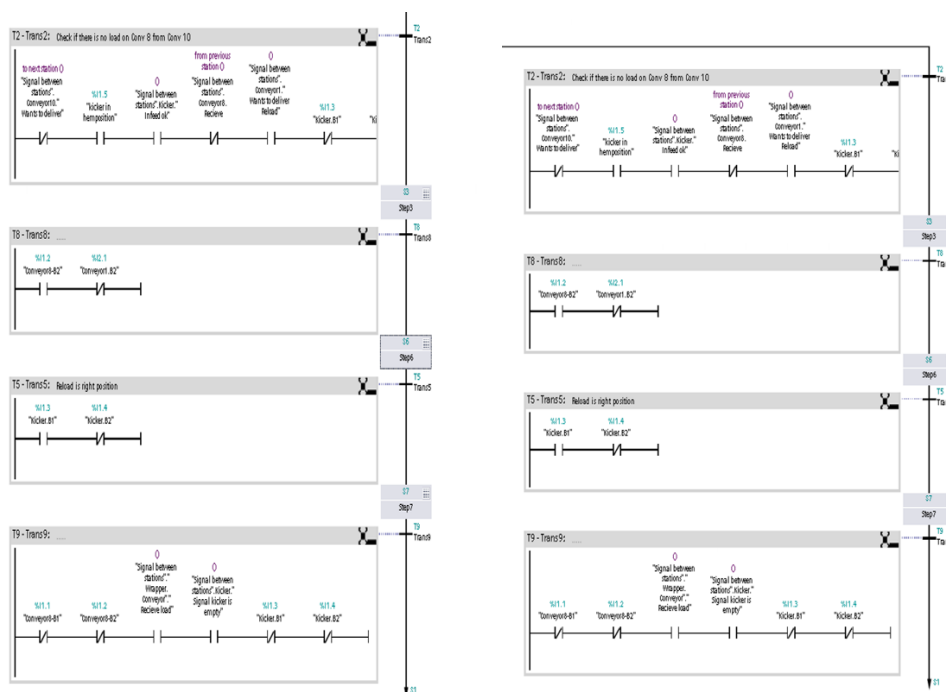
Sekvensen för transportband 4 fungerar på motsvarande sätt men använder separata signaler för reload-rullar. Dessa signaler behövs för att skilja mellan de interna överlämningssignalerna för parent-flödet och reload-flödet. PLC-sekvensen för transportband 4 visas i Figur 4.3.6. Sekvensen börjar med att rullgeneratoren för reload-rullar aktiveras och en reload-rulle skapas i modellen. När rullen har skapats startar transportbandet och rullen transporteras framåt tills slutgivaren på bandet aktiveras. Innan reload-rullen kan lämnas vidare kontrolleras följande: transportband 8 är redo för reload-flödet, skjutaren står i hemposition och skjutaren är tom. Dessutom krävs att transportband 10 inte samtidigt har en aktiv överlämningssignal. Detta villkor används för att ge parent-flödet prioritet vid samtidig begäran från båda inflödena. När villkoren är uppfyllda aktiveras överlämningen från reload-inmatningen till transportband 8. Efter att transportband 8 har bekräftat mottagningen återgår sekvensen för transportband 4 till sitt initiala läge.

Transportband 8 fungerar som gemensam mottagningsenhet för båda inflödena. Därför är GRAPH-sekvensen uppbyggd med en grenstruktur, där en gren hanterar parent-rullar från transportband 10 och den andra grenen hanterar reload-rullar från transportband 4. Grenstrukturen visas i Figur 4.3.7.

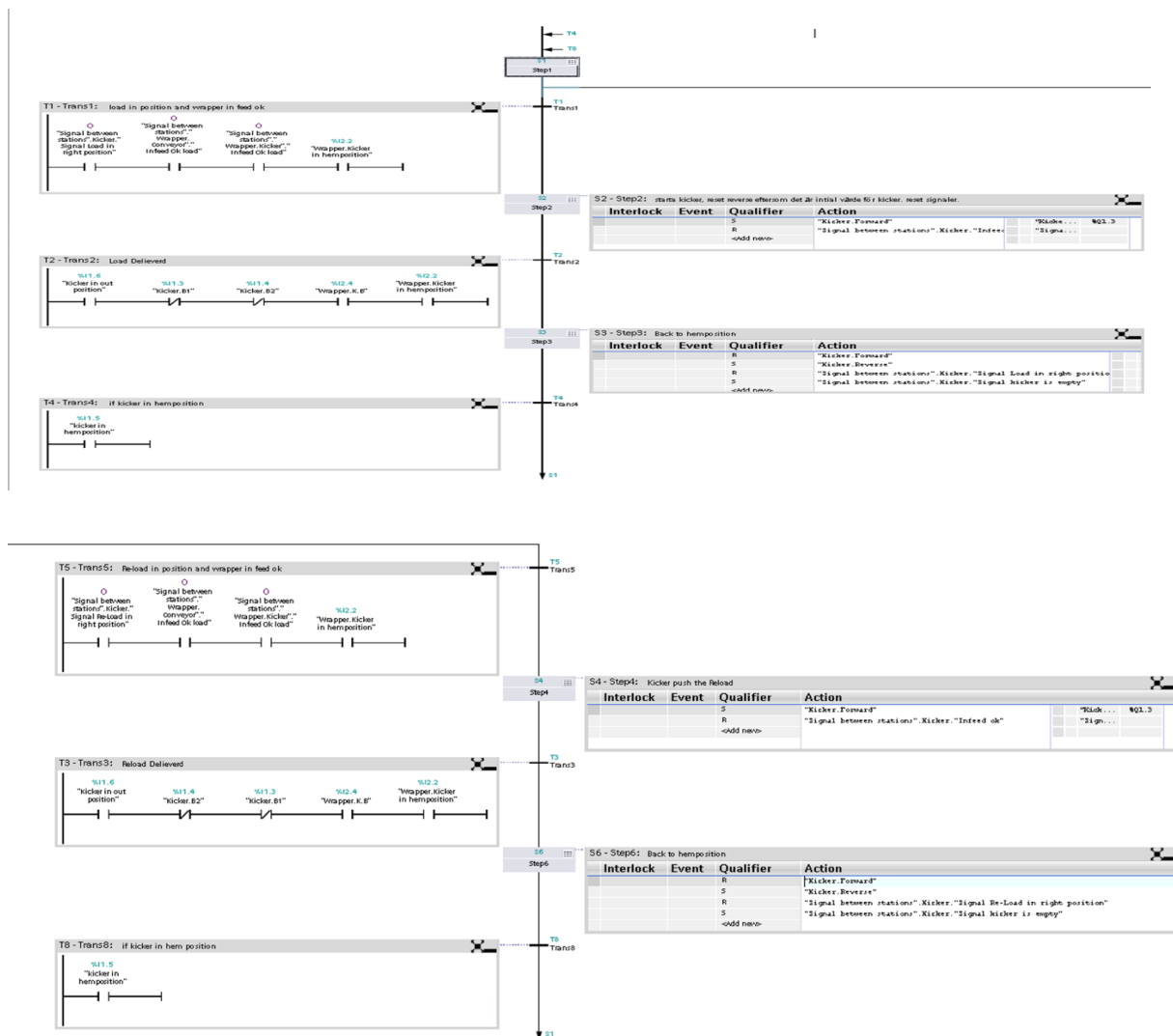


Figur 4.3.7. Huvudsekvens för transportband 8.

För att transportband 8 ska kunna ta emot en rulle krävs att rätt överlämningsignal är aktiv från antingen transportband 10 eller transportband 4. För parent-rullar används den ordinarie interna signalstrukturen medan reload-rullar hanteras med motsvarande reload-signaler. När rullen har tagits emot används fotocellsensorerna på transportband 8 för att kontrollera att rullen har nått rätt position framför skjutaren. För parent-rullar aktiveras signalen *Load in right position* medan reload-rullar aktiverar signalen *Reload in right position*. Dessa positionssignaler används därefter som villkor för skjutarens sekvens. Figur 4.3.8 visar de funktions- och signalvillkor som används i respektive gren.



Figur 4.3.8. Villkor för både parent och reload grenar i transportband 8 sekvensen.



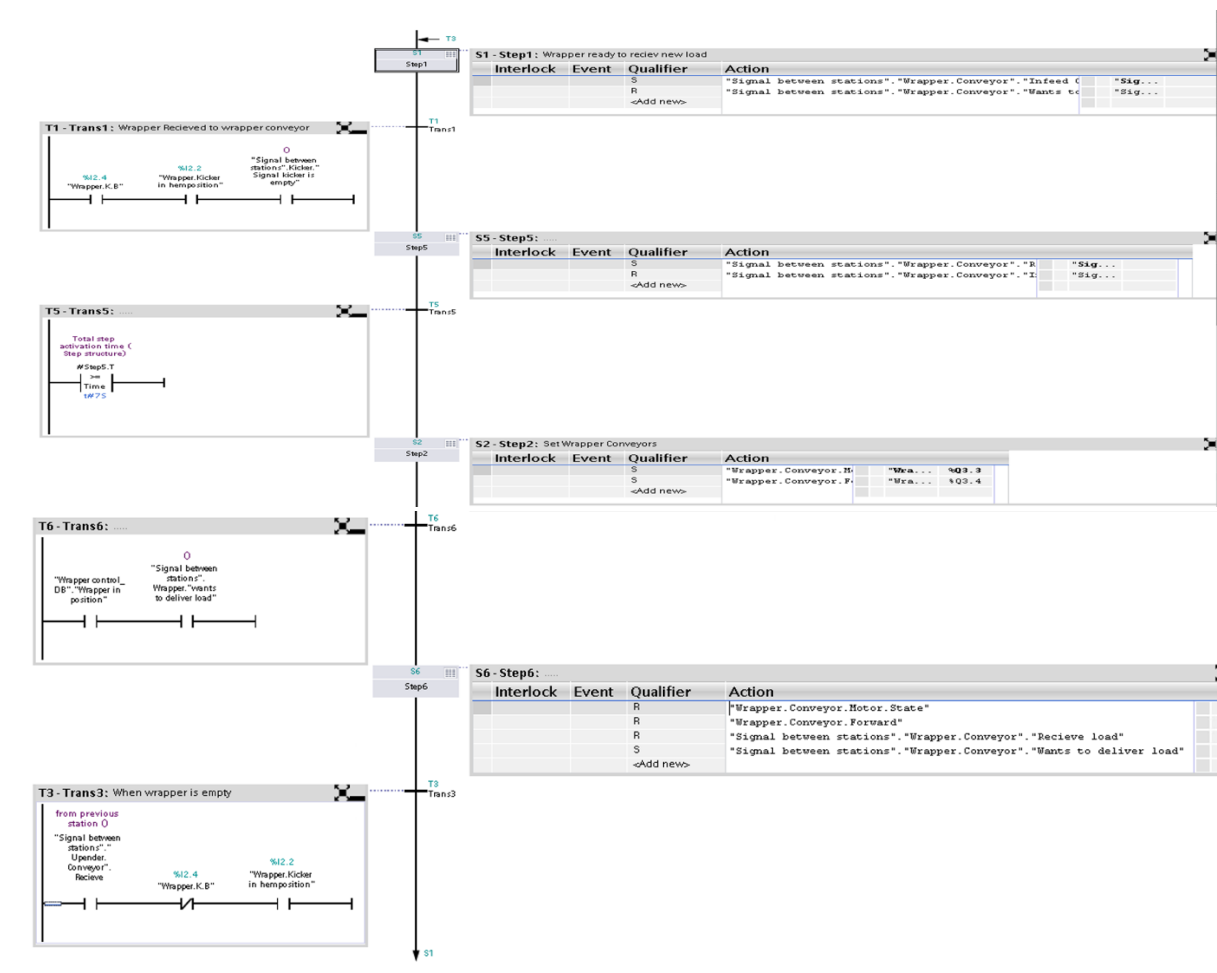
Figur 4.3.9. PLC-struktur för både parent och reload-grenar i skjutarenhetens sekvens.

Skjutarens sekvens följer samma grenprincip som transportband 8, där två grenar används för att skilja mellan parent-rullar och reload-rullar. För att grenarna ska aktiveras krävs att en positionssignal från transportband 8 är aktiv antingen *Load in right position* eller *Reload in right position*. Dessutom behöver nästa delstation signalera att den är redo att ta emot rullen. När dessa villkor är uppfyllda körs skjutaren framåt och för rullen vidare mot omplastningsenheten. När skjutaren har nått utposition och rullen har lämnat mottagningsområdet kan skjutaren köras tillbaka till hemposition. Genom denna styrning kan delstation 2 sammanföra två inflöden, prioritera parent-flödet vid samtidig begäran och säkerställa att rullen endast skickas vidare när transportband 8, skjutaren och nästa delstation har rätt status. Skjutarens grenstruktur visas i Figur 4.3.9.

4.3.3 Delstation 3: Omplastning och vertikal orientering

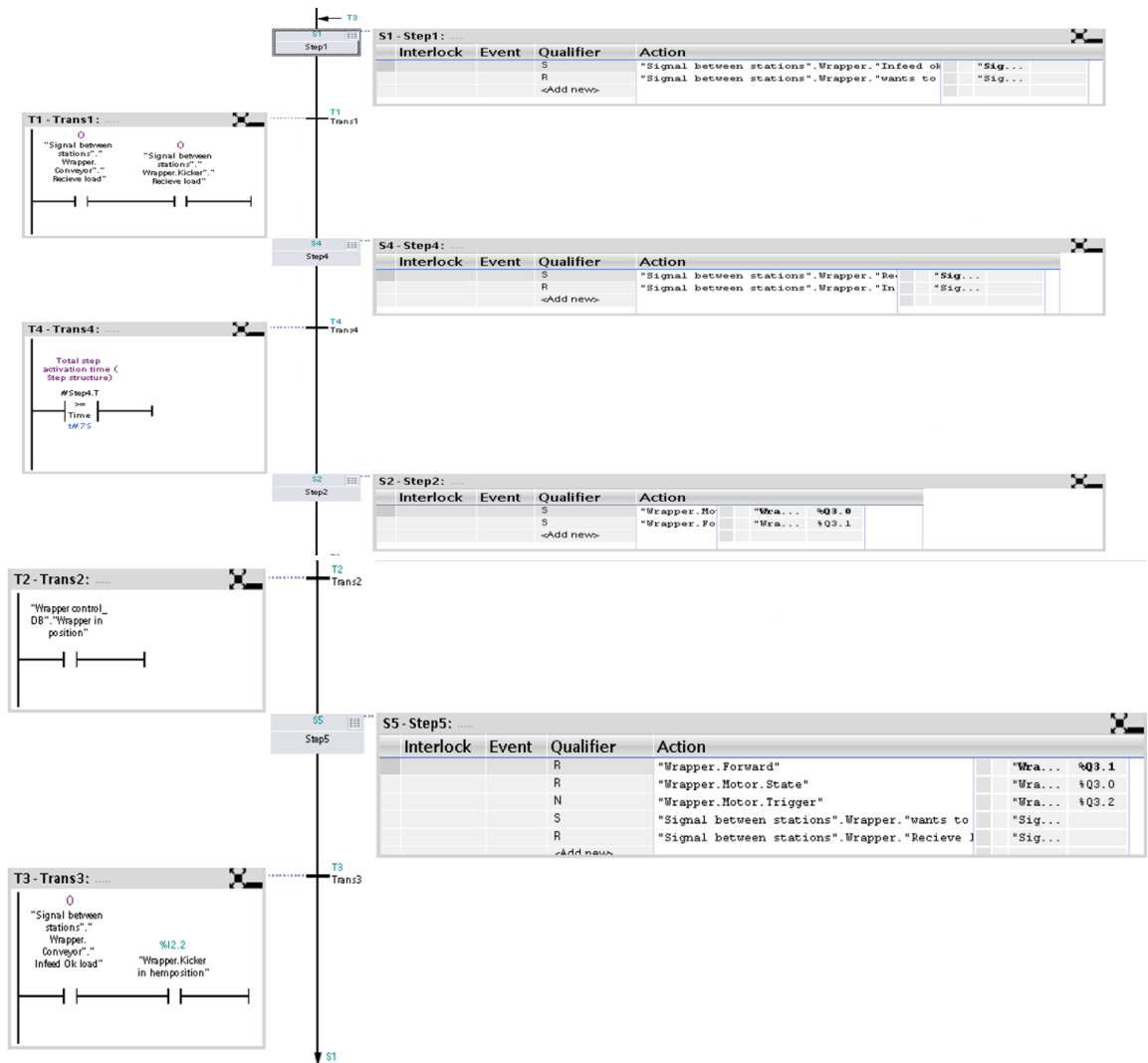
Styrlogiken för delstation 3 är uppbyggd med separata funktionsblock för V-bandet, plastningsarmen, positions- och hastighetskontroll av plastningsarmen, V-bandets

skjutare, upprättarens horisontella transportband, gaffelarmarna samt det vertikala utmatningstransportbandet. Dessa funktionsblock används för att samordna mottagning i V-bandet, omplastning, överföring till upprättaren, rotation till vertikalt läge och vidare transport mot nästa delstation. Eftersom delstationen består av flera rörliga delar är styrningen uppbyggd så att varje del endast kan aktiveras när föregående rörelse är avslutad och mottagande del är redo.



Figur 4.3.10. PLC-sekvens för V-bandet.

Sammankopplingen i delstationen påbörjas i V-bandets sekvens, där rullen tas emot från skjutaren i delstation 2. V-bandet bekräftar mottagningen först när fotocellsensorn i V-bandet är aktiv, V-bandets skjutare står i hemposition och skjutaren från föregående delstation är markerad som tom. När dessa villkor är uppfyllda markeras V-bandet som upptaget. Därefter används ett tidsvillkor på sju sekunder för att rullen ska hinna stabiliseras i V-bandet innan omplastningen startar. När tidsvillkoret är uppfyllt aktiveras både V-bandets rotation och plastningsarmen parallellt så att rullen roterar kring sin egen axel för att möjliggöra plastningen runt pappersrullen. Huvudsekvensen för V-bandet och mottagningen visas i Figur 4.3.10.



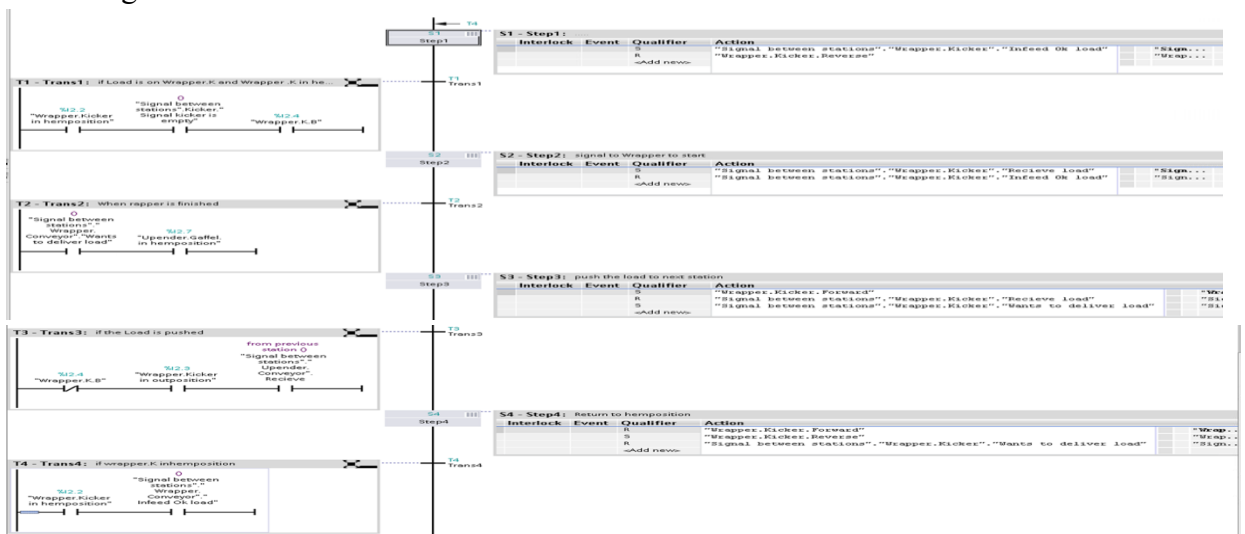
Figur 4.3.11. PLC-sekvens för plastningsarmen.

Plastningsarmens sekvens startar när V-bandet har tagit emot rullen och stabiliseringstiden är uppfylld. Sekvensen visas i Figur 4.3.11. I initialsteget aktiveras plastningsarmens motor och framåtriktade rörelse samtidigt som V-bandet roterar rullen kring sin egen axel. För att styra plastningsarmens rörelse används ett separat funktionsblock för kontroll av position och hastighet. I kontrollblocket skalas armens positionsvärde från Encoder om till grader genom att positionsvärdet divideras med 1000. Det omräknade positionsvärdet används som ett programmerat ändläge, där PLC-logiken kan avgöra när armen har nått sin slutposition. Slutläget är 5400 grader. För att undvika tvära stopp påbörjas en nedbromsning när plastningsarmen når 400 grader före slutläget. Hastigheten reduceras då successivt fram till dess att armen når sin slutposition vilket ger en mjukare rörelse. Ändläge samt hastighetsstyrningen visas i Figur 4.3.12.



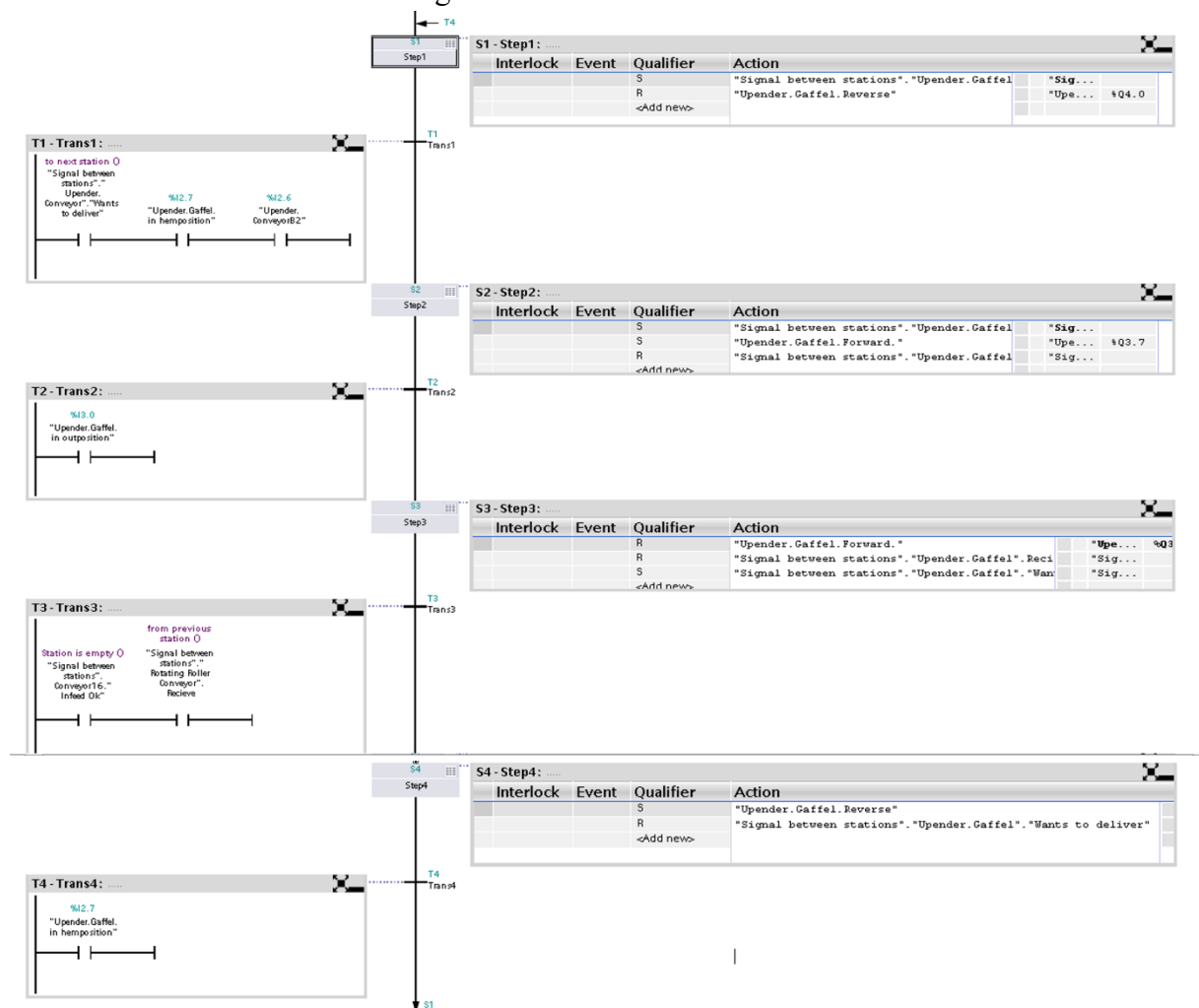
Figur 4.3.12. PLC-struktur för styrblock.

