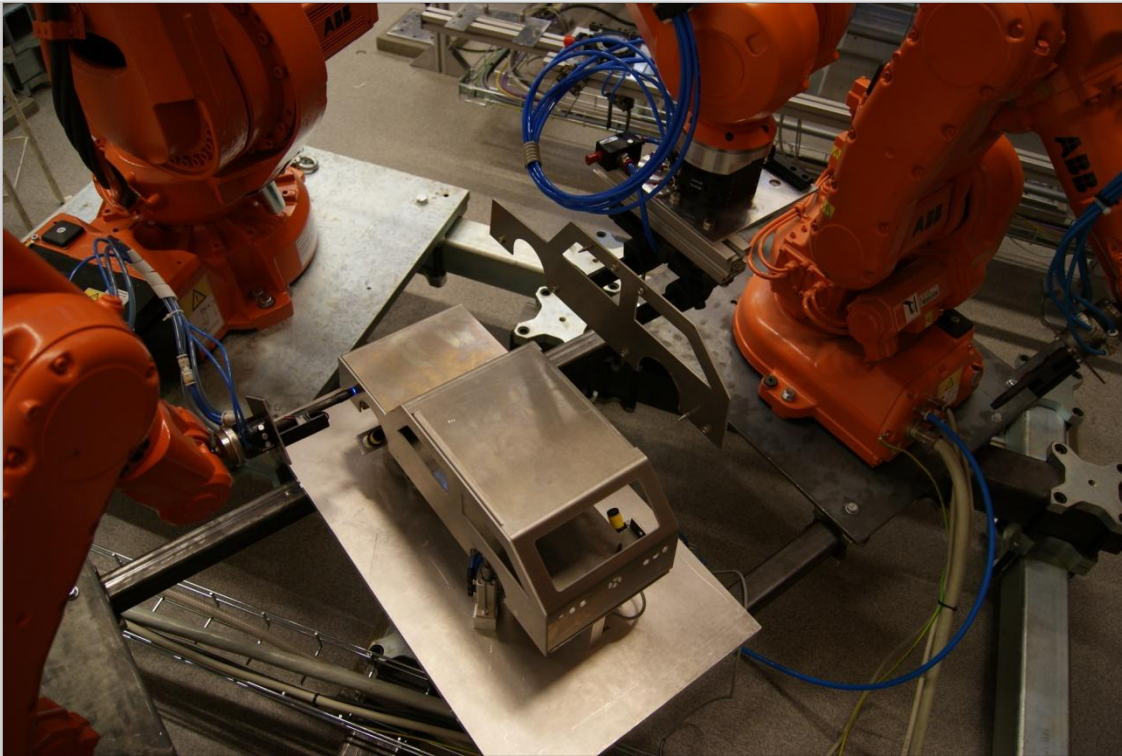




En utförlig undersökning av begreppet flexibilitet med avseende på produktion

JESPER ERIKSSON
FABIAN FASTH
ANDERS JOHANSSON

DANIEL JOHANSSON
ISABELLA JOHANSSON
GUNILLA WENTZEL

Handledare, Kristofer Bengtsson
Examinator, Petter Falkman

Institutionen för Signaler och System
Avdelningen för Automation
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2012
Kandidatarbete SSYX02-12-07

Förord

Denna rapport är en del av kandidatarbetet *Programmering av robotar och tillverkning av verktyg för produkthantering* som genomförts på Chalmers Tekniska Högskola vårterminen 2012. Kandidatarbetet omfattar 15 högskolepoäng och avslutar grundutbildningen.

Vi vill rikta ett stort tack till följande personer som har hjälpt oss under kandidatarbetets gång:

Vår handledare Kristoffer Bengtsson för hans handledning under projektet. Per Nyquist och Hans Sjöberg, forskningsingenjörer i PPU-labbet för hjälp med robotarna och konstruerandet av cellen. Petter Falkman som examinator har hållt samman grupperna i PPU-Labbet. Reine Nohlborg, forskningsingenjör i XP-labbet för hjälp vid tillverkning av verktyg till robotarna. Henrik Kihlman på Delfoi för hjälpen med BoxJoint Systemet. Magnus Gustafsson, handledare i Fackspråk som hjälpt oss med rapporterna och presentationen.

Abstract

To avoid becoming obsolete your products, manufacturing systems and organisation has to be flexible. In the Bachelor thesis “Programming of robots and the engineering of tools for product handling” has had the conditions necessary to examine the possibility of having flexibility built in to a manufacturing system. This was accomplished through a thorough analyses of the concept flexibility both of the word’s meaning and the differences it can make in an organisation or a manufacturing system. The conclusions made at the end of the analyses has then been tested in a manufacturing cell that produces a model of a car. The important areas of this report has been the manufacturing of tools, design of the cell, programming of robots and programming of the PLC. To accomplish a cell with as high rate of flexibility as possible the aim has always been to have as many options as possible both in structure of the code and material for the tools to production workflow and the placement of robots.

The cell can today keep producing products even if there is a problem with delivery of material, malfunctioning robots and broken tools. It is easy to change if the need should arise and the tools can be recycled for new products with little effort. However, many of the ideas and theories in the analyses has not been tested due to a robotic cell that was not finished until late in the project.

Sammanfattning

För att undvika att bli utdaterad för att ens produkter blir efter i utvecklingen så behövs en flexibel produkt, produktion och organisation. I kandidatarbetet "Programmering av robotar och tillverkning av verktyg för produkthantering" gavs förutsättningar att undersöka och utforska möjligheten till en flexibel produktion. Detta gjordes genom en gedigen förstudie där begreppet flexibilitet har beskrivits på nivåer från vad ordet betyder till vilka skillnader det skapar inom en organisation eller produktion. Slutsatserna dragna från förstudien har sedan testats i en robotcell där montering av en modellbil har genomförts. De områden som fokus har varit på är tillverkning av verktyg, design av cellen, robotprogrammering och PLC-programmering. För att få cellen så flexibel som möjligt har målet hela tiden varit att ha så många alternativ som möjligt. Detta gäller allt från kodstruktur och verktygsmaterial till flödesscheman och placering av robotar.

Cellen kan idag klara problem med materialtillförsel, strejkande robotar och verktyg som går sönder. Den är lätt att ändra på om behovet skulle finnas och verktygen kan återanvändas till något annat projekt med enkla förändringar. Det största problemet har varit en robotcell som inte varit färdigbyggd förens sent in i projektet vilket gjort att idéer och teorier inte kunnat prövas.

Ordlista

ABB	(A sea B rown B overi), robottillverkare
AGV	(A utomated G uided V ehicle), självgående transportrobot
BoxJoint	Balksystem för robotuppställning
KUKA	(K eller u nd K nappich A ugsburg), robottillverkare
PLC	(P rogrammable L ogic C ontroller), programmerbart styrsystem
PPU-labbet	(P rodukt- och P roduktionsutveckling), Produkt- och produktionsutvecklingslaboratorie på Chalmers som består av bland annat en robotcell.
RFID	(R adio F requency I dentification), en teknik att läsa av information
Robot 1	KUKA KR 30-2
Robot 2	ABB 4600-40/2.55
Robot 3,4	ABB IRB 140
Robot Studio	Programvara från ABB, för simulering och offlineprogrammering av ABB-robotar
Skyddsstopp	Skyddstoppet i cellen gör så att allt i den pausas, jämfört med ett nödstopp där allt bryts
XP-Labbet	Experiment Verkstaden, Chalmers

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Metod	2
2	Förstudie	3
2.1	Vad skiljer flexibilitet från andra begrepp?	3
2.2	Vad är flexibilitet?	3
2.3	Olika typer av flexibilitet	4
2.3.1	Flexibilitet i organisationsstruktur	4
2.3.2	Flexibilitet i produktion	4
2.3.3	Operationsflexibilitet	5
2.3.4	Sekvensflexibilitet	5
2.3.5	Flexibel kod	5
2.4	Slutsats av förstudie	5
3	Studie	7
3.1	Risikanalys	7
3.2	Produktionscellen	7
3.3	Utveckling av cellen	8
3.3.1	Placering	8
3.3.2	PLC-programmering	9
3.3.3	Robotprogrammering	10
3.4	Verktyg	11
3.4.1	Lego-gripverktyg	12
3.4.2	Svetsverktyg	12
3.4.3	Sugverktyg	12
3.4.4	Verktogsställ	13
4	Resultat	14
5	Diskussion	16
5.1	Sekvensflexibilitet	16
5.2	Operationsflexibilitet	16
5.3	Robotcellen	16
5.4	Begränsningar	17
5.5	Hållbarhet/miljö	17
6	Slutsats	18
6.1	Uppnådd flexibilitet	18
6.2	Problem	18
6.3	Utökad operations- och sekvensflexibilitet	18
6.4	Möjligheter i verklig produktion	19
6.5	Vidareutveckling av cellen	19
7	Referenser	20
A	Risikanalys	I

1 Inledning

I sin Nobelföreläsning påstod Robert Merton (1998), som fick nobelpriset i ekonomi 1997 att “Framtiden är osäker, och i en osäker miljö, att ha flexibiliteten att bestämma vad som skall göras efter att en del av osäkerheten är löst, har definitivt ett värde”. Världen är i ständig förändring, det produceras fler produkter i dagsläget än det någonsin tidigare gjorts. En produkts livslängd är också mycket kortare än tidigare och därmed måste man kunna ställa om produktionen snabbare. För att kunna konkurrera i detta samhälle som är utsatt för en ökande globalisering gäller det att kunna vara flexibel. Flexibiliteten kan påverka alla nivåer av ett företag, uppifrån ledning och ned till tillverkning.

