



Applicering av set-based-metod vid produkt- utveckling av fixtur och modellbil

Analys av praktisk studie med set-based som arbetsätt

Kandidatarbete i automation

EMIL HANSSON
JIMMY KLING
MARIA LUDVIGSSON
NIKLAS PALMKVIST
JOHAN WOLGERS

Institutionen för Signaler och system
Avdelningen för reglerteknik, automation och mekatronik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2012
Kandidatarbete 2012:05

KANDIDATARBETE I AUTOMATION

Applicering av set-based-metod vid produktutveckling av
fixtur och modellbil

Analys av praktisk studie med set-based som arbets sätt

EMIL HANSSON
JIMMY KLING
MARIA LUDVIGSSON
NIKLAS PALMKVIST
JOHAN WOLGERS

Institutionen för Signaler och system
Avdelningen för reglerteknik, automation och mekatronik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2012

Applicering av set-based-metod vid produktutveckling av fixtur och modellbil
Analys av praktisk studie med set-based som arbetssätt

EMIL HANSSON

JIMMY KLING

MARIA LUDVIGSSON

NIKLAS PALMKVIST

JOHAN WOLGERS

This thesis has been prepared using L^AT_EX

© EMIL HANSSON, JIMMY KLING, MARIA LUDVIGSSON, NIKLAS PALMKVIST,
JOHAN WOLGERS, 2012

Kandidatarbete 2012:05

ISSN 1654-4676

Institutionen för Signaler och system

Avdelningen för reglerteknik, automation och mekatronik

Chalmers Tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: +46 (0)31-772 10 00

Omslag:

Bild av fixtur med en delvis monterad bil.

TeknologTryck Chalmers

Göteborg, Sverige 2012

Applicering av set-based-metod vid produktutveckling av fixtur och modellbil
Analys av praktisk studie med set-based som arbetssätt
Kandidatarbete i automation

EMIL HANSSON

JIMMY KLING

MARIA LUDVIGSSON

NIKLAS PALMKVIST

JOHAN WOLGERS

Institutionen för Signaler och system

Avdelningen för reglerteknik, automation och mekatronik

Chalmers Tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Denna rapport är en studie i set-based som produktutvecklingsmetod, där två produkter har designats och utvecklats – en fixtur och en modellbil. Under utvecklingen av dessa två produkter har set-based-metoden tillämpats för att senare utvärdera och jämföra denna metod mot en mer traditionell produktutvecklingsmetod – point-based.

Vid utvecklingen av modellbilen upptäcktes svårigheter i tillämpningen av set-based. Detta på grund av begränsade kunskaper inom set-based-metoden i början av utvecklingsprocessen samt den tidspress som emellanåt blev påtaglig. Vid utvecklingen av fixturen hade kunskapen inom set-based ökat, vilket förenklade tillämpningen av metoden.

Flera fördelar konstaterades efter utveckling av de två produkterna. Bland annat att antalet efterjusteringar på slutprodukten minskades. Troligtvis berodde detta på att set-based grundar beslut på teori och tester, vilket leder till att den lösning som i slutänden används borgar för en tillfredställande funktion. Vid tillämpning av point-based är det vanligare med efterjusteringar på slutprodukten, då krav och antaganden av produkten görs i början av utvecklingsfasen när kunskapen är som lägst. Detta leder till att felaktiga antaganden görs om produkten, vilket leder till efterjusteringar på slutprodukten. Detta undviks till stor del vid set-based implementering då beslut skjuts upp till dess att tillräcklig kunskap finns.

Utvärderingen av set-based produktutvecklingsmetod visar på att denna metod är bättre än point-based, då slutresultatet minskar risken för efterjusteringar. Dock kan set-based vara svår att tillämpa om tidigare erfarenhet om metoden saknas, men med ökad kunskap inom området kommer tillfredställande resultat.

Nyckelord: set-based, fixtur, produktutveckling

ABSTRACT

This report is a study of a set-based approach in product development, where two products has been designed and developed – a fixture and a model of a car. During the development of these two products, the set-based method has been applied for later evaluation and comparison against a more traditional product development approach – point-based.

When developing the car difficulties were discovered in the application of set-based. The problems occurred because of the limited knowledge of the set-based method at the early stages of the development process, and the occasionally significant time pressure. Further development of the fixture led to an increased knowledge of the set-based method, which simplified the implementation.

Several advantages were found after the development of the two products. Among other things the number of adjustments on the final product was reduced. This was probably due to the fact that in set-based the decisions are made with theory and practical tests, which guarantee the final solution to ensure a satisfactory application. Final adjustments are more common when implementing point-based where assumptions are made early in the development process. The false assumptions concerning the concept of the product lead to late adjustments on the final product. When using set-based implementations the late adjustments are avoided, since decisions are postponed until there is sufficient knowledge.

The evaluation of set-based in product development shows better results compared to point-based, because of the lower risk of adjustments on the final solution. However, implementing set-based can be a hard task with a lack of prior experience on the method, although with increased knowledge within the area more satisfactory results will evolve.

Keywords: set-based, fixture, product development

Ett stort tack riktas till handledare och industridoktorand Kristofer Bengtsson, som har hjälpt och stöttat vår kandidatgrupp under processens gång. Vi tackar även de andra kandidatarbetsgrupperna vilka vi samarbetat med under projektets gång och som varit oss behjälpliga. Vi vill också passa på att tacka Henrik Kihlman på DELFOi som kommit med värdefulla tips till konstruktionen av fixturen. Ett sista tack vill också riktas till Anders Uddén, verkstadsansvarig på BoMek, som möjliggjorde serietillverkning av modellbilen.

ORDFÖRKLARINGAR

- * AGV - Automated Guided Vehicle, ett automatiserat självgående fordon som vanligen är laser- eller slingstyrt och används exempelvis för att transportera material.
- * CATIA - Datorapplikation vilken använts för att skapa digitala modeller och ritningar.
- * Fältbuss - Ett nätverk för att distribuera I/O i automatikprocesser.
- * Induktiv givare - En givare som känner av om någon metal placeras framför den utan att behöva röra den.
- * Infraröd givare - En givare som optiskt känner av objekt framför den.
- * I/O - Benämning av in- och utgångar i styrsystem och datorsammanhang.
- * Kesselringsmatris - En metod för att vikta olika funktioner i lösningar.
- * PLC - Programmable Logic Controller, programmerbart styrsystem vilket jobbar med logiska operationer, mycket vanligt inom industriapplikationer.
- * Point-based - Konventionell metod som används i produktutveckling för att få fram den bästa lösningen.
- * PROFIBUS - Öppen nätverksstandard för att överföra signaler inom industri, ovan nämnda system kommunicerar ofta genom detta protokoll.
- * Pughmatris - En metod för att ranka olika lösningar med avseende på hur bra de löser en uppgift.
- * Set-based - Metod som härstammar från Toyota, går i stort ut på att optimera lösningsgång genom att ha många lösningar öppna och iterativt bearbeta dem, se avsnitt 2.1.2 Grunder i utvecklingsmetoden Set-based.
- * Swing clamp - Pneumatisk cylinder vilken vrider sig samtidigt som den rör sig med en linjär rörelse.

INNEHÅLL

Sammanfattning	i
Abstract	ii
Ordförklaringar	v
Innehåll	vii
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Målformulering	2
1.4 Problemformulering	2
2 Teori	4
2.1 Produktutveckling	4
2.1.1 Grunder i utvecklingsmetoden Point-based	4
2.1.2 Grunder i utvecklingsmetoden Set-based	6
2.1.3 Set-Based (Concurrent Engineering) principer	8
2.1.4 Checklistor, begränsnings- och avvägningskurvor	10
2.1.5 Rapportens definition av set-based-metoden	11
2.2 Fixturkonstruktion - Allmänna riktlinjer	11
2.3 Pneumatiska cylindrar	14
2.4 Givare	14
2.5 PLC-Styrning	15
3 Metod	16
4 Tillverkningscellen	17
5 Tillämpning av set-based vid produktutveckling	19
5.1 Tillämpning av set-based vid design av en modellbil	19
5.2 Tillämpning av set-based vid design och utveckling av fixtur	23
5.2.1 Fixering av bottenplatta med L-formade swing-clamps	25
5.2.2 Fixering av bottenplatta med sidospännande fixering	25
5.2.3 Fixering av bottenplatta med utspännande klämmor	26
5.2.4 Fixering av bottenplatta med swing-clamp i hjulhusen	27
5.2.5 Fyra stödpunkter för bottenplatta	28
6 Diskussion	37
7 Slutsats	41
A Appendix	42

A.1	Riktlinjer	42
A.1.1	Förteckning över riktlinjer för bil	42
A.1.2	Företeckning över riktlinjer för fixtur	42
A.2	Beskrivning över färdigställd bil	42
A.3	Beskrivning över färdigställd fixtur	43
A.4	Ritning över bil	47

1 Inledning

Under inledningskapitlet kommer övergripande bakgrund och historia som har betydelse för projektet tas upp. Vidare beskrivs också vad projektet har för syfte och målsättning. Under problemformuleringen definieras de frågeställningar rapporten kommer ta upp och utreda.

