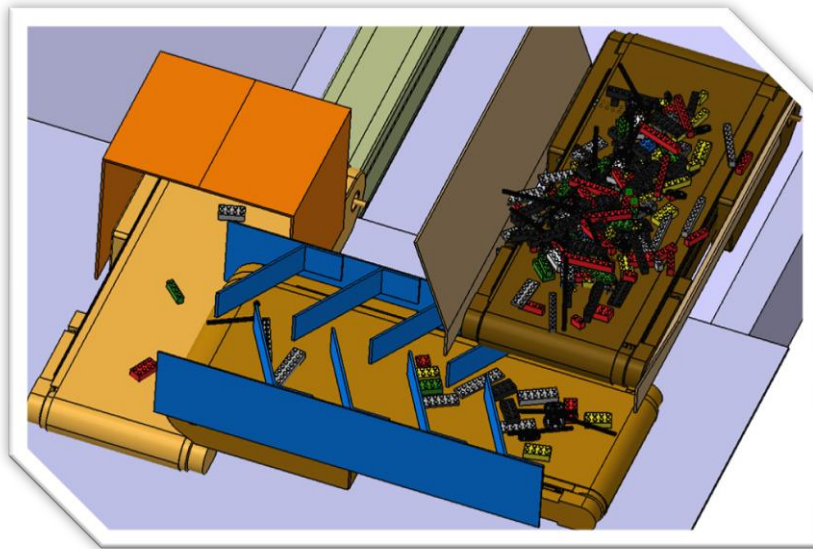




Automatisk sorteringsmaskin för Lego

— En maskin som sorterar, lagrar samt positionerar Lego.

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammen Maskinteknik och Automation & Mekatronik. Projektkod: PPUX03-12-06

Joakim Andersson	M3	900503
Pär Eliasson	M3	880318
Johan Gustafsson	M3	880602
Christian Larsson	M3	900724
Sebastian Mannfolk	Z3	900114
Simon Dahlström	Z3	901126

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling
Avdelningen för Produktionssystem
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2012
Kandidatarbete/slutrapport

Datum: 2012-05-16

Sammanfattning

Detta är en slutrapport i ett kandidatarbete på institutionen Produkt- och produktionsutveckling (PPU). Institutionerna PPU och SSY (Signaler och system) bygger under våren 2012 en produktionscell där flera kandidatprojekt är involverade inom olika delar av cellen. Produktionscellen ska användas både i forskning och i undervisningssyfte. I produktionscellen ska en personbil i mindre skala monteras, där bilen består av en plåtkaross och dess inredning, växellåda och motor är uppbyggda av Lego.

Kandidatarbetet som denna rapport behandlar ska resultera i en helautomatisk, väl fungerande och komplett maskin för sortering av lego- och duplobitar till produktionscellen. En duplobit ska även positioneras med tillräcklig noggrannhet för att en robot ska kunna hämta den.

Projektet inleddes med att ställa upp en kravspecifikation för att kartlägga intressenternas krav och önskemål. Under konceptgenereringen undersöktes befintliga lösningar såväl som nya lösningar genererade genom brainstorming. Koncepten utvärderades och jämfördes med kravspecifikationen som bakgrund. Vissa koncept förkastades direkt och andra gick vidare i urvalsprocessen. En Pugh-matris användes till sist för att ta fram det slutgiltiga konceptet.

Projektet har resulterat i en prototyp för att testa och verifiera det slutgiltiga konceptet. Prototypen använder en kamera som fotograferar och identifierar legobitarna. Efter identifiering placeras legobitarna i en lagerlåda med hjälp av en skyttelcylinder som hämtar, kör ut och blåser legobiten till rätt låda. För att mata fram och separera legobitarna används tre transportband. Ett transportband där legobitarna fylls på och som matar ut dem på nästa transportband. På det andra transportbandet radas legobitarna upp genom att de passerar olika hinder. Det tredje transportbandet tar emot legobitarna från det andra och kör fram legobiten till kameran som fotograferar den. På en av lagerplatserna finns en konstruktion för att positionera en duplobit. Oavsett hur biten anländer vänds den rätt och placeras i en ränna.

Prototypen fungerar som konceptet var tänkt att göra men det finns utrymme för att i framtiden förbättra konstruktionen. Dessa förbättringar innefattar främst att göra sorteringen snabbare men även säkrare så att maskinen sorterar rätt varje gång. Kamerans potential används inte fullt ut, här finns det all anledning att i framtiden utöka kamerans programmering till att ge en industrirobot information om legobitens position för att den direkt plockar upp legobiten och placerar den eller monterar den.

Abstract

This report is a bachelor thesis at the department of Product and Production Development (PPD). The departments PPD and SSY (Signals and Systems) are cooperating during the spring of 2012 to complete the building of a new production cell. There are several bachelor projects involved and each is assigned a part to complete in the cell. After completion the production cell will be used for research and teaching. A miniature car, constructed with a sheet metal body, will be assembled in the production cell. The gearbox, engine and interior are built using parts of Lego to create the sense of a real car.

This bachelor project aims to build an automated, fully functional machine for sorting and storing the Lego used in the production cell. Along with the main goal to sort the Lego, the machine will also position a piece of Duplo with enough accuracy for an industrial robot to pick it up.

The first step of the project was to map all demands from everybody involved with the production cell. When generating different solutions (later combined into full concepts) for this assignment, these demands were used to evaluate and compare the solutions. The concepts were generated investigating already existing solutions as well as generating new ones through brainstorming. Some concepts were scrapped early during the process of selecting a final concept and those more promising were evaluated further. When choosing a final concept, Pugh's method for selecting a concept was used.

To test and verify the final concept a prototype was built. The main feature of the machine, and what enables it to sort the Lego, is a camera taking pictures of the pieces. When the camera's image processing unit has identified the Lego, it is placed on a pneumatic linear drive (basically a rod less cylinder). The cylinder is driven to the current Lego's designated position and compressed air is blown, using an exhaust valve, to place the Lego into its storage box. To keep a certain amount of Lego processed in the machine at all times, a small conveyor belt is used as an input storage. It fills up with Lego from an operator and then feeds a second conveyor belt with Lego. Here the Lego passes through different obstacles, designed to separate and align the Lego. The Lego is then fed down to yet another conveyor belt. This conveyor belt ensures that the camera is only fed with one Lego at a time. The storage boxes are placed along the linear drive except for one slot, where the construction for positioning of the Duplo is placed. Regardless of how the Duplo is oriented when leaving the linear drive, it is turned to the desired orientation (i.e. with the right side facing upwards).

The prototype was built to validate the functionality of the concept and we can conclude that it works according to expectations. This is not to say there is no room for improvement, on the contrary, some elements of the prototype should be further developed in order for it to work satisfactory. The improvements in mind are especially affecting the speed at which the prototype sorts and identifies the Lego at all times. Just identifying the Lego is not using the full potential of the camera. Information regarding how the Lego is oriented is lost. The information could be sent to an industrial robot to allow it to pick it up and place it elsewhere or assemble it.

Förord

Detta projekt har att tacka flera personer för dess resultat. Ett stort tack vill vi rikta till företaget ElektroAutomatik och då speciellt Erik Danauskis som lånat ut visionsystemet och hjälpt oss med utbildning kring det.

Vi vill dessutom tacka följande personer:

Per Nyqvist, forskningsingenjör på institutionen Produkt- och produktionsutveckling som har hjälpt till under projektet och försett oss med delar till prototypen samt handlett oss genom projektet.

Göran Stigler och Hans Sjöberg, båda forskningsingenjörer på institutionerna tillämpad mekanik respektive Produkt- och produktionsutveckling som försett oss med viktiga delar till prototypbygget.

Sven Ekered, forskningsingenjör på institutionen Produkt- och produktionsutveckling som lånade ut en PLC och kom med idéer till prototypbygget.

Jonathan Berglund, doktorand på institutionen Produkt- och produktionsutveckling för handledning under projektet.

Ordlista

Nedan följer de ord som utan förtydligande används i rapporten:

- PPU – Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling
- Legobit – i rapporten betecknas "legobit" för alla olika detaljerna som skall sorteras, alltså både lego-, tekniklego- och duplobitar
- Mikrokontroller (μ C) – programmerbar styrkrets för att styra I/O- signaler
- PLC (Programmable Logic Controller) – en industriell dator för att styra automationsprocesser
- CAD (Computer Aided Design) – digitalbaserad teknik för design av tekniska ritningar inom konstruktion
- Visionteknik/system – system/teknik som använder sig av bildbehandling för att tillhandahålla information.
- Offline-programmering – programmering mot en extern dator
- I/O-modul – en extern enhet som behandlar logiska signaler
- Online-/Offlineläge – körning mot endast hårdvara respektive körning mot en extern dator

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	2
1.1 Syfte & mål.....	2
1.2 Problem & Uppgift	2
1.3 Avgränsningar	3
2. Teori	4
2.1 Vibrationsmatare	4
2.2 Visionsystem	4
2.3 Programmerbart styrsystem, PLC	4
2.4 Mikrokontroller.....	4
3. Metod och genomförande	5
3.1 Kartläggning av krav och funktioner	6
3.2 Funktionsstruktur.....	6
3.3 Konceptgenerering.....	6
3.4 Urvalsprocess.....	8
3.5 Slutgiltigt koncept	9
3.6 Prototyp.....	11
3.7 Test och verifiering.....	11
4. Resultat	12
4.1 Prototyp av sorteringsmaskin.....	12
4.1.1 Separering	13
4.1.2 Identifiering.....	14
4.1.3 Lagerhållning	18
4.1.4 Positionering av Duplo.....	20
4.1.5 Kommunikation & Styrning.....	22
4.2 Tester och verifiering.....	24
5. Diskussion & rekommendationer	26
Källförteckning.....	28

1. Inledning

Ett generellt problem inom industrin är att kunna styra och hantera materialflöden. En koppling till detta finns i PPU:s laboratorium, där PPU/S2 under våren 2012 bygger en produktionscell med flera kandidatprojekt som arbetar med olika delar inom cellen. Produktionscellen består av tre sektioner, tillika automationsnivåer (manuell, semiautomatisk och helautomatisk). Produktionscellen används både i forskning- och i undervisningssyfte. I produktionscellen ska en personbil i mindre skala monteras, där bilen består av en plåtkaross och dess inredning, växellåda och motor är uppbyggda av Lego som ska monteras. Lego- och duplobitar med olika utseende ska kunna nyttjas som råmaterial i tillverkningsprocesserna.

Legot måste innan det når produktionsprocessen sorteras och fördelas upp i givna lagringsutrymmen för att senare underlätta vid manuell montering. Detta bör även ske automatiskt för att minimera produktionsarbete vid produktionscellen och återspegla den verkliga industrin på bästa sätt. Den kompletta lösningen skall kunna utvecklas och användas i kombination med en robot där bitarna placeras i väldefinierade positioner. Ett kandidatarbete inom avdelningen för produktionssystem har därför skapats för att framställa en helautomatisk lösning för sortering och lagring av legobitar. Sorteringsprocessen skall vara en del i PPU/S2:s realiserade produktionscell som mot slutet av vårterminen 2012 skall presenteras inför företag inom fordonsindustrin. Vid slutet av projektet skall projektarbetet även ha dokumenterats och presenterats i form av en teknisk rapport och muntlig slutpresentation.

1.1 Syfte & mål

Kandidatarbetet ska resultera i en helautomatisk, väl fungerande och komplett maskin för sortering av lego- och duplobitar. En duplobit ska positioneras med tillräcklig noggrannhet för att en robot ska kunna hämta den.

1.2 Problem & Uppgift

I produktionscellen ska bilen monteras och därefter demonteras med olika automationsnivåer. Det kommer att finnas manuella stationer där människor för hand monterar detaljer och det kommer finnas automatiska stationer där robotar monterar. Stationer med en blandning av automationsnivåerna kommer också att finnas, här arbetar människa och robot tillsammans med produkten. Förutom att bilens plåtkaross ska svetsas ihop ska det monteras tre olika legomoduler i bilen. Dessa moduler är inredning, motor och växellåda, samt att det finns olika varianter på dessa. De tre modulerna är uppbyggda av ett stort antal legobitar med unik geometri (29st).

I bilen finns inga duplobitar men det finns ett önskemål vid sidan av projektet att även dessa ska kunna sorteras och positioneras med en tillräcklig noggrannhet för att en robot ska kunna hämta dem. Problemet med positioneringen är främst att få den noggrannhet som roboten kräver men även hur varje duplobit ska vändas rätt oavsett hur den är orienterad innan positioneringen. Legobitarna ska sorteras och placeras på en lagerplats som enkelt kan hämtas av montörer vid de manuella stationerna i produktionscellen. Sorteringsarbetet är därför omfattande och lagret kommer att ta upp stor plats. En operatör ska kunna fylla maskinen med Lego och maskinen ska helt automatiskt kunna sortera bitarna. Problemet har tre olika dimensioner, dels måste bitarna separeras från varandra och dels måste de identifieras för att till slut placeras/positioneras i rätt lagerplats.

Vad gäller separeringen så måste det naturligtvis ske i något led av sorteringen men om det kan göras i samband med identifiering och/eller lagerplacering är något som ska undersökas. Identifieringen av bitarna kommer att vara det centrala i maskinen för att kunna sortera dem i rätt lagerplats. När bitarna väl är identifierade ska de placeras i rätt lagerplats, här är problemet att

transportera de identifierade bitarna samt att göra lagret så litet som möjligt för att få plats med samtliga bitar.

Projektet kräver samverkan med de andra kandidatgrupperna som arbetar med produktionscellen. Detta kandidatprojekt kommer främst att behöva samverka med den grupp som ansvarar över stationen med manuell montering till vilken Lego ska sorteras. Det är först och främst deras krav på hur Lego ska levereras som måste uppfyllas.

En stor del i uppgiften blir att styra maskinen. Det kommer att krävas flertalet rörliga delar och aktuatorer som måste samverka med varandra och en omfattande styrning kan behövas för att få maskinen att fungera på ett tillfredställande sätt. Det finns många olika metoder för maskinstyrning och vilken eller vilka som passar bäst för ändamålet måste undersökas. Oavsett om lösningen kommer att innefatta rörliga delar eller inte så är säkerheten mycket viktig. Det ska inte innebära någon fara för operatören att handha maskinen eller för den delen andra som kan tänkas vistas i maskinens närhet.

1.3 Avgränsningar

Det stora antalet detaljer som ska sorteras gör att främst lagersystemet kommer att bli väldigt stort och tidskrävande att bygga. Projektet avgränsas därför till att sortera ungefär hälften av bitarna (ca 16 st). Det finns alltså 16 lagerplatser men det måste ges utrymme för att till exempel sortera bort felaktiga detaljer eller sådana som inte ska sorteras enskilt. Här är det viktigt att påpeka att alla detaljer ska ges möjlighet att sorteras men att ett förhandsval om vilka som ska sorteras behöver göras. Projektet kommer att bli alldeles för omfattande om samtliga legobitar ska positioneras för hantering av en robot. Därför avgränsades projektet till att endast positionera en duplobit med en unik geometri för att spara tid när det är själva principen för positionering som är det viktiga. De duplobitar som inte positioneras kommer att sorteras som vanligt med övriga legobitar (det vill säga om man har valt att sortera dessa).