Flexibilitet definieras på flera olika sätt i olika studier, beroende på tillämpning och författare. Läser man Sethis (1990) vetenskapliga artikel finns det över 50 olika definitioner av flexibilitet inom endast produktion. Flera av dessa definitioner är snarlika eller betyder samma sak. Detta kan skapa stor förvirring när begreppet undersöks då det blir svårt att få en uppfattning om vilka delar som kan nyttjas inom det specifika område där flexibiliteten vill ökas.

Vanligen när ordet flexibilitet används sägs det utan någon betoning på vad som egentligen åsyftas eller vad som specifikt skall uppnås. Denna rapport hoppas ge läsaren en grundläggande uppfattning kring komplexiteten i begreppet flexibilitet för att sedan undersöka möjligheterna för att öka flexibiliteten i en produktionscell.

1.1 Bakgrund

Flexibilitet inom produktion är ett område där det inte har forskats i samma utsträckning på akademisk nivå jämfört med till exempel effektivitet inom produktion. Antalet vetenskapliga artiklar beträffande flexibilitet och produktion (1 550 000 träffar) är relativt få i förhållande till de angående effektivitet och produktion (3 540 000 träffar) vid en sökning på Google Scholar (2012-03-29). Flexibilitet kan enkelt misstas med andra begrepp, exempelvis effektivitet eller robusthet som förklaras mer i avsnitt 2.1.

Trots ämnets relativt ospecifika definitioner, så satsar produktionsföretag på mer flexibilitet i produktionssystem för att vara konkurrenskraftiga. Ett exempel på detta är Volvo Aero som 2007 investerade i en ny maskinpark för tillverkning av brännkammarmaskiner och kompressorhus. Investeringen var på fem nya flerfunktionella maskiner som arbetade tillsammans för att skapa ett flexibelt genomflöde (Thoresson, 2007). Ett annat exempel på hur industriföretag arbetar för en ökad flexibilitet är det svenska företaget Ortic 3D, som tagit fram en maskin för att forma plåtdetaljer. Dess styrka ligger i att erbjuda flexibilitet genom att enbart omprogrammering krävs för att ändra produkten (Dahlquist, 2006). Ytterligare ett tydligt exempel på eftersträvd flexibilitet är företaget Combogrip som har tagit fram en byggsats för robotverktyg som kan anpassas helt efter användarens önskemål och justeras under användning (Dahlquist, 2012).

För att utreda hur en flexibel robotcell skapas har en undersökning gjorts. Undersökningen var en del av ett kandidatarbete på institutionen Signaler och System vid Chalmers Tekniska Högskola, som under våren 2012 byggde upp en ny robotcell. Robotcellen utvecklades för att skapa en automatiserad produktion av modellbilar i samarbete med fyra andra kandidat-arbeten, men även för att senare kunna användas till utbildning och forskning. Robotcellens funktion var att montera ihop fyra olika karosdelar och tre legomoduler. Legomodulerna representerade bilens motor, växellåda och inredning. Dessa delar levererades till robotcellen, monterades ihop i en fixtur med hjälp av fyra stycken industrirobotar, för att sedan transporteras ut ur cellen. Arbetet med robotcellen bestod av att planera cellen, ta fram robotverktyg och programmera robotarna.

1.2 Syfte

Eftersom alla system har olika behov av flexibilitet, så skapas ett oändligt antal möjligheter till vad som bäst skapar den önskade lösningen till varje problem. Detta beroende på vilken typ av flexibilitet som behövs och i vilken utsträckning. Syftet med projektet var att uppnå en så flexibel produktioncell som möjligt, den skall vara så säker som möjligt i avseende på att monteringen av en modellbil alltid skall bli genomförd oavsett vilka hinder som uppstår. Ytterligare saker som uppnåtts tack vare studien är vetskapen om vilka fördelar som finns med ökad flexibilitet, men även för att se vilka problem flexibilitet också skapar.

1.3 Metod

För att genomföra en förstudie kring begreppet flexibilitet har det utförts litteraturstudier för tidigare definitioner av flexibilitet. Sökningar har gjorts på Google Scholar¹ och Chalmers bibliotekets² tjänst Summon för att hitta relevanta artiklar och rapporter. Då flexibilitet används inom ett brett område och inte har klara allmänna avgränsningar så måste även insamlandet av information vara brett. Faktan som samlats har handlat om flexibilitetens absoluta betydelse, men även dess påverkan på specifika delar av en organisation eller produktion.

Utifrån den information som hittats angående flexibilitet har det som varit applicerbart testats i en produktionscell. En riskanalys har gjorts för att bedöma inom vilka områden de största riskerna finns och var det finns ett större behov av ökad flexibilitet. Det har påverkat verktygens funktioner och utseende, cellens uppbyggnad, programmeringen av robotar och PLC och kommunikationen mellan robotar och PLC. Slutsatser och diskussioner har sedan utförts på de resultat som framkommit med slutsatserna från förstudien som utgångspunkt.

¹(<http://scholar.google.se/>)

²(<http://www.lib.chalmers.se/>)

2 Förstudie

För att bestämma vad som skulle provas i den experimentella delen av rapporten så var det först tvunget att avgöras vad flexibilitet är och utifrån detta avsmalna området och fördjupa mot det område som är intressant ur rapportsynpunkt, nämligen flexibilitet i produktion.

2.1 Vad skiljer flexibilitet från andra begrepp?

Som inledningen tidigare beskrivit så saknar begreppet flexibilitet en exakt definition, dock har många gett förslag. Ordet kan kopplas till många andra begrepp som anpassningsförmåga, mångsidighet eller rörlighet. Vill man skapa flexibilitet måste man veta vad begreppet innebär och vad som är skillnaden mellan flexibilitet och andra vanligt förekommande begrepp som effektivitet som tidigare nämnts. Sengupta (2000) förklarar effektivitet inom produktion som att det inte finns ett alternativ som kan avsätta samma indata, med dagens teknik och den nuvarande indatan, så att:

- mer av minst en slutprodukt är producerad utan en minskning av någon annan slutprodukt.
- samma slutnivå uppnås med mindre av något material in i systemet och inget annat material in ökar.

Saleh (2003) försöker skilja flexibilitet och robusthet som vid ett första ögonkast verkar uppfylla samma funktion. Genom att beskriva begreppen utifrån skapandet av en rymdfärja som skall vara ute i rymden i hundra år får han två olika utmaningar.

- Att bibehålla funktionaliteten efter uppskjutning, trots förändringar i mjukvara och hårdvara på grund av strålning, utrustning som fallerar, slitage och så vidare, indikerar behovet av robusthet i designen. Det vill säga att robusthet måste byggas in i designen.
- Att skapa nya funktioner ombord på färjan efter uppskjutning för att möta nya situationer som att nya miljöer upptäcks eller ny data blir tillgänglig, visar på behovet av flexibilitet när farkosten utvecklas. Om inte färjan har en möjlighet att utvecklas under sin livstid så kommer den att bli utdaterad och värdelös. Alltså måste det finnas flexibilitet inbyggt i rymdfärjan.

2.2 Vad är flexibilitet?

För att få en mer vetenskaplig vinkel så har Mandelbaum (1990) skapat en definition för flexibilitet där han med matematik beskriver hur alternativen, och därmed flexibiliteten, minskar för varje beslut som tas. Tänk dig att du skall skapa ett nytt produktionssystem och en ny produkt. Det finns många alternativ för hur du skall tillverka något, en funktionell verkstad eller en driven lina till exempel. Vad man kan tillverka är också ett oändligt antal olika produkter, men har du tidigare valt ett produktionssystem så kommer ditt val av produkt genast ha blivit begränsat till ett mindre urval. Frågan är hur många beslut som kan tas innan man har ett för stelt system, olika typer av miljöer kräver olika utsträckning av flexibilitet.