När omplastningen är färdig skickas en intern överlämningssignal tillbaka till V-bandets sekvens. Detta gör att V-bandet markerar att rullen är klar att lämnas vidare till V-bandets skjutare. V-bandets skjutare aktiveras när följande är uppfyllt: V-bandet har aktiv överlämningssignal, skjutaren står i hemposition och upprättaren är redo att ta emot rullen. När dessa villkor är uppfyllda körs skjutaren framåt och för rullen från V-bandet mot upprättarens mottagningsdel. När rullen har lämnat V-bandet och skjutaren har nått utposition aktiveras återgången till hemposition. V-bandets skjutare återställs därefter och görs redo för nästa rulle. Sekvensen för V-bandets skjutare visas i Figur 4.3.13.



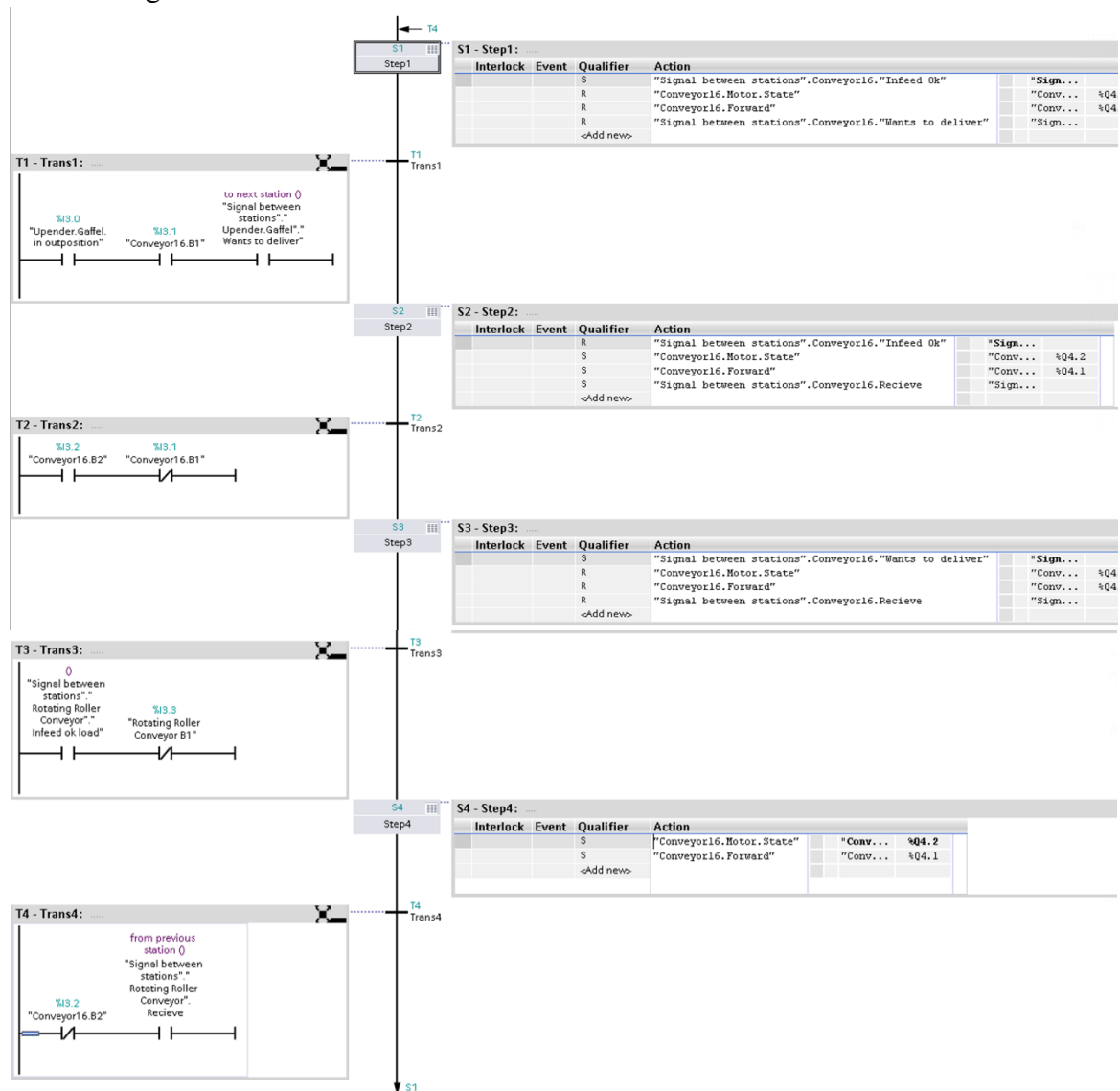
Figur 4.3.13. PLC-sequens för V-bandets skjutare.

Upprättarens horisontella transportdel tar emot rullen från V-bandets skjutare när rullen har nått mottagningsgivaren, V-bandets skjutare har nått utposition och rullen inte längre ligger kvar i V-bandet. När dessa villkor är uppfyllda bekräftas mottagningen och den horisontella transportdelen markeras som upptagen. Därefter används ett tidsvillkor på fem sekunder för att rullen ska hinna stabiliseras mot det mekaniska stoppet. När tidsvillkoret är uppfyllt startas transporten och rullen matas fram till rätt position inför upprättningen. När slutgivaren aktiveras stoppas transporten och en överlämningsignal skickas vidare till gaffelarmarna. Gaffelarmarna används för att rotera rullen till vertikalt läge. Gaffelarmarna startar under förutsättning att den horisontella transportdelen har aktiv överlämningsignal, gaffelarmarna står i hemposition och rullen är bekräftad i rätt läge. När dessa villkor är uppfyllda aktiveras gaffelarmarnas framåtrörelse. Denna rörelse motsvarar rotationen som reser rullen från horisontellt till vertikalt läge. När gaffelarmarna har nått utposition stoppas rörelsen och en överlämningsignal skickas vidare till det vertikala utmatningstransportbandet. Återgången till hemposition aktiveras först när den vertikala utmatningen har tagit emot rullen och nästa steg i flödet är säkrat. Gaffelarmarnas sekvens visas i Figur 4.3.14.



Figur 4.3.14. Gaffelarmarnas sekvens i TIA Portal.

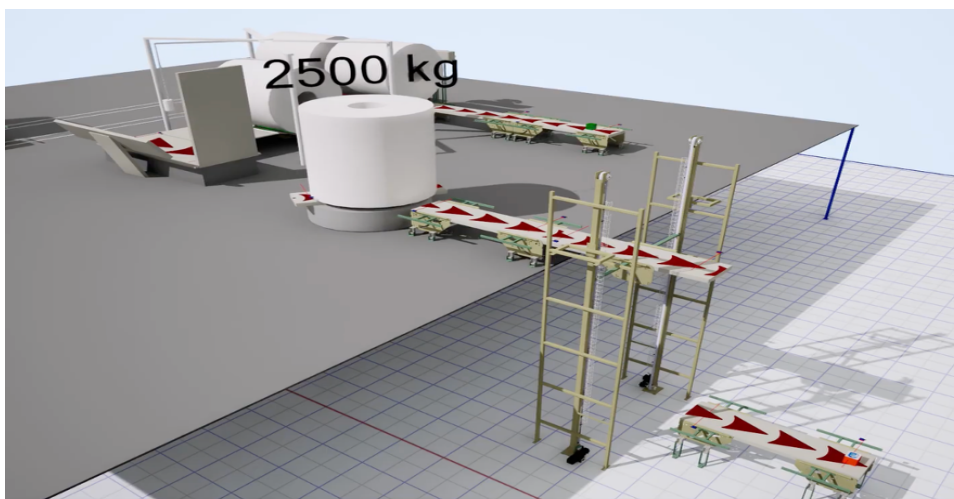
Det vertikala utmatningstransportbandet ansvarar för att föra rullen vidare från upprättaren till nästa delstation. Bandet tar emot rullen när gaffelarmarna står i utposition, rullen har nått början av transportbandet och gaffelarmarna har aktiv överlämningsignal. När dessa villkor är uppfyllda startar bandet och rullen transporteras vidare tills slutgivaren aktiveras. Därefter markeras bandet som redo att lämna över rullen till den roterande transportenheten i delstation 4. För överlämningen krävs att mottagande enhet i nästa delstation är redo och att dess mottagningsområde är ledigt. När mottagningen i nästa delstation har bekräftats återgår sekvensen för det vertikala utmatningstransportbandet till sitt initiala steg. Figur 4.3.15 visar sekvensen för det vertikala utmatningstransportbandet. Gaffelarmarna kan därefter återgå till hemposition när överlämningen är slutförd och mottagningen är säkrad. Genom denna styrning kan delstation 3 samordna omplastning, överföring, upprättning och vidare transport utan att någon rörelse startar innan rätt position, mottagning och återställning har bekräftats.



Figur 4.3.15. Det vertikala utmatningstransportbandets sekvens i TIA Portal.

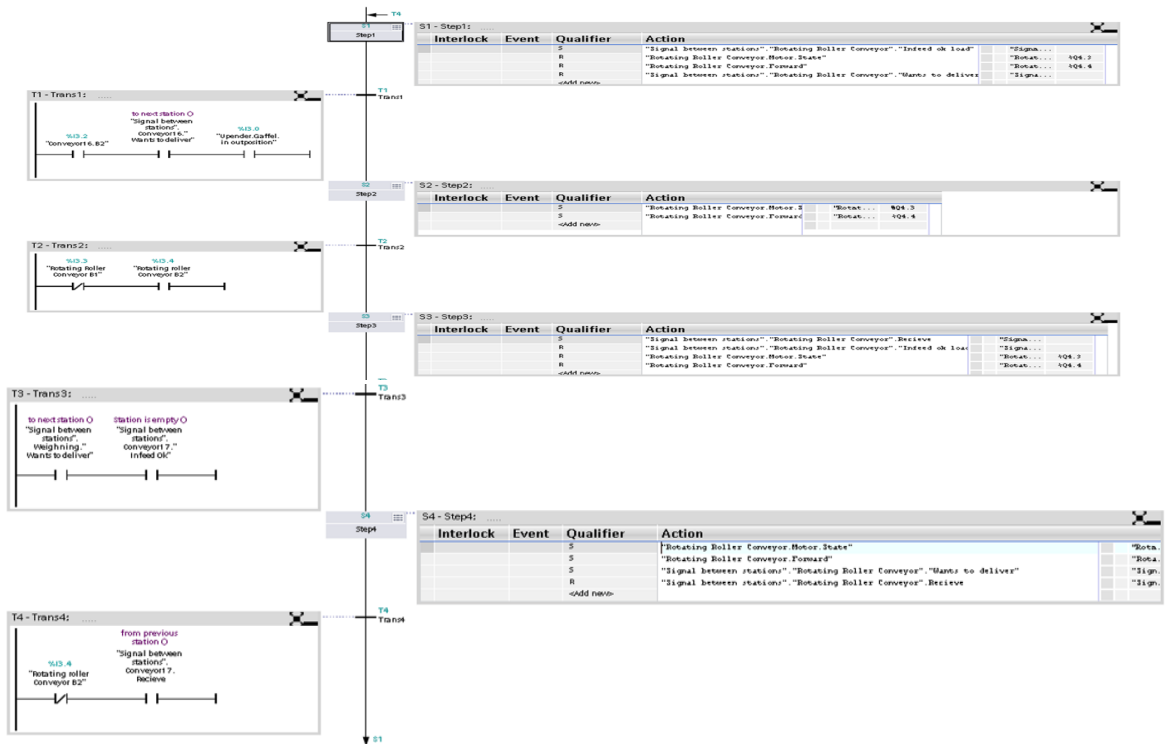
4.3.4 Delstation 4: Vägning och slutlig transport

Styrlogiken för delstation 4 är uppbyggd med separata funktionsblock för den roterande transportenheten, vägningfunktionen, transportband 17, hissens transportband och det utgående transportbandet 19. Delstationen hanterar mottagning från det vertikala utmatningstransportbandet i delstation 3, rotation och vägning, vidare transport till hissen samt slutlig utmatning från modellen. Logiken följer samma grundprincip som tidigare delstationer, där varje del endast aktiveras när föregående rörelse är avslutad och mottagande del är redo.



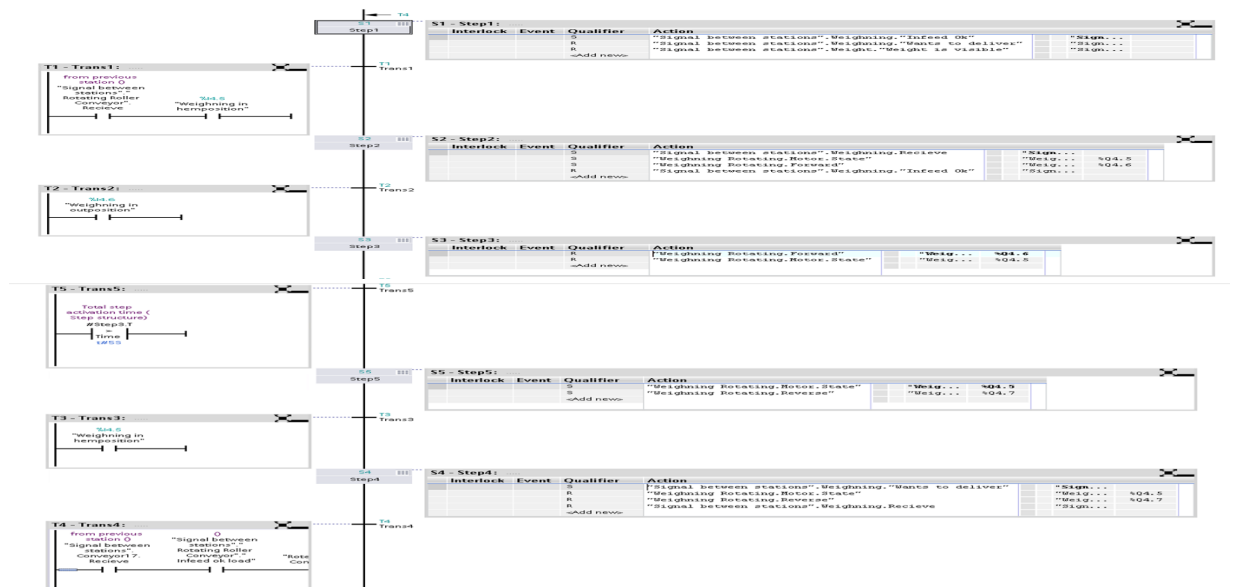
Figur 4.3.16. Viktvisualisering i Emulate3D.

Den roterande transportenheten tar emot rullen från delstation 3. Mottagningen startar när tre villkor är uppfyllda: rullen har nått slutgivaren på det vertikala utmatningstransportbandet, föregående del har aktiv överlämningsignal och gaffelarmarna står i utposition. När dessa villkor är uppfyllda startar den roterande transportenheten och rullen förs in till rätt position. När rullens position har bekräftats med givarna på transportenheten stoppas bandet och mottagningen bekräftas. Därefter kan vägningmomentet starta, under förutsättning att vägningseenheten befinner sig i sitt hemläge. Själva viktavläsningen hanteras med ett anpassat C#-skript kopplat till vägningssensorn i Emulate3D. När rullen blockerar sensorn läser skriptet av rullens massvärde i modellen och visar vikten visuellt ovanför rullen i kilogram. Figur 4.3.16 visar hur viktvärdet visualiseras i Emulate3D.



Figur 4.3.17. PLC-sekvens för roterande transportenheten.

PLC-logiken används däremot för att styra när vägningsmomentet ska genomföras och när flödet får fortsätta. När vägningssekvensen aktiveras förs vägningsenheten till utposition och ett tidsvillkor på fem sekunder används för att säkerställa att viktavläsningen hinner utföras. Därefter förs vägningsenheten tillbaka till hemposition. När återgången är markerad anges vägningsmomentet som färdigt och en intern signal aktiveras för att ange att viktvisualiseringen är utförd. När rullen lämnar vägningsensorn återställs viktvärdet till noll och textvisningen rensas. Figur 4.3.17 visar huvudsekvensen för den roterande transportenheten medan Figur 4.3.18 visar sekvensen för vägningsmomentet.



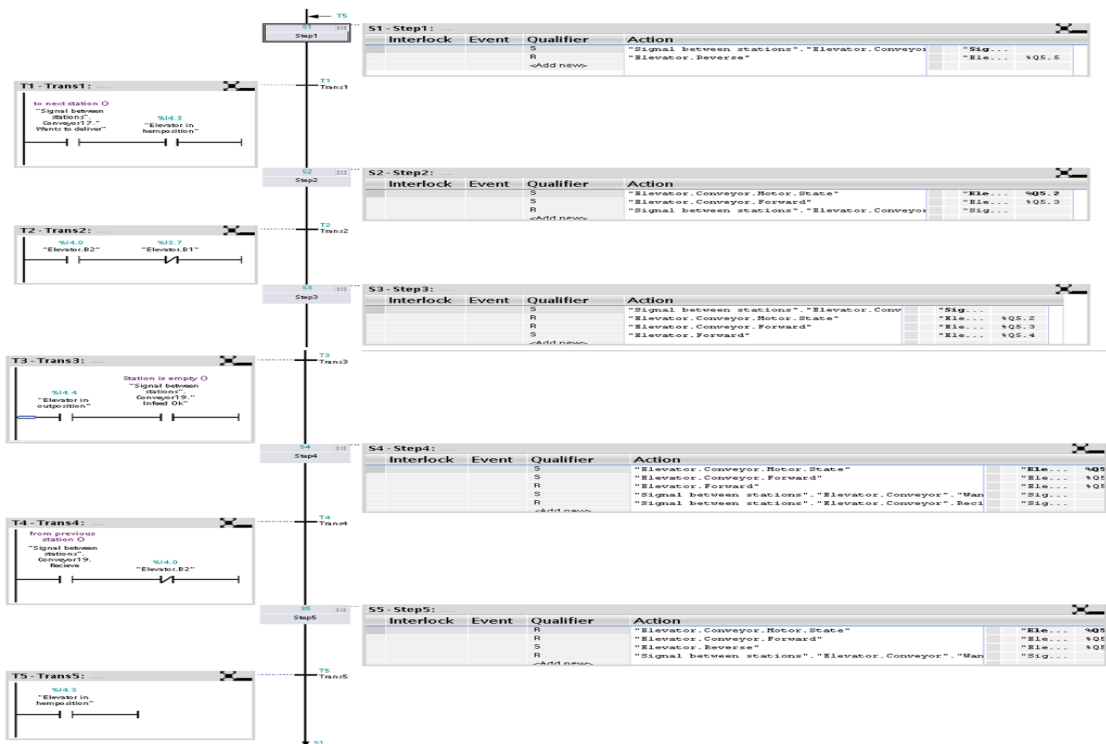
Figur 4.3.18. PLC-sekvens för vägningsmomentet.

Transportband 17 fungerar som länken mellan den roterande transportenheten och hissen. Efter avslutat vägningsmoment inväntar transportband 17 överlämnings signaler från den roterande transportenheten och vägningssekvensen. När villkoren är uppfyllda aktiveras transportbandet och rullen förs vidare. Bandet stoppas när givarna bekräftar att rullen har nått överlämningspositionen mot hissen. Därefter markeras mottagningen som slutförd och transportband 17 kan begära vidare överlämning till hissen. Denna överlämning aktiveras först när hissen står i hemposition och hissbandet är redo att ta emot. Sekvensen för transportband 17 visas i Figur 4.3.19.



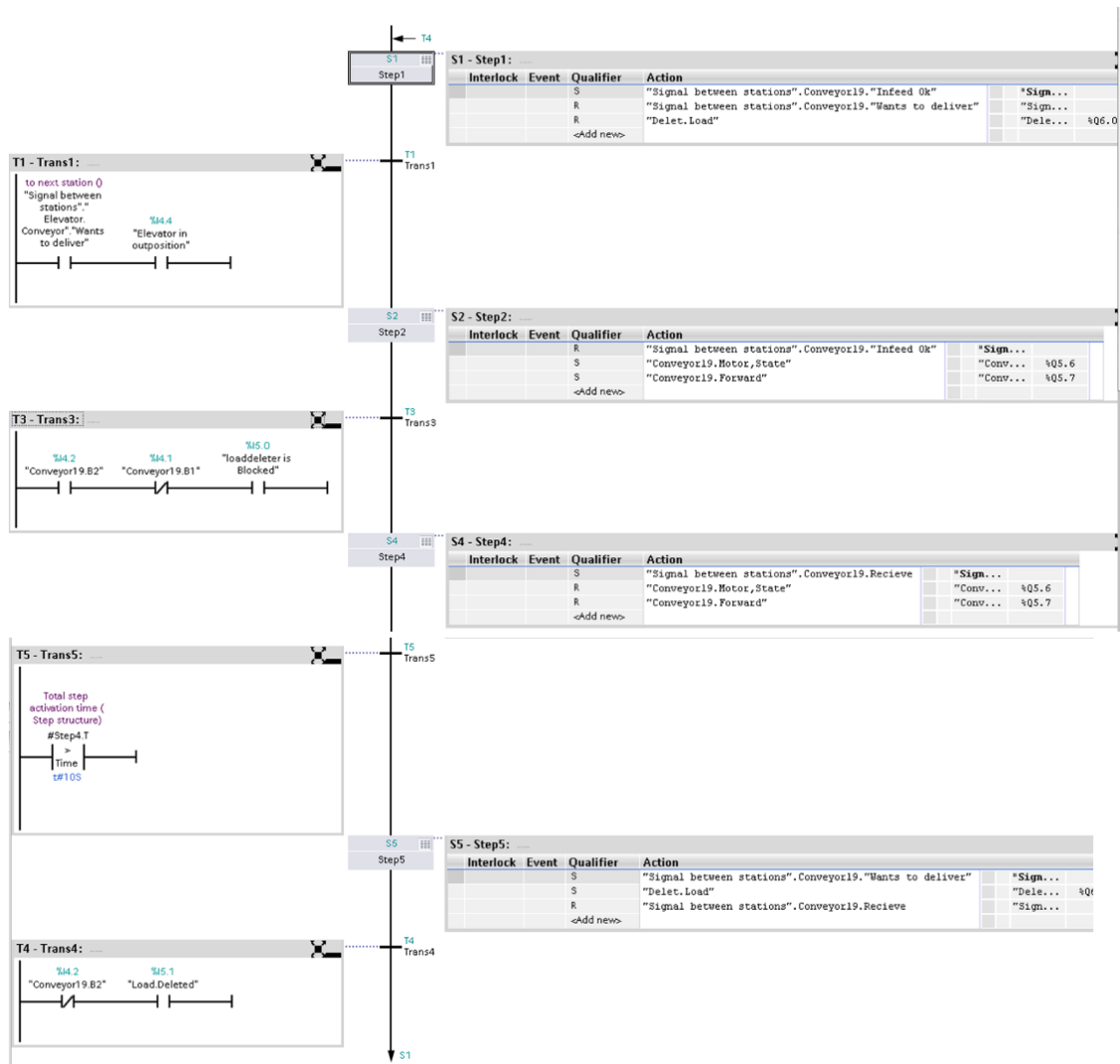
Figur 4.3.19. PLC-sekvens för transportband 17.