Avgränsningar om funktionsstruktur och lösningsförslag kommer att ske löpande under projektets gång då det är av yttersta vikt att projektet resulterar i en prototyp som fungerar. Denna prototyp, liksom projektet avgränsas till att enbart hantera Lego som anlänt till systemet och hanteringen slutar när Lego väl har placerats i rätt lagerutrymme. Det vill säga, hur Lego anländer eller förs bort ifrån systemet behandlas ej i detta projekt.

2. Teori

Detta kapitel innefattar kort teori om de mest signifikanta delsystemen som behandlas i denna rapport.

2.1 Vibrationsmatare

En vibrationsmatare avser att mata detaljer i ett kontinuerligt flöde genom nyttjandet av vibrationer (Althoff, 1980). Dessa kan tillverkas cylindriska för att låta detaljerna färdas längst en cirkelformad bana, på vilken hinder kan orientera detaljerna (Super, 2008). En vibrationsmatare illustreras i figur 1.



Figur 1. En vibrationsmatare från företaget Specialprodukter AB.

2.2 Visionsystem

Ett visionsystem är ett system som klarar av att behandla en stor komponentvariation och använder sig av en eller flera kameror som med hjälp av ett dataprogram jämför en bild med ett bibliotek av lagrade referensbilder genom så kallade mönsterverktyg (Warren, 1986). Dessutom används bland annat verktyg för att beräkna pixelmängd och ljusstyrka för att detektera utmärkande drag hos identifieringsobjektet (Hornberg, 2006). Som Cognex hemsida (Cognex, 2012) klargör kan vissa system även klara av att sköta beräkningarna direkt i en inbyggd dator i kameran, dessa kameror kallas generellt för smartkameror. Visionsystem begränsas inte till att enbart detektera objekt, utan kan även bestämma hur objektet är orienterat relativt kameran.

2.3 Programmerbart styrsystem, PLC

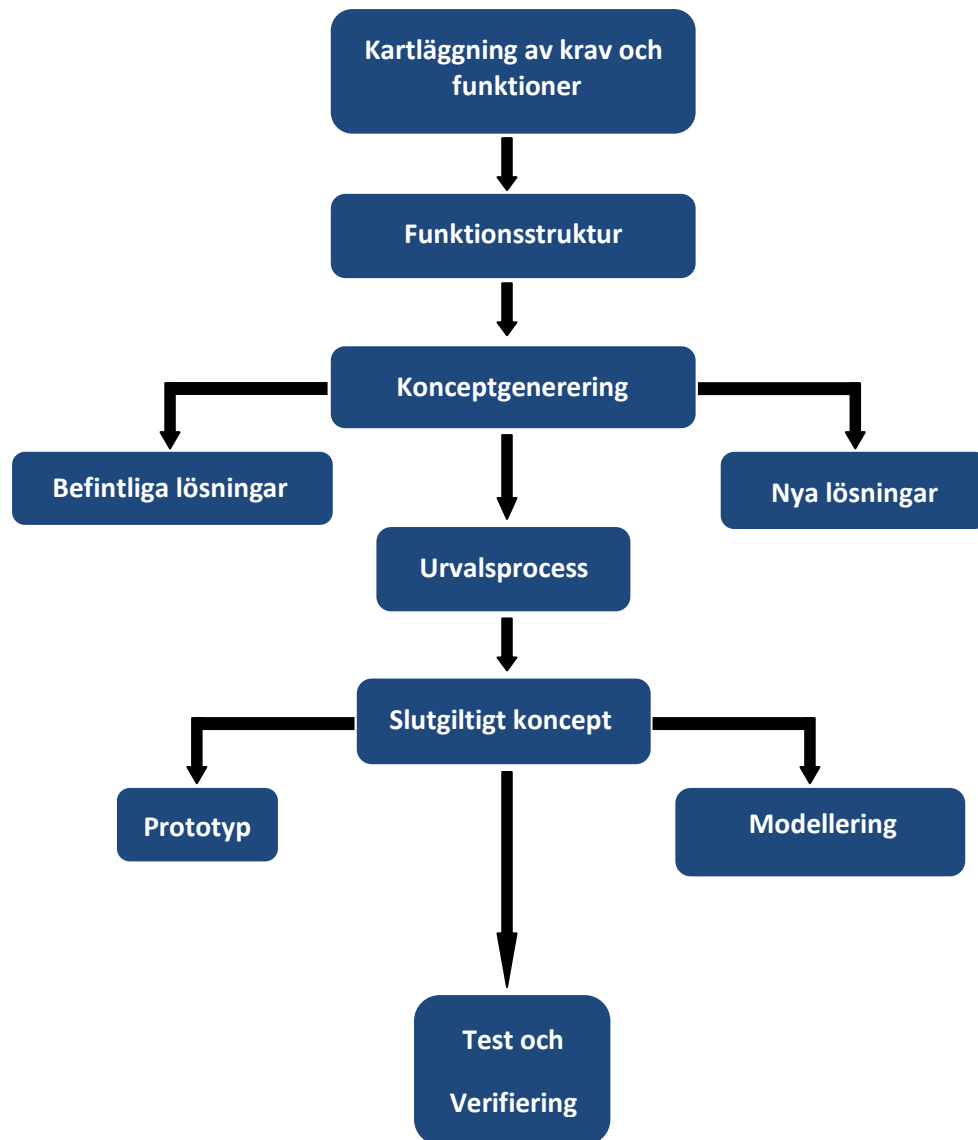
En programmable logic controller (PLC), är en utrustning för styrning och reglering av industriprocesser, och består av en centralenhet, enhet för digitala in- och utgångar, samt ett programminne där instruktioner för styrning lagras. Centralenheten läser givare genom ingångskortet, och styr systemet genom de givna instruktionerna och reglerar utsignalerna därefter (Larsson, 2012). Återigen avläses givarnas signaler från ingångskortet, och programmeringscykeln fortsätter på samma vis som tidigare beskrivet. Detta cykliska arbetssätt utmärker PLC, och tiden mellan signalavläsningarna bestäms bland annat av systemprestanda och programlängd (Larsson, 2012).

2.4 Mikrokontroller

En mikrokontroller (μC) är en enchips-dator bestående av processor, minne och digitala in- och utgångar samt även i vissa fall analoga ingångar. Chippet är programmerbart för att behandla givna insignaler och returnera utsignaler efter specifika instruktioner (Heath, 2003). Beroende av mikrokontrollerns klockfrekvens utför den instruktionerna olika snabbt, mikrokontroller av fabrikatet ATMEL AVR utför en miljon uträkningar per MHz (Myklebust, 2012).

3. Metod och genomförande

Inom ämnet produktutveckling finns en mängd olika metoder och tillvägagångssätt för att uppnå ett koncept som tydligt uppfyller intressenters krav och önskemål. De utvecklingsmetoder som tillämpats under detta projekt är metoder rekommenderade av böckerna *The Value Model* (Lindstedt et al, 2003) samt *Produktutveckling* (Johannesson, 1997). Metoder och verktyg ifrån dessa böcker är utvalda för att anpassas till detta projekt och huvuddragen av dessa finns beskrivna i figur 2 nedan. I många av stegen finns det mindre delsteg som kommer att behöva en närmare förklaring, vilket detta kapitel gör.



Figur 2. Projektets tillvägagångssätt samt de utvecklingsmetoder som tillämpats.

3.1 Kartläggning av krav och funktioner

Samtliga intressenter av projektet intervjuades för att få fram ett underlag till funktionsstrukturen och kravspecifikationen. Projektbeskrivningen lämnade vissa frågetecken angående vilka funktioner maskinen skulle innehålla, därför kontaktades institutionen för produktion och produktutveckling (som är närmsta intressent) för att få en tydligare bild av deras krav. Även personer som är indirekta intressenter kontaktades så att deras krav och önskemål kunde beaktas. Dessa indirekta intressenter var främst de andra grupperna som arbetar med produktionscellen och som på ett eller annat sätt påverkas av detta projekt. När intressenternas krav och önskemål var kartlagda gjordes en initial kravspecifikation. Till denna tillkom även egna krav och önskemål som kunderna inte uppgav eller tänkte på. Det gällde främst krav på säkerhet och gränssnittet mellan operatör och maskin. Den initiala kravspecifikationen gjordes för att på ett strukturerat sätt kartlägga samtliga krav och önskemål och för att använda som stöd under konceptgenereringen samt urvalsprocessen. Med den som grund blev konceptgenereringen mer effektiv genom att redan på idéstadiet ställa krav på koncepten. Genom hela urvalsprocessen användes den initiala kravspecifikationen vid jämförelser mellan koncept och för att bedöma enskilda koncepts kravuppfyllelse.

3.2 Funktionsstruktur

För att identifiera hur systemet skall se ut för att uppfylla kraven ritades en hypotetisk black-box-modell och utifrån den en funktionsstruktur där flödet av energi, material och information visas. Olika delfunktioner identifierades och de delades i vissa fall upp i ytterligare delfunktioner. De fyra mest betydande delfunktionerna kartlades och dessa var:

- **Separering** av legobitarna för att sprida ut materialet och bilda ett ordnat flöde
- **Identifiering** av legobitarna för att möjliggöra individuell behandling av önskade bitar
- **Lagerhållning** av sorterade bitar som ska förvaras
- **Positionering** av Duplo för att en robot i framtiden ska kunna hantera dem.

Separeringen ska sprida ut bitarna så att de anländer till identifieringen en i taget. Detta görs för att identifieringen och lagerhållningen bara ska behöva hantera en bit åt gången. Det kommer att underlätta oavsett vad för lösning på delsystemen som väljs. Identifieringen ska inhämta information om vilken bit det är och lagersystemet ska använda denna information till att placera bitarna på önskad lagerplats. Positioneringslösningen ska vara utformad så att alla bitar av minst en typ ska placeras i en väldefinierad position. Det ska med fördel också i framtiden gå att expandera lösningen till denna funktion så att fler typer kan positioneras. Identifieringen och lagersystemet ska också med enkelhet kunna utökas till att ta emot och behandla fler bitar i framtiden. För hypotetiska funktionsstrukturen se bilaga 1.

3.3 Konceptgenerering

För att generera lösningsförslag till den tidigare nämnda problembeskrivningen utfördes tidigt i projektet en omfattande undersökning om den teknik som i dagsläget används till liknande problem. Denna undersökning skedde främst på internet. För att både underlätta informationshämtningen och utvidga sökområdet delades det totala systemet in i fyra olika delsystem; separering, identifiering, lagerhållning och positionering. Undersökningens resultat av befintliga dellösningar kompletterades senare med dellösningar som diskuterades av gruppen och med dellösningar som togs fram med hjälp av intervjuer med personal från Chalmers. Även andra personer som arbetar inom liknande områden kontaktades för att vidga lösningsförslagen ytterligare.

De olika dellösningarna kombinerades därefter ihop till ett antal fullständiga koncept, där flera av de uppställda delfunktionerna i vissa fall kunde lösas med samma lösning. Detta gjordes för att uppnå en så stor bredd på lösningsalternativen som möjligt och förutsätter därför att inga lösningar har uteslutits. Genom att använda sig av tre olika källor för informationshämtning (internet, intervjuer, brainstorming) förstärks möjligheterna att hitta ett fungerande koncept.

Tre unika dellösningar utformades för separeringsfunktionen, för vilka alla fungerar väl med identifieringsdelen. Den första dellösningen innefattar en vibrationsmatare, som både matar fram legobitar samt har möjligheten att positionera dessa i väldefinierade positioner. Den andra dellösningen består av olika transportband, som genom hinder och dynamisk styrning matar legobitar till identifieringsdelen. Slutligen kan den sista dellösningen liknas vid en hiss, för vilken det enbart finns utrymme för en begränsad mängd legobitar och de levereras således var för sig till identifieringsdelen.

För identifieringsdelen utformade två unika dellösningar, där den första bearbetar en visuell bild av legobiten genom ett visionsystem. Den andra identifieringslösningen nyttjar fotosensorer för att få en bild över legobitens storlek och symmetri.

Av de olika alternativ lösningar för lagringsdelen, vidareutvecklades framförallt tre unika lösningar. Ett cirkelformat lager utformades, baserat på ett rundbord där bordet roteras för att nå rätt lagerplats. De andra lagerlösningarna bestod av lagerplatser positionerade linjärt, och transporten av legobitar utformades efter antingen en linjärenhet eller transportband.

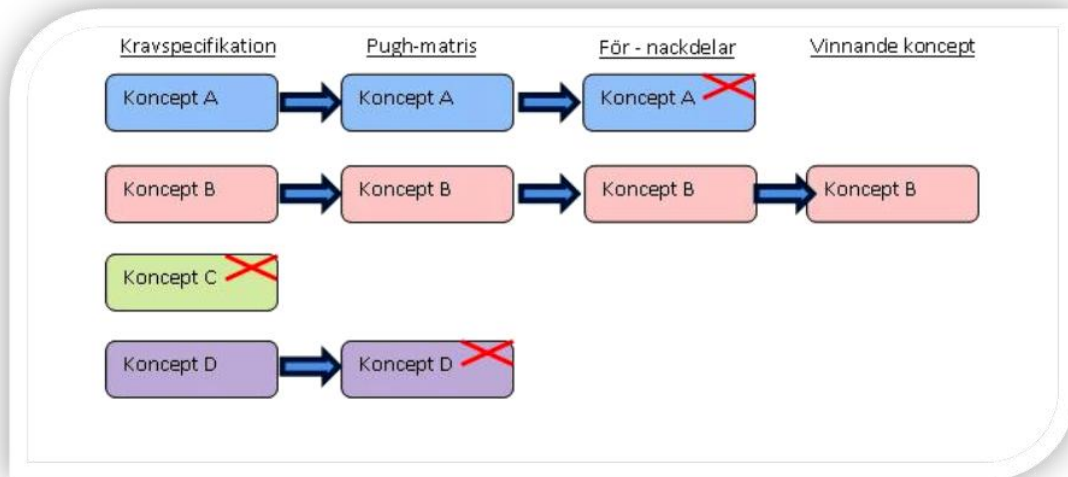
Fyra koncept gick vidare till en mer noggrann urvalsprocess efter att sållat bort de koncept med nackdelar som ansågs alltför betydande för att gå vidare med. De fyra koncepten som utvecklades vidare var:

<u>Separering</u>	<u>Identifiering</u>	<u>Lagring</u>
• Koncept A: Vibrationsmatare	+ Visionsystem +	Rundbord
• Koncept B: Hackande transportband & zick-zack	+ Visionsystem +	Linjärenhet
• Koncept C: Vibrationsmatare	+ Fotosensorer +	Linjärenhet
• Koncept D: Hiss & hinder	+ Visionsystem +	Transportband med knuffande cylindrar

Alla dessa koncept innehåller dessutom även en gemensam lösning för positioneringen av en duplobit.