1.1 Bakgrund

År 1961 introducerades den första industriroboten, Unimate (Bayegan 2005). Den installerades samma år hos General Motors och var konstruerad för att kunna stapla heta bitar av gjuten metall (Teresko 2002). År 1974 presenterade det svenska företaget ASEA den första helelektriska industriroboten, vilket skilde sig från tidigare hydrauliskt drivna robotar (Bayegan 2005). Utvecklingen av robotarna fortsatte och de fick allt mer komplexa uppgifter inom tillverkningsindustrin som till exempel målning, båg- och punktsvetsning (Bayegan 2005).

Dagens industrirobot har mycket god repeterbarhet (Bayegan 2005), vilken enligt Greenway 2000 definieras som robotens förmåga att upprepade gånger återvända till samma punkt. För att utnyttja denna förmåga krävs att det arbetsstycke som roboten bearbetar har en väldefinierad plats och att arbetsstycket kan styras in på denna position vid upprepade tillfällen. Lösning på detta problem fås genom en fixtur, en enhet vilken positionerar och fixerar det bearbetade objektet (Drake 1989).

Gemensamt för de flesta fixturer är att de har en styranordning av något slag, klämmor, stöd och en fixturkropp (Nee 2004). Styranordningen har till uppgift att styra in detaljen på rätt position i fixturen innan arbetsstycket fixeras. Klämmorna fixerar biten och stöden ger extra support för detaljen där den riskerar att deformeras på grund av tryck från klämmorna eller arbetsprocessen. Fixturkroppen är den konstruktion som binder samman exempelvis stöd, klämmor och styranordning, till en fungerande fixtur (Nee 2004). För mer avancerade fixturer gäller att klämmorna vanligen är pneumatiskt eller hydrauliskt styrda (Nee 2004). Komplexa fixturer bör även kunna avgöra om detaljen är korrekt placerad och varna vid felplacering (*Robotics and Fixtures Coming Together* 2012). För denna uppgift krävs sensorer som kan kommunicera med exempelvis en PLC (*programmable logic controller*) (*Welding fixtures for robotic welding* 2012-04-02).

Utveckling och konstruktion av en fixtur kan vara både tidskrävande och omständlig (*Computer aided fixture design: Recent research and trends* 2012). Det är dock mycket viktigt att fixturen blir korrekt designad från början då fyrtio procent av alla feltillverkade detaljer kan bero på en icke tillräcklig fixturdesign (*Computer aided fixture design: Recent research and trends* 2012).

Vid utveckling av en fixtur finns ett flertal utvecklingsmetoder att tillgå. Denna rapport kommer att vara en studie i set-based produktutvecklingsmetod. Enligt (Singer och

Buckley 2009) kan denna metod sammanfattas som följer: I början av designprocessen sätts några övergripande krav och flera designförslag påbörjas parallellt med varandra. Mängden av designförslagen hålls öppen så länge som möjligt för att sedan smalna av, allteftersom en optimal lösning börjar framträda och förfinas. När uppsättningen av förslag minskas, på grund av eliminering, så ökar också detaljrikedomen i förslagen.

Set-based kan därför vara en möjlig metod för att bemöta problemen inom produktutveckling. Genom att implementera metoden för projektet kan det undersökas hur produktutveckling fungerar under dess premisser. Det kan vidare undersökas och redovisas vilka för- respektive nackdelar som tillkommer mot den traditionella point-based produktutvecklingsmetoden.

1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att, vid design, framtagning och konstruktion av en produkt och dess fixtur, använda set-based-metoden för att undersöka samt utvärdera tillämpning, effektivitet och effekter av modellen.

1.3 Målformulering

Målsättningen med rapporten är att ge en inblick i hur väl set-based fungerar vid tillämpning i produktutveckling. Rapporten skall även tydliggöra skillnader mellan point-based och set-based, samt presentera för- och nackdelar med set-based.

1.4 Problemformulering

Det uppstår många problem i samband med traditionell produktutveckling av integrerade system. Större system som består av flera mindre system benämns vanligen *integrerade system*. Set-based kan vara en lösning som svarar mot problemen. Utmaningen ligger i att jämföra metoden mot traditionella metoder och att undersöka hur produktutveckling fungerar med set-based-metoden.

Problem tillkommer under utveckling av integrerade system eftersom de är komplext sammansatta. Även om det finns en kravspecifikation, skapad av kund eller inom projektet, är det svårt att förutse vad som kommer krävas av produkten vid projektets slut. I de fall en kravspecifikation skapas kan denna komma att innehålla antaganden om krav till funktioner baserade på gissningar om framtida behov. Det är ett problem om kraven ändras allteftersom processen fortlöper och tillkommande justeringar behöver göras i efterhand, vilket kan bli kostsamt.

Ett återkommande dilemma inom produktutveckling är att avgöra vilken lösning som bäst uppfyller krav och funktion. Lösningar har olika egenskaper som traditionellt viktas

mot varandra via matriser, i syfte att välja det bästa alternativet. I ett helhetsperspektiv har lösningarna olika egenskaper som främjar andra funktioner vilket är svårt att se vid viktning. Lösningssmotiveringarna blir lätt subjektiva och det är mycket svårt att veta om den bästa lösningen för slutsystemet verkligen valts.

Fokus läggs traditionellt på att få klart systemet tidigt istället för att lägga tid på att genomföra tillräckliga tester. Beslut grundas överlag på teoretiska resonemang och simuleringar, vilket kan leda till problem när teorin testas och lösningen inte fungerar i verkligheten. En motivering för att använda point-based-metoden är att rätt lösning väljs från start. Dock är detta väldigt svårt då en helhetssyn ofta saknas, vilket leder till problem då ändringar tillkommer senare i utvecklingen.

2 Teori

Detta kapitel kommer att behandla den teori som anses relevant för denna studie. Teorin som presenteras beskriver bland annat point-based- och set-based-metoden, teorier kring fixturkonstruktion, samt enklare förklaringar kring relevanta tekniska komponenter. Definitioner som kommer att användas i rapporten tas också upp i det här kapitlet. Läsaren bör framför allt lägga fokus på att förstå teorierna som behandlar produktutvecklingsmetoder (point-based och set-based). Detta för att senare kunna förstå de resonemang som förs i avsnitt 6 Diskussion.

2.1 Produktutveckling

Det finns olika metoder vid produktutveckling för integrerade system. Traditionellt sett används point-based-metoden som tidigt fokuserar på satta lösningar för varje funktion, vilket dock medför vissa svårigheter vilka utreds närmare i avsnitt 2.1.1 Grunder i utvecklingsmetoden Point-based. För att frångå dessa svårigheter utvecklades set-based-metoden som istället fokuserar på en mängd av lösningar för varje funktion. Lösningarna fastställs först när det finns underlag för att ta beslut.

2.1.1 Grunder i utvecklingsmetoden Point-based

Traditionellt utgår produktionsutvecklingsteam från punkter i en lösningsrymd, så kallad point-based-metod (Holmdahl 2010). Punktlösningarna tas fram med brainstorming utifrån den kravspecifikation som satts upp av antingen kund eller utvecklingsteamet (Ward 2009). Beslut tas tidigt baserade på uppskattningar och gissningar kring framtida funktionsbehov med hjälp av bland annat pugh- och kesselringmatriser. Koncepten utvecklas därefter individuellt på detaljnivå i olika team. De delsystem som skapats testas av respektive produktutvecklingsgrupp (Ward 2009). Därefter sammanfogas punkterna för att få fram en slutlösning som sedan också testas. Systemet med lösningar blir känsligt och även små förändringar kan innebära en iteration som går långt tillbaka och medför komplexa ändringar. Dessa längre iterationer och tillkommande ändringar medför en kraftig kostnadsökning och kan även innebära att projektet helt läggs ned då slutlösningen inte fungerar. När det slutliga systemet når produktion upprepas den beskrivna processen där (Ward 2009). I figur 2.1.1 illustreras hur en lösning på ett tidigt stadiet vid point-baseutveckling bestäms och därefter förfinas för att nå målet. Som tidigare nämnt kan mindre problem i slutet av processen medföra att proceduren måste gå tillbaka många steg och upprepa utvecklingen, för att på detta vis korrigera för ändrade förutsättningar.