Mandelbaum beskriver behovet av flexibilitet som "Flexibilitet behövs i ett system eller en process så att det kan reagera på förändringar i systemets omgivning eller ändringar i beslutsfattande personers uppfattning av verkligheten". En annan definition beskrivs av Saleh (2009) där han i sin slutsats föreslår att systemflexibilitet skall sökas när osäkerheterna i ett systems omgivning är så att det finns ett behov att utveckla systemet efter att det har börjat användas för att kunna begränsa marknadens och omgivningens risker. De menar att när

systemets grundande teknik utvecklas inom tidsperioder som är betydligt kortare än systemets designade livslängd, behövs en lösning för att minska riskerna associerade med föråldrad teknik.

2.3 Olika typer av flexibilitet

Uttrycket flexibilitet definieras av Nationalencyklopedin som "förmåga till anpassning till skilda situationer" (Nationalencyklopedin, 1963). För olika situationer behövs olika sorters flexibilitet beroende på vad som skall uppnås, även olika nivåer i en organisation kräver olika sorters flexibilitet.

2.3.1 Flexibilitet i organisationsstruktur

På organisationsnivå kan ledningsflexibilitet betraktas. Denna typ av flexibilitet är att hantera marknadsosäkerhet på ett sätt som präglar både ledning och projekt. Evans (1991) hävdar att företag söker flexibilitet för att öka hastigheten och utvidga handlingsutrymmet. Detta gör att ledningsflexibilitet minskar ett projekts utsatthet för osäkerhet på marknaden. Om man bestämmer sig för ett koncept tidigt i utvecklingen anses detta koncept vara låst. Följaktligen är ett projekt mer flexibelt om man inte bestämmer sig för ett koncept utan har flera förslag under utveckling så länge som möjligt. Detta gör att man kan tillåta sig själv lite utrymme för att anta metoder för att hantera oförutsedd utveckling (Rapoport, 1966).

Flexibilitet måste vara anpassad för situationen den skall användas till. Till exempel en fabrik som har god flexibilitet när det gäller att ändra volymen av producerade produkter behöver inte ha bra flexibilitet när det gäller att ändra produkter och vice versa. Upton (1995) beskriver det som att bara för att en fabrik är flexibel på ett sätt betyder inte det att den är det på ett annat sätt. Upton diskuterar också att man måste skapa en definition som passar den fabrik eller det problem man angriper. Det går inte att bara säga att man skall ha flexibilitet.

Strategisk flexibilitet uppnås enligt Gupta (1989) genom en kombination av tekniska överväganden, operativa strategier och skötselmetoder. Flexibiliteten når inte sin fulla potential om den inte består av alla delar. Till exempel är inte en AGV flexibel bara för att den kan köra på oändligt många vägar utan det krävs smart styrning för att ta vara på dessa vägar vid avbrott eller omstrukturering av banan.

2.3.2 Flexibilitet i produktion

Flexibilitet på produktionsnivå har sitt ursprung ur att tillgången till avancerad tillverknings teknik i form av robotar och smarta maskiner har ökat samt att behovet för kortare produktionstider och större lyhörddhet för förändringar i efterfrågan och kundanpassad produktion har ökat (Gupta, 1989).

När man pratar om maskinflexibilitet för produktion brukar man tala om flexibiliteten för industrirobotar. För industrirobotar finns det ett oändligt antal av användningsmöjligheter och det är enkelt att utnyttja det (Carter, 1986). Hårdvaran sätter ramen för hur flexibelt ett system kan bli. Om hårdvaran är dyr och svår anpassad kan inte mjukvara förbättra flexibiliteten (Sethi, 1990).

Flexibiliteten i produktion har definierats på ett flertal olika sätt. Några flexibiliteter att nämna är: Volymflexibilitet, vilken är definierad enligt Saleh (2003) som ett produktionssystemets förmåga att hantera variationer i produktionsvolymen av samma produkt. Vidare beskriver Saleh mixad produktflexibilitet som möjligheten att producera olika produkter utan större förändringar av existerande anordningar. Han anger även begreppet sekvensflexibilitet,

vilket är möjligheten att producera en given uppsättning av delar på alternativa maskiner. Operationsflexibilitet är också en viktig flexibilitet och är definierad, av Barad (1988), som möjligheten att ändra ordningen av operationerna på en given del. De områden som kan undersökas i PPU-labbet med de förutsättningar som givits är operationsflexibilitet och sekvensflexibilitet och därför kommer dessa beskrivas mer ingående.

2.3.3 Operationsflexibilitet

Denna typ av flexibilitet handlar om hur många sätt en komponent kan produceras (Sethi 1990). Sethi anser även för att operationsflexibilitet skall kunna uppnås måste delarna till komponenten vara enkla att förflytta och montera. Chan(2004) benämner operationsflexibilitet som möjligheten att ändra ordningen på flera operationer på varje del.

2.3.4 Sekvensflexibilitet

Definitionerna är många, börja med Sethi (1990): flexibilitet genom ett flöde i ett produktionssystem innebär dess förmåga att producera delar via olika vägar genom systemet. En annan beskrivning av sekvensflexibilitet är den dynamiska uppdelningen av delar till maskiner, alltså ifall en maskin går sönder så kan flödet av delar dirigeras om till en annan fungerande maskin (Gerwin, 1982). En tredje är att sekvensflexibilitet ändrar platsen för utförandet av en process, detta skall inte förväxlas med att utföra processerna i en annan ordning än vad som var grundtanken (Koste, 1999).

Sekvensflexibilitet kan anses vara kärnan av konceptet flexibilitet då det inte är någon nytta med att kunna utföra likadana operationer på en del på olika platser, om tillräckliga resurser för att transportera delarna inte finns. Detsamma gäller för genomförandet av överföringsmöjligheterna när det inte finns något erbjudande om att utföra operationen någon annanstans (Barad, 1988).

2.3.5 Flexibel kod

Enligt Einarsson (1996) skapar man flexibel kod genom att tänka på modularitet, högt sammanhang och låg koppling. Om man arbetar utefter detta konceptet får man inte bara en flexibel kod utan den blir enklare att förstå och man undviker fel. Med modularitet syftar Einarsson på att skapa all kod i små moduler, max 50 rader är en vanlig riktlinje. Högt sammanhang innebär att i varje modul utför man bara relevanta saker. Låg koppling menas med att man ska försöka begränsa användandet av medskickade och globala variabler.

Einarsson anser att det finns tre tumregler att följa. Den första regeln är att längre kod blir mer komplex. Det enda undantaget är om kodens läsbarhet drabbas av att man förkortar koden, då ska det inte göras. Regel nummer två är att få beslut ger enklare kod då många vägar genom ett program ökar risken för fel. Den sista regeln är att man inte ska lägga för många nivåer av satser i satser. En god riktlinje är att ha maximalt fyra nivåer.

2.4 Slutsats av förstudie

All den information som samlats under förstudien är för att få läsaren att förstå flexibilitet. Har man inte förstått problemet kan man inte förstå vad frågan betyder eller varför det är väsentligt att frågan ställs. Det som varit viktigt vid utvecklingen av cellen är att produkten alltid skall kunna monteras oavsett vilka hinder som uppstår. Det har funnits vissa större riskmoment än andra i den experimentella processen. För att undvika detta har flexibilitet arbetats in i designen av verktygen. Industrirobotar är flexibla i grunden, hur flexibla de blir

i cellen avgörs på strukturen av koden som skrivs till dem. Eftersom industrirobotar har ett oändligt antal möjligheter så behöver beslut tas för att avgränsa projektet. Dock måste det göras efter noga övervägande, vilka risker är så stora att de måste förebyggas och vilka kan ses som obetydliga i sammanhanget.

Nobelpristagaren Mertons uttalande angående värdet på flexibilitet har tidigare nämnts och det har visat sig svårt att undersöka. Antingen berör artiklar och rapporter endast vad ett specifikt beslut skapar för värde (Salanié, 2009) eller så är de riktade mot en typ av tillverkning av en produkt, (Zhang, 2002). Därför är värdet av den flexibilitet som skapas i cellen nästan omöjlig att beräkna utan omfattande analyser så det innefattas inte i rapporten. Andra delar som också faller utanför rapportens studie är efterfrågan på marknad, oro över volymer, effektivitet och flexibilitet i ledningen.

De delar av förstudien som har kunnat undersökas, givet de förutsättningar som finns, är sekvensflexibilitet, operationsflexibilitet och flexibilitet inbyggt i verktygens design. Sekvensflexibiliteten har varit att kunna ändra de hämtningsplatser av delar i cellen för att kunna undvika onödiga driftstopp. Operationsflexibiliteten har skapats för att kunna montera motor, växellåda och inredning i olika ordning i modellbilen. Då monteringen innehåller ett tiotal olika delar har verktygen utvecklats efter att vara universiella. De skall klara olika typer av geometrier för att minska antalet verktyg. De skall även klara att förutsättningar ändras och att de i så fall enkelt skall kunna modifieras för att klara de nya kraven.