3.4 Urvalsprocess

I figur 3 finns en grovskiss på hur urvalsprocessen gick till. De fyra mest lovande koncepten vidareutvecklades för att få fram all möjlig potential hos dem. När alla koncept var vidareutvecklade från idéstadiet kunde de jämföras med varandra så att alla hade en rimlig chans att gå vidare. Denna metod användes för att säkerställa att ingen potential gick om miste och därför tappa viktiga lösningar. Målet var att få fram en slutgiltig lösning och eliminera alla de andra.



Figur 3. Elimineringsprocess

Som ett första steg i urvalsprocessen mellan de fyra mest lovande koncepten jämfördes de relativt varandra med hjälp av kravspecifikationen. Konceptens totala krav och måluppfyllelse antecknades och ur denna fanns det en klar förlorare. Koncept C föll på dess komplexitet att bygga. Att identifiera legobitarna genom längdmätning med hjälp av fotosensorer skulle kräva att samtliga legobitar alltid orienterades i längdled. Med det stora antalet legobitar som ska sorteras blir konstruktionen därför alltför komplex. Det gick i det här stadiet med säkerhet välja bort koncept C utan någon vidare analys just med tanke på dess tydliga förlust vid jämförelse av kravuppfyllnad.

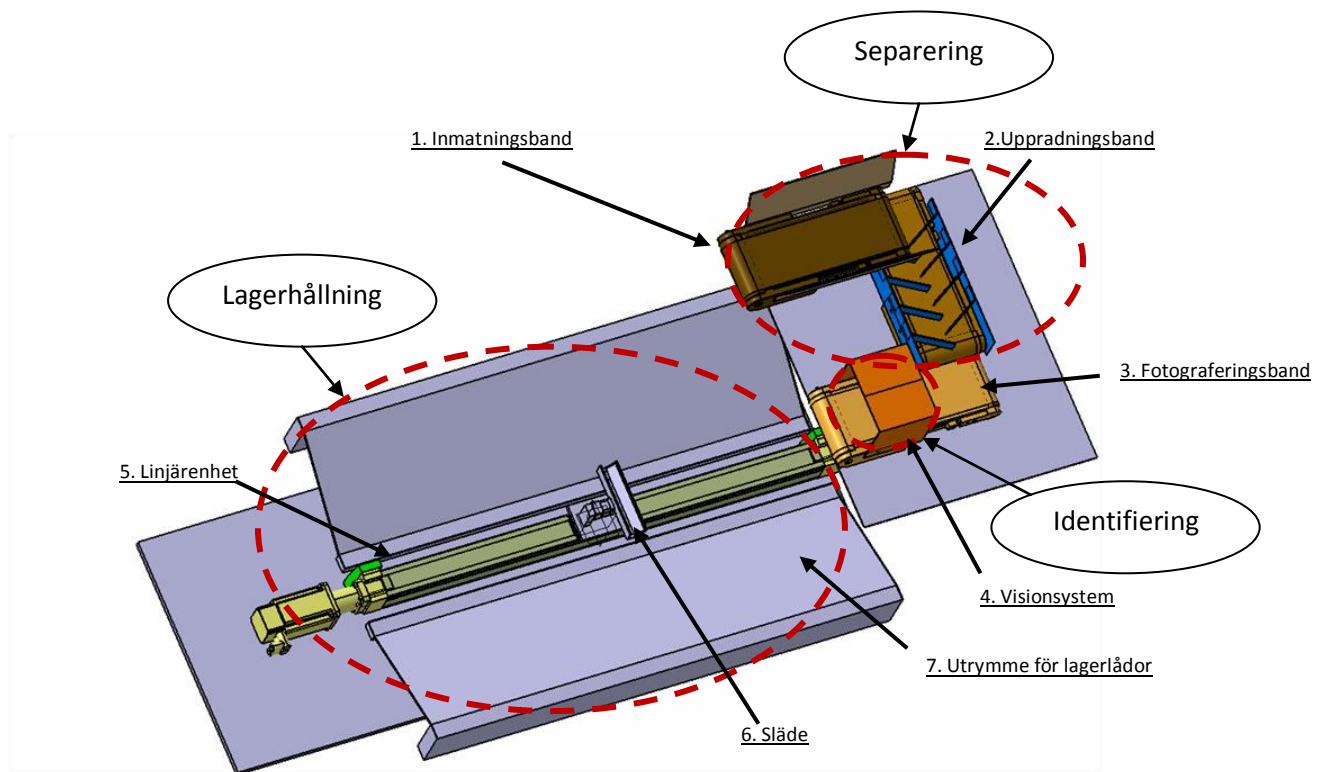
I nästa steg av urvalsprocessen användes en Pugh-matris för att jämföra och eliminera ytterligare koncept. Pugh-matrisen är en generell metod för att välja lösningar eller hela koncept och användes för att på ett systematiskt och objektivt sätt välja de bästa koncepten. Metoden itererades en gång för att säkerställa att rätt val gjordes. Koncept D valdes bort efter Pugh-matrisens resultat. Viktiga kriterier var robusthet och möjligheten till vidareutveckling, något som detta koncept inte uppfyllde. Lagersystemet i detta koncept blir för stort om många bitar ska sorteras, en cylinder för varje legobit skulle behövas och det ansågs inte rimligt. Det blir också svårt att vidareutveckla den mer än att lägga till fler cylindrar. Resultatet av Pugh-matrisen och en iteration av den finns i bilaga 2.

Från Pugh-matrisen kvarstod enbart koncept A och B som var relativt jämna med de kriterier som användes i matrisen. En sista bedömning gjordes för att få ett vinnande koncept, här vägdes fördelar mot nackdelar med avseende på fler kriterier än den i Pugh-matrisen. Trots Pugh-matrisens resultat gjordes en bedömning att koncept B ändå skulle bli mest robust och enklast att bygga. I koncept A används ett rundbord som lagerdel. Rundbordet bör ha två våningar för att inte bli alltför stort att få detta robust ansågs svårare än lagerdelen i koncept B. En tydlig fördel som fällde det sista avgörandet var att koncept B hade bättre möjligheter till utveckling i framtiden. Detta gäller främst inmatningsdelen, det är betydligt lättare att anpassa hindren för att kunna sortera andra legobitar om det skulle behövas. Vibrationsmataren är känslig för olika detaljer, en viss legobit behöver en speciell frekvens för att kunna matas fram. Hur den skulle klara av att hantera det stora antalet legobitar är oklart.

3.5 Slutgiltigt koncept

Vad som hittills klargjorts är att konceptet som gruppen beslutade att gå vidare med är koncept B. När väl ett slutgiltigt koncept fastställts framställdes en slutgiltig kravspecifikation som en påbyggnad av den initiala kravspecifikationen. Denna utformades på ett sådant sätt att generella grundkrav kompletterades med för det valda konceptet specifika krav. Till konceptets krav adderades även önskemål för att inte begränsa konceptets potential. Den slutgiltiga kravspecifikationen ses i bilaga 3.

För att skapa en illustrerande och principiell bild av konceptet 3D-modellerades de vitala delarna i CAD-programmet Catia V5. Denna illustration åskådliggörs i figur 4.



Figur 4. Slutgiltigt koncept

Som figuren visar är konceptet uppbyggt av en separeringsdel bestående av transportband, en identifieringsdel bestående av visionteknik samt en lagerhållningsdel bestående av en linjärenhet. Observera att positioneringsdelen inte illustreras i denna figur.

Det slutgiltiga konceptet använder sig av tre transportband. Det första bandet är placerat i botten av behållaren där osorterat Lego anländer (1 i figur 4). Detta band drivs av en motor som låter bandet stega sig fram. Genom att stega bandet på detta vis transporteras enbart en viss mängd Lego vidare i systemet åt gången vilket är ett första steg i att separera bitarna. Från det första stegande bandet faller bitarna ner på ett annat band som är riktat vinkelrätt mot det första (2 i figur 4). På detta finns en sicksack-mönstrad hinderbana som medför att bitarna radas upp i en kö vilket innebär att bitarna hädanefter transporteras en och en. Detta band utgör ett 2:a steg i separeringen. När bitarna passerat uppravningsbandet faller de ner på ett ytterligare, vinkelrätt placerat band (3 i figur 4). Detta band är snabbare än de två tidigare banden och därmed bildas ett mellanrum mellan de uppradade bitarna som faller ned på det snabba bandet. Denna konstruktion medför ett tredje och sista steg för separering av bitarna. Separeringen av bitarna illustreras tydligare i figur 5.



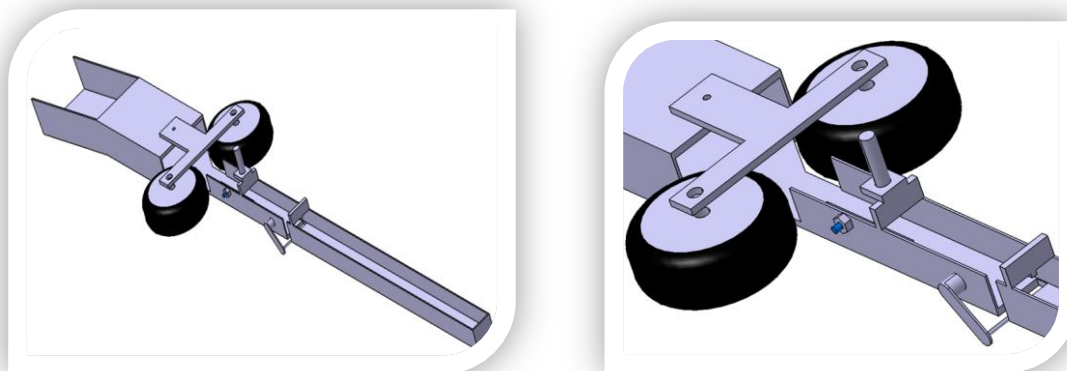
Figur 5. Separering av Lego. Inmatningsbandet skjutsar vidare en mängd bitar åt gången. Hinderbanan organiserar bitarna i ett kösystem vilket möjliggör att fotograferingsbandet kan skapa större spridning bland bitarna.

Efter separeringen kan identifieringen av legobiten genomföras. Detta sker med hjälp av ett visionsystem (4 i figur 4). Ett visionsystem är ett system som använder sig av bildbehandling (oftast med hjälp av en kamera) för att tillhandahålla information och fungerar som "maskinens öga". Bitarna som transporteras på det snabba bandet anländer till visionsystemet som avgör vilken legobit som anlänt. Bildbehandlingen sker på given signal och därefter meddelar systemet vilken bit som identifierats. Detta delsystem möjliggör för individuell behandling av önskade bitar.

Då systemet har identifierat en legobit på fotograferingsbandet fortsätter denna till transportbandets ändläge, där biten i fortsättningen kommer behandlas av lagerhållningssystemet för att placeras på rätt lagerplats. Vid transportbandets ändläge förflyttas den identifierade legobiten från bandet till en linjärenhet (5 i figur 4) som transporterar biten vidare. Legobiten anländer på linjärenhetens släde (6 i figur 4) som fördelar biten antingen till höger eller vänster om linjärenheten, medan linjärenheten bestämmer avståndet ifrån transportbandets ändläge. Beroende på vilka bitar som identifierats kommer bitarna att placeras i olika lagerlådor som är placerade längs linjärenheten (7 i figur 4).

Det slutgiltiga konceptet för positioneringssystemet för Duplo valdes till att låta biten färdas längs en bana och på vägen orienteras rätt. Systemet är gjort så att duplobiten alltid hamnar med dess fästpluppar uppåt och med dess kortsida framåt i bitens färdriktning. Denna position kallas i fortsättningen för den önskvärda positionen.

När duplobiten passerat de tidigare delsystemen och släppts av linjärenheten kommer den färdas från vänster till höger i modellen som visas i figur 6a. Positioneringssystemet lutar nedåt för att biten hela tiden ska röra sig framåt och dessutom lutar systemet i ortogonalt plan för att legobiten alltid ska hålla sig längs ena väggen. När biten avskilts från linjärenheten åker den till en serie av hinder som orienterar biten i den önskvärda positionen. Biten åker därefter igenom en ränna med ett stopp i slutet där den hamnar i en väldefinierad position. Orienteringens utformning visas i figur 6b.



Figur 6. Positioneringssystem

Första delen ser till att duplobiten hamnar med dess kortsida framåt. Dock kan biten fortfarande ligga på sidan, upp och ner eller i önskad position. Att biten hamnar med dess kortsida i färdriktningen uppnås genom att roterande hjul tvingar biten att kontinuerligt ändra orientering tills att den klarar av att passera hjulen, vilket den inte kan med en av långsidorna i färdriktningen. Andra delen består av ett tak som stoppar biten om den färdas på sidan. En sensor ovan detekterar då om biten legat kvar en viss tid. I så fall aktiveras en tryckluftsventil för att blåsa omkull biten. Det finns dessutom en urgröpfung i underlaget som passar för biten när den ligger på sidan för att underlätta omkullblåsningen.

Det sista hindret är en mikrobrytare som aktiveras om biten ligger upp och ner genom att en hävarm som är kopplad till brytaren i detta fall slås till. Om biten ligger åt rätt håll undviks hävarmen då den befinner sig i ett utrymme mellan fästplupparna och duplobiten kan glida vidare. Om biten ligger upp och ner och brutit mikrobrytaren aktiveras en arm som rör sig i en halvcirkel. Armen är placerad vinkelrätt mot bitens färdriktning. Den lyfter upp duplobiten och vänder på den för att den ska kunna åka vidare. Efter dessa tre steg ligger biten alltid i den önskade positionen.

3.6 Prototyp

När det slutgiltiga konceptet fastställdes började en prototyp av denna tillverkas. Tillverkning av detaljer gjordes i Chalmers prototypverkstad och montering, koppling av el och programmering gjordes i PPU-laboratoriet. Ritningar av egentillverkade detaljer gjordes i CAD-programmet Catia V5R19.