Figur 2.1.1: *Point-based-metod: En lösning fastställs och vidareutvecklas på detaljnivå i flera steg.*

Ward 2009 beskriver point-based tillvägagångssätt enligt följande sammanfattade åtta steg:

1. Krav och önskemål definieras i en kravspecifikation.
2. Koncept tas fram genom brainstorming och/eller liknande.
3. Ett koncept väljs av produktutvecklingsgruppen.
4. Konceptet utvecklas på detaljnivå. Systemet delas upp i delsystem. Dessa delsystem tilldelas olika produktutvecklingsgrupper som därefter ställer upp krav.
5. Grupperna testar delsystemen.
6. Det framtagna helhetssystemet testas.
7. Efter test görs förbättringar vilket kan leda till fortsatt arbete med ursprungsidéen eller nedläggning av projektet.
8. Processen upprepas för produktion.

I beslutsprocessen används olika typer av matriser som kesselring- och pughmatriser. Kesselring används för att vikta lösningsalternativ utifrån hur bra de löser funktionerna. Pughs konceptmatris summerar de olika lösningarna, gärna med en visuell bild som beskriver hur lösningen fungerar, och i matrisen fastställs därefter vilka kriterier som ska utvärderas (Burenium och Lindstedt 2006). Grunden för kriterierna ligger på aspekter som komplexitetsgrad, kundvärde, antalet funktioner, robusthet och riskuppskattning (Burenium och Lindstedt 2006). En referenslösning väljs och jämförs parvis med övriga lösningsförslag. Om lösningen som jämförs mot referensen är ett bättre alternativ tilldelas den ett plus, om den är sämre tilldelas den ett minus och om den är lika bra tilldelas den ett s. Viktningsgången upprepas på detta sätt parvis för alla lösningsalternativ. Antalet plus och minus för vardera lösningsalternativ adderas, där högre poäng motsvarar ett bättre koncept. Ett bästa lösningsalternativ bör därefter kunna väljas dock med viss övervägning då ett koncept med många minus fortfarande kan vara ett bra alternativ, däremot bör ingen viktning göras då fokus kan förflyttas från viktiga delar eller helhetsperspektiv (Burenium och Lindstedt 2006).

Det uppstår problem då tidiga beslut tas utan verklig grund och följaktligen svårigheter att få ihop de olika lösningarna (Holmdahl 2010). Dessutom är det svårt att veta om det är det bästa lösningsalternativet som tagits fram eller i slutändan om systemet fungerar alls. Viss design ifrågasätts inte tillräckligt medan annan design överbelastas eftersom många

beslut grundas på gissningar (Ward 2009). Problem skapas också på produktionsnivå då gissningar och antaganden även gjorts för framtida möjlighet till tillverkning. På grund av den press som påförs produktion kan kvalitets- samt genomförbarhetsproblem uppstå då kapacitet helt enkelt inte finns (Holmdahl 2010) (Ward 2009). Utmärkande för point-based baserade projekt är att det ofta är tidsbrist mot slutet och att projekt avslutas ofärdiga för att kompletteras i efterhand. Risken för att projekt läggs ned helt och hållet är överhängande då det inte med säkerhet kan garanteras att funktionerna tillgodoses i tillräcklig utsträckning. Lösningsgången blir dessutom subjektiv då matriser som Kesselring och Pugh används.

2.1.2 Grunder i utvecklingsmetoden Set-based

Set-based är en metod som utvecklats av Toyota och används inom produktutveckling. Traditionell produktutveckling där point-based tillämpas medför svagheter vilket tas upp av Holmdahl 2010 som poängterar att det var just därför Toyota började utveckla set-based vilken är en metod uppbyggd för att undvika point-based svagheter. Liknande resonemang förs av Sobek II, Ward och Liker 1999 som beskriver hur Toyota implementerar set-based genom att överväga ett bredare spektra av möjliga lösningar, istället för att fokusera på ett lösningsalternativ i taget enligt point-based-metoden, vilket många andra tillverkare i bilindustrin gör.

Set-based-metoden innebär enligt Sobek II, Ward och Liker 1999 att en mängd möjliga lösningar tas fram och utvärderas, där mängden lösningar därefter gradvis minskas ned och konvergerar till en slutlösning. Metoden medför en fördröjning av beslut då flera alternativ utvärderas samtidigt och beslut endast tas där underlag finns. Kunskap om de olika dellösningarna byggs upp under processens gång och egenskaper vägs efterhand mot varandra (Holmdahl 2010). Ward 2009 utvecklar definitionen med att tillägga att dellösningarna utvärderas för varje system utifrån aspekter som möjlighet att tillverka, kostnadsanalys och funktionsduglighet. Otillräckliga och på annat sätt bristande lösningar elimineras utifrån analyser, försök och erfarenhet. Lösningarnas detaljrikedom ökar med ökande kunskap vilket leder till eliminering eller fortsatt bearbetning och slutligen återstår endast ett lösningsalternativ, se figur 2.1.2.



Figur 2.1.2: *Set-based-metod: Principbild över lösningsgång. Startar med en mängd lösningar som gradvis minskas ned då detaljnivån ökar. Lösningsmängden konvergerar till en optimerad slutlösning.*

Ward 2009 beskriver set-based tillvägagångssätt enligt följande sex steg.

1. Det system som ska utvecklas inom projektet delas upp i delsystem och undersystem till delsystemen.
2. Bredda mål identifieras för de enskilda systemen och delsystemen.
3. En mängd lösningar tas fram inom målen för systemen där både produkt- och produktionsaspekter inkluderas.
4. Lösningarna sätts samman till koncept där beslut tas genom integration och eliminering baserade på bland annat kund- och konkurrensbehov. Koncepten utvärderas och elimineras om de inte fungerar tillfredsställande eller brister på annat sätt, exempelvis medför en alltför hög kostnad.
5. Den kunskap som tillhandahålls i samband med utvärderingen av koncepten förs in i trade-off kurvor. Kurvorna delger därmed information om vart gränserna går för möjlig design.
6. Mängden av möjliga lösningar smalnar av i samband med utvärderingen till följd av ökad detaljrikedom, kostnadsuppskattning och inriktning mot fungerande koncept. En optimerad slutlösning som dessutom är välbeprövad nås efter den systematiska genomgången.

Fördelarna med att använda set-based framför point-based är många. Mängden genererar mer robusta och optimerade system med större effektivitet, än den traditionella point-based metoden då fokus ligger på en idé i taget (Clark 1991). Då ingen kravspecifikation görs i början kan delsystem lättare sättas samman vilket möjliggör integrering och skapar koncept som kan ge kunden en ny syn på vad de egentligen vill ha (Ward 2009). Teoretiskt

sett kan set-based tillämpas utan behov av att gå tillbaka för att göra om, i verkligheten har behovet av tillkommande ändringar minskat avsevärt i kontrast mot point-based (Sobek II, Ward och Liker 1999).

En grundtanke med set-based-metoden, är att skapa flexibla utvecklingssystem där ändringar i design kan göras utan att, eller med små bakslag till följd vid ändringar i omgivande system (Ward 2009). Projektet kan framföras och avslutas med ett färdigt resultat inom kortare tidsperiod än vid point-based tillämpning. Den totala kostnaden för systemet som helhet blir därmed lägre, dels med avseende på tidsaspekt och dels med avseende på minskade kostnader för oförutsedda ändringar. Risken för att projektet ska läggas ned är också betydligt mindre vid set-based tillämpning på grund av den flexibilitet de robusta lösningarna medför. Vunnen kunskap sparas och blir lättillgänglig via de avväggnings- och begränsningskurvor samt checklistor som skapas, vilket medför en ytterligare fördel då kunskap varken går förlorad eller att endast ett fåtal har tillgång till den (se avsnitt 2.1.4 Checklistor, begränsnings- och avväggningskurvor) (Ward 2009) (Holmdahl 2010). Det medför även en viss standardisering där lösningar kan användas på flera ställen samt i flera olika modeller. Innovationsgraden ökar inom projekt som tillämpar set-based då det robusta systemet tillåter utsvängningar och större risker i enskilda dellösningar (Holmdahl 2010).