Hissen och det utgående transportbandet 19 utgör den avslutande delen av delstation 4. När transportband 17 har fört rullen till överlämningsläget inväntar hissen en aktiv överlämningsignal från transportband 17 samt bekräftelse på att hissen står i hemposition. Därefter startar hissbandet och rullen förs in på hissen. När givarna på hissbandet bekräftar att rullen har nått rätt position stoppas banddriften och hissens vertikala rörelse aktiveras mot utposition. När hissen har nått utposition kontrolleras att transportband 19 är redo att ta emot innan hissbandet startas igen. När mottagningen på transportband 19 har bekräftats återställs hissens överlämnings signaler och hissen återgår till hemposition. Figur 4.3.20 visar hissens sekvens.



Figur 4.3.20. PLC-sekvens för Hiss.

Transportband 19 hanterar därefter den slutliga utmatningen ur den digitala modellen. För att transportbandet ska ta emot rullen krävs att hissens transportband har aktiv överlämnings signal och att hissen står i utposition. Rullen transporteras vidare mot slutet av det modellerade flödet när dessa villkor är uppfyllda. Därefter bekräftas mottagningen och ett tidsvillkor på 10 sekunder aktiveras innan borttagningsfunktionen startar. Sekvensen återställs till initialt steg när borttagningen bekräftas med en signal från borttagningsfunktionen och rullens närvaro vid bandets slutgivare försvinner. Tidsvillkoret används för att rullen ska hinna lämna det synliga utmatningsområdet innan den tas bort ur simuleringen. På så sätt markeras att rullen har lämnat slutstationens modellerade huvudflöde utan att försvinna direkt vid givarsignalen. Figur 4.3.21 visar sekvensen för transportband 19.



Figur 4.3.21. PLC-sekvens for transportband 19.

4.4 Integrering mellan Emulate3D och PLC-simulering

Integreringen mellan Emulate3D och PLC-simuleringen används för att möjliggöra styrning av den virtuella modellen via styrprogrammet i TIA Portal. Styrenheten är uppbyggd i TIA Portal kring ett virtuellt S7-1500-system med namnet UAG1. CPU 1511-1 PN fungerar som huvudprocessor i systemet och ansvarar för att beräkna och utföra styrlogiken. Till denna CPU är även en digital I/O-modul kopplad för att hantera systemets in- och utgående signaler. PLC-konfigurationen visas i Figur 4.4. I samma miljö programmeras styrlogiken och de PLC-taggar som krävs för kommunikationen upprättas manuellt. När PLC-strukturen och programmet är färdigkonfigurerade startas styrenheten som en virtuell PLC-instans med hjälp av S7-PLCSIM Advanced, se Figur 4.4. Den virtuella instansen tilldelas IP-adressen 192.168.100.10 och fungerar som den centrala kommunikationslänken för datautbytet mellan TIA Portal och Emulate3D.

The screenshot displays the TIA Portal interface for configuring a virtual PLC system. The main window shows a rack configuration with a CPU 1511-1 PN in slot 0 and a DI 32x24VDC SNV... module in slot 2. The 'Device overview' table lists the modules:

Module	Rack	Slot	I address	Q addr.	Type
UAG1	0	0			CPU 1511-1 PN
PROFINET interface_1	0	1	X1		PROFINET interface
Port_1	0	1	X1	P1	Port
Port_2	0	1	X1	P2	Port
DI 32x24VDC SNV/SRC / DQ...	0	2	0..3	0..3	DI 32x24VDC SNV...

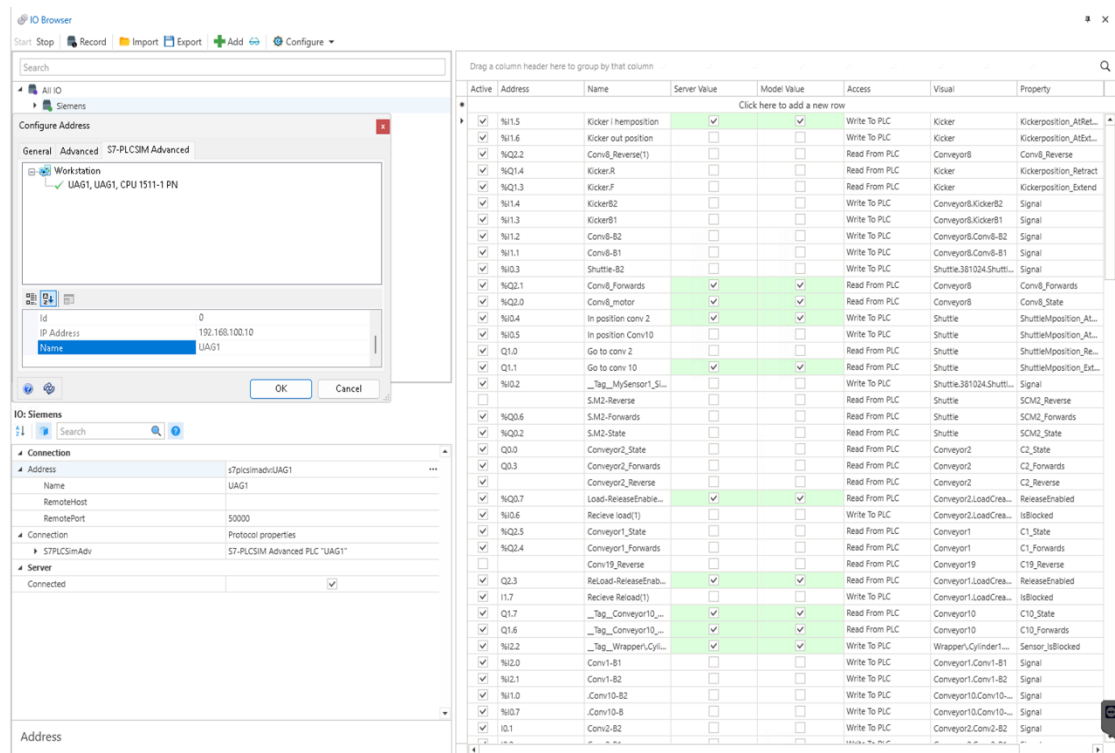
The 'Properties' window shows the 'Overview of addresses' for the module:

Type	Addr. fr...	Addr. to	Size	Module	Rack	Slot	Device name	Devic.	Master / IO syst...
I	0	3	4 Bytes	DI 32x24VDC SNV/SRC / DQ 32x2...	0	2	UAG1 [CPU 1511-1 PN]	-	-
Q	0	3	4 Bytes	DI 32x24VDC SNV/SRC / DQ 32x2...	0	2	UAG1 [CPU 1511-1 PN]	-	-

The 'S7-PLCSIM Advanced V7.0' window shows the 'Start Simulated PLC Instance' dialog with instance name 'UAG1' and IP address '192.168.100.10'.

Figur 4.4. PLC-konfiguration i TIA Portal med CPU och I/O-modul för den virtuella styrenheten samt virtuell PLC-instans i S7-PLCSIM Advanced

Anslutningen mellan Emulate3D och PLC-simuleringen sker via Emulate3D I/O Browser med kommunikationsinställningar till S7-PLCSIM Advanced. I anslutningsinställningarna adresseras kopplingen med strängen s7plcsimadv för att länka modellen till den virtuella styrenheten. Adresskonfigurationen där PLC-instansen UAG1 identifieras med korrekt namn, CPU-typ och IP-adress, visas i Figur 4.4.1. Dataöverföringen mellan programmen bygger på manuellt skapade I/O-signaler. Signalerna mappas en och en mellan PLC-taggar och motsvarande 3D-objekt, funktioner, givarsignaler och lägesindikeringar i den digitala modellen. Exempel på denna mappning visas i Figur 4.4.1. Signalernas funktion definieras utifrån informationsflödet mellan modellen och PLC-programmet. Insignaler, till exempel givarsignaler och lägesindikeringar, överförs från Emulate3D till PLC-ingångarna med inställningen *Write To PLC*. Utsignaler, till exempel motorstatus, körriktningar och rörelsekommandon, överförs från PLC-utgångarna till modellen med inställningen *Read From PLC*.



Figur 4.4.1. Adresskonfiguration i Emulate3Ds I/O Browser.

4.5 Genomförda tester och justeringar

Verifieringen av systemet genomfördes i två övergripande faser. Först testades varje delstation direkt efter att grundstrukturen hade färdigställts i Emulate3D och motsvarande sekvens hade programmerats i TIA Portal. Detta arbetssätt användes fram till omplastningsenheten. Därefter byggdes resterande delar av modellen färdigt, varefter sekvenserna programmerades, kopplades samman och testades som ett sammanhängande flöde. Testningen baserades på visuell kontroll av rullarnas rörelser i Emulate3D och övervakning av signalstatus i TIA Portal. På så sätt kunde modellens rörelser, fotocellsensorer, lägesindikeringar, PLC-utgångar och sekvenssteg jämföras med den avsedda funktionen. Testerna användes även för att identifiera fel i signaladresser, övergångsvillkor, återställningar och komponentplaceringar.

De mest omfattande justeringarna gällde omplastningsenheten, upprättaren och prioriteringslogiken vid transportband 8. I omplastningsenheten justerades övergångsvillkoren mellan V-bandet, plastningsarmen och V-bandets skjutare, så att nästa rörelse endast aktiveras när föregående moment är avslutat och rätt signaler är återställda. Plastningsarmens hastighetsstyrning justerades utifrån positionsvärdet, så att hastigheten sänks vid rätt område före slutpositionen. När dessa villkor inte var korrekt samordnade kunde sekvensen stanna i ett mellanläge eller invänta en signal som inte längre uppdaterades. I upprättaren krävdes motsvarande justeringar av övergångsvillkor eftersom den horisontella transportdelen, gaffelarmarna och det vertikala utmatningstransportbandet styrs separat men behöver fungera som en sammanhängande sekvens. Justeringarna fokuserade därför på att förhindra att en rörelse startar för tidigt och att säkerställa att rullen behåller rätt position under rotationen till vertikalt läge. Vid transportband 8 justerades prioriteringslogiken mellan parent-rullar och reload-rullar. Villkoren utformades så att reload-flödet spärras när parent-flödet begär överlämning, vilket förhindrar att det gemensamma mottagningsområdet tar emot två rullar samtidigt.

Utöver detta korrigerades generella fel i styrsystemet, till exempel felaktiga signaladresser och interna kommunikationssignaler som inte återställdes i rätt processteg. Sådana fel kunde hindra en sekvens från att gå vidare eller från att återgå till sitt initiala läge. Felsökningen genomfördes genom att signalvärden i TIA Portal jämfördes med modellens beteende i Emulate3D. Därefter korrigerades berörda adresser, villkor och återställningar. Den digitala modellen behövde även justeras utifrån Emulate3D:s simuleringsmiljö. Fotocellsensorerna placerades om för att rullarna skulle detekteras vid rätt position i respektive sekvens. I vissa delar infördes även tidsvillkor för att rullen skulle hinna stabiliseras mot mekaniska stopp eller för att en rörelse skulle hinna avslutas innan nästa steg aktiverades. Tidsvillkoren justerades under testningen tills de motsvarade den funktion som krävdes i respektive sekvens.

5. Resultat och diskussion

I detta kapitel redovisas och diskuteras resultatet av den framtagna digitala tvillingen och den PLC-baserade styrningen. Kapitlet behandlar modellens funktion och materialflöde, verifieringen av PLC-styrning och signalutbyte samt de felkällor och justeringar som identifierades under arbetet. Vidare diskuteras resultatets begränsningar, modellens användbarhet, hållbarhetsmässiga och säkerhetsmässiga aspekter samt förslag till fortsatt arbete.

5.1 Modellens funktion och materialflöde

Den framtagna digitala tvillingen återger slutstationens huvudsakliga materialflöde genom fyra delstationer. Modellen omfattar inmatning av parent- och reload-rullar, sammanföring av rullflöden, omplastning, vertikal orientering, vägning och utgående transport. Detta innebär att rullen kan följas genom hela det modellerade huvudflödet, från inmatning till att den lämnar den digitala slutstationen. En central del av resultatet är att modellen hanterar två skilda rullflöden inom samma sammanhängande process. Parent-rullar matas in via delstation 1 medan reload-rullar matas in separat i delstation 2. Flödena samordnas vid transportband 8 och fortsätter därefter genom samma efterföljande delstationer. På så sätt visar modellen inte bara de enskilda delstationernas funktion, utan även hur två inflöden kan koordineras i ett gemensamt materialflöde.

Delstationerna samverkar genom interna överlämnings signaler, givarsignaler och lägesindikeringar. Rullen transporteras stegvis mellan inmatning, sammanföring, omplastning, upprättning, vägning och uttransport, där varje delstation endast kan lämna över rullen när mottagande del är redo. Detta gör att materialflödet kan följas på ett kontrollerat sätt och att sambandet mellan modellens rörelser och PLC-styrningens sekvenser blir tydligt. Valideringen visar att modellen återger slutstationens huvudsakliga flöde och delstationernas funktion på en nivå som är tillräcklig för virtuell testning, visualisering och teknisk granskning. Bedömningen stärks av att modellens övergripande funktion och materialflöde har stämts av mot underlag, funktionsbeskrivningar och muntliga genomgångar med personal från Core Link AB.

5.2 Verifiering av PLC-styrning och signalutbyte

PLC-styrningens funktion kontrollerades genom att rullens rörelse i Emulate3D jämfördes med aktiva sekvenssteg och signalstatus i TIA Portal. Överlämningarna mellan delstationerna följdes framför allt genom den återkommande signalstrukturen *Infeed OK*, *Wants to deliver* och *Receive*. Dessa signaler användes för att ange när en delstation var redo att ta emot, när en överlämning begärdes och när mottagningen hade bekräftats. Utöver dessa användes även funktionsspecifika signaler för exempelvis positionskontroll, vägningsmoment, återställningar och hantering av parent- och reload-

flöden. Verifieringen visade att signalutbytet mellan Emulate3D och PLC-programmet fungerade enligt den avsedda sekvensen för samtliga modellerade delstationer.

Resultatet visar att PLC-programmet hanterar sekvensordningen för varje delstation och att signalerna uppdateras i relation till rullens position i modellen. Fotocellsensorer och lägesindikeringsfunktioner genererar ingångssignaler till PLC:n medan PLC-programmet skickar utgångssignaler för motorstatus, körriktningar och rörelsekommandon tillbaka till modellen. Ett centralt verifierat driftfall är prioriteringslogiken vid transportband 8, där parent-flödet och reload-flödet kan begära överlämning till samma mottagningsområde. Vid samtidig begäran prioriteras parent-flödet medan reload-flödet väntar tills mottagningsområdet är ledigt. Detta förhindrar att två rullar skickas mot transportband 8 samtidigt och visar att modellen kan användas för att verifiera samordningen mellan konkurrerande inflöden.

5.3 Felkällor och justeringar

Testningen visade att den digitala modellen kunde användas för att identifiera och korrigera flera felkällor i både styrlogik och materialflöde. De mest komplexa delarna var omplastningsenheten, upprättaren och prioriteringslogiken vid transportband 8, eftersom dessa delar består av flera rörelser och signalvillkor som behöver samverka i rätt ordning. I omplastningsenheten behövde övergångarna mellan V-bandet, plastningsarmen och V-bandets skjutare justeras så att varje rörelse startar först när föregående moment är avslutat och rätt signaler har återställts. Plastningsarmens hastighetsstyrning anpassades också genom att en bromsningspunkt beräknades före slutpositionen. I upprättaren krävdes motsvarande justeringar eftersom den horisontella transportdelen, gaffelarmarna och det vertikala utmatningstransportbandet fungerar som separata delsystem men samtidigt behöver bilda en sammanhängande sekvens. Justeringarna ledde till stabilare rörelser, korrekt sekvensordning, bibehållen rullposition under övergången från horisontellt till vertikalt läge samt minskad risk för att sekvensen fastnar i mellanlägen.

Utöver de större felkällorna identifierades även generella problem i signalhanteringen. Dessa omfattade felaktiga signaladresser, interna kommunikationssignaler som inte återställdes vid rätt tillfälle, fotocellsensorer som inte detekterade rullen vid rätt position samt tidsvillkor som inte motsvarade rörelsernas förlopp i simuleringen. Efter korrigeringarna blev signalflödet mer tillförlitligt och överlämningarna mellan delstationerna fungerade enligt den avsedda sekvensen. Detta gjorde att huvudflödet kunde köras mer stabilt och att kopplingen mellan givarsignaler, sekvenssteg och rörelsekommandon blev tydligare i modellen.

5.4 Diskussion, begränsningar och fortsatt arbete

Kombinationen av Emulate3D, TIA Portal och S7-PLCSIM Advanced fungerar väl för att granska kopplingen mellan en virtuell modell och PLC-baserad styrlogik. Resultatet visar att modellen kan användas för att följa materialflödet, kontrollera signalutbytet och verifiera sekvensordningen innan fysisk byggnation. Den största nyttan framträder i de delar där flera rörelser och signalvillkor behöver samverka, exempelvis vid omlastningsenheten och upprättaren. Genom simuleringen kan fel i övergångsvillkor, signalåterställningar och sensorplaceringar identifieras tidigare än vid fysisk driftsättning.

Samtidigt bör resultatet tolkas utifrån arbetets avgränsningar. Modellen visar främst huvudflödet, PLC-logiken, signalutbytet och sekvensbeteendet i den virtuella miljön. Den säger däremot inte något om systemets kapacitet i drift, eftersom cykeltider, genomströmning och produktionskapacitet inte ingår i arbetet. Resultatet omfattar inte heller mekanisk hållfasthet eller exakt geometrisk överensstämmelse med den framtida fysiska anläggningen. Modellen bör därför ses som ett stöd för funktionell verifiering, teknisk granskning och visualisering, snarare än som en fullständig verifiering av hela anläggningen.

Ett fortsatt arbete kan vara att komplettera modellen med mer specifika driftdata från Core Link AB, exempelvis cykeltider, bandhastigheter och rörelsehastigheter för de rörliga enheterna. Med sådana värden kan modellen kalibreras mer noggrant mot den tänkta fysiska anläggningens driftförhållanden och användas för analys av genomströmning och kapacitetsutnyttjande. Modellen kan även vidareutvecklas med mer fullständigt CAD-underlag för de komponenter som har förenklats eller egenmodellerats, vilket skulle förbättra den geometriska representativiteten och den visuella trovärdigheten vid teknisk granskning och kundpresentationer. De komponenter som har exkluderats, exempelvis etiketteringsfunktionen och vissa mekaniska stopp, kan också läggas till om en mer komplett representation av slutstationen önskas. Vidare kan larmsignaler och olika felscenarier implementeras i styrlogiken och simuleringen, såsom uteblivna sensorsignaler, felaktiga positioner, stoppade rullar eller att en delstation inte är redo att ta emot. Detta skulle göra modellen mer användbar för test av felhantering, operatörsrespons och framtida riskbedömning.

5.5 Hållbarhet, säkerhet och etik

Den digitala tvillingen kan bidra till ett mer resurseffektivt utvecklingsarbete genom att fel i styrlogik, signalutbyte och systemuppbyggnad identifieras innan fysisk byggnation. När sådana fel kan hanteras tidigt minskar risken för sena ändringar, omarbete och upprepade fysiska tester. I detta arbete har hållbarhetsnyttan inte beräknats med mätvärden, eftersom materialåtgång, energiförbrukning och cykeltider inte ingick i undersökningen. Resultatet visar därför främst att modellen kan

användas för tidig verifiering och visualisering medan eventuella miljömässiga besparingar inte har undersökts eller kvantifierats i arbetet.

Ur ett säkerhetsperspektiv ger modellen möjlighet att granska rörelsesekvenser och överlämningar innan systemet testas fysiskt. Detta är relevant eftersom slutstationen innehåller flera rörliga delar, exempelvis skjutare och roterande enheter, där fel sekvensordning eller felaktiga signaler kan leda till oönskade rörelser och risk för skador på personal, utrustning eller material. Simuleringen kan därmed bidra till säkrare förberedelser inför fysisk driftsättning men den ersätter inte de riskbedömningar, skyddsfunktioner och fysiska säkerhetskontroller som krävs innan anläggningen tas i drift. Etiskt är det viktigt att modellens förenklingar och avgränsningar kommuniceras tydligt. Den digitala tvillingen kan användas som stöd för analys, teknisk granskning och kunddialog men ska inte tolkas som en garanti för att den framtida fysiska anläggningen fungerar exakt på samma sätt.

6. Slutsats

Syftet med arbetet är att utveckla en digital tvilling av en slutstation i en produktionslinje inom pappersindustrin, kopplad till PLC-baserad styrlogik för simulering av rullflöde och tidig identifiering av felkällor. Arbetet visar att syftet uppnås för de modellerade huvudfunktionerna. Den digitala tvillingen återger ett sammanhängande materialflöde där parent- och reload-rullar hanteras, samordnas och transporteras genom samtliga fyra delstationer.

Frågeställningen besvaras genom att modellen visar hur slutstationens huvudfunktioner kan byggas upp i Emulate3D och kopplas till PLC-styrning via S7-PLCSIM Advanced. Signalutbytet, sekvensordningen och prioriteringslogiken vid transportband 8 verifieras i den virtuella miljön. Testningen visar även att felkällor i styrlogik, signalhantering och sekvensvillkor kan identifieras och korrigeras innan fysisk byggnation.