3.7 Test och verifiering

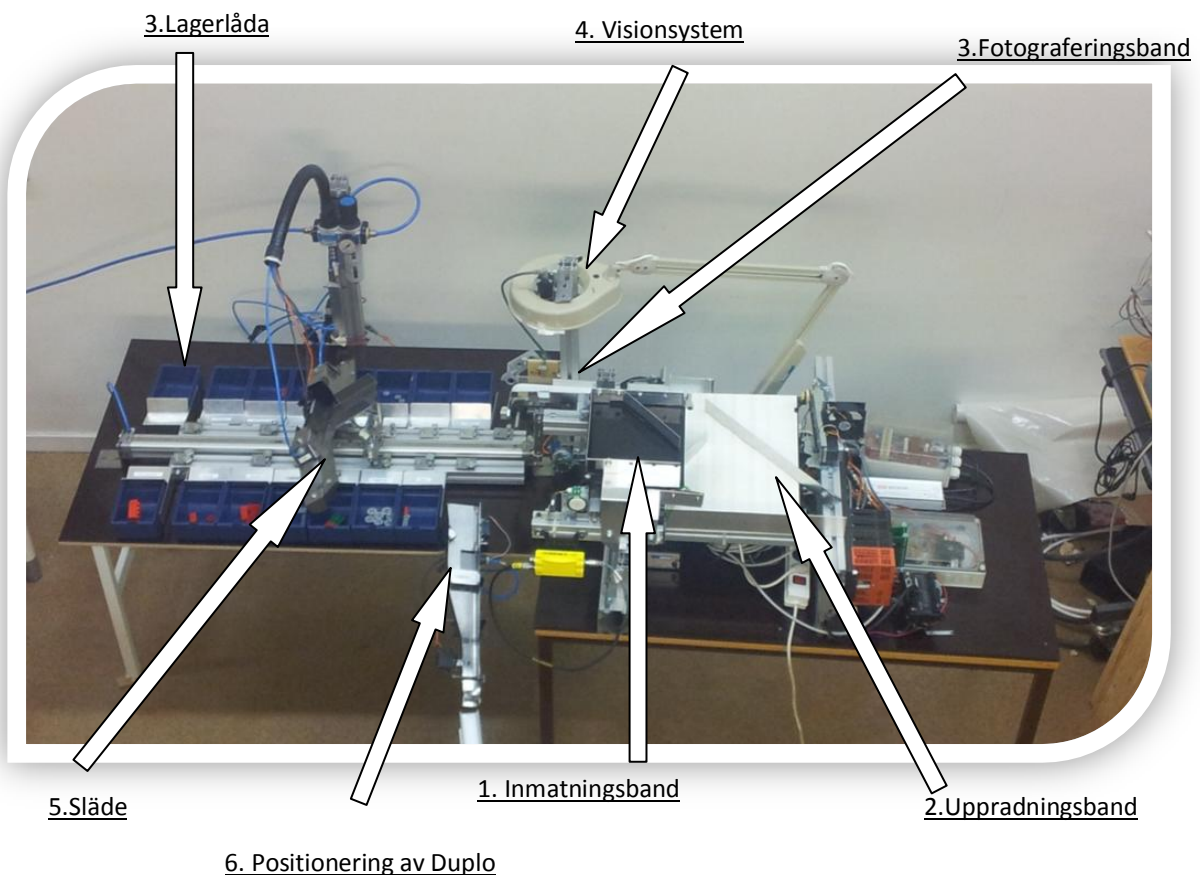
Tester utfördes kontinuerligt under konstruktionsprocessen och resultatet av dessa användes för att verifiera prototypens funktioner mot kravspecifikationen. De olika delsystemen testades för sig och senare i projektet testades hela systemet. Testerna visade även vilka förändringar i konstruktionen som behövde göras för att prototypen skulle fungera på ett tillfredsställande sätt. Eftersom funktionerna inte simulerades virtuellt innan prototypbygget startade blev testerna väldigt viktiga för ändringar och fortsatt konstruktion.

4. Resultat

Detta kapitel förklarar det slutgiltiga konceptet som presenterades i tidigare kapitel. Här beskrivs och presenteras de ingående delsystemen tydligare och prototypen som blev resultatet av det slutgiltiga konceptet. Prototypen ska visa lösningarna till de funktioner som det slutgiltiga konceptet har. Ändringar av konceptet som ägde rum efter att byggandet av prototypen startade kommer också att redovisas. Dessa ändringar gjordes efter att mer utförliga tester kunde genomföras på prototypen.

4.1 Prototyp av sorteringsmaskin

I detta kapitel presenteras prototypen kort i sin helhet för att skapa bättre förståelse av maskinen innan de olika delsystemen förklaras mer i detalj. I figur 7 nedan syns prototypen med samtliga delsystem. Se även i figur 4 i det tidigare kapitlet 3.5 *slutgiltigt koncept* och jämför med den för ökad förståelse.

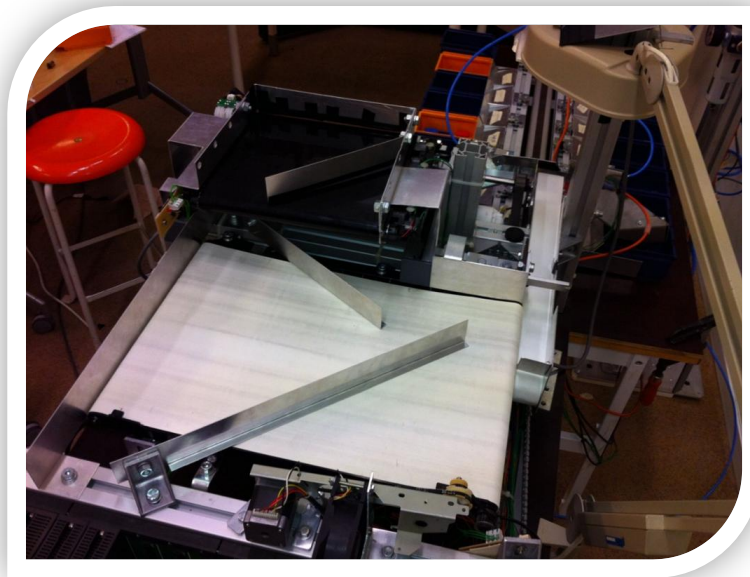


Figur 7. Fotografi på tillverkad prototyp.

Prototypen stämmer väl överens med konceptet som togs fram. Legobitarna fylls på inmatningsbandet och matas ner på uppravningsbandet där den största delen av separeringen sker. Fotograferingsbandet matar fram legobiten till kameran som identifierar legobiten. Släden tar emot legobiten, kör ut den till rätt par av lådor och blåser sedan ner den till vänster eller höger om linjärenheten där lagerlådorna är placerade. I figuren ses även positioneringen av Duplo. Den skiljer sig en del från konceptet och kommer att förklaras mer ingående i ett senare kapitel.

4.1.1 Separering

Till prototypen användes standardmässiga aluminiumprofiler (av fabrikatet FlexLink) för att bygga upp ramverket. Detta gjorde för att de är enkla att använda och flexibla i sitt utförande. Samtliga profiler med tillhörande upphängningar försågs av Chalmers PPU- laboratorium. I enlighet med det slutgiltiga konceptet användes tre stycken transportband för att hantera separeringen av legobitarna. En övergripande bild på separeringsdelen illustreras i figur 8.



Figur 8. En bild över separeringsdelen som består av tre stycken transportband

Till inmatnings- och uppradningsbandet (svart och vitt band i figur 8) användes transportband med deras respektive stegmotorer och drivningar från en skrivare och en kopiator. Fotograferingsbandet ställde krav på ett neutralt och rent underlag för att underlätta identifieringen. Till skillnad från det slutgiltiga konceptet så kortades bredden på fotograferingsbandet (smalt band till höger i figur 8) i prototypen, därför att den färdiga FlexLink-banan redan hade tillräcklig bredd för att hantera alla legobitar. Dessutom behövde visionsystemet inte längre söka av ett större område vilket resulterade i mer precisionssäker identifiering. Ett transportband med vitt underlag införskaffades som monterades på en FlexLink-conveyor med rullar och drivning. Till fotograferingsbandet används färdiga remdrivningar som drivs av en bormaskinsmotor.

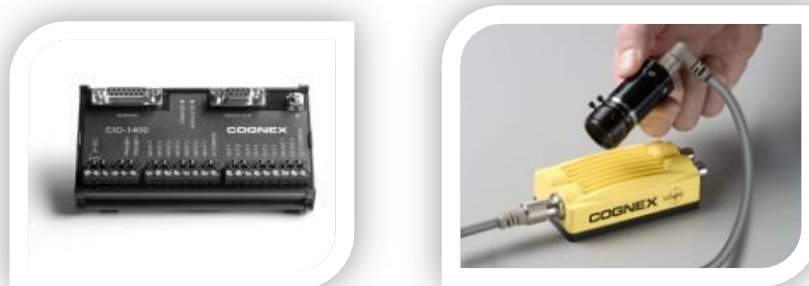
Samtliga band monterades på ramverket med samma typ av riktning i flödesväg som det slutgiltiga konceptet; med inmatningsbandet monterad ovanför uppradningsbandet, som i sin tur är placerad ovanför fotograferingsbandet. Omkring transportbanden byggdes väggar i aluminiumplåt och monterades på ramverket för att hålla kvar legobitarna i systemet och för att styra flödet i rätt mängd och riktning. På inmatnings- och uppradningsbandet monterades på avsatsen varsin lasermodul med tillhörande fotosensor för att övervaka flödet i systemet genom PLC:n. På fotograferingsbandet monterades en lasermodul med dubbla fotosensorer för kommunikation med visionsystemet. Slutligen monterades en fotocell på fotograferingsbandets avsats.

Separeringsförfarandet i prototypen sker genom att en mindre mängd osorterade legobitar läggs upp på inmatningsbandet, som vid start kommer att falla ner till uppradningsbandet. För varje legobit som faller ner från de två första transportbanden, kommer en laserstråle brytas från en fotosensor och meddela mikrokontrollen om att åtminstone en legobit har fallit av. För varje laserstråle som bryts kommer alla band som befinner sig bakom den brutna att stanna omedelbart för en kort stund. Detta säkerställer att legobitarna fördelas på de olika banden och möjliggör att en legobit i taget kommer till identifieringen.

4.1.2 Identifiering

Som nämnt sker identifieringen av legobitarna med visionteknik, vilket innebär att en kamera tillsammans med offline-programmerad mjukvara analyserar en given detalj. I prototypen används visionsystemet till att identifiera legobitar som passerar kamerans arbetsyta. Då en detalj träder in i kamerans arbetsyta passerar den en fotosensor som via prototypens PLC informerar visionsystemet om att en legobit är närvarande. Från fotosensorn skickas en signal till prototypens PLC som därefter skickar en signal till kameran att ta en bild på objektet, en s.k. trigger. Den tagna bilden analyseras av visionsystemets program och returnerar därefter en signal för vilken bit det är till systemets PLC.

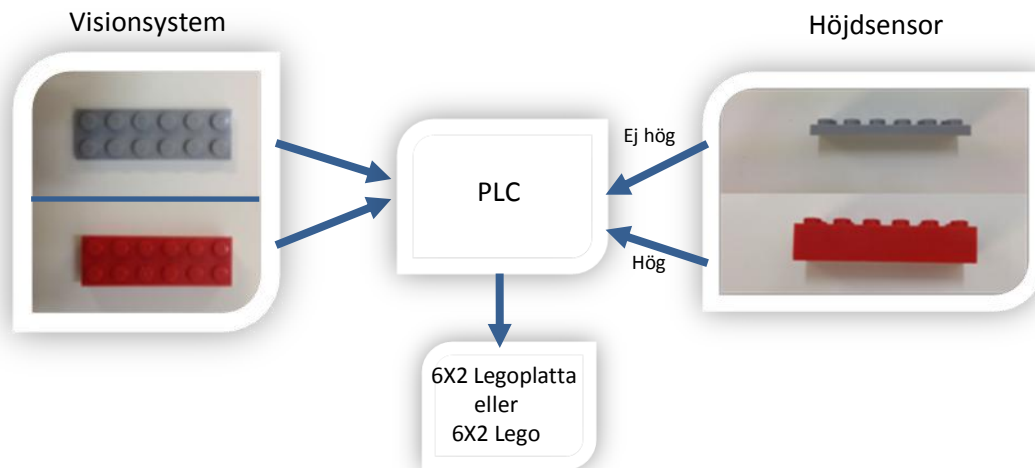
Visionsystemet är av ett fabrikat Cognex med produktnamn In-Sight 5400 serie, som används främst i industriella tillämpningar. Kameran som används i projektet är en smartkamera och denna tar svartvita bilder och saknar därför stöd för färghanteringsverktyg. Till visionsystemets strömförsörjning och signalhantering används dessutom ett tillbehör från samma fabrikat: ett kopplingsdäck med produktnamn CIO-1400 I/O expansion module som hanterar insignaler såsom trigger och digitala utsignaler med 8 utgångar. Visionsystemet kommunicerar med flera olika standarder, dock har främst Ethernet-kommunikation använts i offline-programmering och kopplingsdäcket i onlineläge. Samtlig utrustning är lånad av ElektroAutomatik i Göteborg som sedan tidigare har ett samarbete med Chalmers och är ett företag som arbetar med automationslösningar. Därför är just denna kamerautrustning vald. Utöver visionsystemet behövdes I/O-modulen för att göra visionsystemet kompatibelt med prototypens PLC. Den använda smartkameran tillsammans med I/O-modulen ses i figur 9.



Figur 9. Cognex In-sight 5400R tillsammans med Cognex CIO-1400 I/O expansion module. Bilderna är hämtade ifrån Cognex respektive Automations hemsida.

Programvaran som används till visionsystemet är Cognex programvara In-Sight Explorer, som är ett gratisprogram speciellt framtagen för deras egna visionprodukter. Programmet innehåller flertalet verktyg för att analysera ett fotografi. För projektets del är endast ett fåtal av de många verktygen relevanta att använda, då mönsterigenkänning och areamätning är tillräckliga för ändamålet. Vid fotografering är det av yttersta vikt att den bakomliggande arbetsytan, i vilket detaljer fotograferas, är ren och neutral för att den inte skall ta fokus från analyseringsobjektet och försvåra för bildverktygen. Förutom arbetsyta är även belysningen omkring kamerans projektyta viktig för att lyfta fram objektet från underlaget och framhäva detaljernas geometrier till hjälp för analyseringsverktygen. Ytan som används på transportbandet är vitt och fördelaktigt att använda med en kamera som tar svartvita bilder. Viktigt är att kontraster mellan band och bitar är tydlig för att underlätta behandlingen. Dessutom bör skuggor undvikas då verktygen i vissa fall behandlar dessa som en del av legobitens geometri. Belysningen till visionsystemet i prototypen är anpassad för att ge ett så konstant ljus som möjligt, oavsett i vilken omgivning prototypen är placerad i. För att möjliggöra detta har kameran fästs i centrum av en modifierad förstoringsarmatur vilket medför att bitarna alltid tillförs hög ljusstyrka.

Då kameran saknar stöd för färghanteringsverktyg blir legobitar med samma projektiionsvy svåra att skilja för kameran. Exempel på sådana legobitar ses i figur 10. Uppifrån är dessa bitar väldigt lika för en svartvit kamera och därför händer det att visionsystemet ibland identifierar fel bit. Däremot blir skillnaderna tydliga i en sidovy (se figur 10). För att lösa detta problem tar visionsystemet därför hjälp av en fotosensor som ser om en bit är hög eller ej. Denna kallas i fortsättningen för höjdsensor och är placerad strax ovanför den fotosensor som triggar att kameran skall ta kort. Om visionsystemet identifierar någon av dessa två bitar kommer prototypens PLC undersöka om höjdsensorn ger signal eller ej och därefter ta ett beslut om vilken bit som anlant till visionsystemet. Dessa fall blir specialfall för prototypens behandling av legobitarna.