Anledningen till att set-based-metoden inte används inom industrin är med motiveringen att det blir både dyrt och ineffektivt med korta iterationer. Det är bättre att göra "rätt" från början, enligt point-based-metod, och fokusera resurserna på att utveckla en lösning (Holmdahl 2010). Därutöver finns en allmän åsikt att utvärdering av fler koncept medför en ökad kostnad. Tyvärr är den "rätta" lösningen ofta långt ifrån optimal i alla avseenden, vilket leder till längre iterationer och stor påverkan på hela systemet vid sena ändringar. Fler koncept innebär inte heller en ökad kostnad då koncepten endast utvärderas generellt istället för missuppfattningen att alla utvecklas på detaljnivå. Dessutom kräver traditionell produktutveckling intensiv kommunikation mellan projektgrupperna, resultatet blir att mycket tid läggs på möten. Set-based tillämpning innebär däremot ett arbetssätt där projektgrupperna kan lägga mycket tid på att utveckla produkten inom den egna gruppen (Holmdahl 2010). Arbetssättet blir därmed i större grad kunskapsbaserat vid set-based tillämpning.

2.1.3 Set-Based (Concurrent Engineering) principer

Tre principer skapar ramen för set-based-metoden enligt (Holmdahl 2010) och (Sobek II, Ward och Liker 1999). Principerna tillåter parallell design av delar uppdelade mellan olika ingenjörsgupper samtidigt som de flätas samman till ett system via kommunikation mellan grupperna. Kommunikation som främst sker med dokumenterad information. (Holmdahl 2010) (Sobek II, Ward och Liker 1999).

Princip ett "Kartlägg lösningsgrunden" (Holmdahl 2010). I starten av projekt undersöks hela lösningsgrunden och en mängd lösningar tas fram utifrån undersökningen genom brainstorming. Lösningarna skapas med hänsyn till aspekter som applikation, kostnadsanalys och möjlighet att tillverka. Kunskapen baseras på tidigare erfarenheter inom området,

via tester och analys samt genom att använda checklistor. Checklistorna bidrar med uppdaterad information om möjligheter med ny teknik och i allmänhet vad som för närvarande kan göras och skickas systematiskt mellan ingenjörsgupper (se avsnitt 2.1.4 Checklistor, begränsnings- och avvägningskurvor för vidare beskrivning av checklistor) (Sobek II, Ward och Liker 1999). Den nyvunna kunskapen om funktionernas egenskaper dokumenteras i avvägnings- och begränsningskurvor (Holmdahl 2010). Allt detta skapar tillsammans en kartläggning av lösningsgrunden.

Princip två "Integrera överlappningar" (Holmdahl 2010). De olika mängderna med möjliga lösningar integreras för att optimera prestandan för det totala systemet. Det innebär att nedströms (produktions) och uppströms (projektutvecklings) ingenjörsgupper utvärderar lösningsmängden baserade på bästa lösningsalternativ sett ur deras respektive perspektiv. Utifrån dessa utvärderingar kan skärningspunkter hittas och lösningsgrunden integreras överlappningsvis mot en helhetsmässigt bra lösning (Sobek II, Ward och Liker 1999) (Holmdahl 2010).

Princip tre "Fastställ att det fungerar innan du bestämmer dig" (Holmdahl 2010). Princip tre syftar till tillvägagångssättet inom set-based med utgångspunkt från ett brett spektra av lösningar, vilka därefter utvärderas inom lösningsgrunden, med minskning av antalet lösningar till följd av eliminering. Genom kontinuerliga utvärderingar sker en gradvis inriktning mot detaljnivå och fastställande av genomförbarhet i de olika leden. Princip tre innebär således att framtida problem vad gäller genomförbarhet undviks till stor del. Projektgrupperna skapar inga lösningar utanför det förbestämda parameterspannet och samtliga lösningar testas och utvärderas innan de utvecklas på detaljnivå, därmed fastställs genomförbarhet. Slutjusteringar tillkommer alltid men vid tillämpning av princip tre blir de teoretiskt mycket färre (Sobek II, Ward och Liker 1999) (Holmdahl 2010).

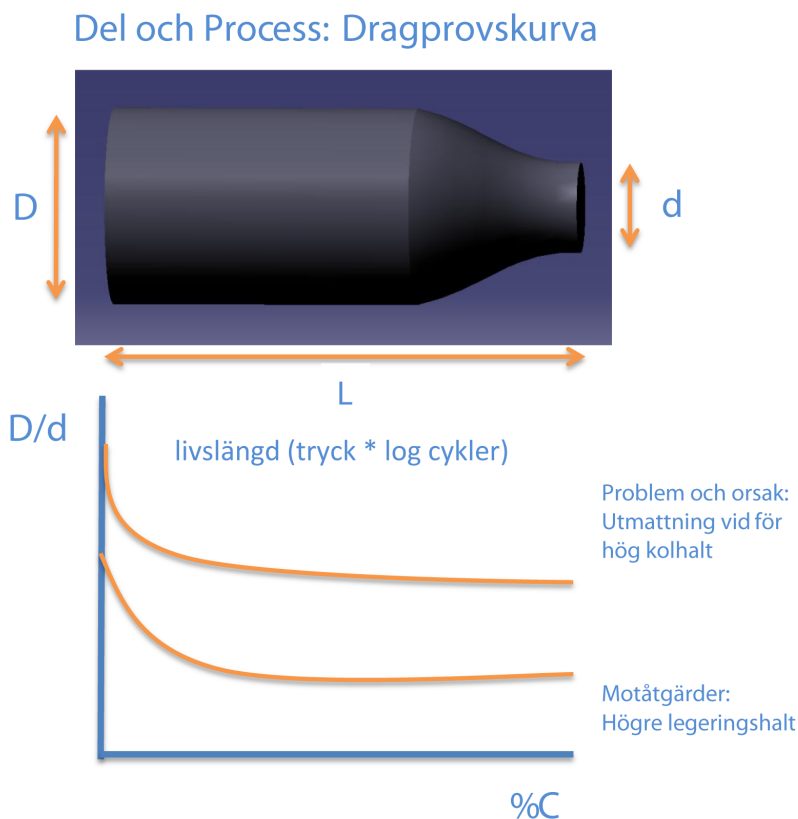
Tillämpningar av de 3 principerna

För att belysa hur dessa principer implementeras i verkligheten används Toyota som exempel. Till att börja med undersöker Toyota ett större antal bilmodeller och prototyper av dessa byggs i mindre skala, vilka därefter utvärderas och testas. Av dessa behålls minst två lösningsmodeller som görs i fullskala (Sobek II, Ward och Liker 1999). Eftersom Toyota gör så många tidiga modeller behöver de endast göra runt trettio i fullskala, i kontrast till andra biltillverkare som skapar modeller för endast en lösning i fullskala och då upp till flera hundra på grund av förändrade förutsättningar (Ward 2009). Ändringar görs därefter för att denna lösning ska fungera. Toyota fortsätter med att skapa översiktsplaner för flera olika designers och jämför deras möjligheter att tillverkas (Sobek II, Ward och Liker 1999). En bredare evaluering av alternativ som blir snävare allteftersom en gradvis minskning av möjliga lösningar sker. När processen nått tillverkningsstadiet låter Toyota tillverkarna producera delar så nära CAD-ritningar de kan och stoppar de delar som behöver modifieras för att först därefter passa ihop delarna (Sobek II, Ward och Liker 1999). Denna typ av metod kallas funktionellt byggande men kommer inte beröras vidare i denna text. Toleranser sätts först därefter, när ingenjörerna vet tillgänglig tillverkningskapacitet. Ingenjörsmetodiken upprepas och uppdateras för varje del, av respektive dels ansvariga

ingenjörsgupper. Samtidigt uppdateras även en checklista som beskriver rådande tillverkningskapacitet (Sobek II, Ward och Liker 1999). Checklistan används senare i processen och för efterföljande utvecklingsprojekt som på så sätt effektiviseras.

2.1.4 Checklistor, begränsnings- och avvägningskurvor

Begränsnings- och avvägningskurvor är verktyg där kunskap skapas utifrån data. Toyota sammanställer dessa på A3 ark med en bild, förklarande text, orsaksanalys, motåtgärder samt med den kurva som visar under vilka förhållanden fel uppstår (Ward 2009). Exempel på hur detta kan se ut är dragprovskurvor visas i figur 2.1.3.