3 Studie

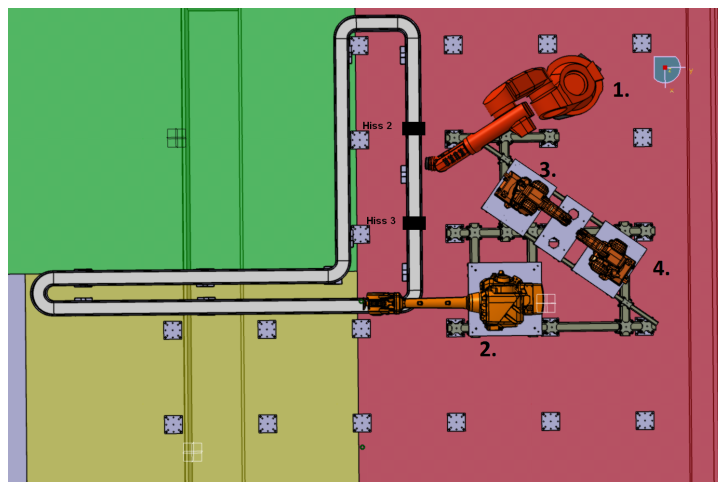
En studie har gjorts på en produktionscell för att testa flexibiliteten som diskuterades i förstudien. Flexibiliteten genomsyrar allt ifrån PLC- och robotprogrammering till verktygsuppbyggnad. En beskrivning av hur produktionscellen var planerad att se ut följer inom detta avsnitt, hur den styrs via robotprogrammering och kommunikation med PLC samt hur robotarna är placerade och deras verktyg utformade utifrån att få ett så flexibelt system som möjligt. Under utvecklingen har även miljö och hållbarhet hållits i tankarna.

3.1 Riskanalys

I riskanalysen (Appendix A) har alla de problem som har kunnat förutspås dokumenterats och värderats utifrån hur illa det är om problemet uppstår och hur stor risken är att det inträffar. När en del av robotcellen har utvecklats, verktyg, kod eller någon annan del, så har riskanalysen varit till underlag. Genom detta så har flexibilitet byggts in i designen av robotcellen.

3.2 Produktionscellen

För att kunna beskriva utvecklingen av robotcellen, inom de områden robotar arbetar, följer först en enklare beskrivning av den planerade produktionscellen (figur 1) i PPU-Labbet på Chalmers som har byggts för att kunna montera en modellbil. Produktionscellen är uppdelad i tre olika zoner som kan ses i figur 1. Den gröna zonen är manuell, det innebär att människor kan röra sig fritt inom området utan risk för arbetsolyckor med avseende på robotar. I zonen sker montering av legomoduler som skall installeras i modellbilen. Den gula zonen är en semi-automatisk zon där både robotar och människor kan arbeta genom att ett bevakningssystem förhindrar att en robot kan komma för nära en människa i en för hög hastighet och orsaka olyckor. Till sist finns den helt automatiska zonen, som har färgen röd i figuren. Där kan endast industrirobotar och AGV-robotar utföra arbete utan att ett skyddsstopp aktiveras. Genom de tre zonerna går ett transportband som förflyttar legomoduler från de manuella arbetsstationerna till platser i den röda zonen där robotar kan hämta dem. De robotar som har använts är en KUKA KR 30-2 som i cellen benämns robot 1, en ABB 4600-40/2.55 som robot 2 och två stycken ABB IRB 140 som robot 3 respektive 4. Mellan robot 3 och robot 4 är en fixtur för montering av modellbilen placerad.



Figur 1: Skiss över robotcellen med indelning av olika säkerhetszoner.

Det finns flera viktiga komponenter i flödet som inte ses i figuren ovan, men som är viktiga i utvecklandet av robotcellens funktion och utseende. AGV-robotar kan komma in genom en automatisk skjutdörr nere i högra hörnet av figuren ovan och köra längs med den högra sidan. Det finns tre olika typer av legomoduler som monteras samman i den manuella zonen; motor, växellåda och inredning. Varje modul finns i tre olika varianter. Modulerna transporteras på transportbandet i omgångar om tre, en av varje typ, men de kan anlända i olika ordning. Det finns fyra specifika stoppställen på transportbandet. Endast två av dessa, plats 2 och 3, används utav robotarna för att hämta moduler och de är markerade i figur 1. Båda dessa platser har även en hiss som kan höja upp modulen för att robotarna skall nå den bättre samt att andra moduler på transportbandet då inte behöver stoppas tills en robot hämtat modulen utan kan fortsätta under hissen.

Karossdelarna skall i första hand komma till cellen med en AGV, men om problem skulle uppstå med transporten finns alternativet att manuellt ställa in en fixtur med karossdelarna i den semiautomatiska zonen. Karossdelarna består av en bottenplatta, två sidor och ett tak. Inuti karossen skall de tre legomodulerna installeras. Modellbilen hålls samman av styrrinnor och magneter. Det första som placeras i fixturen är bottenplattan till karossen. Efter placeras legomodulerna med robot 1 och robot 2 innan taket kan monteras. Taket blir med simulering av robot 3 och robot 4 punktsvetsat mot botten medan robot 1 och robot 2 hämtar sidorna till modellbilen. Återigen simuleras svetsning och bilen kan till sist antingen lyftas ut med robot 1 eller 2 till den röda zonen eller med robot 2 till den gula zonen.

Robot 3 och 4 (figur 1) har på grund av sin korta räckvid endast fått till uppgift att simulera svetsning på bilen. Robotarna är placerade på var sin sida om fixturen vilket leder till att de kan arbeta oberoende av varandra på bilen.

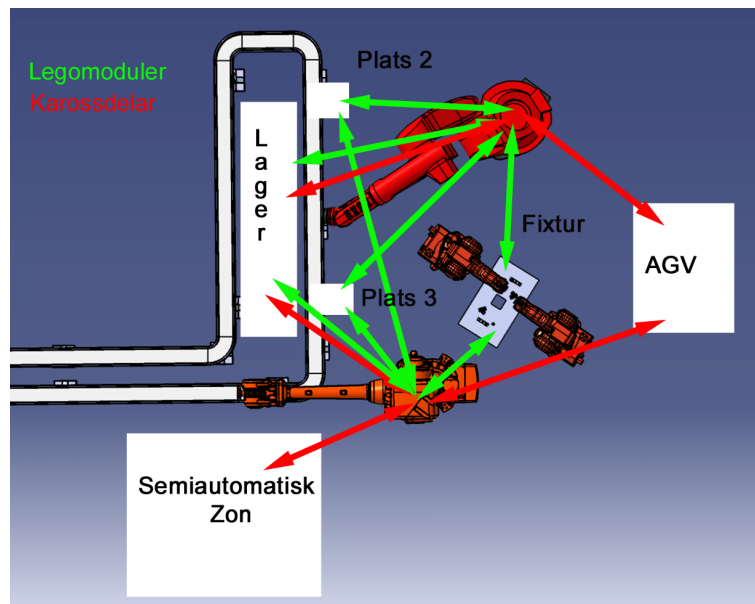
3.3 Utveckling av cellen

För att få en så flexibel cell som möjligt har flexibiliteten funnits i åtanke under hela utvecklingsfasen. Allt från att det ska vara enkelt att ändra i programmen om det sker förändringar till att även robotarna ska vara enkla att flytta om det skulle behövas. Även verktygen är designade med tanken att de ska vara universella och flexibla.

3.3.1 Placering

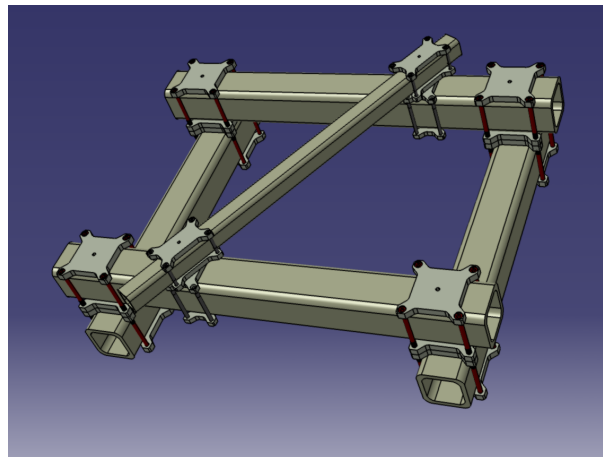
När robotarna skulle placeras ut så utgick placeringen i första hand från att produktionen skulle bli så flexibel som möjligt genom att det skulle skapas olika vägval för flödet att välja på i fall något skulle gå fel under en körning eller att någon väg inte skulle hinna bli klar i tid. Placeringen har också utgått ifrån den gemensamma arbetspunkt alla robotar har i fixturen. Detta gjorde att robotarna fick placeras så att de fick många gemensamma punkter men samtidigt måste alla punkter som skall användas i cellen nås av någon robot vilket begränsade alternativen. Robot 1 var redan ifrån början monterad vilket gjorde så att utgångspunkten i viss mån blev ifrån den. Detta leder också till att robot 1 inte kommer nå alla punkter.