Figur 10. Om PLC:n får en kod som antingen motsvarar 6X2 Lego eller 6X2 Legoplatta tar den hjälp av höjdsensorn för att avgöra vilken av bitarna som fotograferats.

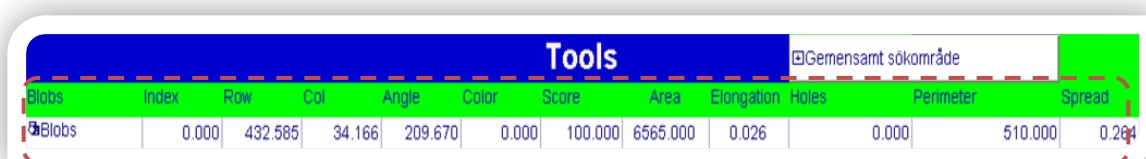
4.1.2.1 Programmering av visionsystem

För att In-Sight Explorer skall kunna avgöra vilken legobit som har fotograferats använder det sig av flera mönsterverktyg som avgör hur lik den framkallade bilden är respektive legobits intränade referensbild. Därefter urskiljer programmet vilket mönsterverktyg som fått bäst matchning och uppfattar detta verktygs namn, vilket är namnet på den identifierade biten. Varje bit har således minst ett verktyg i programmet. Det innebär att till alla legobitar som skall identifieras måste en intränad bild (referensbild) tillsammans med ett specifikt mönsterverktyg läggas till i programmet. Dessutom tillkommer en referensbild och ett mönsterverktyg för de olika vyer legobitarna kan fotograferas i, en detalj ser inte likadan ut för visionsystemet om den ligger upp och ner som om den är rättvänd. För att underlätta programmeringen och förenkla felsökning är programmeringen modulärt uppbyggt vilket i detta sammanhang innebär att programmeringen har delats in i olika delar som därefter har kopplats samman. Detta gör att vardera modul kan programmeras separat, vilket medför att programmeringen kan delas upp i ett parallellt utförande. Dessutom ökar förståelsen och följbaheten hos programmet genom att bygga upp programmeringen på detta vis. De moduler som programmet innehåller är:

1. Grovsällning
2. Finsällning
3. Resultat & kommunikation

1. Grovsällning

För att optimera programmets processtid består programmets första del av en grovsällning vars verktyg åskådliggörs i figur 11. Denna sällning är en direkt urskiljning av vilka mönsterverktyg programmet skall använda för den anlända biten. Eftersom bara ett fåtal mönsterverktyg är relevanta att använda för just den legobit som skall identifieras kan processtiden mer än halveras genom att utforma programmet på detta vis. Programmet skulle fungera utan denna grovsällning men då ta betydligt längre tid på grund av det stora antalet verktyg (ett verktyg per inprogrammerad legobit) som skulle behöva användas per analyserad bild. För att grovsälla används ett verktyg som räknar ut projektionsarean för biten på bilden i enheten pixel². Detta verktyg beräknar varje legobits projektionsarea genom att räkna antalet sammanhängande mörka pixlar inom ett sökområde. Därför blir kraven på ljussättningen höga då kontrasten mellan mörka och ljusa pixlar är viktig för verktyget.



Tools											☒ Gemensamt sökområde
Blobs	Index	Row	Col	Angle	Color	Score	Area	Elongation	Holes	Perimeter	Spread
Blobs	0.000	432.585	34.166	209.670	0.000	100.000	6565.000	0.026	0.000	510.000	0.294

Figur 11. Grovsällningen består av ett verktyg som beräknar fotograferad bits projicerade area.

Sökområdet definieras i separat cell och länkas därefter till alla verktyg som används i programmet. Detta område definierar inom vilket område i bilden som programmet skall utföra analysen. Området väljs lämpligen till att vara såpass stort att den största duplobiten alltid får plats i området vilket innebär att resterande bitar alltid får plats i området - ju mindre sökområdet är desto snabbare går programmet. När väl arean har beräknats för biten i bilden avgörs inom vilket areaintervall den beräknade arean ligger i. I programmet finns fem olika intervall som ses i figur 12. Dessa intervall är framtagna genom att lista varje inprogrammerad bits projektionsarea och fördela dessa jämt i fyra kategorier. Den femte kategorin, "störst" innehåller duplobitarnas areor då dessa är betydligt större än resterande bitar och därmed lätta att urskilja. När ett intervall aktiveras, aktiveras de mönsterverktyg som finns i intervallet. Det innebär att ju fler areaintervall som programmeras desto färre mönsterverktyg kommer att aktiveras åt gången och processtiden går snabbare. Men samtidigt ökar riskerna för att fel areaintervall observeras för en detalj. Därför krävs ett noggrant övervägande mellan antalet areaintervall och efter tester beslutades att tillslut använda fem stycken.



Areor	
Liten	1.000
Mellan	0.000
Stor	0.000
Större	0.000
Störst	0.000

Figur 12 . Areaintervall

2. Finsällning

När väl mönsterverktygen aktiverats av det första areaverktyget (grovsällningen), jämför dessa den framkallade bilden med respektive mönsterverktygs inlagda referensbild och meddelar en poäng på hur lik denna bild är. Denna poäng är ett mått, i procent, på hur lik bilden är verktygets referensbild. Till mönsterverktygen anges de inställningar som bäst lämpar sig till visionsystemets ändamål. En av dessa inställningar är att mönsterverktygen inte skall fortsätta arbeta då de understigit en poäng på 50 %. Ju lägre tolerans man väljer desto lägre poäng kommer tillåtas och desto oftare kommer mönsterverktygen kunna meddela ett resultat. Då flera av legodetaljerna anländer till kameran i en mängd olika positioner innebär detta att olika skuggor uppträder. Detta medför att mönsterverktygen emellanåt meddelar en förhållandevis lågt poäng och därför är det viktigt i detta avseende att toleransen hålls låg. Samtidigt blir processtiden längre då fler mönsterverktyg tillåts meddela poäng. Efter körtester fastslogs att en tolerans på 50 % kunde leverera tillräckligt snabb processtid och tillräcklig träffsäkerhet. Vidare krävs att mönsterverktygen accepterar legobitar som vridits 360 grader, i förhållande till referensbilden, då bitarna kan anlända till visionsystemet i vilken vinkel som helst.

3. Resultat och kommunikation

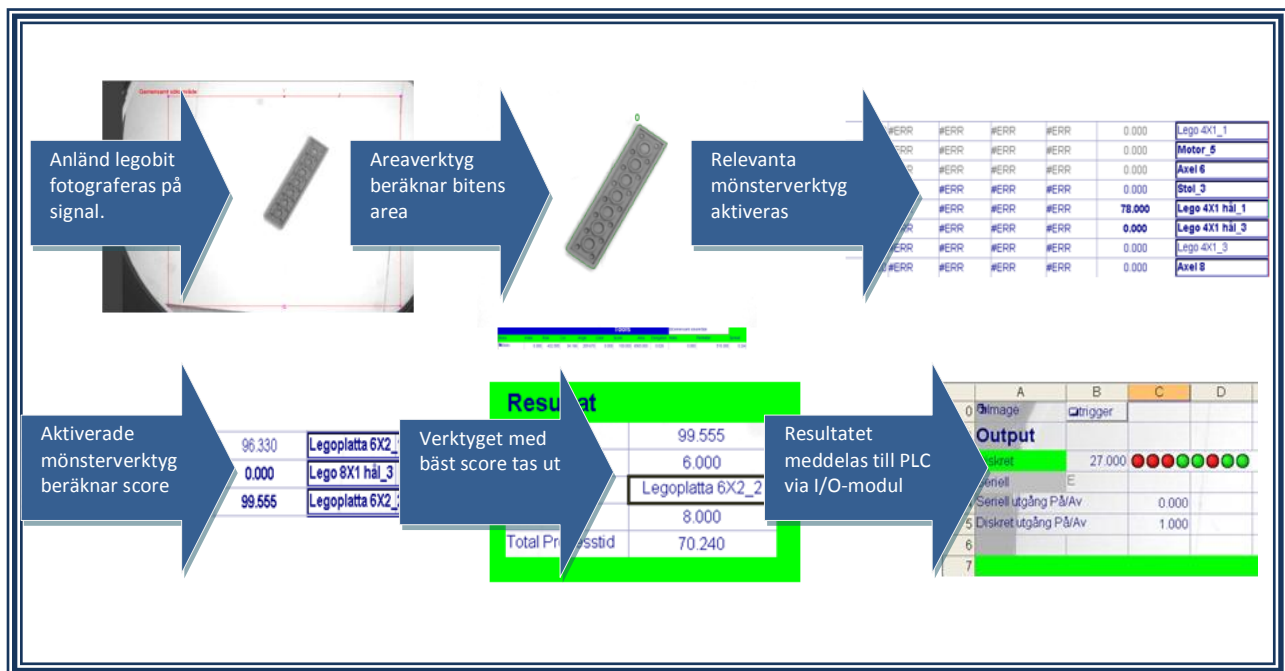
Då de aktiverade mönsterverktygen beräknat och meddelat ett score tar programmet, som nämnt, fram det verktyg med högst score. Mönsterverktygets tillhörande decimala kod samt namn presenteras därefter för användaren i programmets resultatdel för att öka programmets användarvänlighet och förståelse. Mönsterverktygets kod skickas därefter vidare till prototypens PLC via visionsystemets tillhörande I/O-modul. Då PLC:n saknar stöd för Ethernet sker denna dataöverföring genom diskret kommunikation vilket innebär att programmet gör om resultatet till en 8 bitars binär kod innan signalen skickas vidare till PLC. Programmets resultat- och kommunikationsdel åskådliggörs i figur 13 nedan.

Resultat	
Maxpoäng	66.347
Maxindex	3
Detalj	Lego 3X1 Ramp 4
Kod	204.000
Verktystid	95.455
Processtid	95.970

Output	
Diskret	180.000
Seriell	Ingen matchning
☒ Diskret utgång PÅ/AV	1.000
☐ Seriell utgång PÅ/AV	0.000

Figur 13. Programmets resultat- och kommunikationsdel där identifierad bit och utskickad utsignal åskådliggörs för användaren.

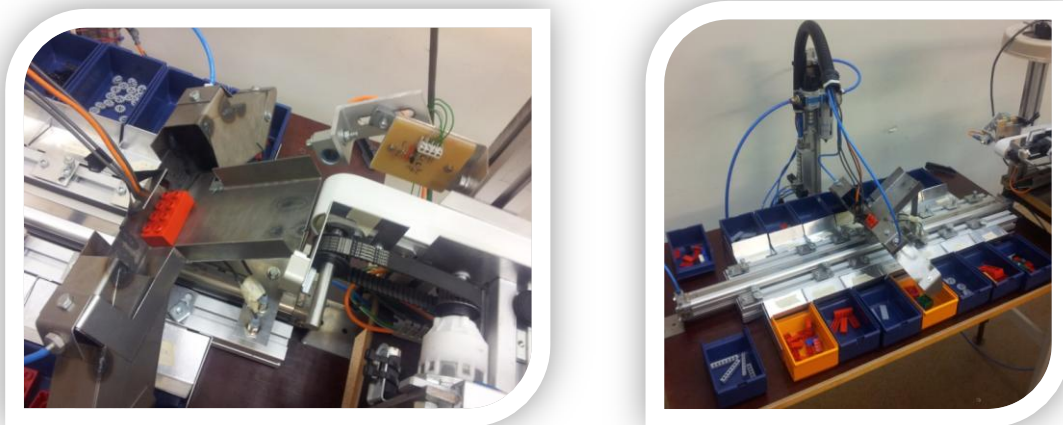
Då det för en ickeinsatt läsare kan upplevas svårt att förstå visionsystemets utförande har systemets mest vitala delar sammanfattats i figur 14. Figuren illustrerar visionsystemets tillvägagångssätt ifrån att en legobit anlänt till visionsystemet till att samma bit har identifierats.



Figur14. Sammanställning av visionsystemets utförande

4.1.3 Lagerhållning

Lagerplatserna utgörs av plastlådor där varje unik legobit har en låda. Med en lådstorlek på 170 x 100 x 75 [mm] rymmer lagret 16 lådor och inkluderat i dessa finns en låda för bitar som inte ska sorteras och en för bitar som kan identifieras av kameran samt en plats för positioneringssystemet. Legobitarna identifieras av kameran och släpps ner vid slutet av fotograferingsbandet. Legobitarna faller sedan ner i en konstruktion vars uppgift är att ta emot legobitarna och transportera dem till rätt låda. Denna konstruktion kallas härnäst för *släden*. Släden skickas iväg till rätt lagerplats där den stannar och blåser ner legobiten i rätt låda. I figur 15 ses slutet av fotograferingsbandet och släden som blåser ut legobitarna.



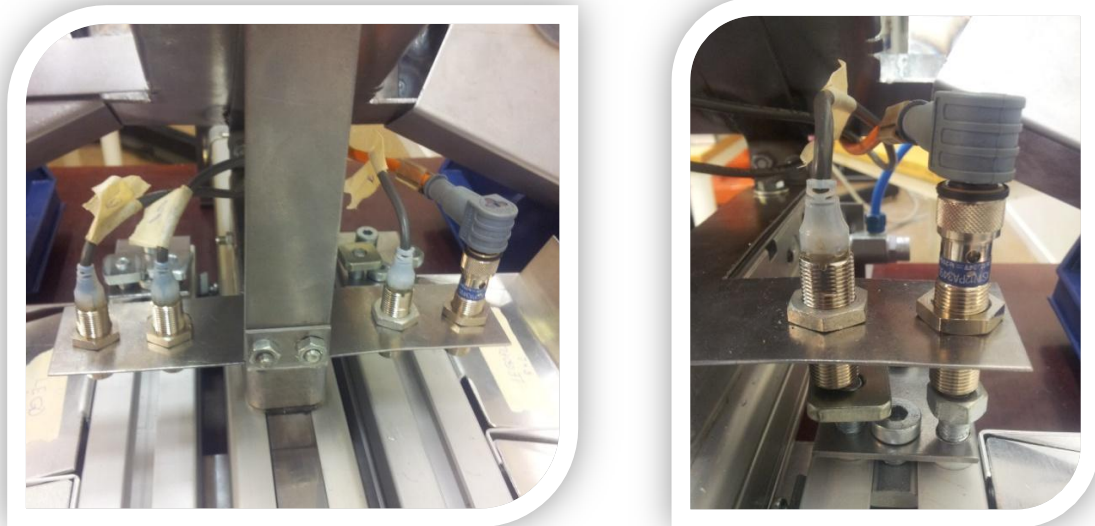
Figur 12-Till vänster visas släden tillsammans med duplobit medan höger bild visar lagersystemet i sin helhet

Linjärenheten som används är en pneumatisk skyttelcylinder och släden är fastskruvad i skytteln, vilket är den del som förflyttas på linjärenheten. En pneumatisk skyttelcylinder fanns redan att tillgå i PPU-laboratoriet och kan enkelt styras med PLC vilket är anledningarna till varför den används. Linjärenhetens slaglängd (ungefär 1m) begränsar antalet lagerplatser till åtta stycken på vardera sida om linjärenheten. Lagerlådorna placeras på båda sidor om linjärenheten och fack konstruerades för att hålla lådorna på plats.