Figur 2.1.3: Illustration av en begränsningskurva vid ett dragprov.

Kurvan används för att visuellt representera tillgänglig sammanställd data och därmed

skapas kunskap kring möjlig konstruktion. Den är lätt att överblicka och förstå vilket gör den lättanvänd för produktutvecklare. Utifrån begränsnings och avvigningskurvor skapas därefter checklistor där specifika punkter i kurvorna används för att få ett kompakt verktyg vid designutveckling. Kurvorna skapas och uppdateras kontinuerligt under produktutvecklingsprojekt av personer i projekten.

Fördelen med att använda begränsnings- och avvigningskurvor är att kunskapen som sparas både är lättillgänglig och lättöverskådlig. Produktutvecklaren behöver inte göra om jobbet varje gång och testa sig fram utan data för design och konstruktion finns tillgänglig från start. Ny teknik och ny utveckling uppdateras utan svårigheter, vilket gör att samtida möjligheter finns presenterade.

2.1.5 Rapportens definition av set-based-metoden

Utifrån teorin för set-based skapas följande definition, vilken används genomlöpande i rapporten:

1. Ta fram en mängd av lösningsförslag till problemet som ska lösas.
2. Skaffa kunskap om de olika förslagen genom praktiska tester eller teoriundersökningar. Skjut upp avgörande beslut tills dess att tillräcklig kunskap finns. Uteslut de lösningar där tester eller teori visar på att de inte kommer att fungera. Eliminering av lösningar måste baseras på fakta.
3. Då endast en lösning kvarstår ska den realiseras. Om detta ej är fallet, ska fler tester och teoriundersökningar genomföras tills dess att endast en lösning kvarstår som alternativ (dvs. upprepa steg två).

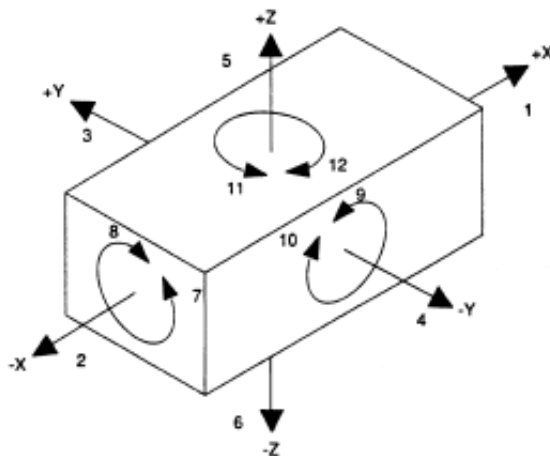
2.2 Fixturkonstruktion - Allmänna riktlinjer

En fixtur är konstruerad för att styra in, fixera och ge stöd åt ett arbetsstycke på en förutbestämd position (Nee 2004). Den är oftast designad för att positionera och fixera en specifik detalj och har ett flertal applikationsområden inom automatiserad industrin. Fixturer används bland annat inom svetsning, montering och kontroll (Nee 2004).

Konstruktionen av en fixtur kan delas in i tre steg: Informationsframtagande av hur objektet ska fixeras, placering av styranordningar, stöd och klämmor samt själva designen av fixturen. Första steget innefattar undersökning av fixeringsobjektet såsom vart verktyg kan tänkas komma åt att gripa tag i detaljen, utformningen av objektets struktur och i vilken ordning de olika händelseförloppen i fixturen ska ske. I det andra steget utses lämpliga kontaktpunkter på arbetsstycket för stöd, klämmor och styranordningar. Viktigt är att dessa punkter inte hindrar ingrepp på fixeringsobjektet. I det sista steget utformas fixturens helhetsdesign, vilken oftast byggs utifrån objektet som ska fixeras (Nee 2004). Styranordningen är en detalj som justerar in objektet till rätt position och tar upp de primära krafterna från bearbetningen (Liao 2003). Exempel på dessa är: Styrpinnar,

ytor som är formade efter objektet och klossar. Stöden kan vara kombinerade med styrordningarna för att minska antalet ingående delar i fixturen. Dess huvuduppgift är att förhindra att objektet deformeras vid fixering. Klämmorna fixerar objektet mot stöden och styrypinnarna för att säkerställa objektets position. Denna uppgift kan även utföras av exempelvis magneter och sugkoppar (Nee 2004).

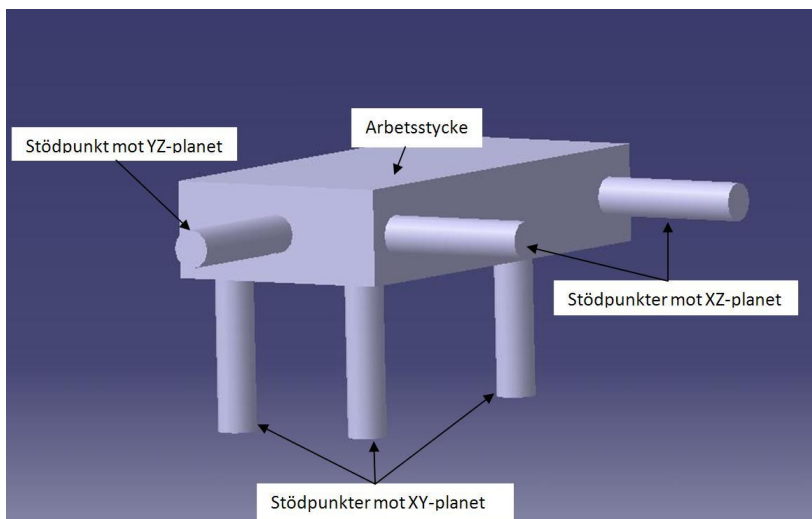
För att lösa problemet med att fixera arbetsstycket, bör dess frihetsgrader tas i beaktande. Det finns två sätt att benämna hur många frihetsgrader ett arbetsstycke har. Det första är att benämna det som sex stycken frihetsgrader, tre är längs x-,y- och z-axeln och tre är rotationen runt varje axel. Den andra definitionen är tolv stycken frihetsgrader, sex stycken axiella och sex stycken radiella (Liao 2003), se figur 2.2.1. Båda systemen beskriver samma rörelser, i den förstnämnda har de positiv och negativ riktning och i den andra beskrivs de som separata riktningar. I denna rapport kommer definitionen med tolv frihetsgrader att användas. Arbetsstycket kan alltså röra sig i positiv och negativ riktning i x-,y- och z-led, samt moturs respektive medurs kring vardera axel (Liao 2003).



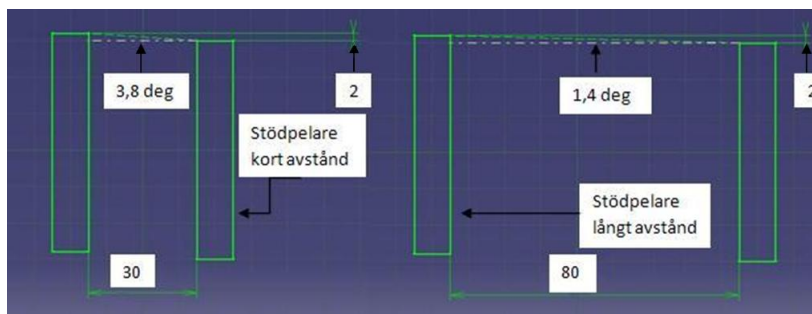
Figur 2.2.1: Schematisk bild över de tolv frihetsgraderna.

För att fixera dessa 12 frihetsgrader kan exempelvis 3-2-1-metoden användas. 3-2-1-metoden använder sex styrordningar eller stöd för att begränsa totalt nio frihetsgrader vilket illustreras i figur 2.2.2. Resterande tre frihetsgrader begränsas med hjälp av klämmor. De tre första stöden placeras för att ge stöd åt exempelvis xy-planet, vilket medför att biten inte kan förflyttas negativt z-led eller vridas kring varken x- eller y-axeln, som i sin tur leder till att totalt fem frihetsgrader begränsas. Nästkommande två stöd kan till exempel placeras mot xz-planet. Vidare leder detta till att arbetsstycket nu också förlorar sina frihetsgrader i negativt y-led och kring z-axeln. Alltså ytterligare tre frihetsgrader som avgränsas och en kvar att begränsa. Den sista frihetsgraden begränsas genom att placera ett sista stöd mot yz-planet vilket leder till att biten inte kan förflyttas i negativt x-led. Sammanlagt

har nio frihetsgrader begränsats av sex stöd. De kvarvarande tre frihetsgraderna fixeras genom att applicera tre klämmor som trycker mot det tre stödplanen. Vid användning av metoden är det viktigt att stöden sätts långt ifrån varandra eftersom små skillnader i höjdlängd med ett litet avstånd mellan stöden ger ett stort vinkelfel, då stödpunkterna flyttas isär minskas felet, som illustreras i figur 2.2.3. Om stöden sitter nära varandra kommer dessa små variationer, mellan stöden, alltså att resultera i större fel längre bort från stödpunkterna (*Locating and clamping principles* 2012).