Den framtagna modellen kan därmed användas som stöd för virtuell testning, visualisering och teknisk granskning av slutstationens funktion. Resultatet ska dock tolkas utifrån arbetets avgränsningar. Arbetet omfattar verifiering av huvudflödet, PLC-logiken och sekvensbeteendet i den virtuella miljön. Däremot ingår inte analys av produktionskapacitet, cykeltider eller mekanisk hållfasthet. Modellen kan därför användas för funktionell verifiering av styrning och materialflöde men ersätter inte fysisk verifiering eller detaljerad konstruktionsanalys av den framtida anläggningen.

Referenser

- [1] C. Fredriksson, ”Digitala tvillingar som vision och verklighet: En kunskapsöversikt om hur digitala tvillingar förstås och används i offentlig sektor”, www.su.se, 2024. [Online]. Tillgänglig: https://www.su.se/download/18.7b9fb02419936f86488100f8/1758184118817/Ladda%20ner%20rapportenScorerapport%202024_2.pdf. Hämtad: 2026-03-30.
- [2] AFRY, ”Så gör digitala tvillingar industrin effektivare”, www.afry.com, 2018. [Online]. Tillgänglig: <https://afry.com/sv/nyhetsrum/nyheter/sa-gor-digitala-tvillingar-industrin-effektivare>. Hämtad: 2026-03-30.
- [3] Core Link AB, ”Home | Core Link AB”, www.corelink.se, u.å. [Online]. Tillgänglig: <https://www.corelink.se/>. Hämtad: 2026-03-30.
- [4] N. Gallagher och M. M. Armstrong, ”What is a digital twin?”, www.ibm.com, 2020, uppdaterad 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ibm.com/think/topics/digital-twin>. Hämtad: 2026-04-01.
- [5] Emulate3D, ”Home - Emulate3D”, <https://www.emulate3d.com/>, u.å. [Online]. Hämtad: 2026-04-01.
- [6] Emulate3D, ”Emulate3D for Machine Builders”, <https://www.emulate3d.com/products/emulate3d-for-machine-builders/>, u.å. [Online]. Hämtad: 2026-04-01.
- [7] Emulate3D, ”Emulate3D Controls Testing”, <https://www.emulate3d.com/products/emulate3d-control-testing/>, u.å. [Online]. Hämtad: 2026-04-01.
- [8] Emulate3D, ”Generic Controller,” *Emulate3D Help, Demo3D 2026*, u.å. [Online]. Tillgänglig: https://store.sim3d.com/demo3d_2026/generic_controller. Hämtad: 2026-05-15.
- [9] Emulate3D, ”Advanced Actuation Controller,” *Emulate3D Help, Demo3D 2026*, u.å. [Online]. Tillgänglig: https://store.sim3d.com/demo3d_2026/advanced_actuation_controller. Hämtad: 2026-05-15.
- [10] Emulate3D, ”Counting Encoder,” *Emulate3D Help, Demo3D 2026*, u.å. [Online]. Tillgänglig: https://store.sim3d.com/demo3d_2026/counting_encoder. Hämtad: 2026-05-15.
- [11] Microsoft, ”A tour of the C# language,” *Microsoft Learn*, uppdaterad 2026-02-23. [Online]. Tillgänglig: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/tour-of-csharp/overview>. Hämtad: 2026-05-15.
- [12] Emulate3D, ”Native Scripting,” *Emulate3D Help, Demo3D 2026*, u.å. [Online]. Tillgänglig: https://store.sim3d.com/demo3d_2026/native_scripting. Hämtad: 2026-05-15.
- [13] V. Romanov, ”PLC Programming – The ULTIMATE guide for beginners!”, www.solisplc.com, u.å. [Online]. Tillgänglig: <https://www.solisplc.com/what-is-plc-programming#introduction-to-plc-programming-languages>. Hämtad: 2026-04-01.

- [14] Siemens, "TIA Portal: En plattform för effektiv konstruktion", www.siemens.com, 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.siemens.com/sv-se/products/tia-portal/>. Hämtad: 2026-04-02.
- [15] Siemens, "S7-PLCSIM Advanced", www.siemens.com, 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.siemens.com/sv-se/products/simatic/s7-plcsim-advanced/>. Hämtad: 2026-04-02.
- [16] Siemens, "GRAPH programming language (S7-300, S7-400, S7-1500) - STEP 7," *TIA Portal Documentation*, version V20, Nov. 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://docs.tia.siemens.cloud/r/en-us/v20/creating-graph-programs-s7-300-s7-400-s7-1500/basic-information-on-graph-s7-300-s7-400-s7-1500/graph-programming-language-s7-300-s7-400-s7-1500?contentId=GCzvezrsBSf3Pdu3XrvTxg>. Hämtad : 2026-05-19.
- [17] ATS Industrial Automation, "Virtual Commissioning", www.atsindustrialautomation.com, u.å. [Online]. Tillgänglig: <https://atsindustrialautomation.com/virtual-commissioning/>. Hämtad: 2026-04-03.
- [18] R. G. Sargent, "Verification and Validation of Simulation Models," i *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hugan och E. Yücesan, red., 2010, ss. 166–183. [Online]. Tillgänglig: <https://www.informs-sim.org/wsc10papers/016.pdf>. Hämtad: 2026-04-03.

Personreferenser

Beskrivningen av slutstationens uppbyggnad baseras på internt underlag från Core Link AB samt kontinuerlig personlig kommunikation under arbetsgång med Nils Strandh, utvecklingschef vid Core Link AB och Nour Aleissa, automationsingenjör vid Core Link AB, 2026.

Bilagor

I bilagorna sammanställs rapportens figurer och tabeller indelade efter slutstationens delstationer och övergripande områden. Som komplement redovisas även de C#-program som användes i Emulate3D.

Bilageförteckning

- Bilaga A. Övergripande modell- och projektunderlag
- Bilaga B. Delstation 1: Inmatning av parent-rullar
- Bilaga C. Delstation 2: Inmatning och sammanföring av rullflöden
- Bilaga D. Delstation 3: Omplastning och vertikal orientering
- Bilaga E. Delstation 4: Vägning och slutlig transport
- Bilaga F. Sensorfunktioner och C#-program i Emulate3D
- Bilaga G. PLC-struktur, signalutbyte och integration

Bildkällor

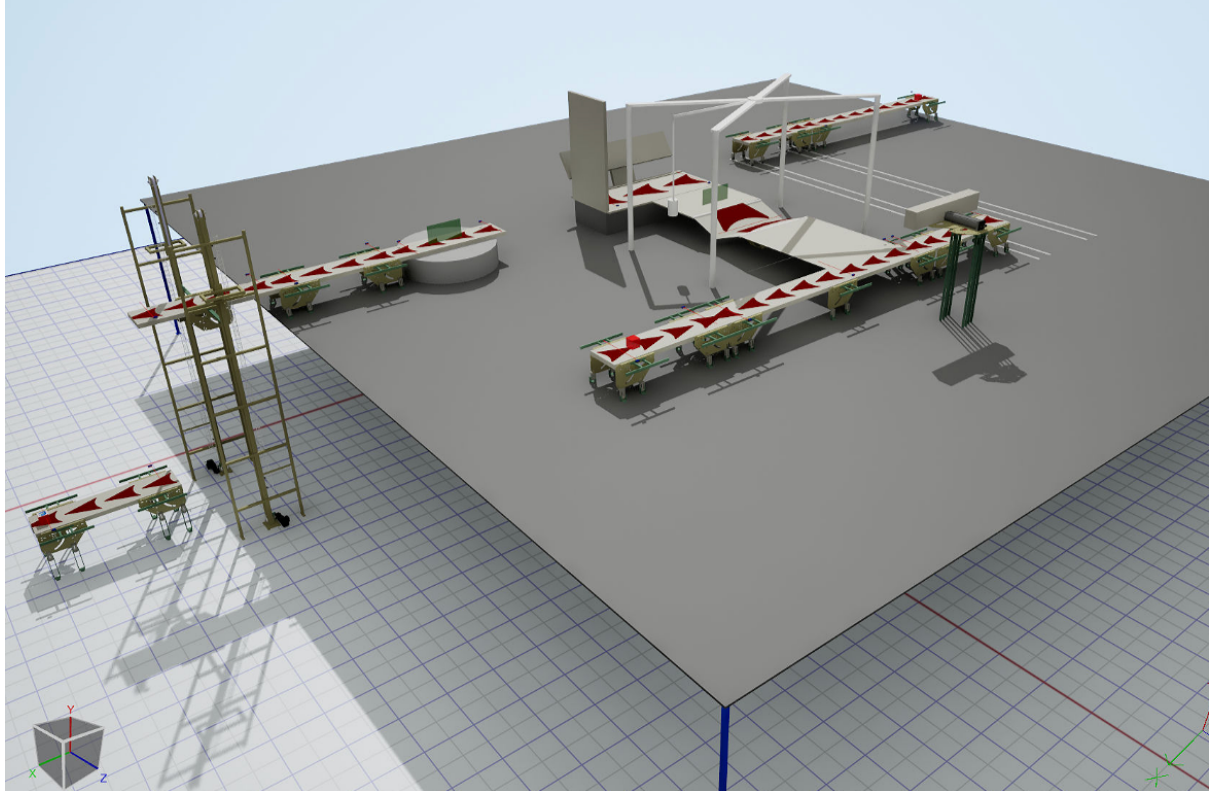
Framsidesbilden är AI-genererad av författarna och används som illustrativ bild. Den utgör inte en exakt teknisk återgivning av den digitala modellen eller den framtida fysiska anläggningen.

Figur 2.1, Figur 3.1 och Figur 3.2 är baserade på internt underlag från Core Link AB och används med företagets tillstånd.

Övriga figurer i rapporten är framtagna av författarna, om inget annat anges.

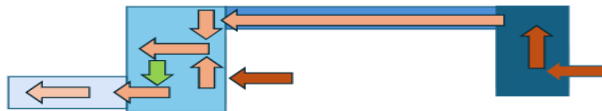
Bilaga A. Övergripande modell och projektunderlag

Denna bilaga visar det övergripande underlaget för slutstationen och den digitala modellen. Bilagan används som stöd för att illustrera stationens layout, komponentindelning och modellens helhetsuppbyggnad.

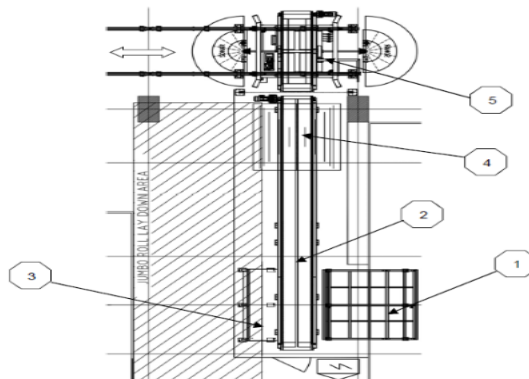


Figur 2.1. Översikt över den modellerade slutstationen i Emulate3D.

Produktionslinje Digital Tvilling

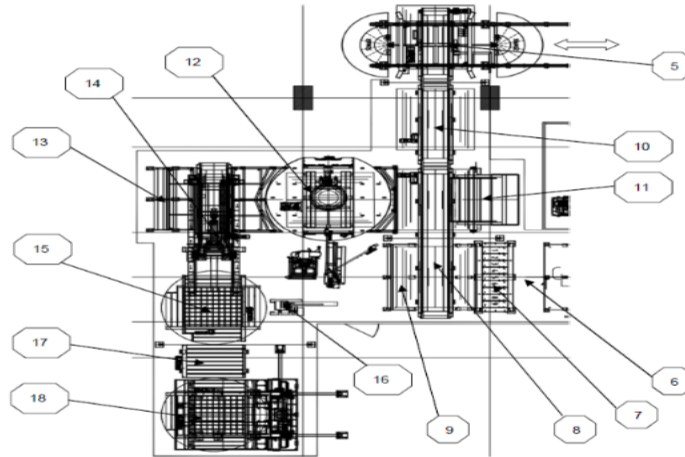


Roll handling including:		
1	Connecting steel ramp from Tissue Machine	1 pc
2	PVC V-shape conveyor for receiving parent rolls L=7000 mm	1 pc
3	Fixed stopper	1 pc
4	PVC V-shape conveyor for parent rolls L=3000 mm	1 pc
5	Shuttle with PVC V-shape conveyor for parent rolls L=3000 mm onboard (Distance of operation is approx. 45m)	1 pc

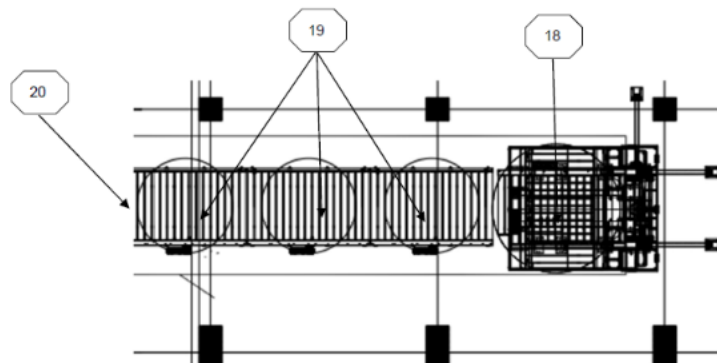


Figur 3.1 Projektunderlag del 1/2.

Roll handling including:		
6	Connecting steel ramp from Rewinder	1 pc
7	Selectable stopper with 9 wedges L=3000mm	1 pc
8	PVC V-shape conveyor for receiving parent rolls L=7000 mm	1 pc
9	Fixed stopper	1 pc
10	PVC V-shape conveyor for parent rolls L=3000 mm	1 pc
11	Hydraulic kicker	1 pc
12	Wrapper machine including steel ramps and ejection device	1 pc
13	Fixed stopper	1 pc
14	Hydraulic up-ender with PVC V-shape conveyor and rotating roller conveyor	1 pc
15	Weighing device on rotating roller conveyor (for 270 degrees application of label)	1 pc
16	Automatic label device incl. software	1 pc
17	Roller conveyor for feeding the roll elevator	1 pc



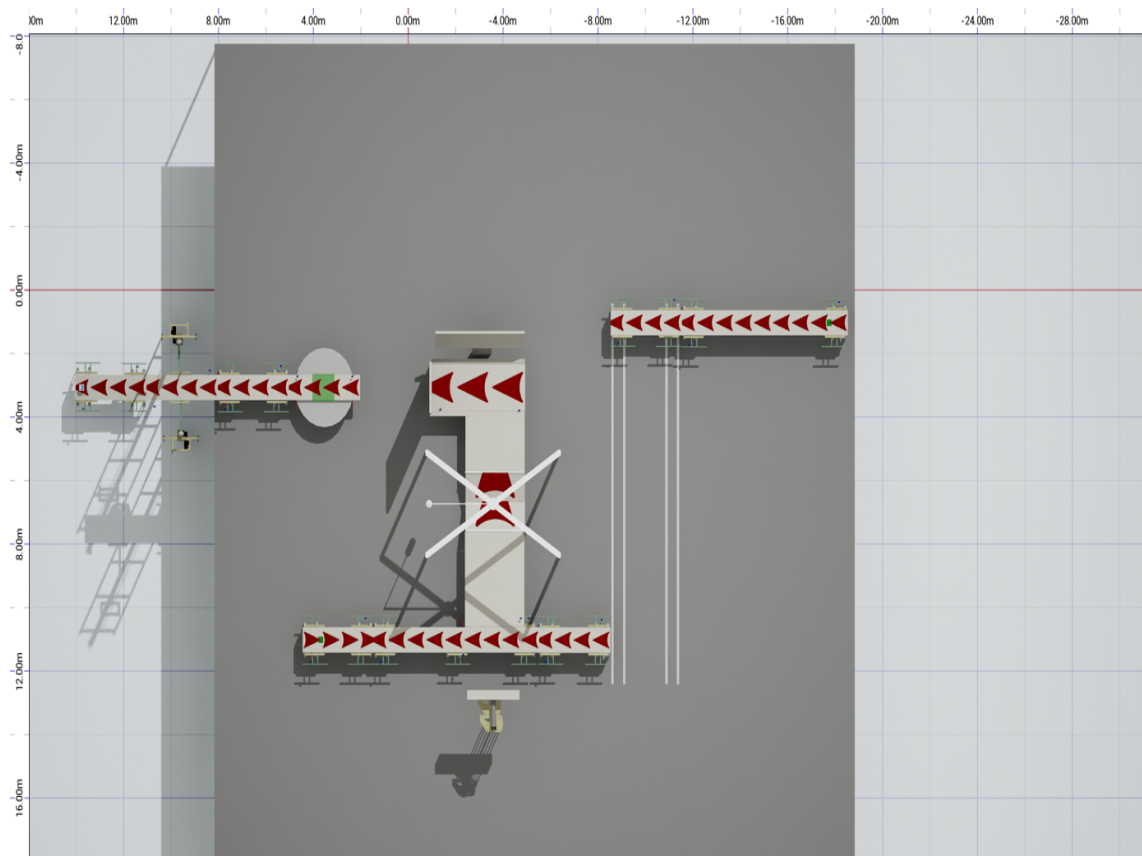
Roll handling including:		
18	Elevator with roller/slat conveyor for parent rolls L=3000 mm onboard	1 pc
19	Roller/slat conveyor for parent rolls L=3000 mm	3 pc
20	Truck stop for pick-up of parent rolls	1 pc



Figur 3.2 Projektunderlag del 2/2.

Tabell 4.1. Modellkomponenter och tillhörande numrering enligt ritningsunderlag.

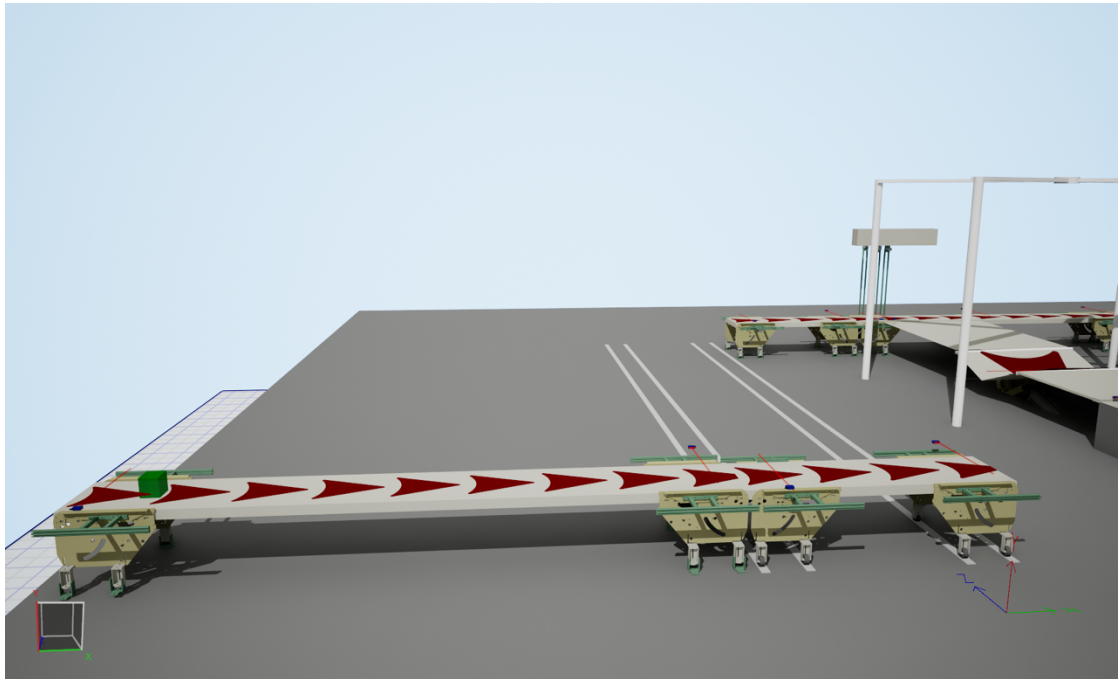
Nr	Komponentbenämning	Delstation
1	Rullgenerator	Delstation 1
2	Transportband	Delstation 1
3	Mekaniskt stopp	Exkluderad
4	Transportband	Delstation 2
5	Rörligt transportband	Delstation 1
6	Rullgenerator	Delstation 2
7	Valbart stopp	Exkluderad
8	Transportband	Delstation 2
9	Mekaniskt stopp	Exkluderad
10	Transportband	Delstation 2
11	Hydraulisk skjutare	Delstation 2
12	Omplastningsenhet	Delstation 3
13	Mekaniskt stopp	Delstation 3
14	Upprättare med roterande transportband	Delstation 3
15	Vägningsenhet	Delstation 4
16	Etiketteringsmaskin	Exkluderad
17	Transportband	Delstation 4
18	Hiss	Delstation 4
19	Utgående transportband	Delstation 4
20	Truckstopp	Exkluderad



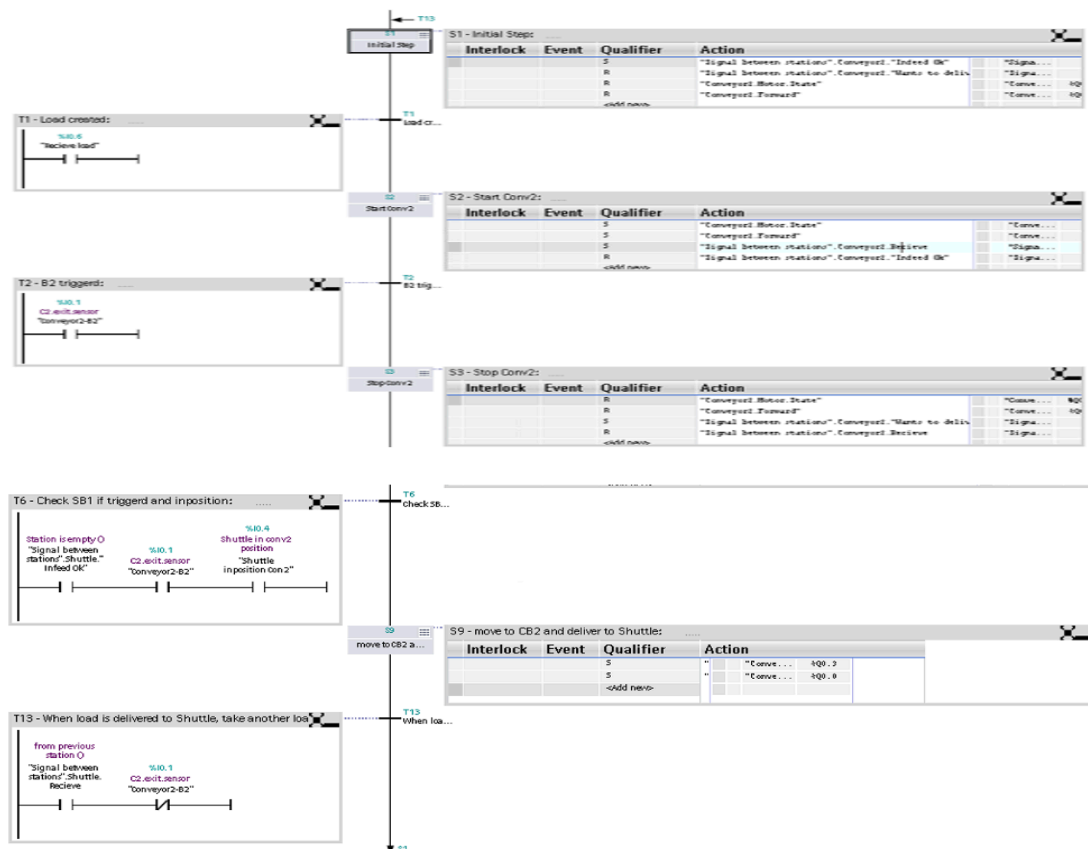
Figur 4.2. Översikt över den digitala modellen av slutstationen i Emulate3D.