Pneumatiska skyttelcylindrar är gjorda för att gå mellan dess ändlägen och är inte tänkt att kunna stanna på en bestämd position. Att den är pneumatisk gör att dess beteende vid bortfall av luft (när man vill stanna för att lämna av legobiten) kan variera beroende på skyttelns läge och lufttrycket. Skytteln kan fortsätta framåt eller åka tillbaks en kort sträcka trots att luften är avstängd. Detta faktum motiverar varför det valdes att låta legobitar blåsa ut från släden. Denna metod går tillräckligt snabbt för att legobiten ska hinna lämnas av i lådan innan skytteln hinner passera förbi lagerplatsen. Linjärenheten har två skruvar i ändarna, som kan användas för att reglera hur snabbt luftutflödet är på vardera sidan om skytteln. De användes för att optimera hur snabbt skytteln åker i de två olika färdriktningarna.

Linjärenheten har ingen egen lägesavkänning utan detta är löst med ett antal induktiva givare som tillsammans skapar en binär kod, unik för varje position som behövs. Givarna reagerar på skruvar som sticker upp vid sidan om linjärenheten och skickar en signal så länge en sådan detekteras. Givarna skruvas fast i en rad på släden, vinkelrätt mot färdriktningen. Längs med linjärenheten skruvas små plattor fast tillsammans med var sin uppsättning skruvar.

En av de fyra givarna används som triggersignal för att PLC:n endast ska läsa av givarna när denna är aktiverad. Detta för att felaktiga positioner inte ska läsas in, t.ex. om skruvarnas positioner inte är exakt i nivå med varandra. I annat fall kommer PLC:n att läsa av olika positioner beroende på vilken av skruvarna givarna passerar först. I figur 16 till vänster syns de fyra givarna monterade på släden och i bilden till höger visas två givare i detalj och skruvarna de passerar då de ger signal.



Figur16. De induktiva givarna placerade på släden tillsammans med positionerade skruvar.

När släden är ute i rätt position blåses legobiten ut till höger eller vänster beroende på vilken bit kameran har identifierat. Släden är kopplad med två utblåsningsventiler som kan öppnas var för sig och med individuella blåstider samt lufttryck. Tyngre bitar behöver längre blåstider och en sida har högre lufttryck där dessa legobitar blåses ut. Figur 17 är en vy över släden där man kan se utblåsningsventilerna.

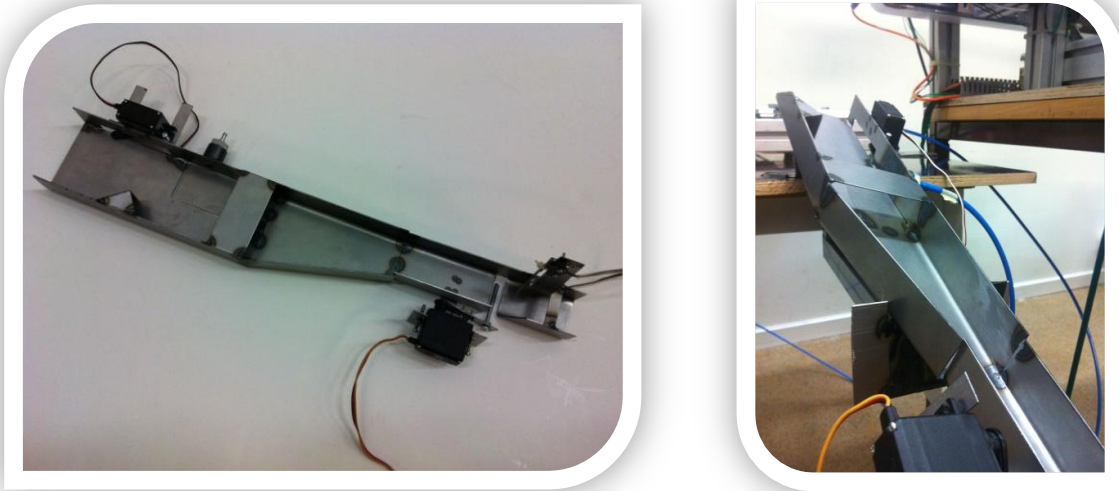


Figur 17. Släde tillsammans med dess utblåsningsventiler.

Linjärenheten styrs med en ventil som styr lufttrycket i linjärenheten och har två lägen för att köra släden åt de två olika färdriktningarna och ett avstängt läge. Utblåsningsventilerna styrs med var sin ventil, med läge för luft på eller av. Ventilerna är kopplade till ett ventilblock som matas med luft från en huvudstypventil med tillhörande luftfilter. Ventilerna styrs direkt via PLC:n.

4.1.4 Positionering av Duplo

För att placera en 2x4 duplobit i en väldefinierad position används principen att låta biten färdas längs en bana. Med hjälp av servomotorer och hinder orienteras den rätt. Positioneringssystemet byggdes som en separat modul för att underlätta tillverkningen och för att underlätta en framtida implementering av flera sådana moduler. Den tillverkade positioneringsprototypen skiljer sig från dess koncept då hjulen byttes ut mot servomotorer som fanns att tillgå i PPU-laboratoriet. Positioneringsprototypen kan ses i figur 18. Den placeras snett lutande nedåt, vilket kan ses i figur 18 för att legobitarna skall tvingas mot dess ena vägg och på så sätt underlätta för positioneringens funktioner. Duplobitarna har tre dimensioner som behöver behandlas och den önskade positionen är den med kortsidan i färdriktningen och fästplupparna uppåt.



Figur 18. Övergripande bild på positioneringssystemet som fristående enhet respektive monterad enhet.

Först kontrolleras om biten kommer med längsidan i färdriktningen med hjälp av att låta ett hinder smalna av banan en kort sträcka så att den blir smalare än vad bitens längsida är. Om biten fastnar kommer en arm från en servomotor att trycka tillbaka ena kanten på biten och på så sätt räta upp den. Eftersom banan är lutad, inte bara i färdriktningen utan också vinkelrätt mot denna, kommer bitarna inte att fastna på hindret igen och färdas då vidare. Armen rör sig in och ut från väggen genom ett hål och kommer inte vara i vägen annat än när motorn körs, se figur 19.

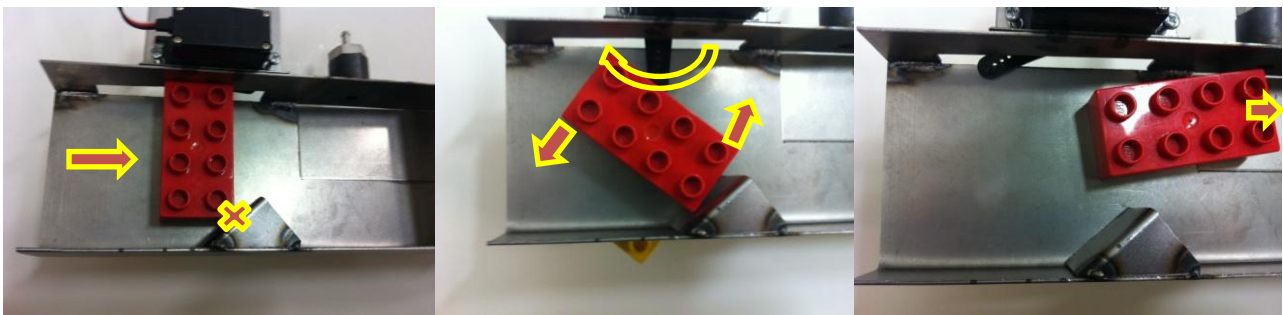
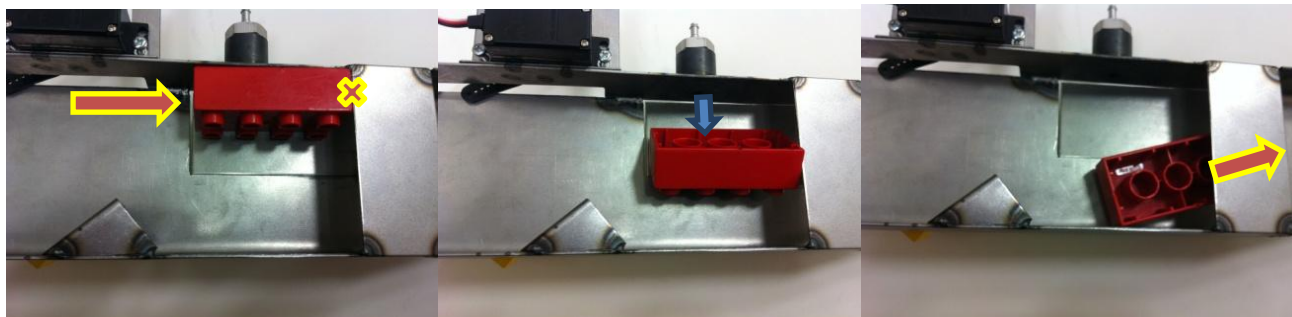


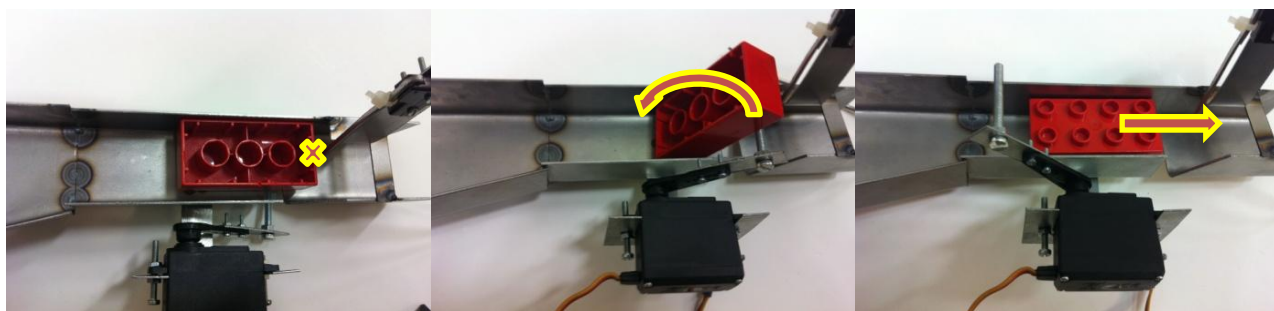
Figure 19. Steg 1: Hinder för att få duplobiten med kortsidan i dess färdriktning

I nästa skede kan duplobiten vara orienterad på fyra sätt: i önskad position, upp och ner eller med ena eller andra släta långsidan nedåt. Om den åker på en av de två senare sätten stoppas biten av ett tak och lutningen gör att den kommer ligga mot väggen. Tryckluft blåser sedan den åt sidan så den stöter på en kant i golvet och välter. Den klarar då av att ta sig under taket och glider vidare, se figur 20.



Figur 20. Steg 2: Hinder för att få duplobiten rättvänd eller upp och ner.

Banan smalnar sedan av så att duplobitarna inte ska kunna röra sig mycket i sidled. De kan nu ligga rätt eller uppochnar och för att åtgärda detta används bitens geometri för att identifiera orienteringen. En mikrobrytare med en hävarm ger en signal om den blir intryckt, som en vanlig brytare. Den är placerad ovanför banan så att om biten kommer på önskat håll kommer hävarmen inte att nuddas utan passera mellan fästplupparna. Kommer den däremot uppochnar stoppas den och hävarmen ger då signal att starta en servomotor. Enligt figur 21 lyfts biten upp och vänder runt. De första två slussarnas aktiva delar aktiveras då en viss tid har gått efter det att duplobiten fallit ner från det sista transportbandet.

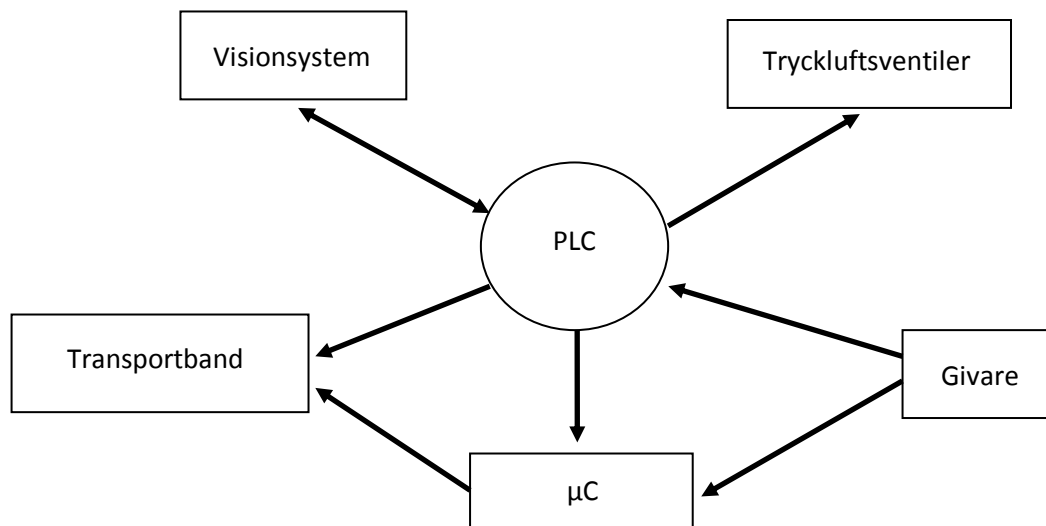


Figur 21. Steg 3: Hinder för att få upp och nervända bitar i önskad position

På grund av att separeringen utgörs av en flyttbar modul kan den användas på önskad plats så länge det är möjligt att stabilt fästa den. Val mellan att placera den vid linjärenheten eller vid sidan av det kamerabandet gjordes men på grund av att sidorna av det bandet täcktes med sensorer uteslöt det senare alternativet. Positionen i lagersystemet som modulen ska monteras på är den första till höger sett ifrån transportbanden, alltså då släden är så nära transportbanden som möjligt, och dessutom riktad vinkelrät mot linjärenheten. Den fästs lutande mot en utsågad skåra i bordsskivan samt i en ställning som skruvas fast mot undersidan av bordet (se figur 18).

4.1.5 Kommunikation & Styrning

De elektriska komponenter som bygger samman prototypen består av olika sorters motorer, en kamera, elektriska ventiler för tryckluft, samt diverse givare och inte minst kontrollenheter. Tillsammans bygger de systemet och ansvarar för att prototypen fungerar autonomt och säkert. Centralt i det elektriska systemet finns en PLC som kommunicerar med både mikrokontroller (μC) och visionsystem, och styr både tryckluftsventiler och motorer för att på så vis skicka legobiten till dess lagerplats. En översiktskarta över systemet visas i figur 22.



Figur 22. Översiktsbild över det elektriska systemet.