Den placering som valts gör att det finns flera olika vägval för varje detalj som skall monteras i fixturen. De olika vägarna kan ses i figur 2 där det beskrivs var varje robot kan hämta och lämna olika detaljer. Robot 1 kan, som man ser i figur 2, hämta karossdelar från både lager och AGV. Robot 2 kan hämta karossdelar från AGV, lager och även den semiautomatiska zonen. Alla delar placeras i fixturen för montering.



Figur 2: Mall över möjliga vägval för olika komponenter

För att inte låsa systemet till denna enda process, som det skulle bli om man svetsade alla stöd till robotarna och fixturen, har det använts ett BoxJoint-system. Det är ett system där alla balkar som bygger upp plattformarna för robotarna sätts ihop med hjälp av olika typer av lådor som kan ses i figur 3. Det gör att det går fort att sätta ihop och går även enkelt att plocka isär om man vill flytta på något. Vilket även leder till att man under utvecklingen har kunnat jobba flexibelt för att få den bästa uppställningen.



Figur 3: Ett enkelt BoxJoint system. Bilden visar hur BoxJoint kan monteras ihop i olika stora delar, men även olika vinklar.

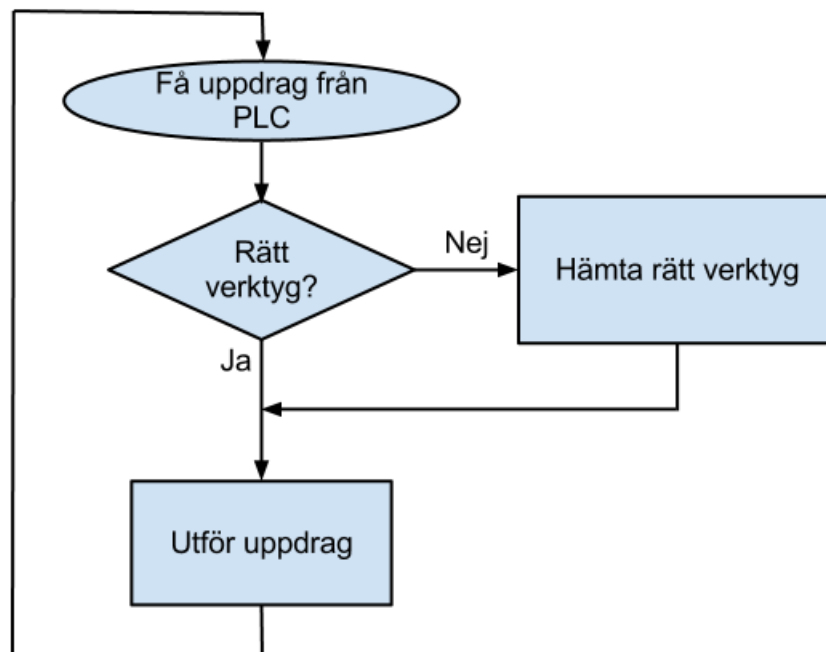
3.3.2 PLC-programmering

PLCn har programmerats på ett sätt som gör att den skickar signaler till roboten för att utföra specifika uppdrag. Flexibiliteten hos robotarna ligger i att PLCn kan skicka dessa signaler för de olika uppdragen vid olika tidpunkter och i begränsad varierande ordning, till exempel måste bottenplattan och legomodulerna vara placerade innan taket kan sättas på

plats. Dessa signaler som PLCn skickar utför korta och specifika uppdrag hos roboten och vid varje nytt uppdrag så behöver roboten få en ny order från PLCn. Om robot 1 skulle vara ur funktion så finns det en funktion i PLCn som gör att den skickar alla uppdrag till robot 2 vilket medför att produktionscellen klarar av vissa störningar.

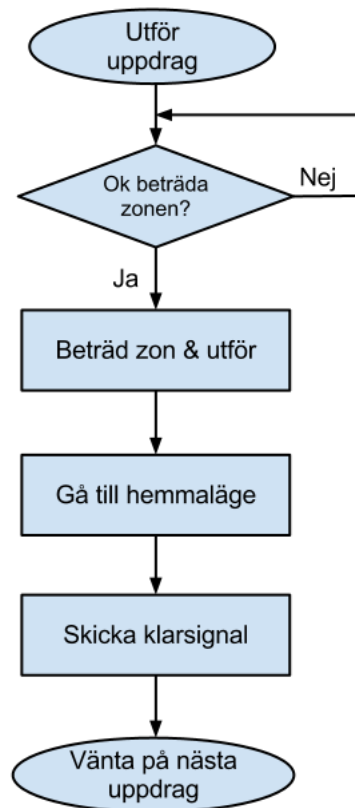
3.3.3 Robotprogrammering

För att öka flexibiliteten i systemet så byggs robotprogrammen upp i moduler, dessa moduler kan anropas av PLC-systemet, så att alternativa sekvenser och operationer kan utföras beroende på hur systemet arbetar för stunden. Koden har gjorts så enkel som möjligt genom att ha flera moduler som PLCn anropar istället för att ha flera vägval i de enskilda modulerna. Det har minskat komplexiteten i koden och hållit nere nivådjupet i modulerna. Då både robot 1 och robot 2 kan utföra i stort sätt alla operationer så är robotkoden uppbyggd på likadant sätt i de båda robotarna. Stopp i produktion kan även förhindras då de båda har kod för samma operationer.



Figur 4: Struktur för program när robot får uppdrag från PLC.

I figur 4 visas upplägget när PLCn skickar uppdrag till någon av robotarna, där det viktigaste är att se till så att roboten har rätt verktyg för att kunna utföra uppdraget. Under “Utför uppdrag”, som kan ses i figur 5, utförs först en kontroll till PLCn om roboten får beträda zonen där uppdraget skall utföras. Detta för att undvika kollision med andra robotar. Sedan utför roboten uppdraget och går tillbaka till hemmaposition. Därefter skickas en signal till PLCn om att roboten är klar, har lämnat zonen och att nästa signal kan skickas.



Figur 5: Program för “Utför uppdrag” från föregående bild.

Robot 3 och 4 har till uppgift att simulera svetsning på flera punkter. Programmet för svetsning har implementerats som två svetssekvenser per robot, en sekvens när bilens bottenplatta och tak skall svetsas samman och en när karossidan skall svetsas. De sekvenserna kan inte tas i omvänd ordning utan, bottenplatta och tak måste svetsas innan karossidan monteras, vilket gör att det inte har skapats någon större flexibilitet i själva programmet. Det som har implementerats är att om högersidan av karossen har monterats så kan robot 4 svetsa fast den sidan innan vänstersidan har monterats.

3.4 Verktyg

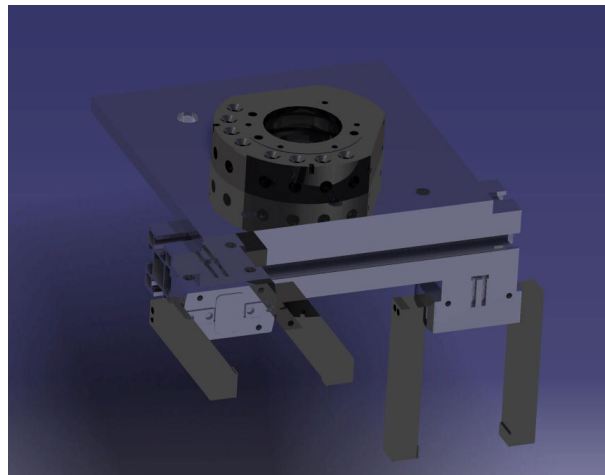
För att öka flexibiliteten har det konstruerats verktyg till både robot 1 och 2 som kan lyfta alla karossdelar och legomoduler. Ytterligare ett mål har varit att kunna använda samma verktyg till så många delar som möjligt, därför har endast två olika sorters verktyg skapats till dessa robotar. Då robotarna har likadant fäste till verktyg så har även verktygen utformats likadant.

Verktygen har designats för att kunna justeras smidigt och är därför byggda av standardkomponenter som finns att köpa hos återförsäljare eller fanns tillgängliga i PPU-labbet alternativt i XP-labbet. Visa plattor och armar har dock krävt lite bearbetning i XP-labbet. Om förutsättningarna skulle förändras så kan verktygen fortsätta att användas genom justering. De

kan även monteras ned för återanvändning.

3.4.1 Lego-gripverktyg

Lego-gripverktyget är skapat för att lyfta legomoduler till fixturen. Verktöget skall kunna plocka två moduler samtidigt, därför har två gripdon monterats. Gripdonen har monterats på en fyrkantsprofil med spårmuttrar vilka kan justeras efter behov. Verktöget behöver inte någon elektronik då gripdonen är pneumatiska och att bekräftelse på om gripdonet är öppet eller ej anses onödigt. Att ha två gripdon på samma verktyg gör processen betydligt smidigare då man slipper vissa förflyttningar fram och tillbaka vid montering och hämtning av legomoduler. Verktöget finns i dubbel uppsättning för att det inte skall bli väntetid mellan robotarna om de behöver byta verktyg med varandra. Dessutom är det svårt att placera ut ett verktygsställ så att det nås av båda robotarna, men inte är i vägen för monteringen av bilen. En modell utav verktöget kan ses i figur 6.