Bilaga B. Delstation 1: Inmatning av parent-rullar

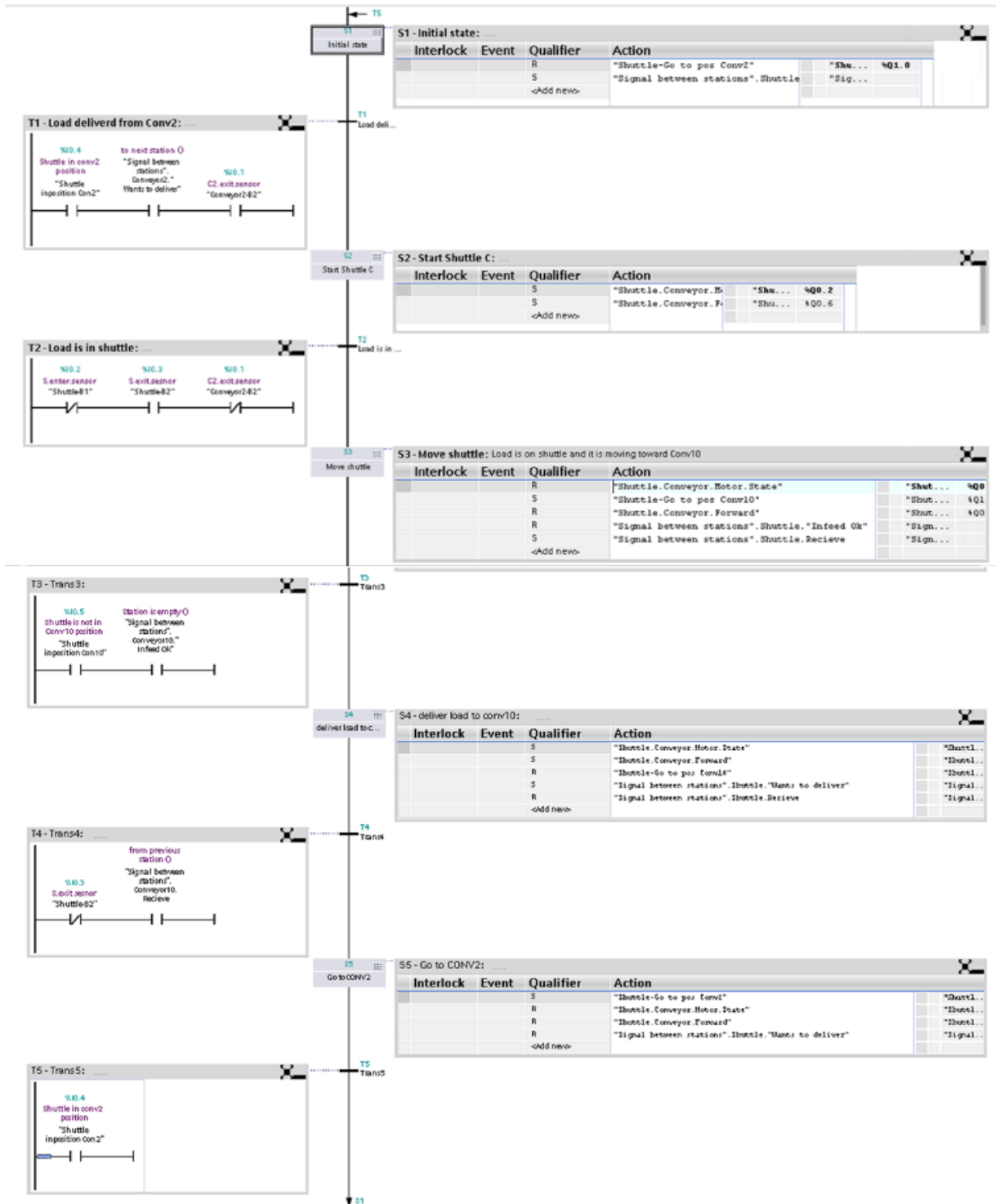
Denna bilaga visar modelluppbyggnaden och PLC-sekvenserna för delstation 1. Delstationen omfattar inmatningen av parent-rullar, transportband 2 och det rörliga transportbandet Shuttle.



Figur 4.2.1. Delstation 1 i Emulate3D med rullgenerator, transportband 2 och rörligt transportband.



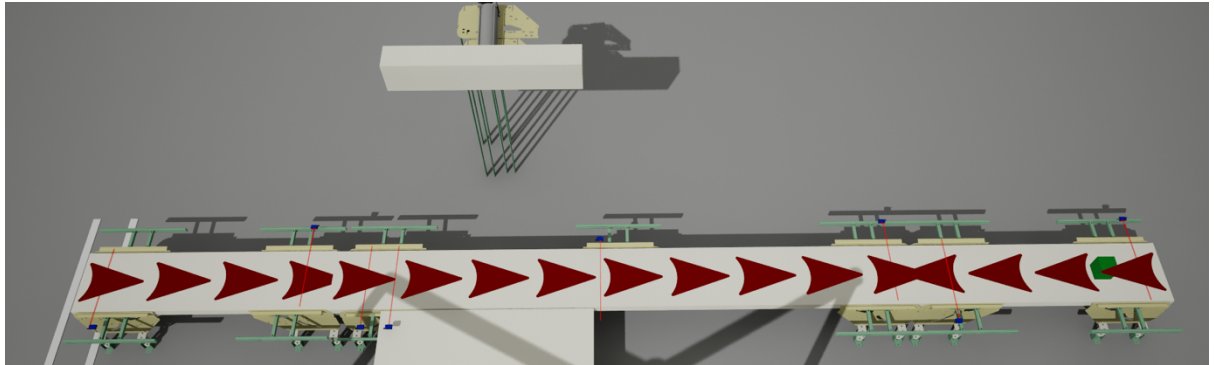
Figur 4.3.3. PLC-sekvens för transportband 2.



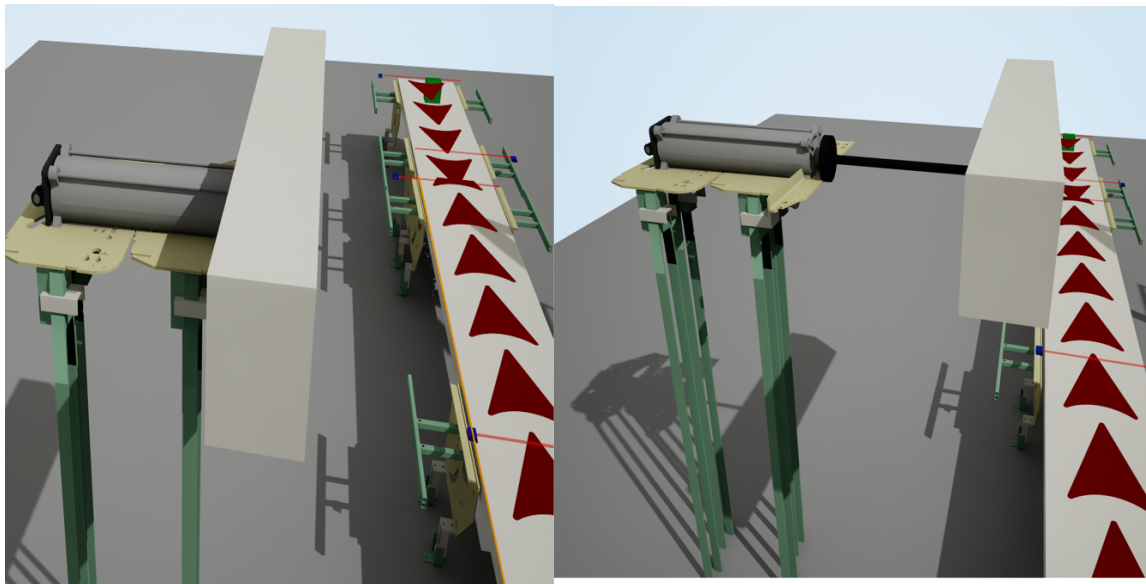
Figur 4.3.4. PLC-sekvens för Shuttle.

Bilaga C. Delstation 2: Inmatning och sammanföring av rullflöden

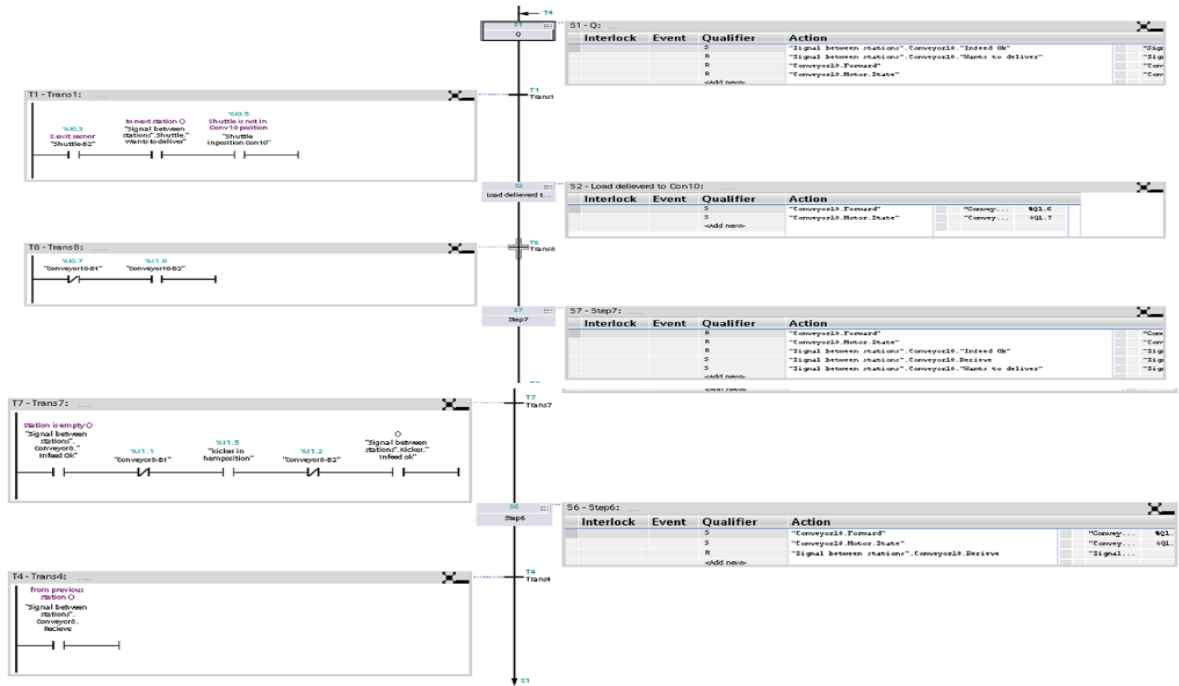
Denna bilaga visar modelluppbyggnaden och PLC-sekvenserna för delstation 2. Delstationen omfattar mottagning av parent-rullar, inmatning av reload-rullar, sammanföring vid transportband 8 samt vidare överlämning med den hydrauliska skjutaren.



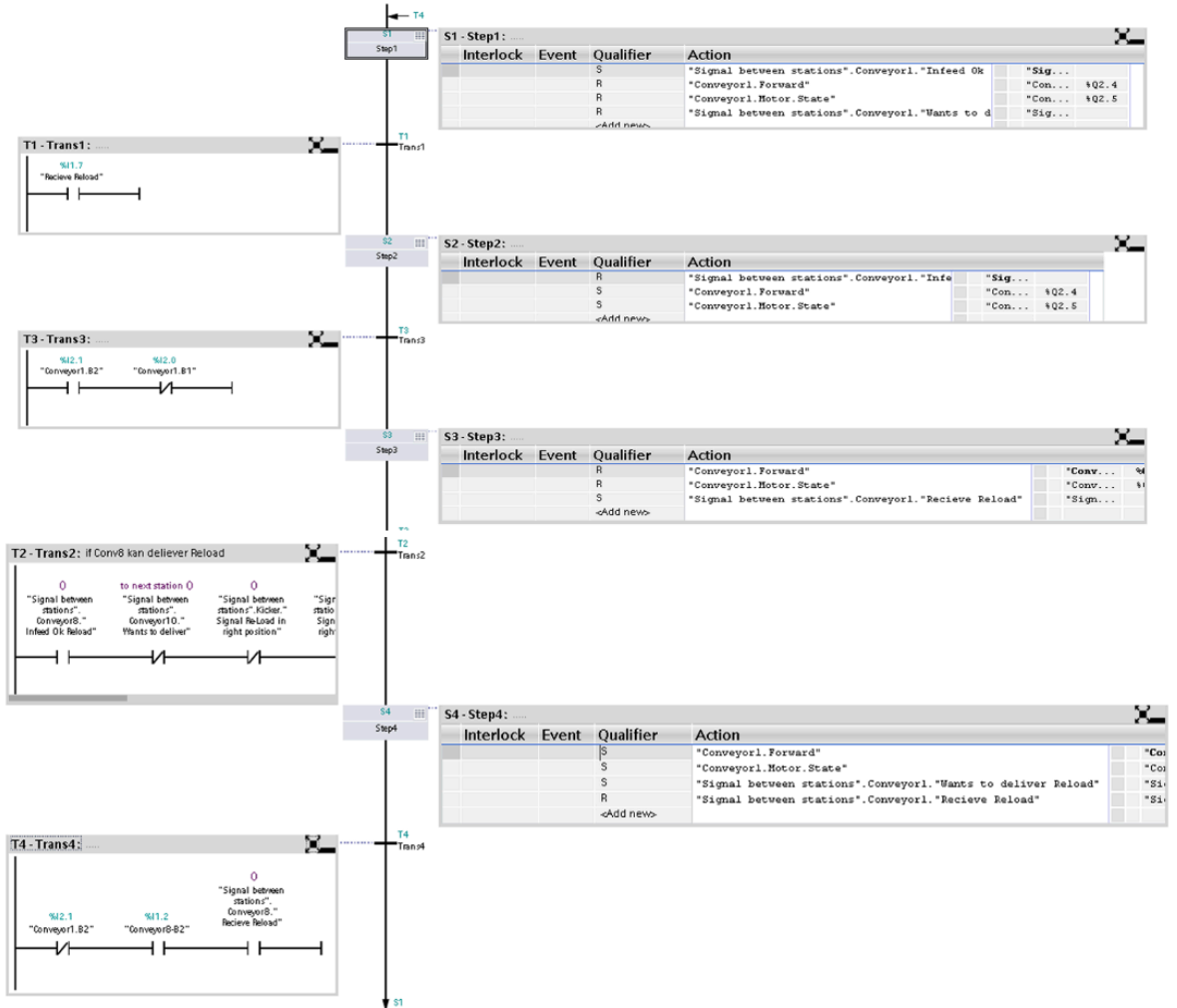
Figur 4.2.2. Delstation 2 i Emulate3D med transportband 10, 8 och 4 samt hydraulisk skjutare och rullgenerator.



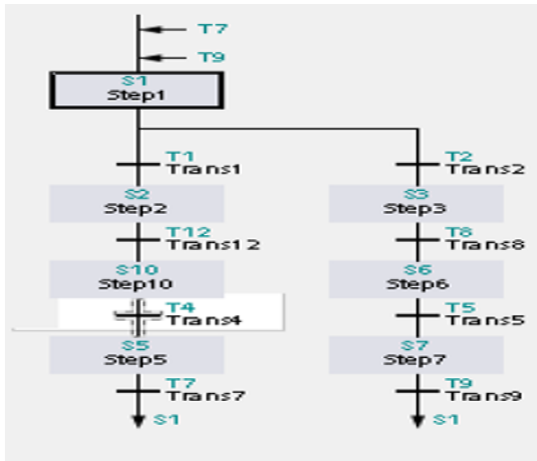
Figur 4.2.3. Skjutaren i hemposition och utposition i den digitala modellen.



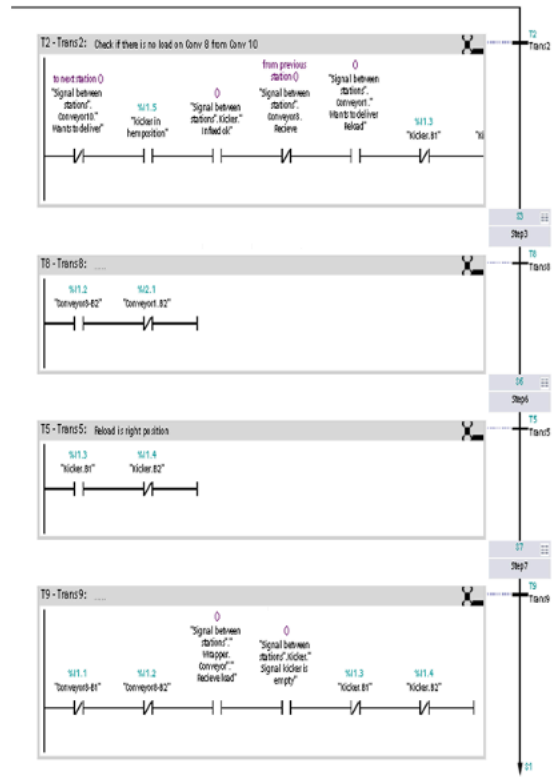
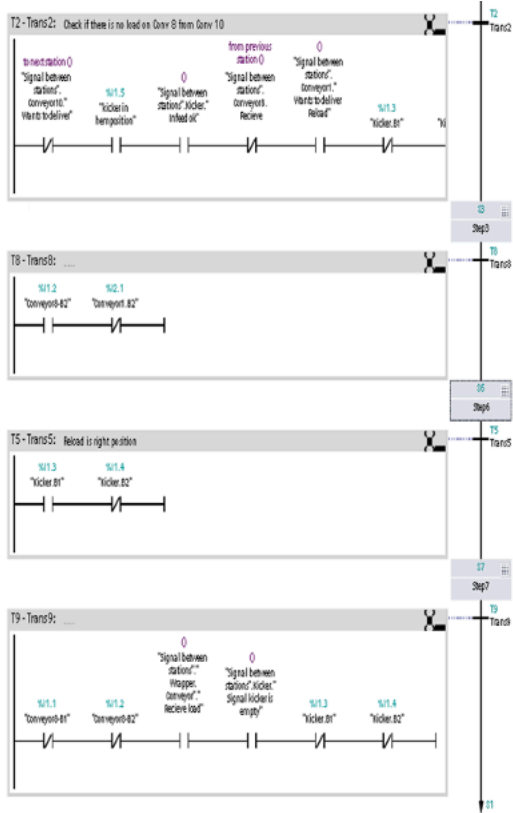
Figur 4.3.5. PLC-sekvens för transportband 10.



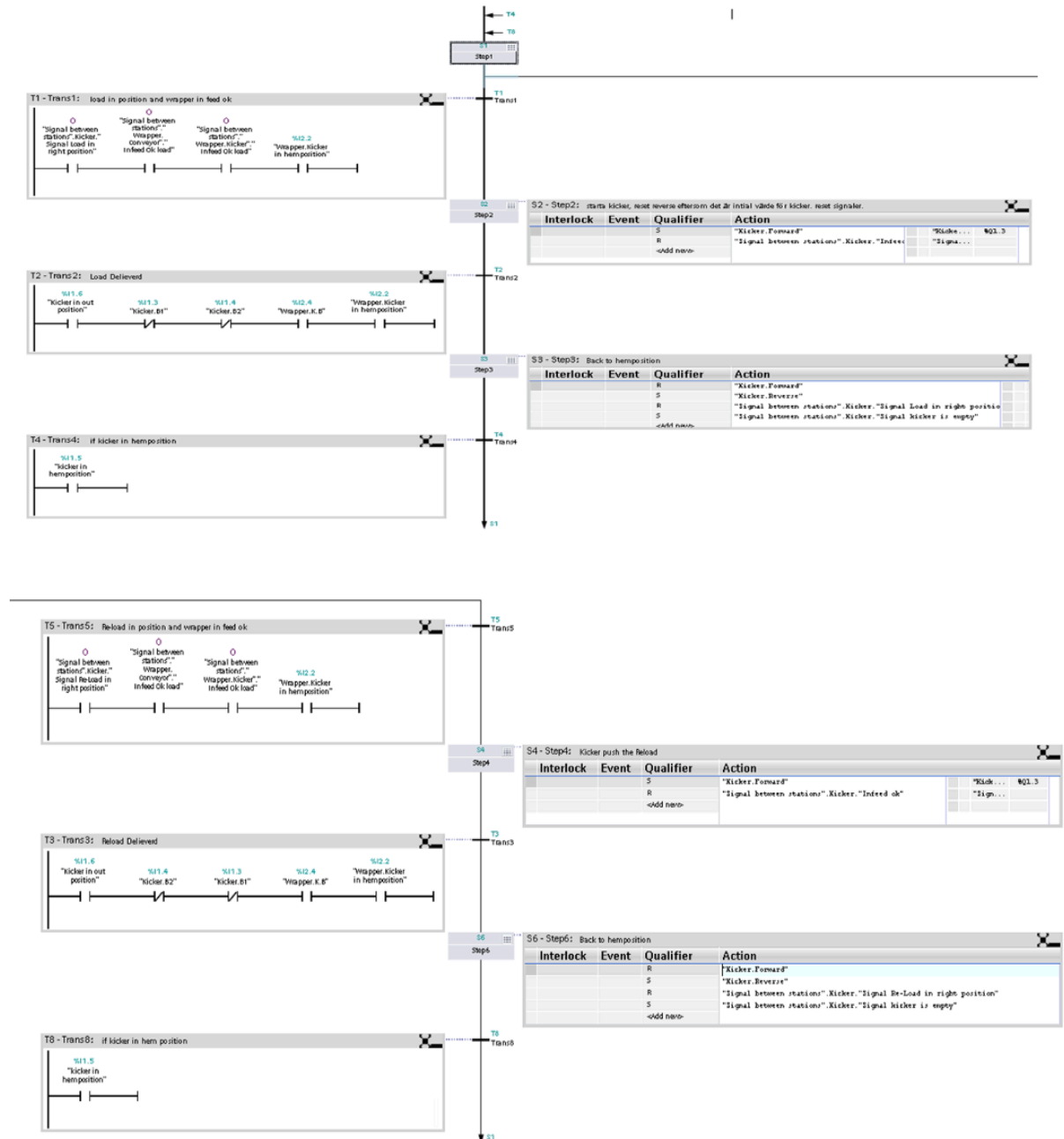
Figur 4.3.6. PLC-sekvens för transportband 4.



Figur 4.3.7. Huvudsekvens för transportband 8.