4.1.5.1 PLC

En PLC av modell Mitsubishi Melsec A1s bär huvudansvaret för att maskinen fungerar som den skall och att legobitarna skickas till korrekt behållare i lagret. PLC:n styr motorn till fotograferingsbandet, samt kommunicerar med visionsystemet och för att med input av givare och styrning av tryckluftsventiler skicka legobiten till korrekt lagerbehållare.

En PLC är en vanligt förekommande kontrollenhet inom industrin, där det ställs höga krav på systematiskt och monoton styrning av elektriska komponenter. Den är även enkel att programmera, felsöka och hantera vilket gör den lämplig för detta projekt. Att använda enbart passiva elektriska komponenter för att bygga ett kretskort som hanterar samma informationsmängd är utanför ramen för detta projekt; det skulle inte enbart ta längre tid, men skulle inte heller vara lika flexibelt och utbyggbart för ändrat materialflöde.

Programmering av PLC

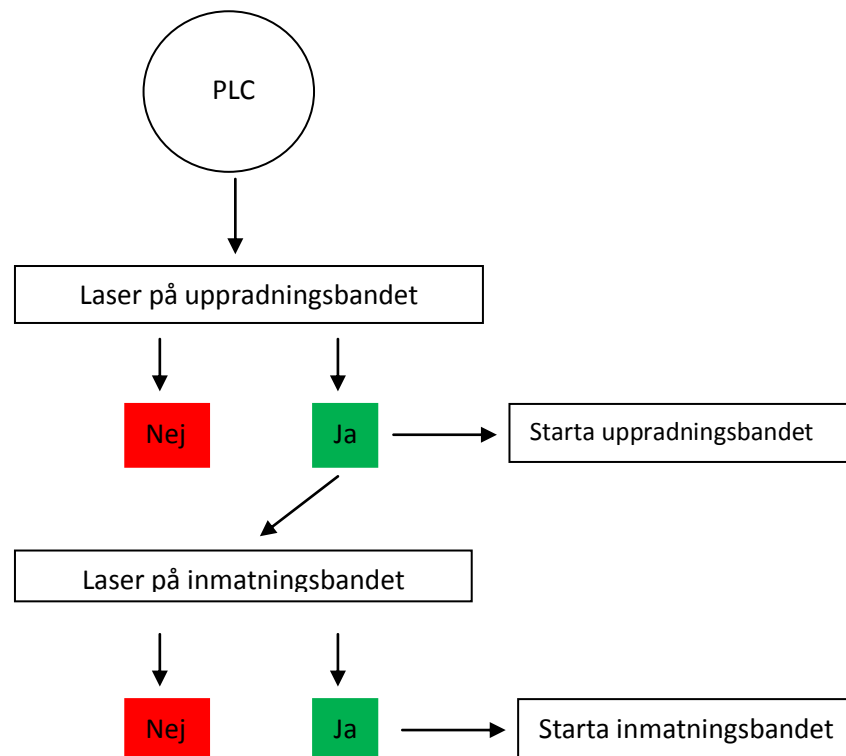
PLC-programmet består av tre delar som bygger upp ett komplett styrsystem för prototypen. Vid uppstart genomgår PLC:n en initieringsfas, varvid systemet kontrollerar att strömmen är tillkopplad till sensorerna och att lasermodulerna fungerar. I huvudprogrammet styr PLC:n matningen av legobitar till fotograferingen av bitarna, och det sista programmet styr leveransen av legobitar till korrekt lagerplats.

Programmets huvuddel startar det sista fotograferingsbandet, och skickar samtidigt en signal till mikrokontrollern om att starta inmatningen av legobitar. Inmatningen sker på ett sådant vis att legobitarna anländer en och en på fotograferingsbandet, och under kameraenheten bryter legobitarna en laserstråle vilket aktiverar en givare. PLC:n stoppar därefter både det fotograferingsbandet, inmatningen av legobitar, och aktiverar kameran att fotografera legobiten. Kamerans respons lagras i en variabel, och PLC:ns lagerdelsprogram aktiveras för att leverera legobiten till dess lagerplats. Därefter återgår huvudprogrammet till att inmatning av legobitar och väntar på att en ny bit skall placeras under kameran. Programcykeln är därmed sluten.

Lagerdelen av programmet bearbetar den information kameran ger om vilken bit som detekteras och styr därefter släden till den position legobiten skall lagras. När släden når rätt position aktiveras en ventil för tryckluft, vilket blåser legobiten till rätt behållare. Beroende av legobitarnas olika geometrier varierar blåstiderna.

4.1.5.2 mikrokontroller

En mikrokontroller sköter styrningen för de två första transportbanden. Genom kommunikation med PLC:n och information om när fotograferingsbandet drivs, styr mikrokontrollern inmatningen av legobitar. Till hjälp används en lasersensorer per transportband som detekterar när legobitar når transportbandets avsats. När en legobit faller av transportbandet, stannar det för att separera och utöka avståndet mellan legobitarna genom att låta biten fortsätta transporteras på nästkommande band. Schemat är som beskrivet i figur 23.



Figur 23. Diagram över styrningen för inmatning av legobitar.

När en bit faller efter uppdragningsbandet stannar detta under en viss transportlängd, för att låta bitarna transporteras var för sig till kameran. Då detta band stannar, stannar även inmatningsbandet. På samma vis stannar båda banden då PLC:n inte skickar någon signal, och endast inmatningsbandet då laserstrålen bryts vid slutet av detta. Till följd av att banden stannar beroende av varandra separeras legobitarna på ett tillförlitligt och systematiskt vis oberoende av processtiden vid visionsystemet och lagerdelen.

Stegmotorernas hastighet styrs av frekvensen av de pulser som går genom dess spole. För att transportbanden skall leverera legobitar i fas med resten av systemet, krävs att frekvensen för pulserna till motorerna är relativt hög, högre än vad systemets PLC kan leverera. Styrningen av servo för positioneringsdelen sker genom pulser av olika längd, mellan 1 ms och 2 ms, på en frekvens av 50 Hz. Det är både problematiskt att skicka signaler med denna frekvens, men även att variera längden inom bråkdelar av millisekunder för en PLC. Till anledning av detta är mikrokontroller det naturliga valet av kontrollenhet då denna utan problem kan skicka pulser i den frekvens som efterfrågas för båda stegmotorerna, och hantera ett servo. Valet av att bygga ett system av enbart passiva elektriska komponenter föll bort då det inte är lika flexibelt som en mikrokontroller, samtidigt som en sådan kan hantera ett större informationsflöde.

4.2 Tester och verifiering

När de olika delsystemen kopplats samman och prototypen färdigställs återstod att jämföra prototypens prestanda med de krav och önskemål som angetts i dess kravspecifikation. Prototypens tester delades in i de kategorier kravspecifikationen (bilaga 3) är uppbyggd av: Funktionalitet, felhantering, säkerhet, samt generella krav. Krav och önskemål ifrån kravspecifikationen betecknas i denna text med respektive kravnummer, §#. Detta kapitel beskriver resultatet av de tester då maskinen lämnats att köra på egen hand.

Funktionalitet

Prototypen är programmerad för att kunna identifiera 29 olika legobitar där 16 olika lagerpositioner finns att tillgå. Det vill säga att enbart 16 bitar kan sorteras såvida man inte väljer att positionera flera legotyper i en och samma lagerlåda. De 29 bitar som programmerats är de bitar som ingår i produktionscellens bil, vilket medför att kravspecifikationens första (§1) respektive andra (§2) krav uppfylls. Prototypens grundinställningar är att 13 olika bitar sorteras i separata lagerpositioner och resterande 3 lagerpositioner lämnar plats för den del där Duplo skall positioneras, en låda för bitar som inte skall sorteras samt en returlåda. Skillnaden på den osorterade lådan och returlådan är att i den osorterade lådan skall bitar som identifierats men som inte har en egen lagerplats placeras medan returlådan skall innehålla bitar som visionsystemet misslyckats identifiera. På detta vis blir visionsystemets kapacitet uppenbar och i 95 fall av 100 lyckas visionsystemet identifiera bitarna. Vart olika bitar därefter skall lagras bestäms i prototypens PLC-program som variabler.

Beroende på vilka legobitar som anländer till visionsystemet blir dess processtid något olika på grund av att olika bitar tillhör olika stora areaintervall i visionsystemets program. Dock är visionsystemets längsta processtid 1.2 sekunder vid körning i online-läge medan tiden i de allra flesta fall är runt 0.8 sekunder. Då lagersystemets skyttelcylinder tar mellan 1 – 5 sekunder på sig att fördela ut legobitarna till dess positioner (beroende hur långt från ändläget legobiten skall placeras) innebär det att visionsystemets processtid inte begränsar prototypens prestanda. Snarare är det skyttelcylindern som begränsar systemets sorteringskapacitet, vilket är 17 bitar/min. Detta uppfyller inte önskemålet på mer än 30 bitar/min (§7). Tiden det tar ifrån att en bit tillförts prototypen till att den lagrats är beräknas i genomsnitt vara 8 sekunder.

Då lagerlådorna valts i måtten 170 x 100 x 75 [mm] uppfyller dessa gott och väl kravet på lagringskapacitet (§8). Vad gäller positioneringssystemet för duplobitarna fungerar det i skrivandets stund mindre tillförlitligt då precisionen inte är den samma som övriga delsystem. Ibland positioneras Duplo och ibland fastnar de i konstruktionen. Detta innebär att lagringskapacitetskravet (§9) för denna inte är uppfyllt i dagsläget. Övriga önskemål/krav som nämns under kravspecifikationens funktionella kategori visa sig uppfyllas.

Felhantering

Då prototypen har en returlåda uppfyller den kravet: att en bit som inte skall sorteras ändå skall behandlas (§12). Om en detalj av okänd geometri tillförs prototypen behandlas detaljen likt en inprogrammerad legobit tills dess att detaljen skickas till returlådan. En detalj av okänd geometri inkluderar även bitar som tillsammans satts ihop till en, vilket medför att §13 uppfylls. Dessutom har det noterats att inga legobitar har skadats av 500 sorterade legobitar och därför anses prototypen uppfylla §11. Prototypen kan dock inte meddela om någon bit sorterats fel eller fastnat längs dess väg genom processen. Det skall även sägas att varje delsystem konstruerats efter tester för att undvika fel på vägen. Om visionsystemet inte kan identifiera en bit meddelas en felkod till PLC:n.

Säkerhet

Vad gäller säkerhetsaspekter är dessa betydligt begränsade i prototypen om man jämför med vad som hade krävts i en verklig industrimaskin. Därför är det viktigt att användaren är medveten om detta då det förekommer oskyddade rörliga delar. Motorer samt skyttelcylinder känner inte av ifall någonting fastnat eller liknande utan om detta skulle hända finns en strömbrytare till prototypen. Denna bryter all inkommande elektricitet till prototypen vilket också stänger ventilerna till pneumatiken. När elektroniken stoppats på detta vis krävs det att man återställer PLC:n i dess startläge. Trots denna brist på säkerhet uppskattas prototypen efter tester uppfylla samtliga krav som ställts på säkerhet (§16-§18) då användaren förutsätts vara medveten om riskerna.

Generellt

Som tidigare i rapporten nämnt har många av prototypens komponenter tagits ifrån begagnad teknik och befintlig utrustning i PPU-laboratoriet, vilket har medfört att prototypen har kunnat byggas på minsta möjliga budget (PLC & visionsystem har lånats). Den totala kostnaden gruppen lagt ut på prototypen beräknas ligga runt 2300 kr, vilket klart uppfyller det ekonomiska kravet (§13). Till denna kostnad har även prototypen lyckats byggas klart på 12 veckor som är under det uppsatta målet (§15) på 14 veckor. Prototypen är byggd på 2 stycken olika bord. Dessa bord kan skiljas då kabeldragningen är konstruerad på sådant sätt att det enbart är att lossa en kontakt och därefter kan borden flyttas. Då borden är tunga behövs minst 3 personer för att flytta borden och därmed är §14 uppfyllt.

5. Diskussion & rekommendationer

Syftet med kandidatarbetet var att en helautomatisk och robust maskin för sortering av Lego och positionering av en duplobit skulle konstrueras och förverkligas genom en prototyp. I många avseenden är projektet lyckat, men fortfarande inte fulländat. Resultatet som har uppnåtts genom den framtagna prototypen är en fungerande maskin som uppfyller stora delar av den uppställda kravspecifikationen. Däremot saknar prototypen viktiga säkerhetsfunktioner för att göra maskinen användarvänlig. Dessutom är precisionen i att lagerhålla samt positionera legobitar inte perfekt. Under projektets gång har flera förbättringar ständigt utarbetats på prototypen, men flera har uteblivit till följd av projektets tidsbegränsning. Nedan följer en utvärdering av prototypens delsystem och kvarvarande problem och tillhörande förbättringsförslag.

Separering

Separeringsförfarandet har fungerat väl i prototypen, och har, tillsammans med lasersensorerna vid vardera avsatsen på transportbanden, uppvisat stor tillförlitlighet. Separeringsdelen i prototypen är uppbyggd på ett nästintill identiskt vis enligt konceptet, med två stora skillnader. Att fotograferingsbandet gjordes mycket smalare mot vad som först var tänkt. Det visade sig dock bli till fördel under identifieringen då sökområdet kunde göras mindre. Den andra skillnaden var antal hinder på uppradningsbandet. Prototypen har bara två hinder.

I de tester som har utförts på prototypen, visar sig separeringen fungera väl under förutsättning att en mindre mängd (motsvarande en lagerlåda) legobitar placeras på inmatningsbandet vid start. En rekommendation för vidareutveckling av separeringsmodulen är främst att öka kapaciteten för hur mycket Lego systemet klarar av att hantera. Inmatningsbandet som är liten till ytan skulle behöva ersättas med till exempel ett större band eller kompletteras med en behållare där inkommande Lego först placeras och portioneras ut.

Identifiering

Vad som bör poängteras är att man med den framtagna lösningen enbart väljer att använda en bråkdel av visionsystemets totala användningsområde. I prototypen används visionsystemet enbart för att identifiera legobitar och returnerar endast information om vilken legobit som har identifierats. I programmet tar visionsystemet bland annat fram information om legobitens aktuella position i förhållande till kamerans arbetsyta. Detta och annan data om de tagna bilderna utnyttjas aldrig och går således förlorad. På grund av de begränsade utsignalsportarna begränsas även mängden information som kan skickas. Trots visionsystemets mångsidighet inom kommunikationsstandarder är den ändå alltid underställd systemets PLC som i detta fall endast har digitala in- och utgångar. Under förutsättning att systemet använder sig av modernare hårdvaror i PLC:n kan flera utvecklingssteg och förbättringar göras på identifieringssidan.

I konceptet var det tänkt att låta visionsystemet vara avskärmat från omgivande ljus för att erhålla en homogen ljusmiljö. I prototypen är inte visionsystemet inneslutet och skyddad på grund av att det aldrig hunnits med under projektets gång. Vidare har det i efterhand bekräftats att visionsystem presterar som bäst då identifieringsobjektet blir belyst underifrån relativt kameran, vilket resulterar i bättre bildkvalitet. Ett första förbättringssteg är att, i så stor mån som möjligt, avskärma ljusmiljön omkring identifieringen för att undvika oönskat ljus som försämrar visionsystemets precision.