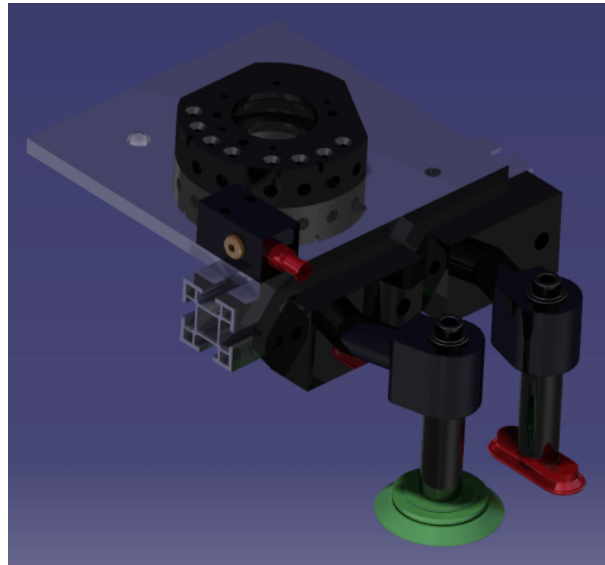
Figur 6: En CAD-modell av legoverktöget där de dubbla gripdonen kan ses

3.4.2 Svetsverktyg

Svetsverktöget används av robot 3 och 4, som simulerar svetsning av karosdelarna. Verktöget är uppbyggt på en verktygsväxel, med ett rör som har en momentan tryckströmställare med inbyggd indikationslampa monterat i verktögets centrumpunkt. När indikationslampan längst ut på verktöget går emot något så lyser den. Eftersom det inte fanns möjlighet att få ut ström från roboten till verktöget så är ett batteri monterat.

3.4.3 Sugverktyg

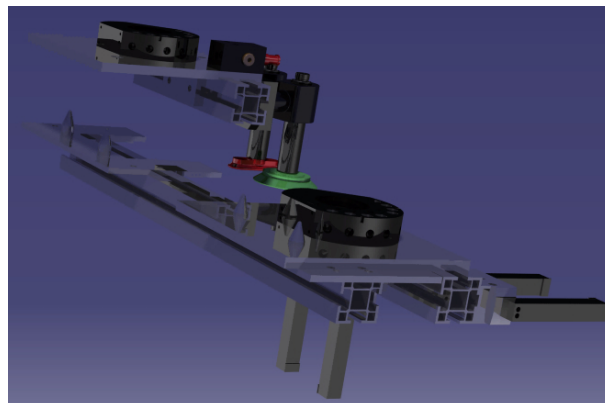
Sugverktöget är till för att lyfta karosdelar och den färdigmonterade bilen. Det består av två sugkoppar, som är fästa på kullleder som i sin tur är fästa på en fyrkantsprofil. Kullederna gör att sugkopparna kan ställas in i alla tolv frihetsgrader i det tredimensionella rummet. Sugkopparna styrs av en vakuumejektor som är kopplad till verktygsväxeln. Verktöget finns i två uppsättningar, en för vadera av de stora robotarna. En CAD-modell av sugverktöget kan ses i figur 7.



Figur 7: En CAD-modell av sugverkyget

3.4.4 Verktygsställ

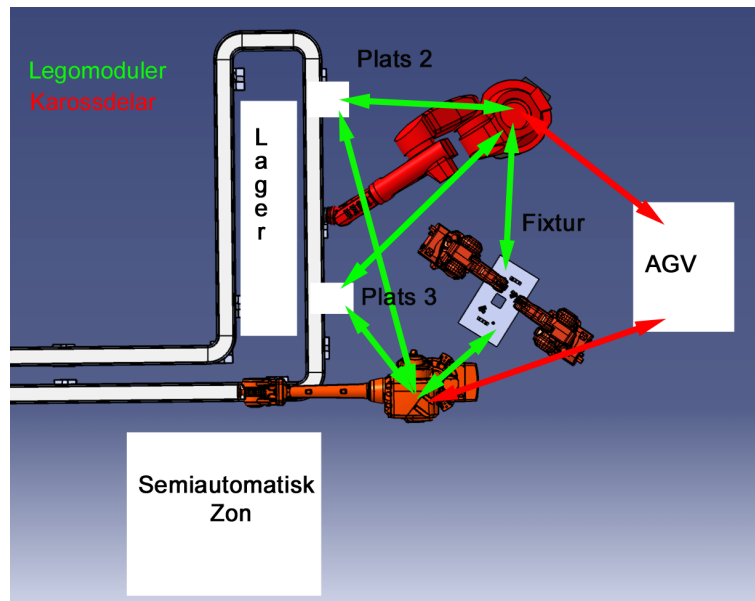
När verktygen till robot 1 och 2 inte används så skall de hängas av på ett verktygsställ. Det finns ett verktygsställ för varje robot med plats för två verktyg. Verktygsstället är uppbyggt med styrrpinnar som styr in och fixerar verktygen. På både sugverkygen och gripverkygen finns det en platta mellan verktygsväxel och själva verktyget med hål för styrrpinnar.



Figur 8: En CAD-modell av verktygsstället med både lego-verktyget och sugverkyget

4 Resultat

I den produktionscell som har utvecklats i PPU-labbet har det verifierats flera resultat kring flexibilitet. Först och främst har programmeringen av robotar och PLC lett till att även om robot 1 står still så kan flödet av delar till modellbilen fortsätta med enbart robot 2. Hela flödet som kan genomföras i cellen ses i figur 9 till skillnad mot det planerade flödet som tagits upp tidigare i rapporten (avsnitt 3.3.1)



Figur 9: Det i cellen möjliga flödet av komponenter efter projektet

Resultaten visar även att med hjälp av RFID-taggar så kan systemet veta vilken legomodul som plockas upp av robotarna. På så sätt styrs sedan roboten efter vilken modul som den har tagit upp och det spelar då ingen roll i vilken ordning som modulerna kommer på bandet. Därav kan monteringen av dessa moduler ske i godtycklig ordning vilket gör det mer flexibelt.

Produktionen har även blivit mer flexibel genom att verktygen som har utvecklats kan användas till att flytta flera olika delar. Det sugverktyg som har utvecklats för att flytta karosdelarna kan placera alla de olika delarna rätt i fixturen och genom att det bara är ett verktyg behövs det ingen tid för verktygsbyte mellan att de olika karosdelarna monteras. Sugverktyget är också flexibelt då det inte bygger på att det är någon speciell form som den kan lyfta utan utnyttjar en plan yta på delen. Det gör att det inte behövs några nya verktyg om delen förändras sig eller om det är någon ny slags del som den ska lyfta så länge det finns en plan yta på delen.

Det verktyg som används för att lyfta legomodulerna är ett gripverktyg som lyfter modulerna i deras bottenplatta. I och med att den utnyttjar bottenplattan när den lyfter så kan modulen utvecklas och förändras så länge som produkten håller sig innanför de av bottenplattan givna gränserna. Vilket leder till att det kan utvecklas nya moduler som lätt kan implementeras i bilmodellen utan att det behövs byggas några nya verktyg utan allt som behövs är att den definieras som någon av de tre givna modulerna som kan placeras i bilen.

Det är vissa saker som har tagits upp i rapporten som inte har blivit genomfört. Till det hör att det inte har genomförts någon av de planer som funnits för den semiautomatiska zonen. Så det går varken att ta in karosdelar, lämna bilen eller montera legomodulerna direkt i bilen via den semiautomatiska zonen. Det har heller inte byggts någon lagerplats i mitten

som det var tänkt så det finns inget lager av delar som det var planerat. Det har även blivit så att endast robot 2 kan förflytta den färdiga bilen ut på AGV-robotarna då deras lastzon inte är lika långt fram som planerat.

5 Diskussion

I detta avsnitt diskuteras det om resultaten har uppfyllt de mål som sattes upp och även studerades i förstudien. Även situationer som uppstått under studiens gång tas upp här. Vad hade kunnat göras bättre och vilka problem hade kunnat undvikas.

5.1 Sekvensflexibilitet

Att robot 2 kan ta över allt monteringsarbete när robot 1 inte körs är ett väldigt bra resultat. Tyvärr kan inte det omvända genomföras då robot 1 har kortare räckvidd och når därav inte alla punkter som behövs för att produktionen skall kunna fortsätta. Då robot 1 är ur funktion går givetvis produktionstiden upp eftersom en robot inte kan göra samma jobb som två robotar utan att det tar längre tid.