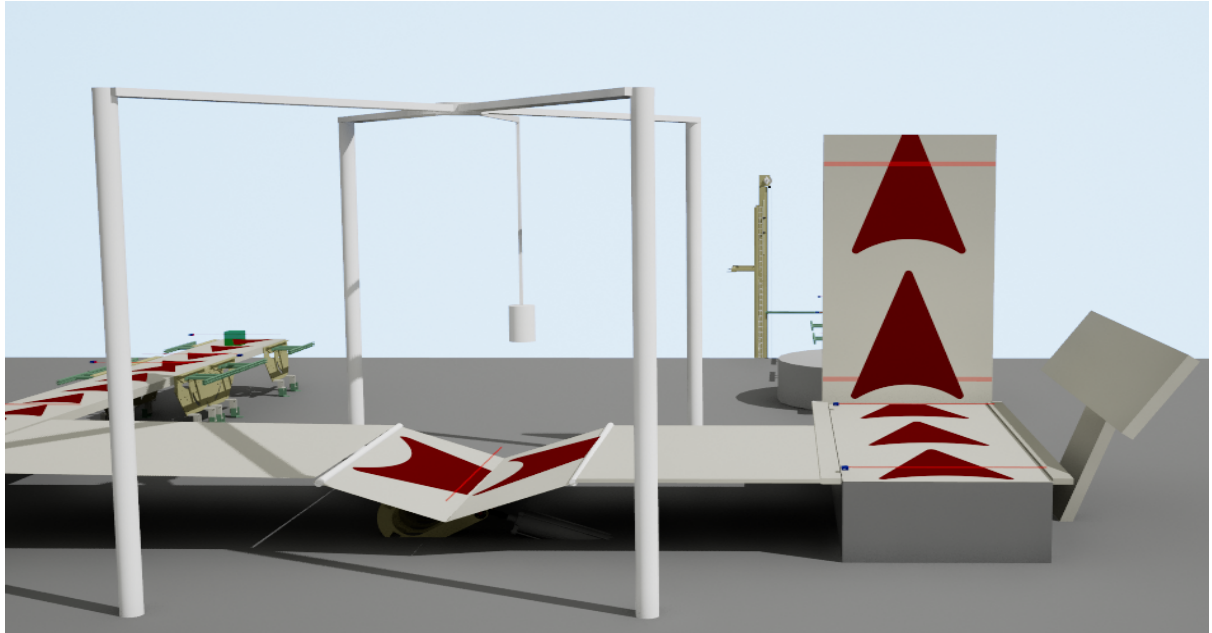
Figur 4.3.8. Villkor för både parent och reload-grenar i transportband 8-sekvensen.



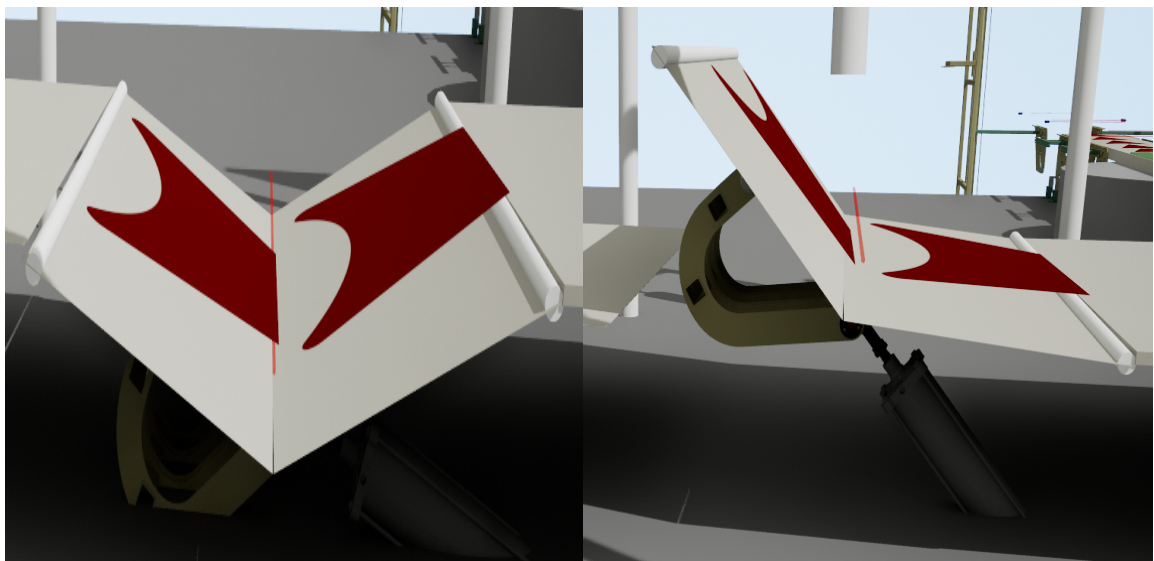
Figur 4.3.9. PLC-struktur för både parent och reload-grenar i skjutarenhetens sekvens.

Bilaga D. Delstation 3: Omplastning och vertikal orientering

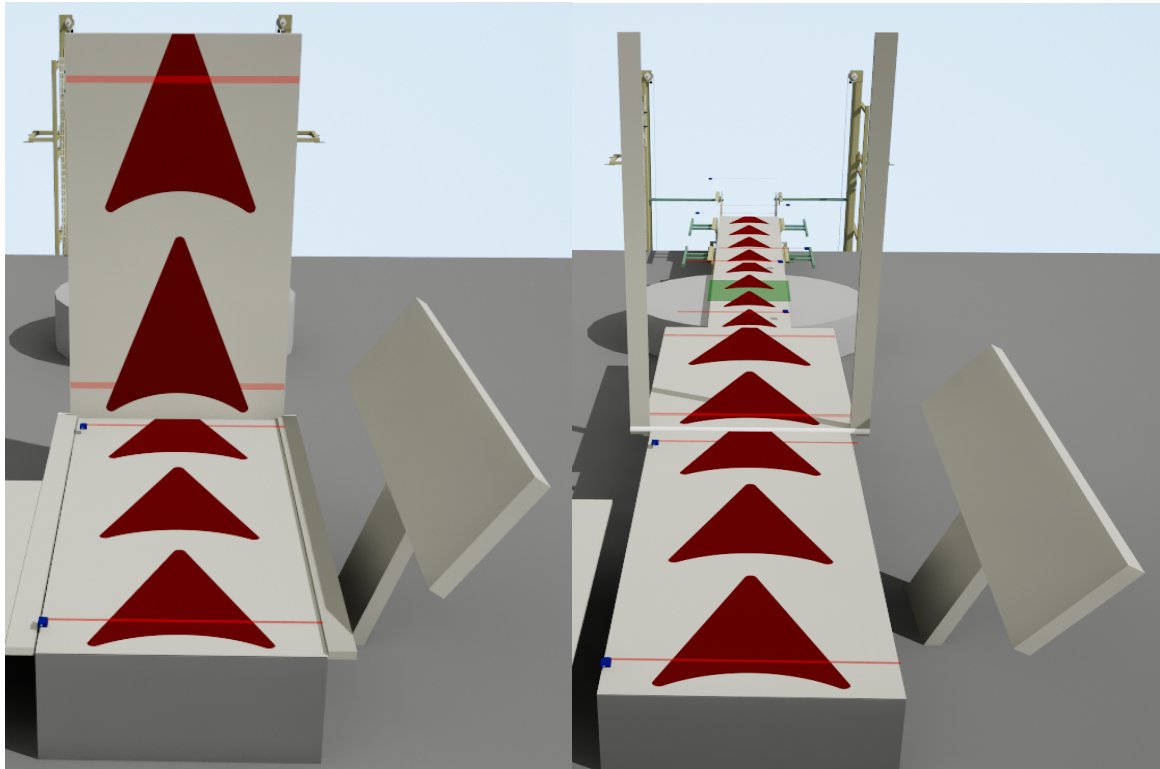
Denna bilaga visar modelluppbyggnaden och PLC-sekvenserna för delstation 3. Delstationen omfattar V-bandet, plastningsarmen, V-bandets skjutare, upprättaren och det vertikala utmatningstransportbandet.



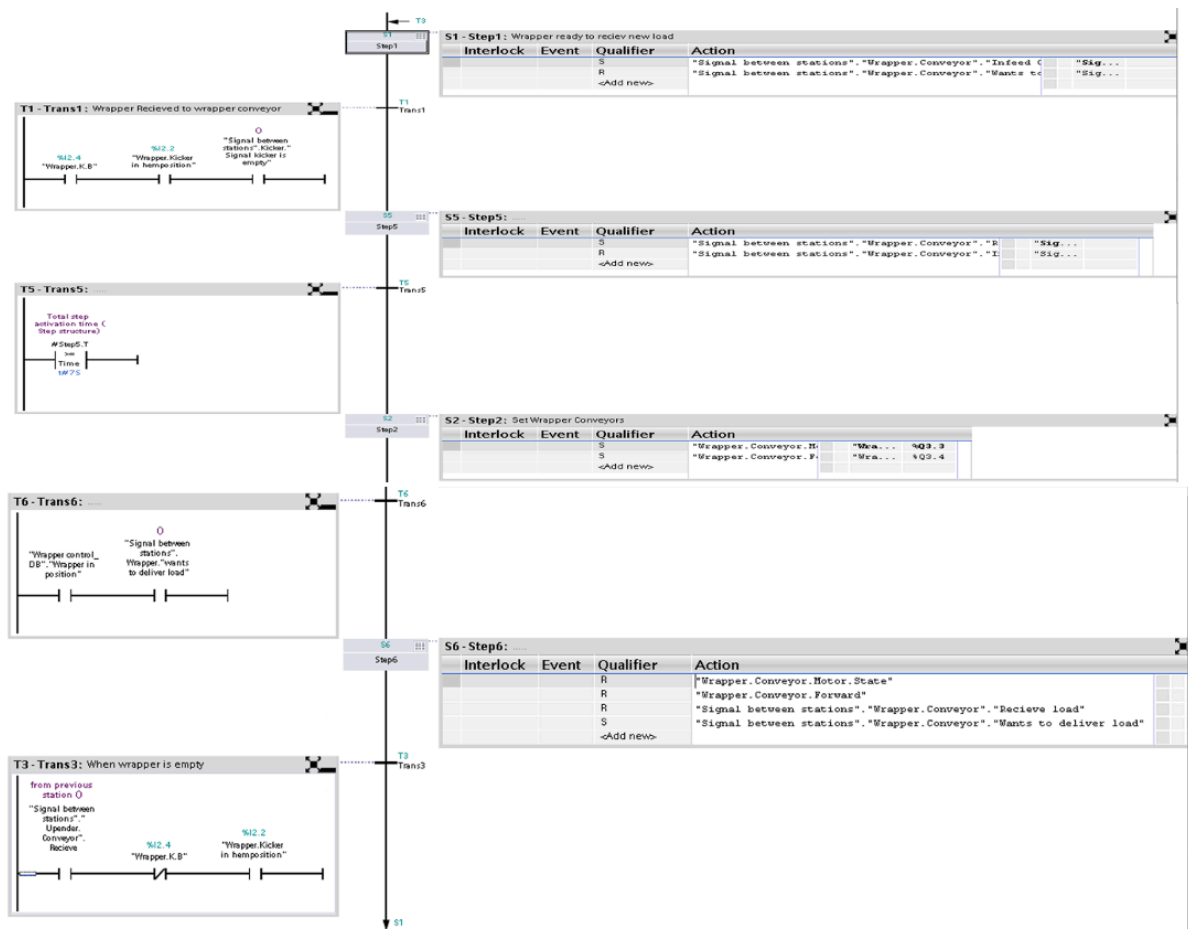
Figur 4.2.4. Delstation 3 i Emulate3D med Omplastningsenhet, anslutande ramper, mekaniskt stopp och upprättare.



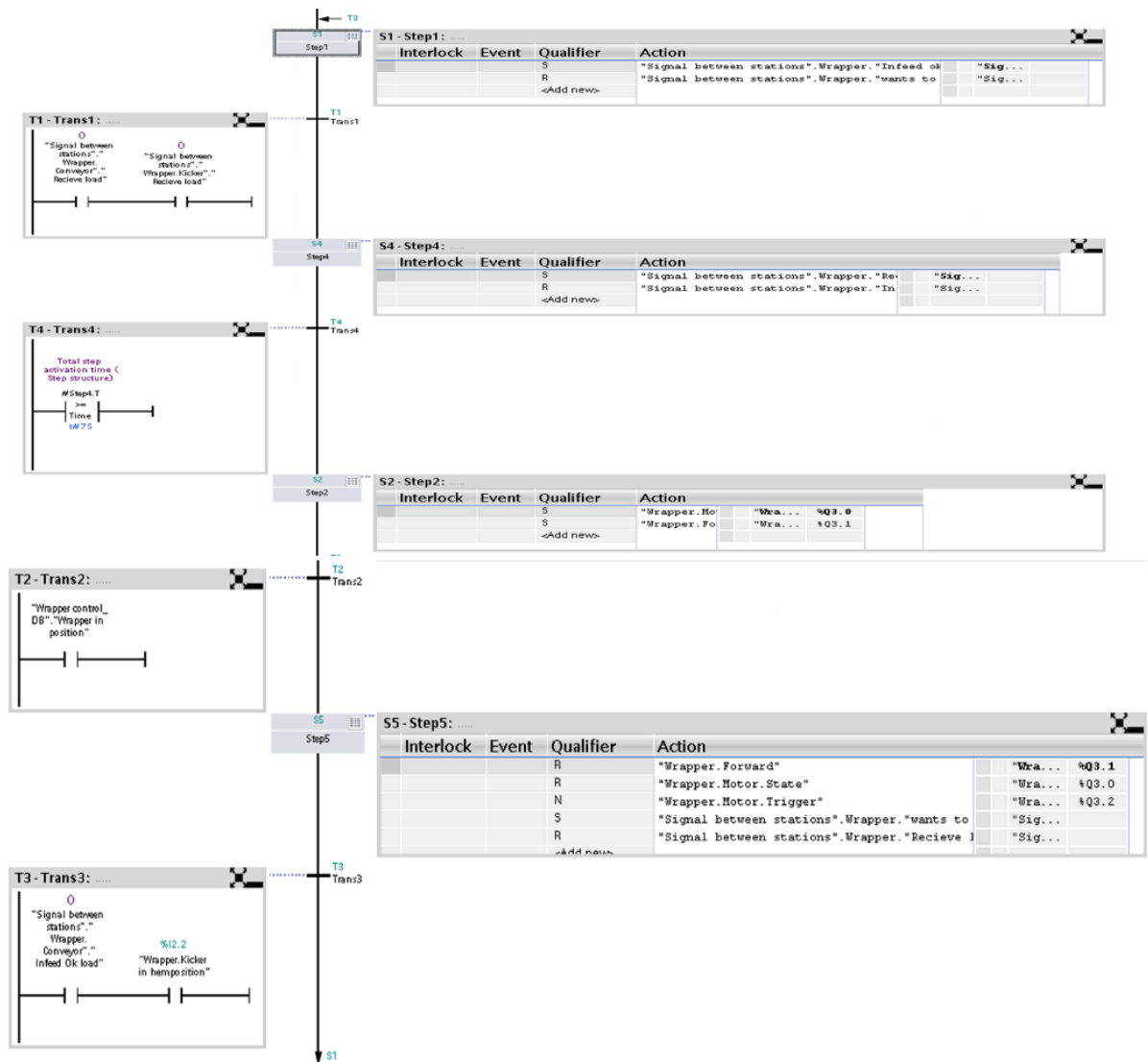
Figur 4.2.5. V-bandet i hemposition och utposition i Emulate3D.



Figur 4.2.6. Upprättaren i hemposition och roterat läge.



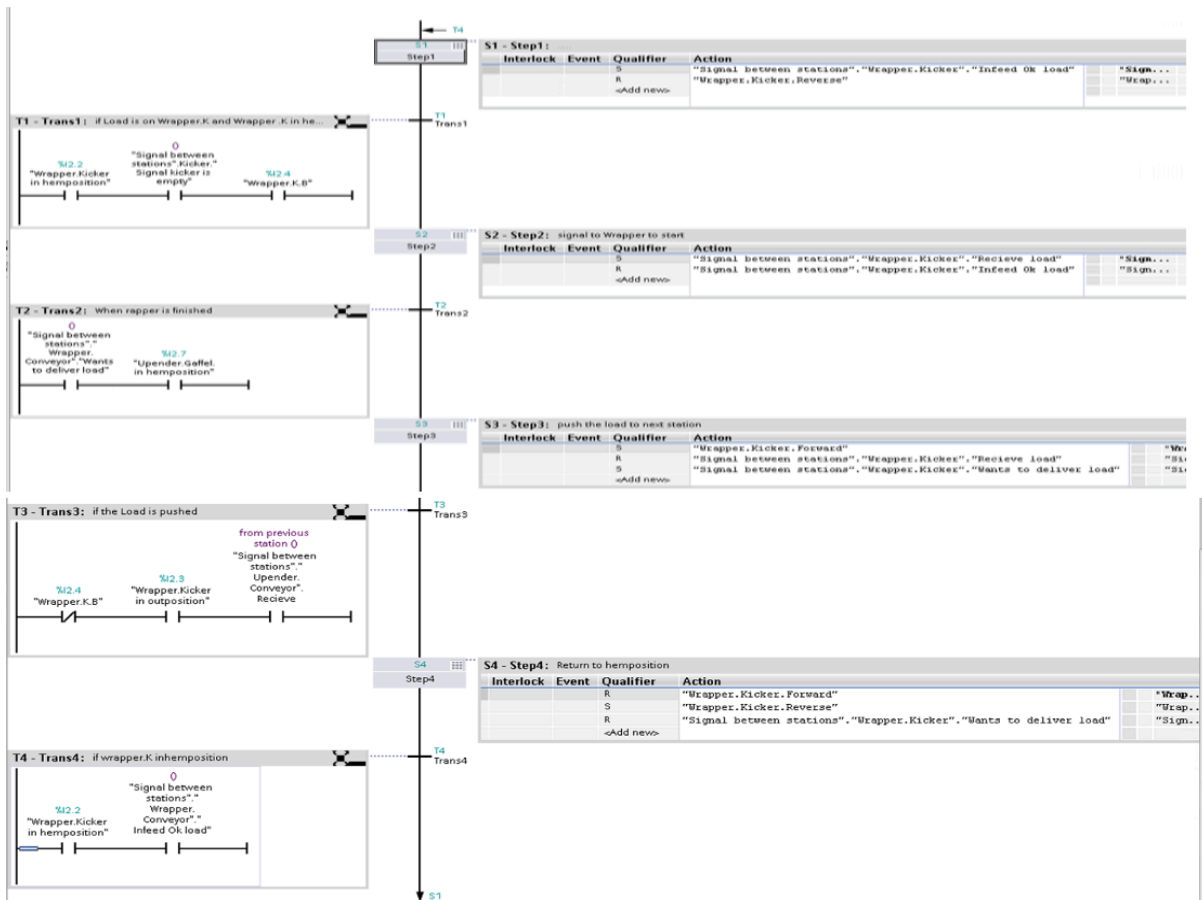
Figur 4.3.10. PLC-sekvens för V-bandet.



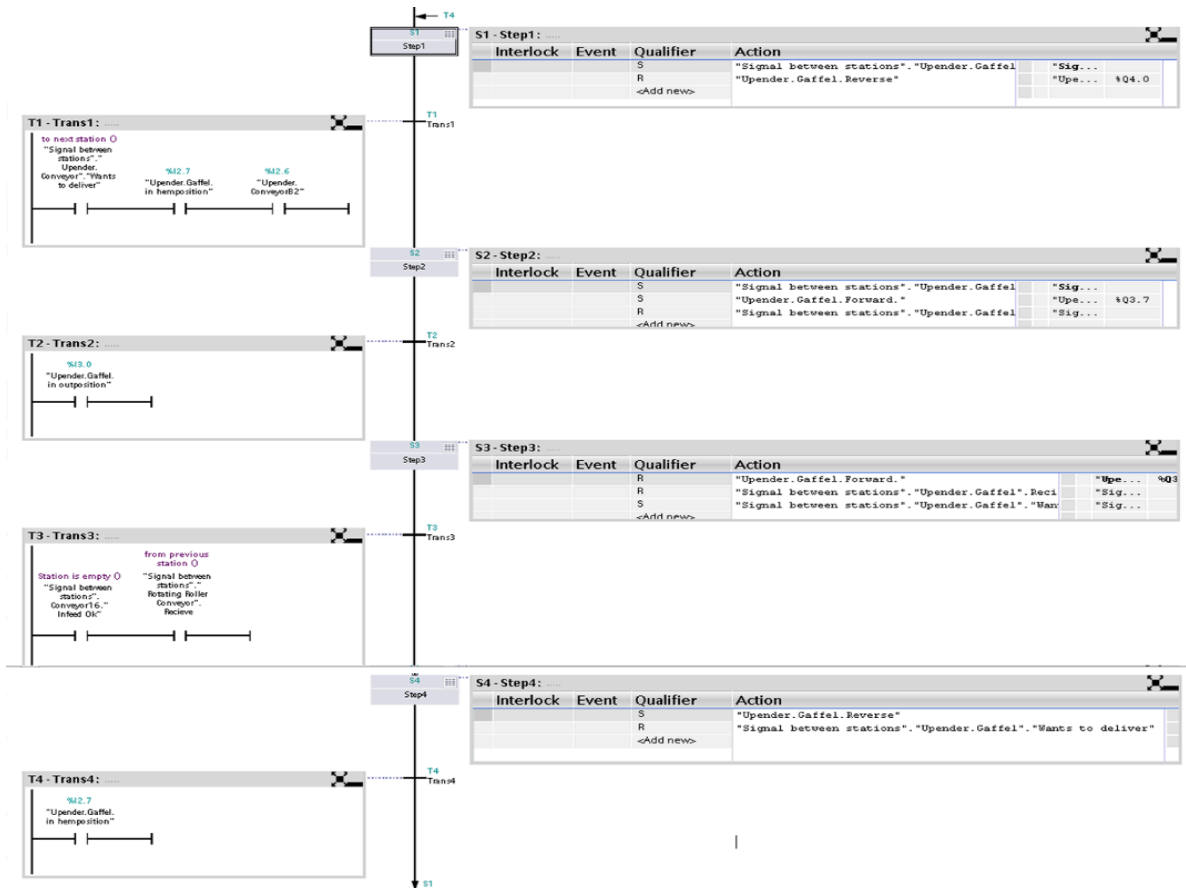
Figur 4.3.11. PLC-sekvens för plastningsarmens.