Figur 2.2.2: 3-2-1 metoden: Tre stödpunkter xy -planet, två i xz -planet och en i yz -planet.

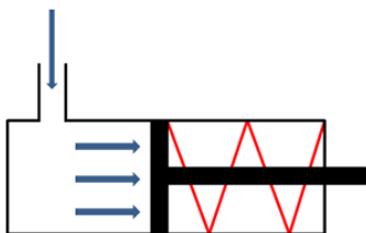


Figur 2.2.3: Illustration av vinkelfel beroende på avstånd mellan stödpunkter.

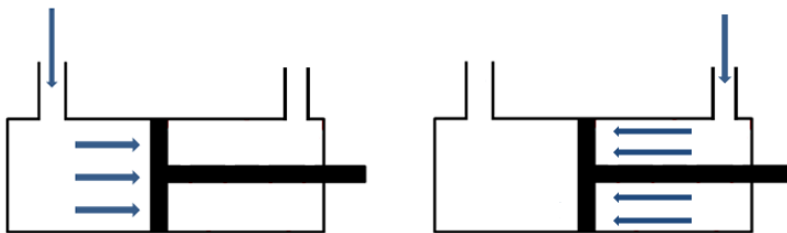
Vid design av fixturer är det viktigt att inte överfixera, det vill säga fixera en frihetsgrad mer än en gång, då detta leder till kvalitetsproblem med den färdiga produkten och fixturen kan bli dyrare. Eftersom arbetsstyckenas mått aldrig är exakt lika kan de små differenserna leda till att produkten hamnar fel vid överfixering (Hoffman 2004).

2.3 Pneumatiska cylindrar

Pneumatiska cylindrar skapar en linjär rörelse genom att nyttja kraften från tryckluft som sätter en pistong i rörelse (Majumdar 1996). Enligt Majumdar 1996 kan pneumatiska cylindrar delas upp i tre kategorier, lätt arbete, medeltungt arbete och tungt arbete – vilka syftar till belastningen på cylindrarna. Dessa kategorier kan delas in i enkelverkande eller dubbelverkande cylindrar (Majumdar 1996). Skillnaden mellan de två varianterna ligger i hur pistongen transporteras tillbaka till sitt ursprungsläge. Den enkelverkande cylindern använder en fjäder för att skjuta tillbaka pistongen som visas i figur 2.3.1 och den dubbelverkande använder tryckluft både för att skjuta fram och tillbaka pistongen som visas i figur 2.3.2a och 2.3.2b (Majumdar 1996).



Figur 2.3.1: *Princip för enkelverkande cylinder med fjäder.*



(a) *Dubbelverkande cylinder - pistong ut.* (b) *Dubbelverkande cylinder - pistong in.*

Figur 2.3.2: *Princip för dubbelverkande cylindrar.*

2.4 Givare

Enligt Graham, Jubrink och Lauber 1990 är en givare en anordning som har till uppgift att omvandla en fysikalisk storhet till en annan, vanligtvis elektrisk. Några exempel på storheter som kan omvandlas är längd, vikt, tryck och töjning. Dessa omvandlas sedan till

en elektrisk spänning, ström eller impedans, då dessa kan transporteras längre sträckor och enkelt behandlas av mottagarenheten. Begreppet givare innefattar även att det ingår en signalbehandlingsdel, utöver detekteringen av den fysikaliska storheten (Graham, Jubrink och Lauber 1990).

Rätt givare i styrsystem är en förutsättning för att kunna skicka rätt styrsignaler. I denna tillämning är rätt typ av, och rätt placering av givare nödvändigt detektera att respektive del är på plats alternativt detektera att respektive del inte är på plats.

2.5 PLC-Styrning

Vid automatiserade processer inom industrin används ofta en typ av datorsystem benämnda *PLC (Programmable Logic Controller)*. På många sätt är PLC:n ekvivalent med vanliga skrivbordsdatorer genom dess uppbyggnad med in- och utgångsportar, minne, processor och strömförsörjning (Larsson 2012-02-01).

Systemet arbetar cykliskt genom att läsa av insignaler och spara dessa till minnet. Därefter används insignalerna av programmet, vilket oftast består av logiska operationer, för att generera utsignaler som skrivs till utgångsportarna. Varefter programmet är färdigt och börjar om på nytt med att läsa av ingångsportarna. PLC-systemen är konstruerade för att vara tillförlitliga, samt ha god motståndskraft mot elektriska- och magnetiska fält, vibrationer och fukt. Dessa faktorer torde vara en viktig faktor till PLC-systemens utbredning inom industrin (Larsson 2012-02-01).

PLC-enheten kommunicerar ofta i ett nätverk i realtid genom en så kallad fältbuss, en digital kommunikationsbuss som kommunicerar med automatiseringsutrustning så som givare, robotar, ställdon etc. Det finns flera fördelar med att använda någon form av fältbus i en automatiseringsprocess. Installationskostnader kan exempelvis minskas genom att endast en bussledning dras vilken distribuerade enheter ansluts till, även vid om- och tillbyggnad förenklas förändringen genom att de endast ansluts till den distribuerade slingan. Några förekommande fältbussstandarder är AS-Interface, PROFIBUS, DeviceNet med flera (Ghodrat 2003).

3 Metod

För att besvara de problem som tas upp i problemformuleringen angående produktutveckling kommer en studie i set-based produktutvecklingsmetod att genomföras. Denna studie kommer att baseras på två utvecklingsprojekt. I det första projektet kommer en modellbil att designas och tillverkas. Modellbilens ingående karosdelar ska placeras i en fixtur, vilken är den andra produkten som ska utvecklas och tillverkas för att kunna utvärdera set-based som produktutvecklingsmetod.

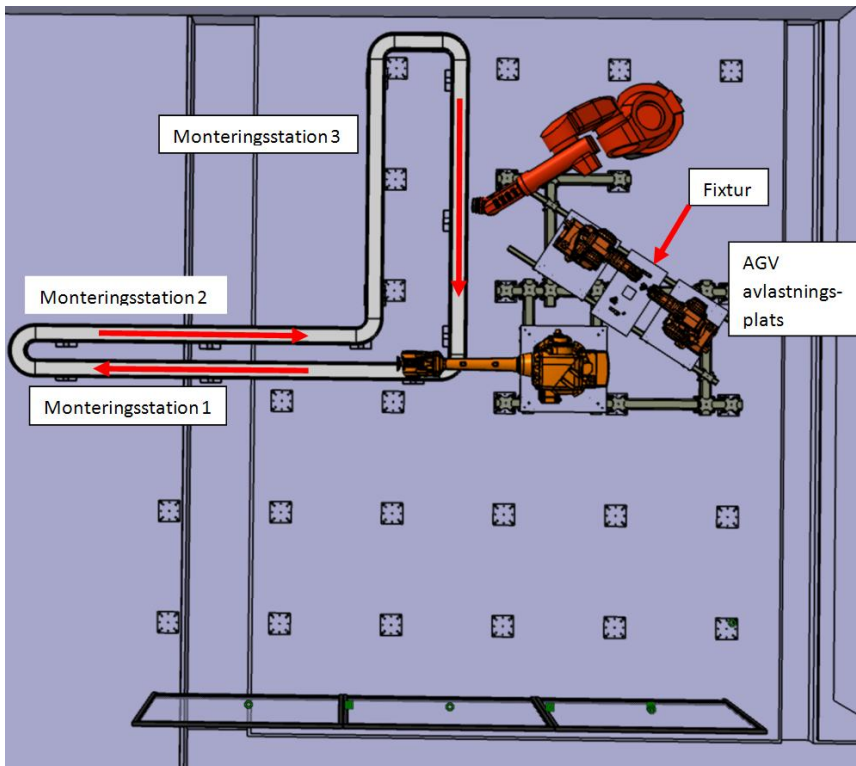
Då set-based-metoden ska tillämpas i utvecklingsprocesserna måste först en genomgående litteraturstudie genomföras. Detta gäller även för point-based produktutvecklingsmetod då det är intressant att jämföra dessa två metoder mot varandra i diskussionen. Dock kommer litteraturstudien i point-based inte behöva vara lika genomgående, då fokus ligger i att tillämpa och utvärdera set-based-metoden.