Sekvensflexibiliteten finns även i att verktygen för robot 1 och 2 är likadana. Om ett av verktygen skulle gå sönder skulle man kunna ersätta det med motsvarande verktyg från den andra roboten. Dock klarar endast robot 2 av att förflytta den monterade bilen ut ur cellen, detta på grund av att robot 1 har för dålig räckvidd och inte når tillräckligt långt bak på AGV-roboten. Dockningsstationen för de båda AGV-robotarna går heller inte att flytta längre in i robotcellen på grund av att kablar till robot 1, 3 och 4 ligger bakom den. Därför måste robot 2 ha ett fungerande sugverktyg.

5.2 Operationsflexibilitet

Legomodulerna som kommer via transportbandet kan komma i vilken ordning som helst och har även två olika platser att hämtas ifrån. Oavsett vilken hiss en modul kommer till så kan båda robotarna ta hand om den och leverera den till rätt plats i bilens kaross. Det är inte heller tvunget att en viss modul måste monteras först utan monteringen sker i den ordning som de anländer till hissarna.

Cellen hade kunnat få en ännu högre grad av operationsflexibilitet om karossen hade kunnat monteras i olika ordning. Det vore möjligt när det gäller sidorna på karossen, men i och med att delarna fraktas in på en AGV som har ett rack som bara kan avlastas på ett sätt, så kan delarna bara monteras i en specifik arbetsordning. Även fixturen är begränsande då taket måste på innan sidorna och därmed så måste legomodulerna placeras i bottenplattan innan något annat kan monteras. Den enda operationsflexibiliteten som existerar vid hantering av karossdelarna är att både robot 1 och 2 kan hämta samtliga delar. Som tidigare nämnts så är det enbart robot 2 som kan lämna den färdiga produkten.

5.3 Robotcellen

Allt monteringsarbete i cellen drog ut på tiden då många saker var beroende av BoxJoint systemet. Robot 3 och 4 samt fixturen kunde inte monteras på plats förrän BoxJoint-systemet hade byggts klart. Även luft till robotarna har dröjt med följden att all körning med verktygen har varit utesluten fram till slutet av projektet. Detta ledde till att en stor tidsbrist uppkom när alla punkter skulle mätas in exakt.

Det var dock bra att vänta på BoxJoint-systemet då det är väldigt enkelt att modifiera då robotarna som är placerade på det har kunnat skjutas åt olika håll för att få en bra position. Detta var svårt att uppnå i de 3D miljöer som ritades upp i början av arbetets gång för att bestämma dess position. En annan stor fördel med att använda BoxJoint uppmärksammades när robot 2 skulle montera sidorna på fixturen. Verktyget på robot 2 slog i robot 3 och 4 för att avståndet mellan fixtur och robot 3 och 4 var för litet. Tack vare BoxJoint kunde

robotarna enkelt flyttas bakåt för att ge plats åt verktyget och karossidan. Hade robotarna varit monterade på ett annat sätt, svetsat eller nedslaget i golvet, hade detta skapat mycket extra arbete. Det hade även varit ett dyrare alternativ då robotställningen varit tvungna att göras om från grunden.

5.4 Begränsningar

Då projektet var tidsbestämt har det tyvärr inte gått att genomföra alla de idéer som hade tagits fram i förstudien för att göra cellen så flexibel som möjligt. De planer som fanns att om det blev problem med AGV-robotarna så skulle det gå att hämta delarna från en semi-automatisk zon gick inte alls att genomföra. Det beror på att det kameraövervakningssystem som skulle användas i den zonen inte fungerade som det var tänkt. Problemet som uppstod var att det inte gick att placera något i den zonen utan att skyddsstopp slog till. Detta gör så att det inte går att ställa ett rack med delar där som roboten skulle ha kunnat plocka ifrån.

Det fanns även idéer om att legomoduler skulle kunna lagras på ett lager för att robotarna skulle kunna köra även om det inte sker någon montering av legomoduler just då. För att genomföra det hade det behövts skapas nya rutiner till robot 1 och 2 för att de skulle kunna hämta detaljerna från lagret istället för transportbandet. Denna idé kunde inte genomföras då det blev flera förseningar i projektet och det fick prioriteras bort då det inte påverkar själva produktionen utan skulle mer vara ett plus om det hade fungerat.

5.5 Hållbarhet/miljö

Studien som har genomförts har skett på ett miljövänligt och för framtiden hållbart sätt. I den utsträckning det har gått så har gamla delar återanvänts, men även så har design till verktyg och verktygsställ utgått från det som har funnits i de olika labben. Ett exempel på detta är de aluminiumprofiler som har använts i konstruktionen av verktygen till robot 1 och 2 samt verktygsställ. Alla produkter som har tillverkats går även att ta isär för att kunna använda de ingående detaljerna i framtida andra produkter. Enda undantaget från detta är svetsverktygen som har ett svetsat stålrör på en stålplatta, men det är små delar som skulle varit svåra att återanvända till nya verktyg. Det skulle förmodligen ändå varit metallskrot som skall återvinnas. Skulle någon komponent ändras i form eller storlek så är även verktygen enkla att justera så att inte nya delar skall behöva användas.

De ställningar som robotarna står på är inte svetsade utan uppbyggda av ett BoxJoint system. Det gör att det går att plocka isär ställningarna utan att balkarna påverkas, så de går att använda igen. Även själva lådorna, som håller samman balkarna, som används i systemet går att använda igen till samma balkar eller i ett helt annat system.

6 Slutsats

Projektets syfte har varit att utveckla en produktionscell som ska vara flexibel inom följande områden, sekvensflexibilitet, operationsflexibilitet och flexibilitet i verktygens design. Det är de områden som uppfylls i den utvecklade produktionscellen och har lett till en cell som både är flexibel medan produktionen pågår, men även lätt att modifiera ifall produktionen skulle förändras.

6.1 Uppnådd flexibilitet

Det som har visats i cellen är att det finns mycket att tjäna på att ha en flexibel produktion, både i tid och pengar. Att de flexibla verktygen kan lyfta olika slags delar leder till att det blir färre verktygsbyten i cellen vilket ger en snabbare produktion. Det krävs också färre verktyg som gör att det finns pengar att tjäna på att inte behöva köpa lika många verktyg. Flexibiliteten blir även viktig i den mån att produktionsstoppen kan bli färre och kortare då produktionen kan genomföras på alternativa vägar. Även om ett verktyg skulle gå sönder skulle produktionen kunna fortgå då robot 1 och 2 har likadana verktyg.

6.2 Problem

Även om det har gått att få in fler olika flexibiliteter i cellen så finns det begränsningar som gör att det inte går att göra allt. Det är bland annat en begränsad yta som finns i cellen vilket gör att placeringen av robotarna har påverkats. Den sak som har påverkat mest är dock tidsbrist, då det rent sagt inte funnits tid att genomföra allt som det fanns planer för. Robot 1 och 2 i cellen fanns inte på plats med kablar och kommunikation förens mer än halva tiden av projektet hade gått. Detta har gjort att projektet inte kommit så långt som önskat. Bland annat har ett mellanlager fått prioriteras bort mot att få en fungerande cell. Tidsbristen har också påverkat genom att när vissa beställda produkter har blivit försenade har det lett till att tidsplaner har blivit förskjutna och det har prioriterats bort vissa tillägg från planeringen.

6.3 Utökad operations- och sekvensflexibilitet

Flexibiliteten hade kunnat vara större om tid hade funnits för att implementera det rack som skulle funnits för att mellanlagra legomoduler. Det skulle skapa möjligheter för robotarna att fortsätta montera bilar även när det vore skiftbyten, raster eller ett maskinstopp för transportbandet. Detta skulle gett fler alternativ när det gäller sekvenser, men även när det kommer till operationer.

Implementeringen av den semiautomatiska zonen skulle ha använts när AGV-robotarna är ur funktion. Då kunde ett rack med delar rullats in i den semimanuella zonen där den färdiga bilen sedan även kunnat rullats ut. Om transportbanan av någon anledning skulle vara ur funktion skulle legomodulerna kunna monteras manuellt i bilen. Robot 2 skulle ha lyft in bottenplattan i den semiautomatiska zonen och en montör skulle satt i modulerna. Då säkerhetssystemet i den semiautomatiska zonen inte fungerar som tänkt, skyddsstopp aktiveras då någonting är placerat i zonen, så har detta inte kunnat implementerats. Det skulle dock ge ett ytterligare alternativ på sekvenser som gör att stopp i produktionen hade kunnat undvikas. Så när tillräcklig kunskap finns om säkerhetssystemet borde detta utnyttjas.

6.4 Möjligheter i verklig produktion

Den utvecklade cellen i PPU-labbet har visat flera resultat på flexibilitet som kan vara intressant att implementera i en verklig produktion. En intressant sak som har visats är att med sekvensflexibilitet så kan produktionen fortsätta även om en utav robotarna har stannat. I den här experimentcellen är det bara ena roboten som kan ta över all produktion men det är inte mycket svårare att skapa en cell där det alltid finns en alternativ väg för flödet.