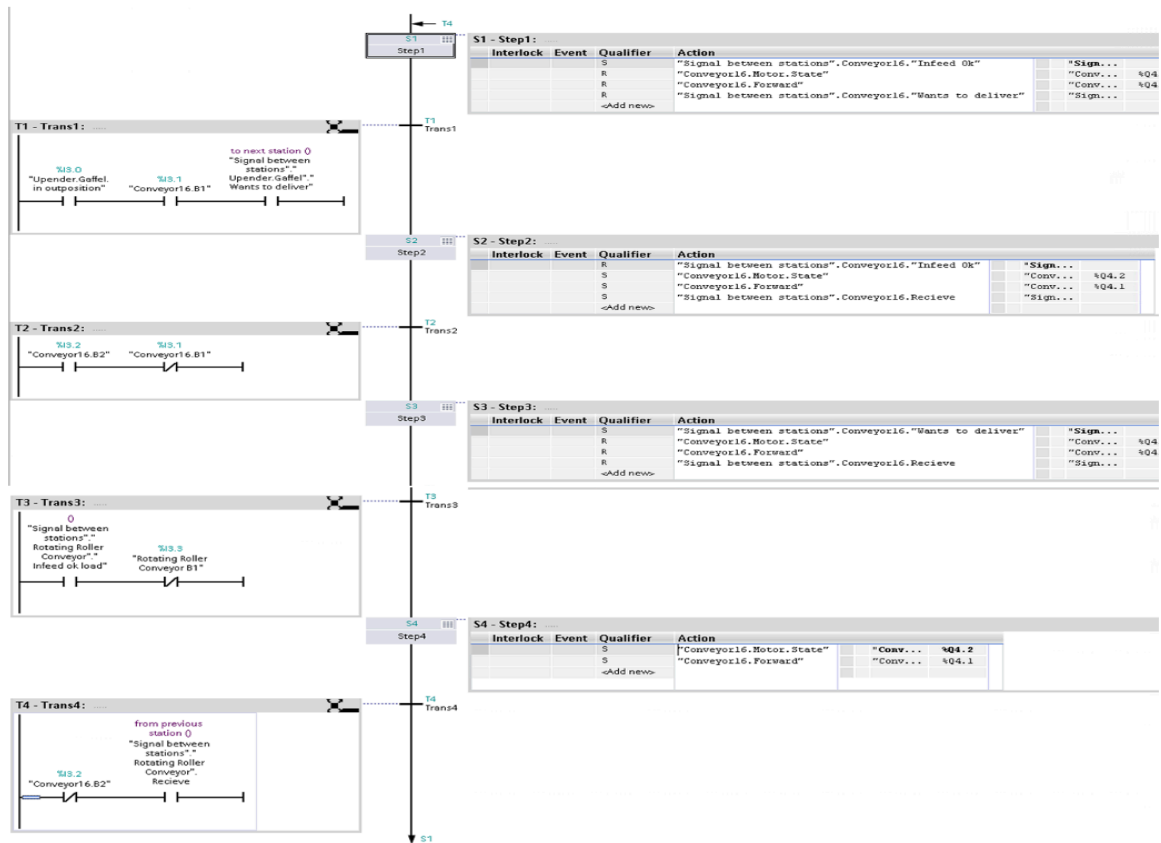
Figur 4.3.12. PLC-struktur för styrblocket.



Figur 4.3.13. PLC-sekvens för V-bandets skjutare.



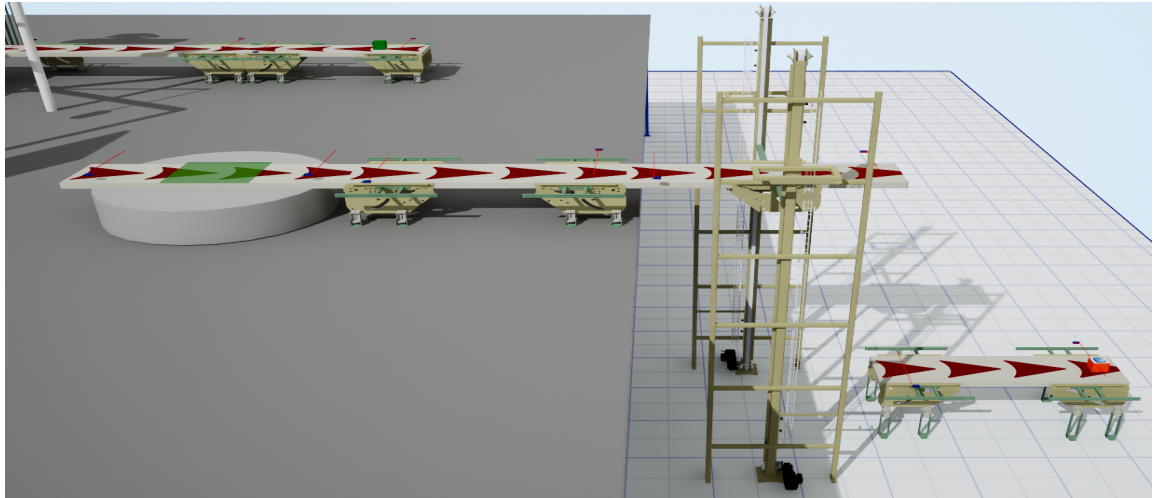
Figur 4.3.14. Gaffelarmarnas sekvens i TIA Portal.



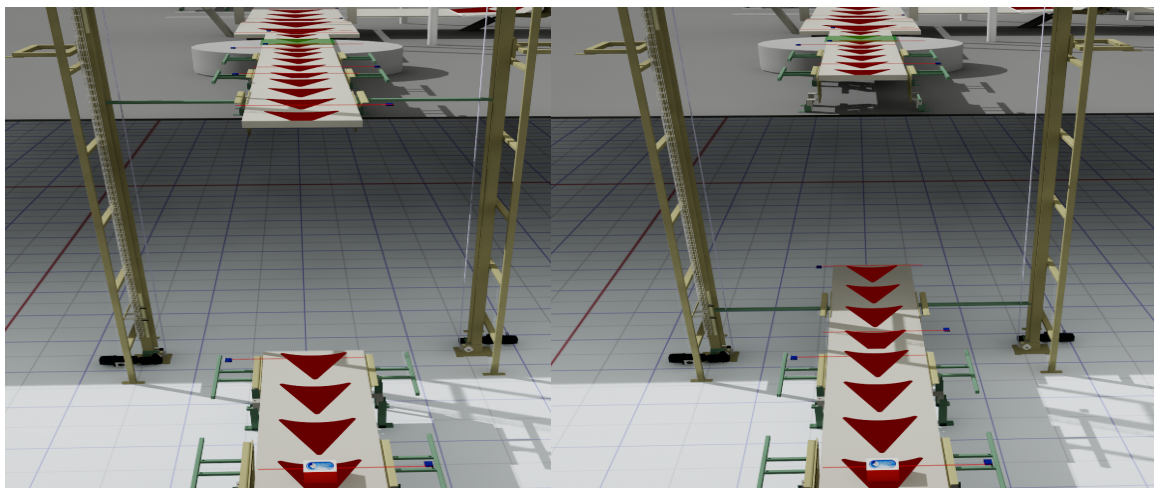
Figur 4.3.15. Sekvens till det vertikala utmatningstransportbandet i TIA Portal.

Bilaga E. Delstation 4: Vägning och slutlig transport

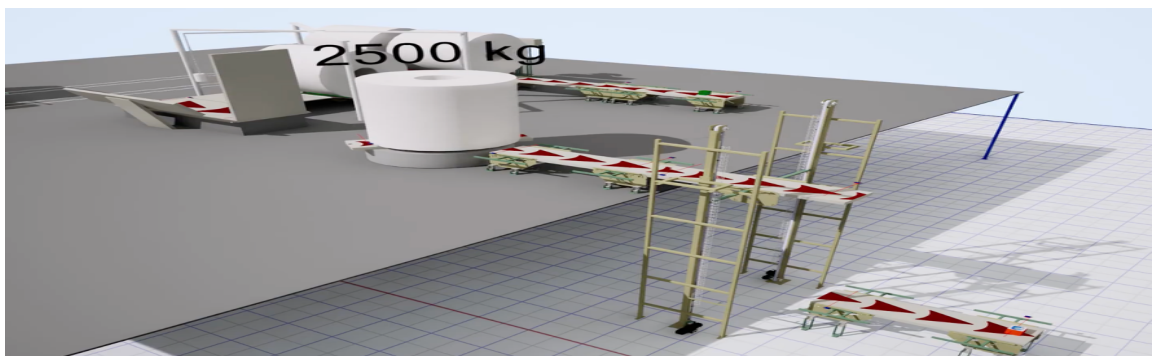
Denna bilaga visar modelluppbyggnaden och PLC-sekvenserna för delstation 4. Delstationen omfattar den roterande vägningsenheten, transportband 17, hissen och det utgående transportbandet 19.



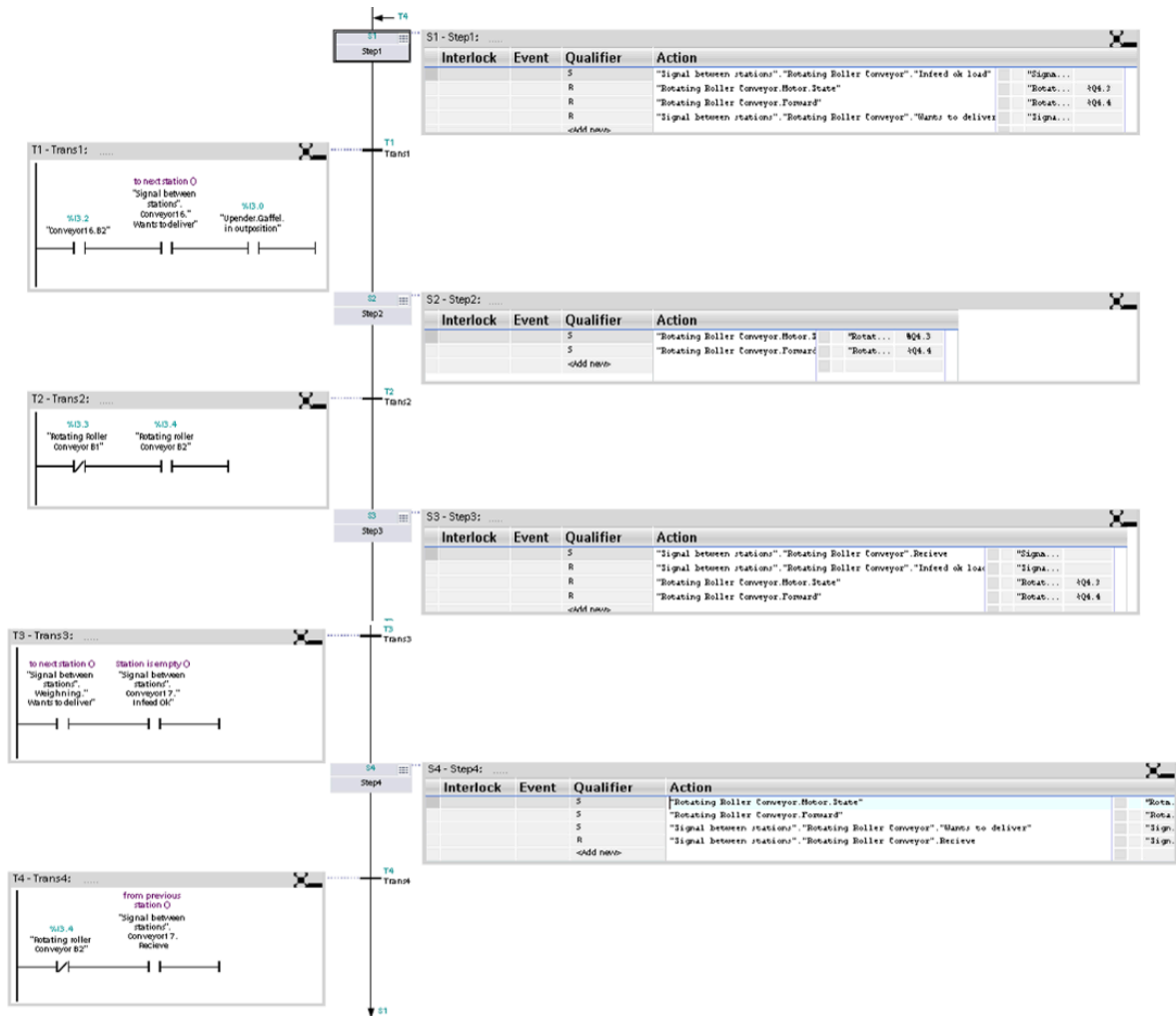
Figur 4.2.7. Delstation 4 i Emulate3D med roterande transportenhet, vägning, hiss och utgående transportband.



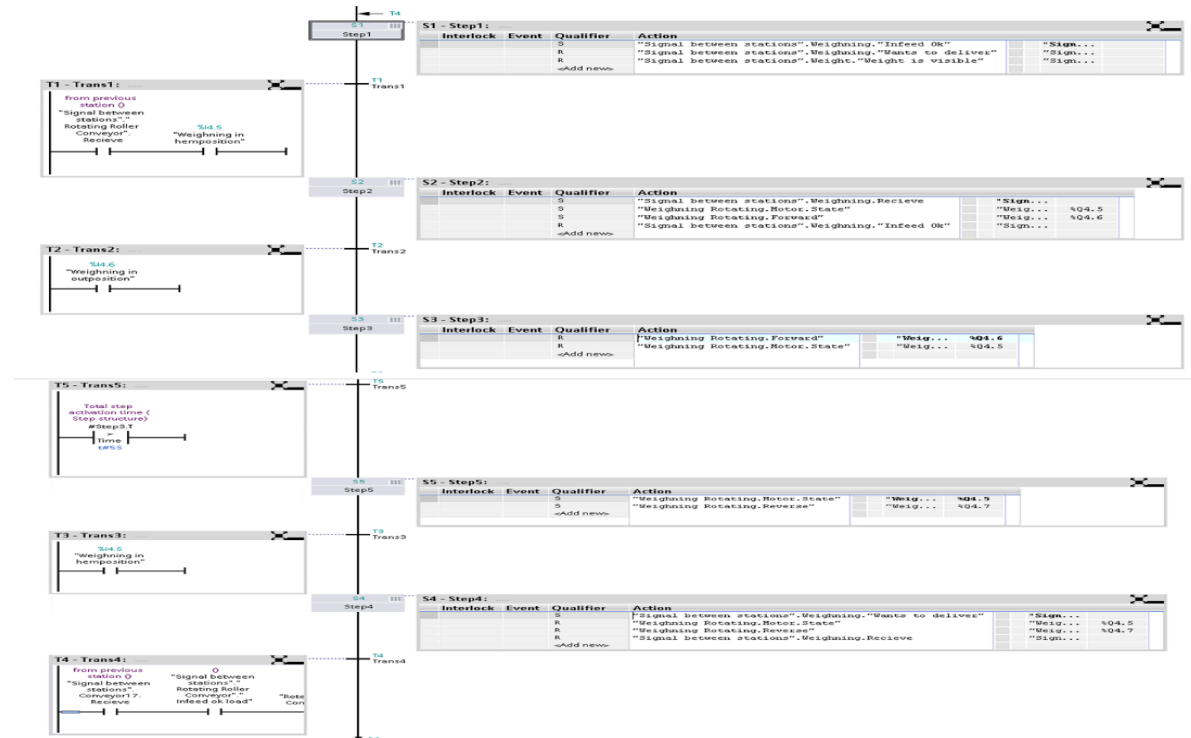
Figur 4.2.8. Hissen i hemposition och utposition i den digitala modellen.



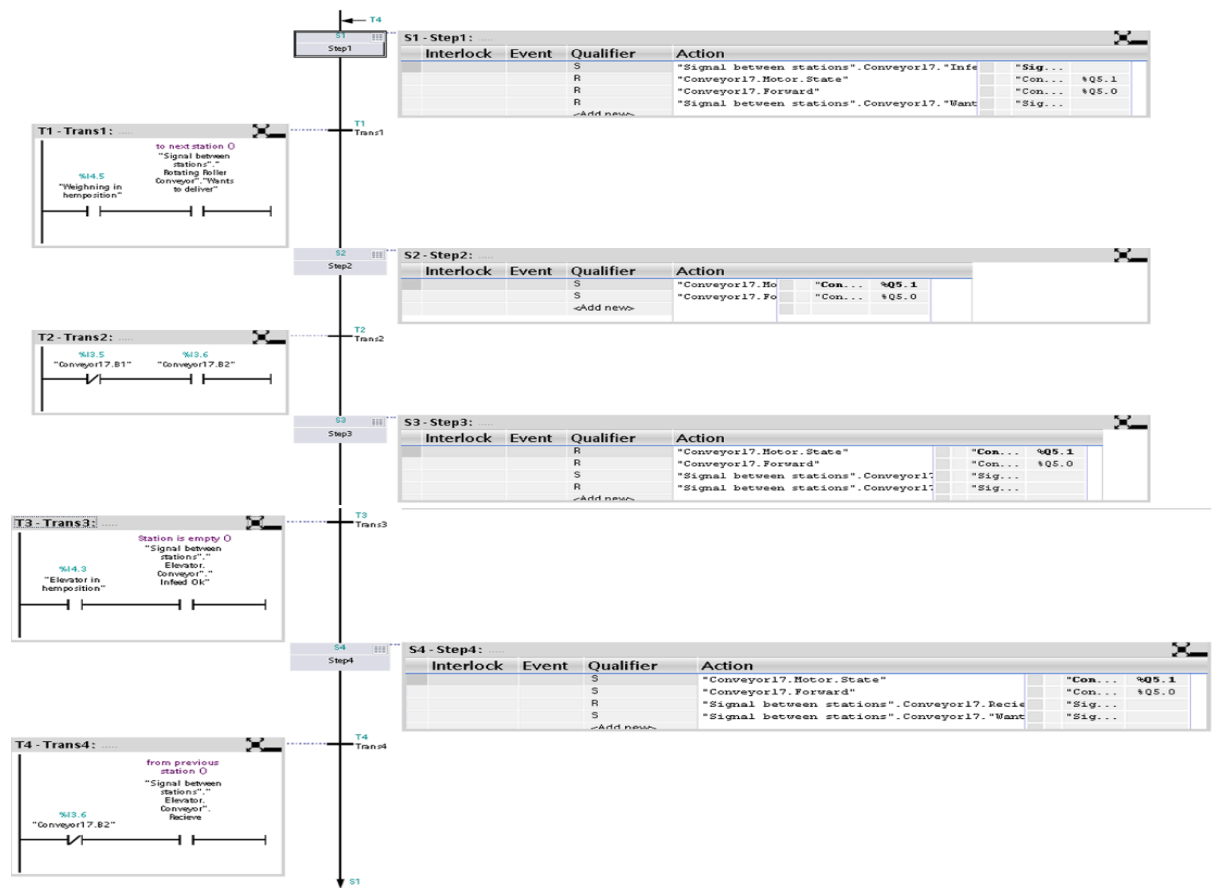
Figur 4.3.16. Viktvisualisering i Emulate3D.



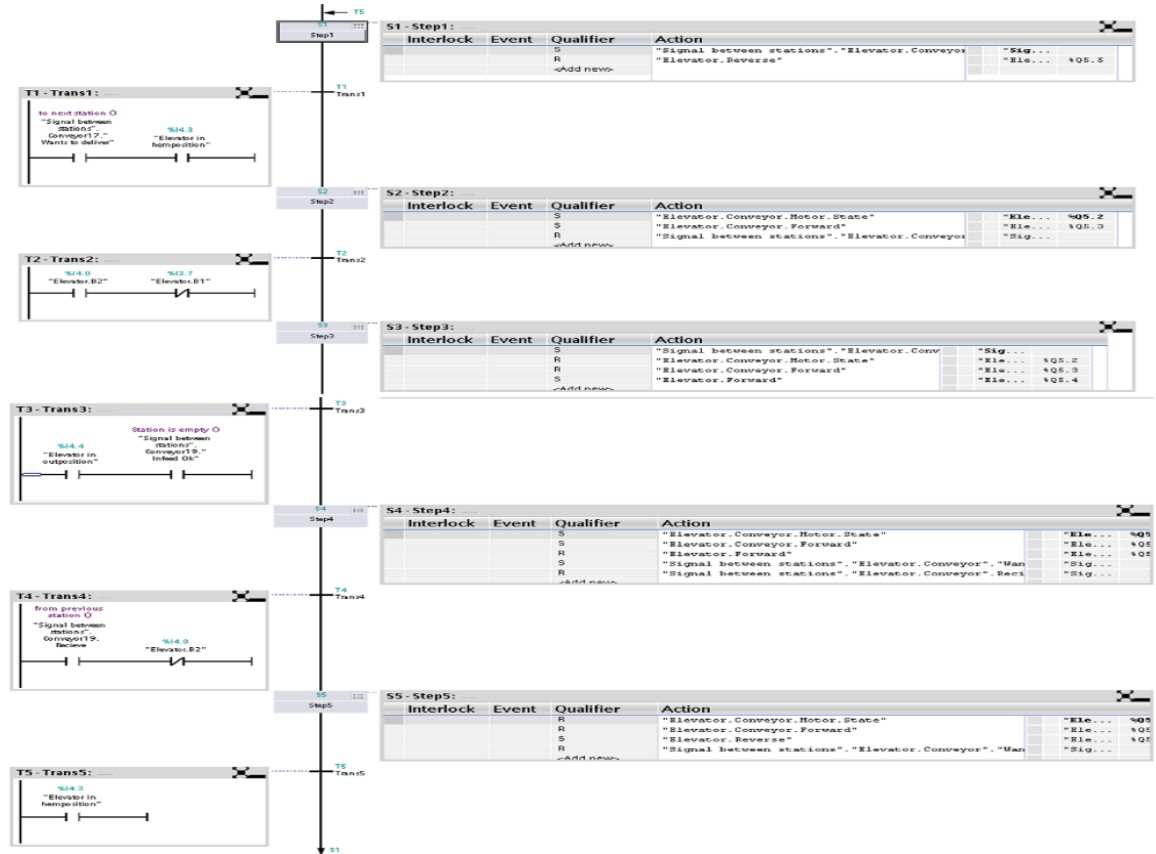
Figur 4.3.17. PLC-sekvens för det roterande transportbandet.