En långsiktigare utvecklingsmöjlighet är att visionsystemet skulle kunna meddela om huruvida en legobit är orienterad med avseende på dess vy och läge på kamerans arbetsyta. Denna information skulle vidare kunna användas till fördel för positioneringssystemet. Ett ännu effektivare sätt skulle vara att kombinera visionsystemet med en robot vilket skulle kunna öka systemets prestanda och precision. I praktiken skulle visionsystemet direkt informera roboten var legobiten befinner sig och på vilket sätt den bör greppa för att lagerhålla den i antingen en låda eller väldefinierad position.

Lagerhållning

Lagerhållningen i prototypen har visat sig uppfylla sin funktion väl. Utblåsningen av legobitarna går oftast snabbt och utan problem. Givarna samt skruvplattorna, som styr var släden ska blåsa av legobitarna har också fungerat bra.

Det finns dock vissa problem som kravstår; ofta studsar legobitar omkring lite när de ramlar ned från transportbandet i släden och riskerar att hamna fel eller till och med att ramla av innan släden nått fram till lagerpositionen. Det kan lösas genom att slädens konstruktion förbättras så att den dämpar nedfallande bitar bättre. Dämpningsfunktionen kan göras genom att ha ett material i botten av släden som har dämpande egenskaper.

Linjärenheten är i de flesta fall den största flaskhalsen för systemet. På denna del får hela prototypen ofta vänta, då linjärenheten måste köra ut legobiten och sedan åka tillbaka till startläget innan nästa legobit kan lastas på. För att öka prototypens kapacitet av legoflöde kan linjärenheten bytas ut mot en annan snabbare linjärenhet eller använda en annan lösning, t.ex. ett transportband.

Just nu finns det plats för 16 lagerlådor eller positioneringsdelar, vilket bara ger platser till hälften av bitarna ska sorteras. Om den befintliga linjärenheten fortfarande ska användas finns det möjlighet att utöka lagret ändå. Slädens konstruktion kan ändras så att bitar kan blåsas ut på fler än två ställen. Det gör att lagerlådor kan placeras utanför de befintliga lagerlådorna och fler typer av bitar kan lagras.

Positioneringsmoduler, liknande de som används för 4x2 Duplobitarna, kan läggas till för andra Duplo- och legobitar. Med legobitarna i lagerhållningen placerade i en väldefinierad position kan en robot användas för att ta emot Lego för vidare behandling. Detta går också att göra direkt ifrån identifieringssystemet, som nämnts tidigare.

När det gäller positioneringen av Duplo är funktionen ganska tillförlitlig men problem finns. Ibland fastnar biten eller andra hinder uppstår som gör att biten inte positioneras. Fler tester och vidare undersökning behöver göras för att avgöra var problemen uppstår och hur man kan åtgärda detta.

Interaktion mellan människa & maskin

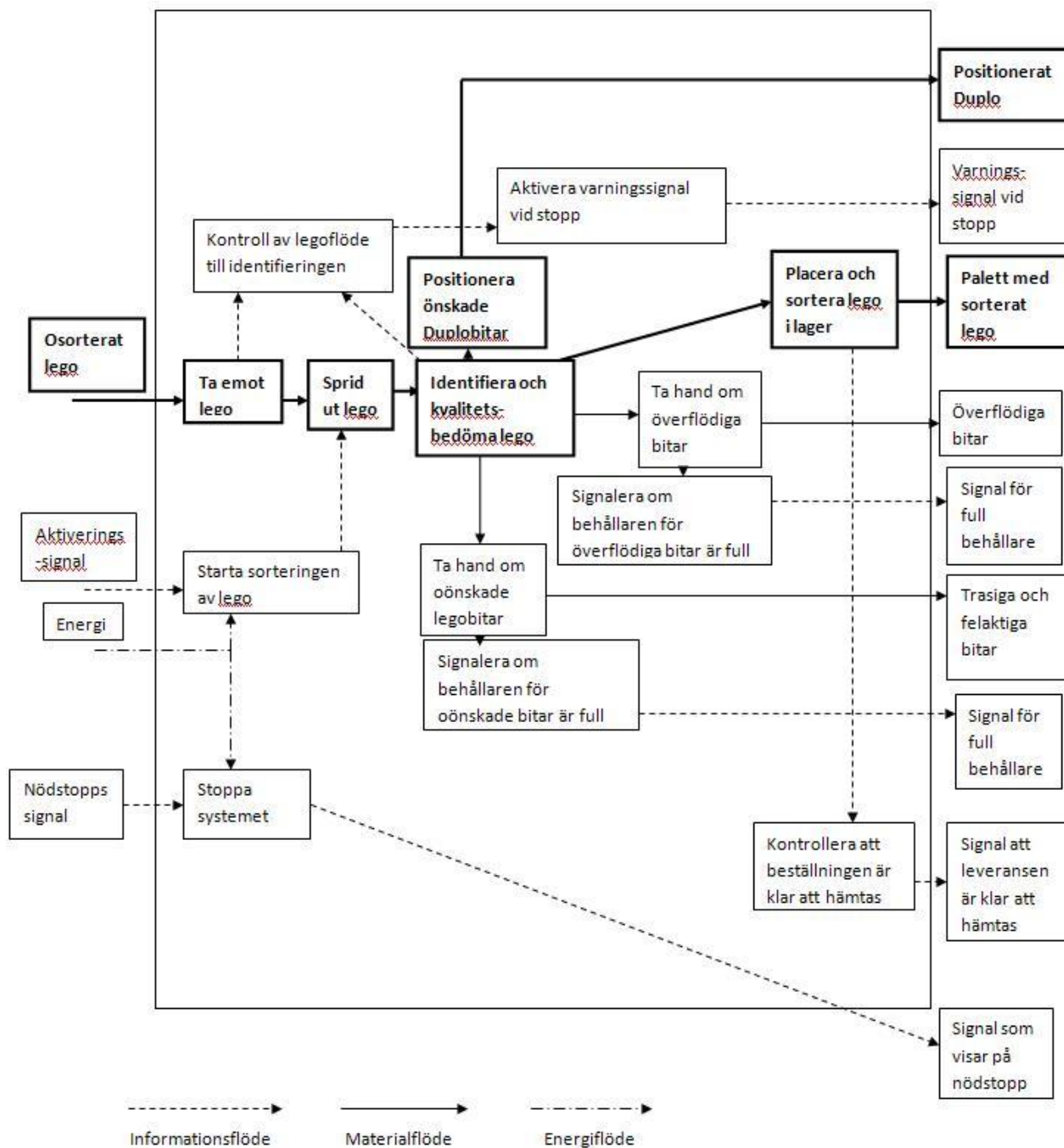
När prototypen är i körläge arbetar den efter programmerade instruktioner i PLC och mikrokontroller. Det enda gränssnittet mellan människa och maskin är för närvarande operatörens egna inlärd erfarenhet. Detta innebär att alla situationer som uppstår i prototypen endast är verifierbara för en person som känner till systemet (genom exempelvis syn, hörsel och kännedom om systemets uppbyggnad). De inställningar som görs i prototypen är endast modifierbara genom att direkt ändra i maskinens hårdvaror. För närvarande finns det egentligen inget enhetligt gränssnitt mellan människa och maskin som kan återge direkt återkoppling för vare sig inställningar eller maskinens tillstånd. Avsaknaden av användargränssnitt i prototypen är en stor brist och därför av yttersta vikt att prioritera under en vidareutveckling för att göra den användarvänlig, men framförallt säker.

Vad gäller säkerheten är det absolut första som bör implementeras ett nödstopp, med en eller flera aktiveringsknappar omkring prototypen, för att undvika situationer där människor kan komma i fara. Ytterligare säkerhetsåtgärder som behöver utvecklas är avskärmning av rörliga delarna och specifikt linjärenheten i lagersystemet som arbetar med stora krafter. Detta skulle förhindra olyckor från att verkligen hända. När säkerheten har erhållits finns stora utvecklingsmöjligheter att utveckla ett så kallat Human-Machine Interface (HMI) för att skapa ett enhetligt användargränssnitt mellan operatör och maskin. Det är en viktig implementering för att underlätta modifiering och övervakning, vilket skulle kunna begripas av oerfarna operatörer. Med ett HMI skulle användaren kunna få information om maskinen samtidigt som han skulle kunna ändra viktiga maskinparametrar såsom, utblåsningstryck, lagerpositioner, med mera. Information som kan vara av intresse för operatören kan exempelvis vara: antal sorterade bitar, antal fulla positioner, med mera.

Källförteckning

- Larsson, F, 2012, *Programmerbart styrsystem*, granskad 13 maj 2012, <<http://www.ne.se/programmerbart-styrsystem>>
- Myklebust, G, 2012, *The AVR Microcontroller and C Compiler Co-Design*, granskad 15 maj 2012, <<http://www.atmel.com/Images/compiler.pdf>>
- Heath, S, 2003, *Embedded Systems design*, granskad 14 maj 2012, <http://books.google.se/books?id=BjNZXwH7HlIC&pg=PA11&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false>
- Specialprodukter 2011, *Bowl feeder*, granskad 11 maj 2012, <<http://www.specialprodukter.se>>
- Super, D et al, 2008, *Bowl for vibratory feeder*, granskad 10 maj 2012, <<http://www.freepatentsonline.com/7325671.html>>
- Althoff, K, 1980, *Vibrating feeder*, granskad 15 maj 2012, <<http://www.freepatentsonline.com/4221306.html>>
- Warren, T et al, 1986, *Vision system*, granskad 12 maj 2012, <<http://www.freepatentsonline.com/4577344.html>>
- Cognex 2012, *Machine Vision Systems: In-Sight Overview*, granskad 14 maj 2012, <<http://www.cognex.com/machine-vision-system.aspx>>
- Automation 2010, *Cognex Introduces Vision Sensor With Remote-head Camera*, granskad 14 maj 2012, < <http://www.automation.com/content/cognex-introduces-vision-sensor-with-remote-head-camera> >
- Cognex 2012, *Accessories*, granskad 12 maj 2012, <<http://www.cognex.com/ProductsServices/VisionSystems/default.aspx?id=1750&langtype=2057&locale=se>>
- Johannesson, H., Persson, J.-G. och Pettersson, D, 2004: *Produktutveckling*, Liber, Sverige
- Lindstedt, P och Burenus, J, 2003, *The Value Model*, Nimba AB, Sverige.
- Hornberg, A, 2006, *Handbook of Machine Vision*, Weinheim, Tyskland

Bilaga 1 – Hypotetisk funktionsstruktur



En hypotetisk funktionsstruktur skapad för projektets konceptframtagningsprocess. De olika flödena representeras av olika linjer som förklaras i figuren.

Bilaga 2 – Pughmatris

Chalmers	Pughmatris (Relativ beslutsmatris):				Chalmers	Pughmatris - Iterering:			
Utfärdare: Kandidatarbete PPUX03-12-06			Skapad: 120302 Modifierad: 120305	Sid 1	Utfärdare: Kandidatarbete PPUX03-12-06			Skapad: 120302 Modifierad: 120305	Sid 1
Kriterier	Konceptbeteckning				Kriterier	Konceptbeteckning			
	Ref (A)	B	D			Ref (B)	A	D	
Konstruktionstid	Referens	0	+		Konstruktionstid	Referens	0	0	
Kunskapskrävande		-	-		Kunskapskrävande		+	-	
Komplexitet		0	-		Komplexitet		0	-	
Lagringskapacitet		0	0		Lagringskapacitet		0	0	
Leveranshastighet		+	+		Leveranshastighet		-	-	
Robusthet		+	-		Robusthet		-	-	
Utvecklingsmöjlighet		+	0		Utvecklingsmöjlighet		-	-	
Kostnad		+	+		Kostnad		-	0	
Antal +		4	3		Antal +		1	0	
Antal 0		3	2		Antal 0		3	3	
Antal -		1	3		Antal -		4	5	
Nettovärde	-	3	0		Nettovärde	-	-3	-5	
Rangordning	-	1	2		Rangordning	-	1	2	
Vidareutveckling	-	Ja?	Ja?		Vidareutveckling	Ja!	Ja!	Nej	
Beslut	Koncept B är bättre än koncept A map. dessa kriterier. Dock krävs en iterering innan beslut för vidareanalysering kan tas.				Beslut	Koncept A och B beslutas med hjälp av pughmatrisen att vidareanalyseras.			

Pughmatris med tillhörande iterering framtagen för att användas som beslutsfattningsmaterial i konceptframtagningsprocessen. Matrisen behandlar 3 koncept som alla jämförs med varandra inom valda kriterier. Vidare ifrån Pughmatriserna skickas koncept A och B.

Bilaga 3 – Slutgiltig kravspecifikation

	Typ	Kriterier	Kontrollmetod	Målvärde	Krav/Önskemål	Övriga kommentarer
1	Funktionell	Ska kunna behandla minst en uppsättning med lego från en bil	Test		K	
2	Funktionell	Ska kunna sortera olika legobitar med avseende på typ	Test/Simulering	12	K	
4	Funktionell	En duplobit ska placeras i en väldefinierad position	Test/Simulering	Repeternogrannhet 0.5mm	Ö4	
5	Funktionell	Ska kunna interagera med andra delar av produktionssystemet			K	
6	Funktionell	Ljud/Visuell signal som bekräftar att leveranser är redo att avhämtas	Test/Simulering		Ö2	
7	Funktionell	Sorteringsskapacitet	Test/Simulering	30/min	Ö3	
8	Funktionell	Lagringskapacitet	Test/Simulering	20 bitar/behållare	K	
9	Funktionell	Lagringskapacitet av positionerade bitar	Test/Simulering	Minst 5 bitar	Ö4	
10	Felhantering	Legobitarna ska inte skadas under sorteringen	Test	1 av 100	K	
11	Felhantering	Bitar som sitter ihop, är sönder eller inte ska sorteras ska behandlas som en enhet (sorteras som en detalj)	Test		K	
12	Felhantering	Bitar som inte ska levereras ska tas tillvara på	Test		K	
13	Generell	Kostnad	Budget	Max 5000 :-	Ö5	
14	Generell	Flyttbarhet	Test	Flyttbar i korta sträckor med hjälp av max 6 personer	Ö3	(Får transporteras i moduler)
15	Generell	Konstruktionstid	Uppskattning	Skall kunna byggas på 14 veckor	Ö5	
16	Säkerhet	Ska inte innebära fara att handha maskinen	Uppskattning	0 personskadorna vid användning	K	
17	Säkerhet	Livslängd	Uppskattning	440 dagar (ett skift i två år)	Ö3	
18	Säkerhet	Ska inte skada maskiner/system i sin omgivning	Uppskattning & test	0 maskinskadorna orsaka av prototypen	K	

Slutgiltig kravspecifikation. Beteckningen K representerar prototypens krav medan Ö# betecknar prototypens önskemål samt dess vikt. Viktningen definieras på skalan 1-5 där 5 är högst.