4 Tillverkningscellen

Då denna studie baseras på utvecklingen av bland annat en fixtur är det viktigt och intressant att förstå fixturens sammanhang i en tillverkningscell. I PPU-labbet på Chalmers Tekniska högskola har en tillverkningscell byggts innehållande robotar, en PLC-styrd transportbana, två AGV:er samt en fixtur, se figur 4.0.1. Fem kandidatgrupper har ansvarat för respektive del och samarbetat för att få helheten att fungera som ett enhetligt system. Dessa fem gruppernas ansvarsområden är fixtur, robotar, två AGV:er och en grupp vars ansvarsområde har legat på den manuella monteringen vid transportbandet.

De två AGV-grupperna har haft till uppgift att bygga varsin AGV, vars huvuduppgift är att transportera fyra karosdelar av en modellbil till en dockningsstation. Vid dockningsstationen hämtas delarna upp av robotar och placeras på fixturen. Fixturen har till uppgift att styra in och fixera alla karosdelar. De mindre robotarna i tillverkningscellen ska simulera svetsning och sammanfoga delarna till en modellbil. I första steget, av sammansättningen av modellbilen, lämnas bottenplattan på fixturen av robot. Det andra steget innebär en placering av tre Legoplattor på bottenplattan. Legoplattorna hämtas av robot från transportbandet och när dessa installerats lämnas takdelen av robot i ett tredje steg. I fjärde steget lämnas kaross-sidodelarna av robot och modellbilen har sammanfogats. Lego-plattornas syfte är att möjliggöra beställning av olika modeller av bilen. När bilen är helt klar släpper fixturen bilen och en av de stora robotarna placerar den på en av AGV:erna, som transporter bort den färdiga bilen från tillverkningscellen. Bilen plockas därefter isär och kan åter användas i den beskrivna processen.

Utöver utvecklandet av fixturen ansvarar fixturgruppen även för design och tillverkning av modellbilen, bestående av en bottenplatta, två sidor och en takdel. Robotgruppen ska programmera alla robotar och designa robotverktyg som kan hämta karosdelarna och legoplattorna. AGV-grupperna har, som tidigare nämnt, till uppgift att programmera AGV:erna till att hämta och lämna karosdelarna vid dockningsstationen. Slutligen ansvarar produktionsflödesgruppen för den manuella monteringen av legot på legoplattorna och flödet vid transportbandet. Samtliga grupper har även en representant som arbetar med logiken i cellen och programmerar PLC-systemet.



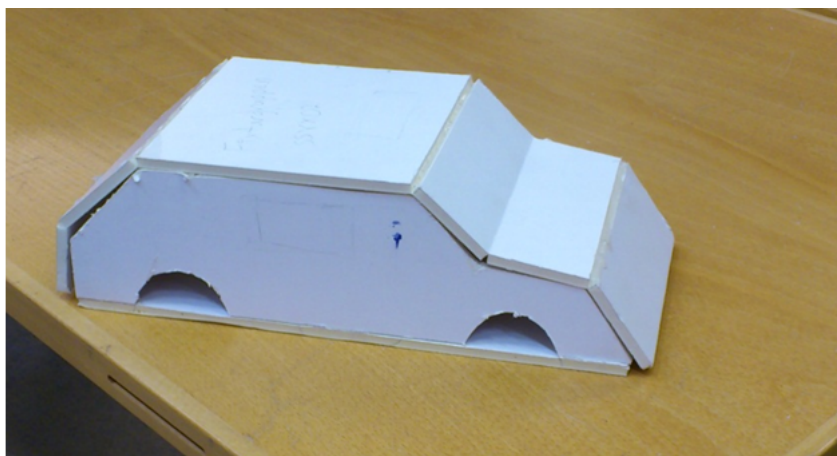
Figur 4.0.1: *Principiell skiss över tillverkningscellen.*

5 Tillämpning av set-based vid produktutveckling

För att kunna göra en utvärdering vid användandet av set-based i produktutveckling, har denna metod tillämpats på två olika utvecklingsprojekt, design av en modellbil och utveckling av en fixtur. Set-based kommer att tillämpas genom att applicera den trestegsdefinition av set-based som gjordes under avsnitt 2.1.5 Rapportens definition av set-based-metoden.

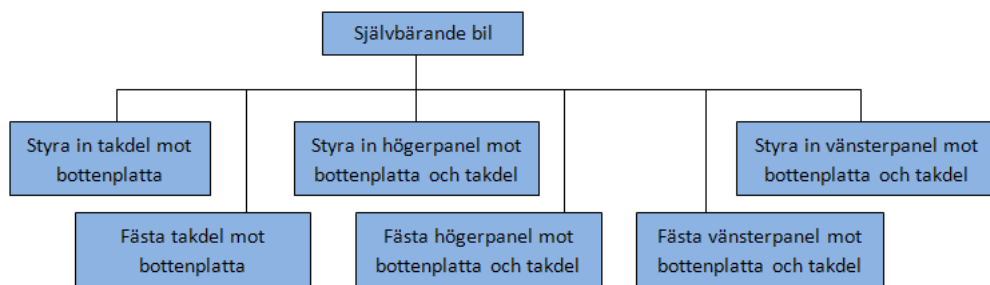
5.1 Tillämpning av set-based vid design av en modellbil

Riktlinjer, se appendix A.1.1, för modellbilen togs fram med synpunkter från övriga berörda kandidatarbeten, involverade i den robotiserade tillverkningscellen. Därefter tillverkades en första modell i kartong, se figur 5.1.1, av hur bilen skulle kunna se ut.



Figur 5.1.1: *Prototyp av modellbil i kartong.*

Set-based-definitionen består av tre steg där steg ett går ut på att skapa en eller flera lösningsmängder som löser utvalda designproblem. För att underlätta steg ett i designframtagandet av produkten, skapades en enkel funktionsanalys, se figur 5.1.2. Funktionsanalysen skapades utifrån de riktlinjer, som sattes med hjälp av de medverkande kandidatgrupperna.



Figur 5.1.2: Funktionsanalys för modellbil.

Set-based-definition steg ett kan nu tillämpas, *ta fram en mängd lösningsförslag till problemet som ska lösas*. De lösningsförslag som togs fram presenteras i tabell 5.1.1.

Tabell 5.1.1: Lösningsförslag till ingående funktioner.

Styra in bildelar mot bottenplatta	Fixera bildelar mot varandra
Konade styrpinnar	Plastklipp
	Legoklossar
	Magneter
	Låsskruv

En kort beskrivning av de olika lösningsförslagen följer här:

- * Plastclips – robotarna i tillverkningscellen monterar plastklippen på bilen, när alla delar har fixerats av fixturen.
- * Legoklossar – på bilens olika delar fästs legoklossar. När alla bildelar har positionerats av fixturen, ska robotarna trycka till de ingående karosdelarna, så att legobitarna fäster mot varandra och karossen hålls samman.
- * Magneter och konade styrpinnar – Styrpinnar som styr in karosdelarna då de levereras av roboten och magneter som låser den på plats. Styrpinnarna låser också konstruktionen vinkelrätt mot magneterna för att hålla samman konstruktionen.
- * Låsskruv – låsskruvar byggs in i karosdelarna. När fixturen positionerat alla delar ska robotarna i tillverkningscellen vrida om låsskruvarna ett kvarts varv så att karossen sammanbindas.

Med utgångspunkt i lösningsmängden, som utgörs av de beskrivna lösningsförslagen ovan kan set-based-definition praktiseras i steg två; *skaffa kunskap om de olika förslagen genom praktiska tester eller teoriundersökningar. Skjut upp avgörande beslut tills dess att*

tillräcklig kunskap finns. Uteslut de lösningar där tester eller teori visar på att de inte kommer att fungera. Eliminering av lösningar måste baseras på fakta.