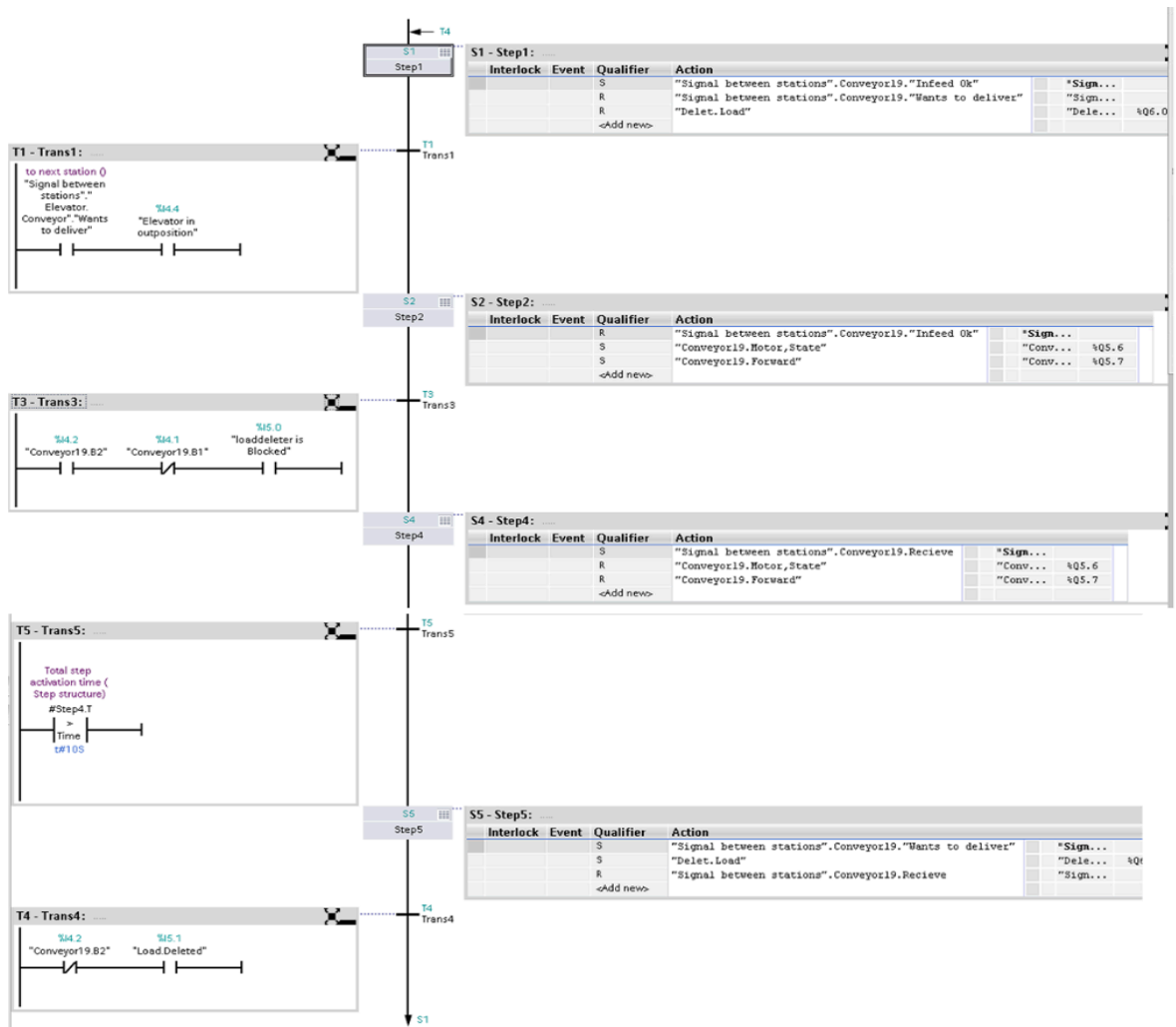
Figur 4.3.18. PLC-sekvens för vägningsmomentet.



Figur 4.3.19. PLC-sekvens för transportband 17.



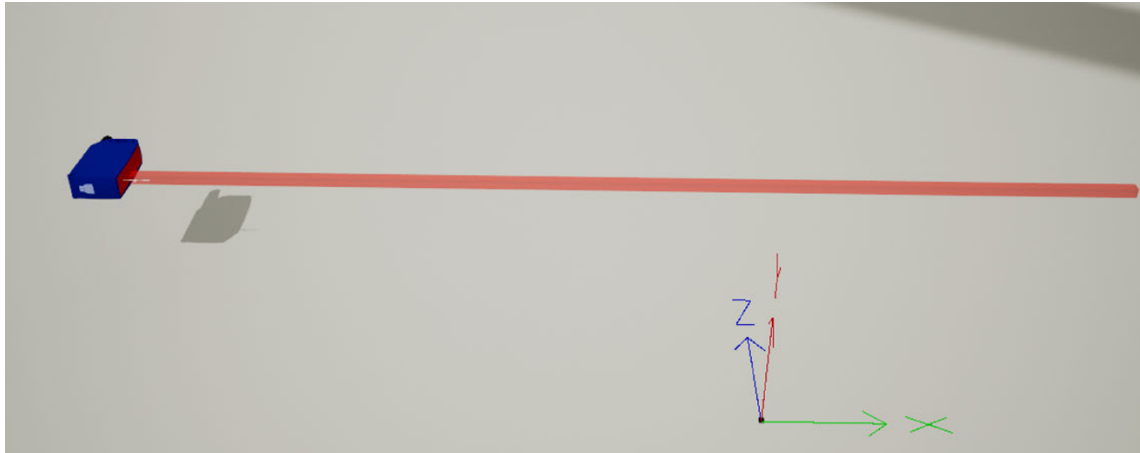
Figur 4.3.20. PLC-sekvens för hissen.



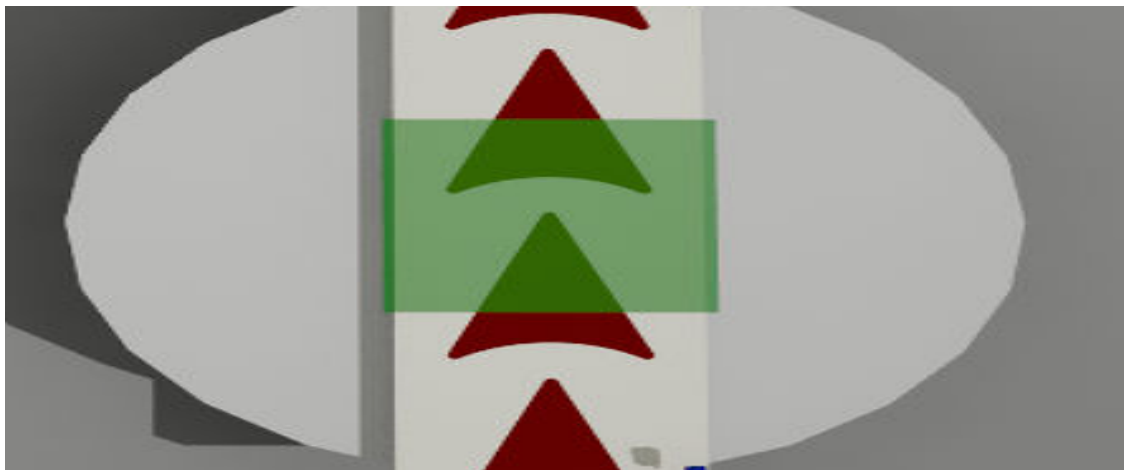
Figur 4.3.21. PLC-sekvens för transportband 19.

Bilaga F. Sensorfunktioner och C#-program i Emulate3D

Denna bilaga visar de sensorfunktioner och C#-program som användes i Emulate3D. C#-programmen användes för att skapa anpassade funktioner för fotocellsensorer, viktavläsning och viktvisualisering i den virtuella modellen.



Figur 4.1. CAD-baserad fotocellsensormodellen i Emulate3D.



Figur 4.1.1. Vägningsensormodellen i Emulate3D.

Kod F.1. C#-skript för fotocellsensor i Emulate3D.

```

[
using System;
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using Demo3D.Common;
using Demo3D.Native;
using Demo3D.PLC.Comms;
using Demo3D.Visuals;

// Importerar bibliotek från.NET och Emulate3D som behövs för egenskaper,
// färger, modellobjekt och PLC-signaler.
// De används för objekt, färger, egenskaper och PLC-signaler.

[Auto]
public class MySensorScript : NativeObject
{
    // Startar skriptet för den sensor som det är kopplat till i Emulate3D.
    public MySensorScript(Visual sender) : base(sender) {}

    #region Properties

    // Signal som skickas till PLC:n.
    // True betyder att sensorn är blockerad och false betyder att den är fri.
    [DefaultValue(false), Description("Sensor Status"),
    Category("Control Properties - PLC Inputs"), IsBindingInterface(),
    AccessRights(AccessRights.WriteToPLC)]
    [Auto]
    SimplePropertyValue<bool> Signal;

    #endregion

    #region On Reset

    [Auto]
    void OnReset(PhysicsObject sender)
    {
        // Återställer sensorn när simuleringen startas om.
        sender.Color = Color.Red;
        Signal.Value = false;
    }

    #endregion

    #region On Blocked / Cleared

    [Auto]
    void OnBlocked(PhysicsObject sender, Visual Load)
    {
        // Körs när en rulle blockerar sensorn.
        Signal.Value = true;
        sender.FadeToColor(Color.Green, 0.1);
    }
}

```

```

[Auto]
void OnCleared(PhysicsObject sender, Visual Load)
{
    // Körs när rullen lämnar sensorn.
    Signal.Value = false;
    sender.FadeToColor(Color.Red, 0.1);
}

#endregion
}]

```

Kod F.2. C#-program för viktavläsning och viktvisualisering i Emulate3D.

```

[
using System;
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Linq;
using Demo3D.Native;
using Demo3D.Visuals;

// Importerar .NET och Emulate3D-bibliotek som behövs för egenskaper,
// modellobjekt och textvisualisering.

[Auto]
public class Weight : NativeObject
{
    // Kopplar skriptet till vägningssensorn i Emulate3D.

    public Weight(Visual sender) : base(sender) { }

    // Viktvärde som lagras i modellen och uppdateras när en rulle
    // blockerar vägningssensorn.
    [Auto]
    CustomPropertyValue<double> WeightReading;

    // Textobjekt som används för att visa rullens vikt visuellt i
    // modellen.
    private TextVisual weightText;

    [Auto]
    void OnReset(Visual sender)
    {
        // Återställer viktvärdet och textvisningen när simuleringen
        // startas om.
        WeightReading.ReadOnly = true;
        WeightReading.Value = 0;
        weightText = null;
    }
}

```

```

[Auto]
void OnBlocked(PhysicsObject WeightSensor, PhysicsObject load)
{
    // Aktiveras när en rulle blockerar vägningssensorn och läser av
rullens massa.
    WeightReading.Value = load.Mass;

    if (weightText == null)
    {
        // Skapar textobjektet första gången en vikt behöver visas i
modellen.
        weightText = document.CreateVisual<TextVisual>();

        weightText.Parent = load;
        weightText.LineHeight = 1.0;
        weightText.Billboard = true;
        weightText.Visible = true;
    }

    // Kopplar texten till rullen och placerar viktvärdet ovanför
objektet.
    weightText.Parent = load;
    weightText.LocationX = 0;
    weightText.LocationY = 1.6;
    weightText.LocationZ = 0;

    // Visar rullens vikt i kilogram med två decimalers noggrannhet.
    weightText.Text = load.Mass.ToString("0.##") + " kg";

    print("Weight: " + load.Mass.ToString("0.##") + " kg");
}

[Auto]
void OnCleared(PhysicsObject WeightSensor, Visual load)
{
    // Aktiveras när rullen lämnar vägningssensorn och återställer
viktvärdet.
    WeightReading.Value = 0;

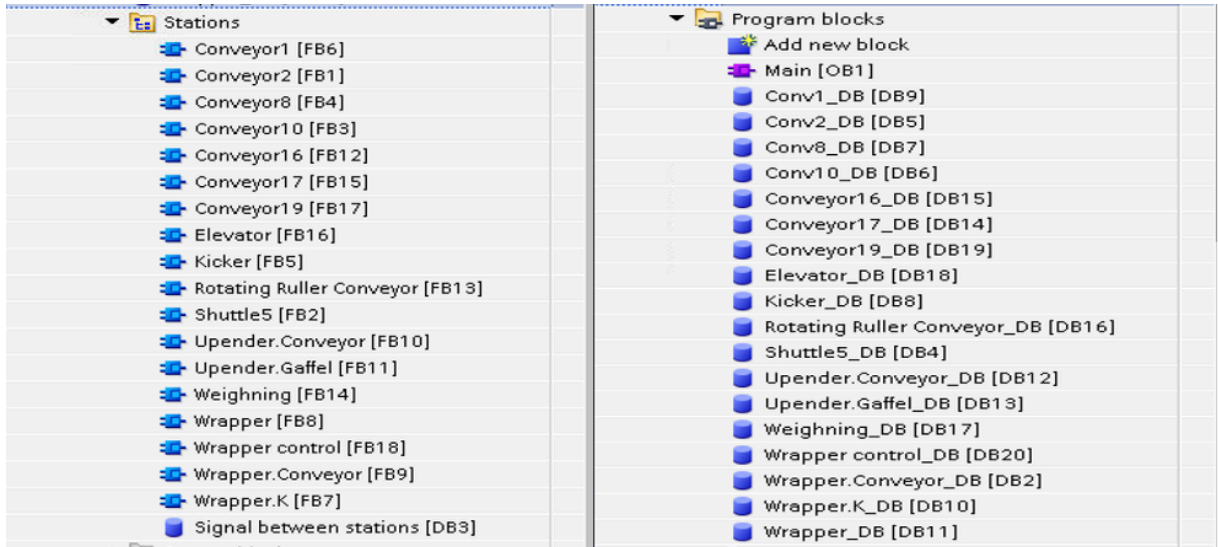
    if (weightText != null)
    {
        // Tar bort den visuella vikttexten när rullen inte längre
ligger på sensorn.
        weightText.Text = "";
    }

    print("Weight sensor cleared");
    print("Weight: 0 kg");
}
}
]

```

Bilaga G. PLC-struktur, signalutbyte och integration

Denna bilaga visar PLC-programmets övergripande struktur, signalutbytet samt kopplingen mellan Emulate3D, TIA Portal och S7-PLCSIM Advanced. Bilagan innehåller även exempel på intern struktur i funktionsblock och tillhörande datablock.



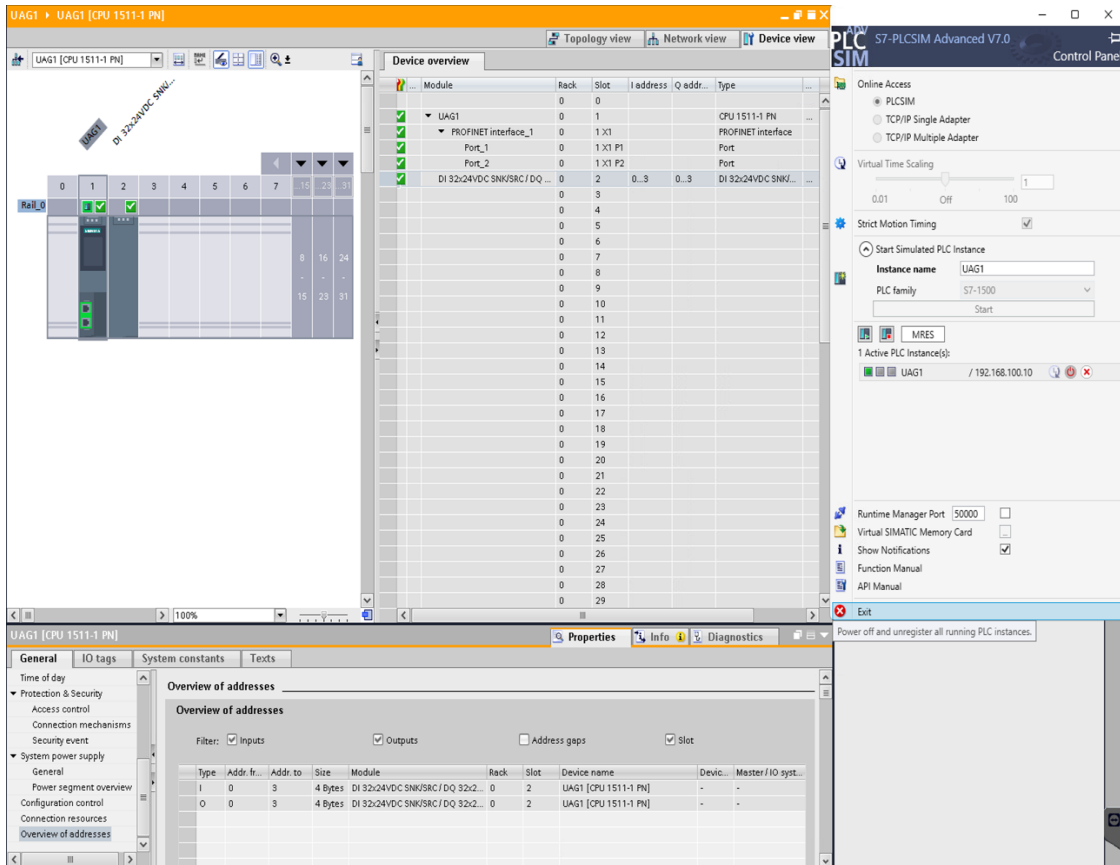
Figur 4.3. Programstruktur i TIA Portal med separata funktionsblock samt datablock för modellens komponenter och delsystem.

PLC tags	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Access	Write	Visible	Supervision	Comment
1	Conveyor2-B1	Default tag table	Bool	%I0.0						C2 Entry sensor
2	Conveyor2-B2	Default tag table	Bool	%I0.1						C2 exit sensor
3	Shuttle-B1	Default tag table	Bool	%I0.2						S enter sensor
4	Conveyor2.Motor.State	Default tag table	Bool	%Q0.0						C2 Motor state
5	Shuttle.Motor.State	Default tag table	Bool	%Q0.1						S.Motor state
6	Shuttle.Conveyor.Motor.State	Default tag table	Bool	%Q0.2						Shuttle.C motor state
7	Conveyor2.Forward	Default tag table	Bool	%Q0.3						C2.Motor Forward
8	Shuttle.Forwards	Default tag table	Bool	%Q0.4						Shuttle is motion forward
9	Shuttle.Reverse	Default tag table	Bool	%Q0.5						Shuttle is moving Reverse
10	Shuttle.Conveyor.Forward	Default tag table	Bool	%Q0.6						Shuttle.C Forward
11	Load.C	Default tag table	Bool	%Q0.7						
12	Shuttle-B2	Default tag table	Bool	%I0.3						S exit sensor
13	Shuttle.inposition.Con2	Default tag table	Bool	%I0.4						Shuttle in conv2 position
14	Shuttle.inposition.Con10	Default tag table	Bool	%I0.5						Shuttle is not in Conv10 position
15	Shuttle.Go to pos.Conv2	Default tag table	Bool	%Q1.0						
16	Shuttle.Go to pos.Conv10	Default tag table	Bool	%Q1.1						
17	Receive.Load	Default tag table	Bool	%I0.6						
18	Conveyor10-B1	Default tag table	Bool	%I0.7						
19	Conveyor10-B2	Default tag table	Bool	%I1.0						
20	Conveyor8-B1	Default tag table	Bool	%I1.1						
21	Conveyor8-B2	Default tag table	Bool	%I1.2						
22	Kicker.Forward	Default tag table	Bool	%Q1.3						
23	Kicker.Reverse	Default tag table	Bool	%Q1.4						
24	Conveyor10.Forward	Default tag table	Bool	%Q1.6						
25	Conveyor10.Motor.State	Default tag table	Bool	%Q1.7						
26	Conveyor8.Motor.State	Default tag table	Bool	%Q2.0						
27	Conveyor8.Forward	Default tag table	Bool	%Q2.1						
28	Conveyor8.Reverse	Default tag table	Bool	%Q2.2						
29	Kicker.B1	Default tag table	Bool	%I1.3						
30	Kicker.B2	Default tag table	Bool	%I1.4						
31	kicker.in.hemposition	Default tag table	Bool	%I1.5						
32	kicker.in.out.position	Default tag table	Bool	%I1.6						
33	Reload.Release.Enabled	Default tag table	Bool	%Q2.3						
34	Receive.Release	Default tag table	Bool	%I1.7						
35	Conveyor1.B1	Default tag table	Bool	%I2.0						
36	Conveyor1.B2	Default tag table	Bool	%I2.1						
37	Conveyor1.Forward	Default tag table	Bool	%Q2.4						
38	Conveyor1.Motor.State	Default tag table	Bool	%Q2.5						
39	Wrapper.Kicker.in.hemposition	Default tag table	Bool	%I2.2						

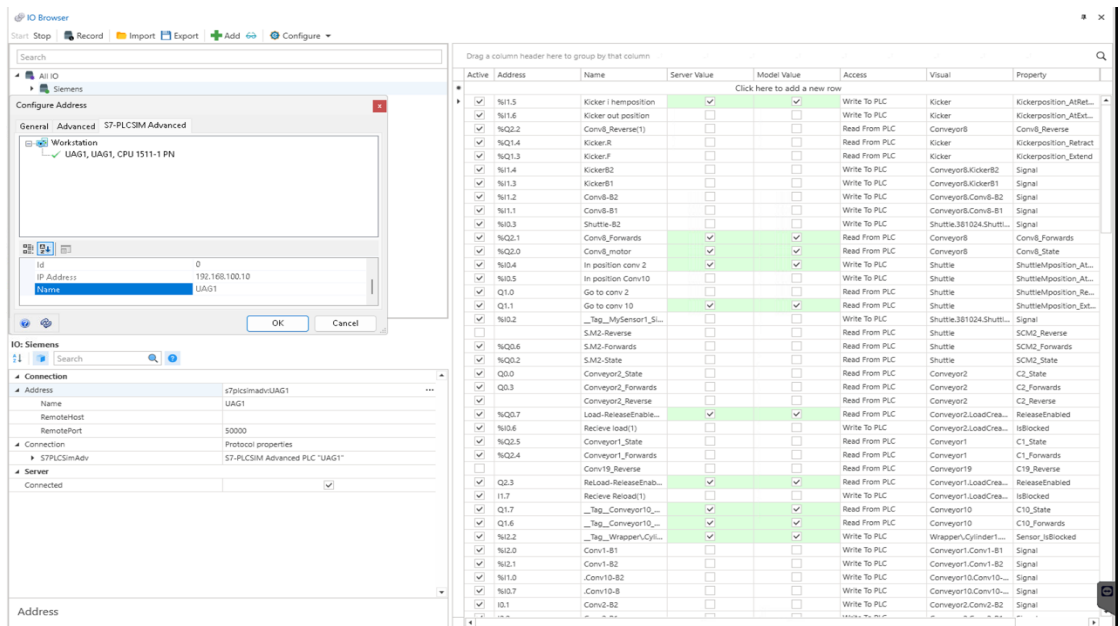
Figur 4.3.1. En del av PLC-taggar i TIA Portal med definierade I/O-signalerna.

Signal between stations	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible	Write	Visible in	Setpoint	Supervision	Comment
1	Static	Struct								
2	Conveyor2	Struct								
3	Infeed Ok	Bool	false							
4	Wants to deliver	Bool	false							Station is empty to next station
5	Receive	Bool	false							from previous station
6	Shuttle	Struct								
7	Conveyor10	Struct								
8	Conveyor8	Struct								
9	Conveyor1	Struct								
10	Wrapper.Kicker	Struct								
11	Wrapper.Conveyor	Struct								
12	Wrapper	Struct								
13	Uppender.Conveyor	Struct								
14	Conveyor16	Struct								
15	Rotating Ruller Conve...	Struct								
16	Conveyor17	Struct								
17	Elevator.Conveyor	Struct								
18	Conveyor19	Struct								
19	Uppender.Gaffel	Struct								
20	Weighning	Struct								
21	Infeed Ok	Bool	false							
22	Wants to deliver	Bool	false							Station is empty to next station
23	Receive	Bool	false							from previous station
24	Kicker	Struct								
25	Signal Load in rig...	Bool	false							
26	Signal Re-Load in ...	Bool	false							
27	Signal kicker is e...	Bool	false							
28	Infeed ok	Bool	false							
29	Weight	Struct								
30	Weight is visible	Bool	false							

Figur 4.3.2. Kommunikationssignaler mellan delstationerna.



Figur 4.4. PLC-konfiguration i TIA Portal med CPU och I/O-modul för den virtuella styrenheten samt virtuell PLC-instans i S7-PLCSIM Advanced.



Figur 4.4.1. Adresskonfiguration i Emulate3D:s I/O Browser.

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2026

www.chalmers.se



CHALMERS