Detta är något som borde kunna utnyttjas mer i industrin då det idag kan bli långa stopp om någon robot går sönder. I och med att produktionen kan fortsätta med bara en robot minskar sådana produktionsstopp. Dock kan det fortfarande finnas tillfällen då det måste ske produktionsstopp, till exempel om den trasiga roboten skall repareras. Men de behöver inte bli lika långa då det kan pågå en viss produktion under tiden som man väntar på reparationen vilket leder till att det finns mycket pengar att vinna på det och reparationen kan göras mellan skift eller efter arbetsdagen.

6.5 Vidareutveckling av cellen

Cellen är konstruerad utifrån ett väldigt specifikt mål, produktionen skall aldrig stanna. I förstudien nämndes dock flera andra begrepp som inte var relevanta för rapporten. Bland dessa fanns effektivitet och volymflexibilitet som båda är relevanta för cellen. Kan man få upp hastigheten på produktionen och öka tillverkningen med 100 %? Går det att enkelt utöka produktionen så att man kan få plats att tillverka fler produkter? Effektivitet och flexibilitet krockar med varandra då det ena syftar till att hålla produktionen vid liv i nutid, medans det andra gäller att få det att överleva över tid. Att finna en perfekt nivå för allt detta är en stor uppgift som är svår att uppnå. Det är något som kanske borde forskas vidare om nästa år.

7 Referenser

- [1] Barad, M. and Sipper, D., (1988) Flexibility in manufacturing systems: definitions and petri net modeling. *International Journal of Production Research*, 26 (2), s. 237–248.
- [2] Carter, M E, (1986), Designing Flexibility into Automated Manufacturing Systems. In *Proceedings of the Second ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems* (Ann Arbor, MI), K.E. Stecke and R. Suri (Eds.), Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, s. 107-118 (1986)
- [3] Dahlquist, H. (2012) Robotgreppet sätts ihop som ett mekano. *Ny teknik*. 29 februari. <http://www.nyteknik.se/> (2012-03-15).
- [4] Dahlquist, H. (2006) Ortic vill forma plåt i bilindustrin. *Ny teknik*. 18 januari. <http://www.nyteknik.se/> (2012-03-15).
- [5] Einarsson, V. (1996) Hörnstenar för Flexibilitet. <http://www.affectus.se/publicerat/flexibilitet/flexibilitet.html> (2012-05-14)
- [6] Evans, J S, (1991) Strategic flexibility for high technology maneuvers: a conceptual framework. *Journal of Management Studies*, 28 (1), s 69–89.
- [7] Flexibilitet. (1963) *Nationencyklopedin*, <http://www.ne.se/> (2012-03-20)
- [8] Gerwin, D. (1982) Do's and Don'ts of Computerized Manufacturing. *Harvard business review* [0017-8012], volym 60 nummer 2, s. 114.
- [9] Gupta, D. Buzacott, J A (1989) A framework for understanding flexibility of manufacturing systems. *Journal of Manufacturing systems*, Volym 8 nummer 2 s. 89-97.
- [10] Koste, L L. Malhotra, M K. (1999) A Theoretical Framework for Analyzing the Dimensions of Manufacturing Flexibility. *Journal of Operations Management*, 18, s. 82-83.
- [11] Mandelbaum, M. Buzacott, J. (1990) Flexibility and decision making. *European Journal of Operational Research*, 44, s 17-27.
- [12] Merton, R, (1997) Applications of option-pricing theory: twenty-five years later; 1997 Nobel Lecture. *American Economic Review*, 88 (3), s 323–349.
- [13] Rapoport, A, (1966) Two-person game theory. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- [14] Salanie, F. Treich, F. (2009) Option Value and Flexibility: A General Theorem with Applications. Toulouse School of Economics (LERNA, INRA).
- [15] Saleh, J H. Mark, G. Jordan, N C. (2009) Flexibility: a multi-disciplinary literature review and a research agenda for designing flexible engineering systems. *Journal of Engineering Design*, Vol. 20, No. 3, s 307-323.
- [16] Saleh, J H. Hastings, D E. Newman, D J. (2003) Flexibility in system design and implications for aerospace systems. *Acta Astronautica*, 53, 12, s 927-944.
- [17] Sengupta, J K. (2000) Quality and efficiency. *Economic Modelling*, 17, 2, s 195-207
- [18] Sethi, A K, Sethi, S P. (1990) Flexibility in Manufacturing: A Survey. *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 2, s 289-328.
- [19] Thoresson, A. (2007) Fem är bättre än tjugo. *Ny teknik*. 9 maj. <http://www.nyteknik.se/> (2012-03-15).
- [20] Upton, D M. (1995) What really makes factories flexible? *Harvard Business Review*, volym 73 Nummer 4, s 74-84

- [21] Zhang, N. Broderson, R. W. (2002) The Cost of Flexibility in Systems on a Chip Design for Signal Processing Applications. Berkeley Wireless Research Center. University of California, Berkeley.

A Riskanalys

Risker	Hur stor är risken att det inträffar (1-3)	Hur viktigt är det att åtgärda (1-3)	Summa (Multiplicera kolumner)	Kommentarer
Robotar:				
Robotarna krockar med varandra	2	3	6	
Signalfel ifrån robotskåp	1	3	3	
Vi har programmerat roboten felaktigt	2	3	6	
Roboten är felplacerad så att den inte når	2	3	6	
En robot är felkalibrerad så att dess koordinatsystem inte stämmer	2	3	6	
Förstör material i cellen vid våldsamt hantering	1	3	3	
Roboten kraschar	1	3	3	
Roboten är inte på plats i cellen	1	3	3	
Det finns ingen programvara för att hantera roboten	2	3	6	
PLC:				
Signalfel i kablar från PLC	1	3	3	
PLC är felaktigt programmerad	3	3	9	
Givare är felaktigt placerade	1	3	3	
PLC kraschar	1	3	3	
Det finns ingen programvara för att programmera PLC	2	3	6	
Montering av bil:				
Hålen sitter inte rätt placerade	1	3	3	
Olika storlekar på bilens delar	1	3	3	
Metoden för montering är för avancerad	2	3	6	
Roboten kommer inte åt för att montera alla karossdelar	2	3	6	
Fixtur:				
Fixturen blir ej klar	1	2	2	
Fixturen får signalfel	1	1	1	
Fixturen är inte tillräckligt noggrann	2	1	2	Då fixturen tillhör en annan grupp så är det inte vårt område att åtgärda
Fixturen är för svag och orkar inte hålla ihop bilen	1	2	2	
Fixturen tar för stor plats så att robotarna inte får plats i cellen	1	1	1	
Att fixturen inte är förslätande vid monteringsdifferanser	2	2	4	
Robotarna kommer inte åt kring fixturen	2	3	6	
Fixturen står på fel plats	1	2	2	
AGV:				
AGV är på fel plats	3	1	3	Det är en annan grupps arbetsområde
AGV stannar på olika platser varje gång	3	1	3	
AGV finns inte	3	1	3	
AGV är för hög eller för låg	2	2	4	
AGV rör sig för långsamt och låter övriga cellen vänta	1	1	1	Tid är inte den viktigaste faktorn i projektet
AGV kan inte leverera alla karossdelar	1	2	2	
AGV kan inte kommunicera med andra enheter	2	1	2	
AGV har ojämna fixturer	3	1	3	
AGV är oberäknlig och gör som den själv vill	2	1	2	
Verktyg:				
Verktygen greppar inte delarna	2	3	6	
Verktygen kommer inte åt delarna	1	3	3	
Verktygen slits ut väldigt snabbt	1	3	3	
Verktygen har felaktig TCP	1	3	3	
Verktygen är inte tillräckligt noggranna	2	3	6	
Verktygen klara inte av sin uppgift	1	3	3	
Verktygen är för tunga för roboten	1	3	3	
Verktygen har fel så sina givare	2	3	6	
Verktygen får problem med luft tillförsel	2	3	6	
Verktygen lossnar från roboten	1	3	3	
Verktygsväxlaren fungerar inte	1	3	3	
Verktygen har en felaktig konstruktion	2	3	6	
Transportband:				
Transportbandet står på fel plats	1	1	1	Det är en annan grupps område
Signalfel hos transportbandet	2	1	2	
Transportbandet kraschar	1	1	1	
Hissarna på transportbandet fungerar ej	2	2	4	
Transportbandet blir ej färdigmonterat	1	1	1	
Det kommer inget lego från transportbandet	1	2	2	
Övrigt:				
Det finns för lite tid för att färdigställa projektet	3	2	6	
Gruppen har för hög frånvaro	1	3	3	
Cellen är inte färdig inkopplad	2	3	6	
Övervakningssystemet fungerar inte	2	2	4	

En utförlig undersökning av begreppet flexibilitet med avseende på produktion