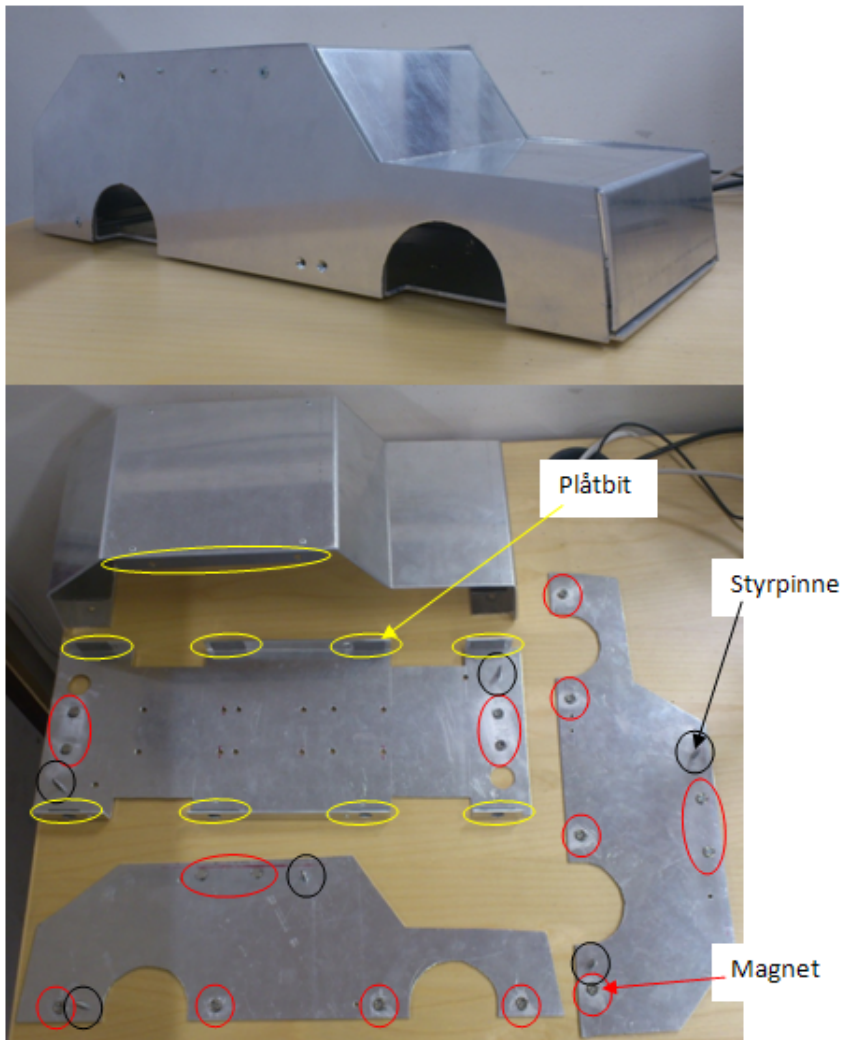
Det finns flera argument som talar för lösningen med magneter och styrcylindrar. Det främsta argumentet är att den kommande fixturdesignen förenklas avsevärt med denna lösning. Om alla delar sätts samman med konade styrcylindrar och magneter kommer det endast krävas av fixturen att den styr in och klämmer fast bottenplattan på bilen (önskemål från robotgruppen att bottenplattan ska levereras först till fixturen). Detta eftersom styrcylindrarna kommer att se till att de övriga delarna hamnar på rätt plats varje gång robotarna överlämnar delarna till fixturen. Magneterna i kombination med styrcylindrarna ser till att alla delarna hålls samman.

Lösningen med magneter och styrcylindrar kräver mindre av robotarna då de endast behöver sätta alla delar på rätt plats. De övriga tre lösningsförslagen kräver att robotarna efter placeringen av delarna genomför ytterligare ett ingrepp. Lego-lösningen kräver att roboten trycker till varje del efter placering för att Legobitarna ska fästa mot varandra. Plastklippsen kräver att roboten hämtar klippsen och monterar dem på bilen. Låsskruven kräver att roboten vrider om skruven med något verktyg. Alla dessa lösningar fördröjer och komplicerar därför monteringsprocessen av karosdelarna. På grund av detta stryks plastklipps, Legoklossar och låsskruvar ur lösningsmängden och kvar återstår lösningen med styrcylindrar och magneter, se tabell 5.1.2.

Tabell 5.1.2: Lösningsförslag till ingående funktioner.

Styra in bildelar mot bottenplatta	Fixera bildelar mot varandra
Konade styrcylindrar	Plastelips Legoklossar Magneter Låsskruv

Då endast en lösning (magneter och styrcylindrar) kvarstår kan set-based-definitionens tredje steg inledas *“då endast en lösning kvarstår ska den realiseras. Om detta ej är fallet, ska fler tester och teoriundersökningar genomföras tills dess att endast en lösning kvarstår som alternativ (dvs. upprepa steg två)”*. Detta steg handlar om att realisera det återstående lösningsförslaget. En prototyp i tre millimeters aluminium tillverkades därför utifrån ritningar gjorda i Catia, se appendix A.4. En bild på den färdiga prototypen, med styrcylindrar och magneter visas i figur 5.1.3. Prototypen bekräftar dessutom att lösningen med magneter och styrcylindrar fungerar.

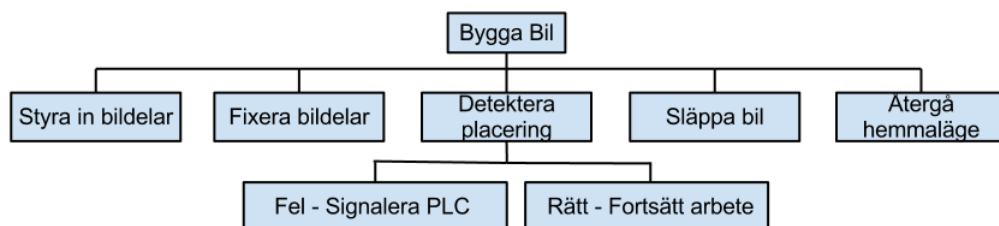


Figur 5.1.3: Färdigställd prototyp i aluminium.

Karossdelarna tillverkas i aluminium, då materialet inte påverkar magneterna. Om hela ytan på karossdelarna påverkas av magnetfältet från magneterna kan det leda till att delarna styrs in fel. Därför limmas istället plåtbitar fast där magneterna ska påverka karossen, se figur 5.1.3. För att förenkla detekteringen av taktdelen gjordes två större hål i bottenplattan, därmed skapas ett utrymme för givare. Bild och beskrivning av den färdiga modellbilen, se appendix A.2.

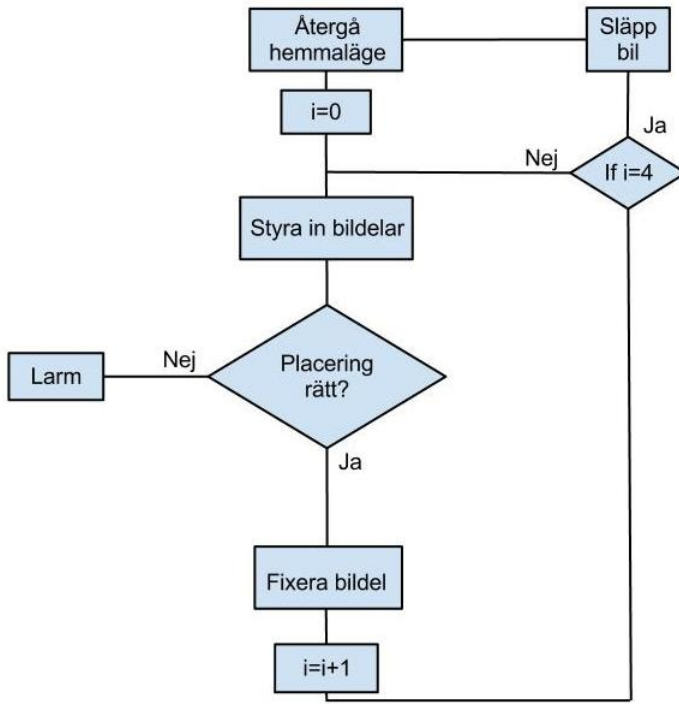
5.2 Tillämpning av set-based vid design och utveckling av fixtur

För att underlätta det första genomförandesteget i set-based-definition, se avsnitt 2.1.5 Rapportens definition av set-based-metoden, framställs först en funktionsanalys (se figur 5.2.1) och ett flödesschema (se figur 5.2.2), utifrån övergripande riktlinjer (se appendix A.1.2) över fixturens utformning. I funktionsanalysen bryts huvuduppgiften ner i flera mindre uppgifter för att på ett överskådligt sätt kunna identifiera fixturens primära funktioner.



Figur 5.2.1: *Funktionsanalys för fixturen.*

Flödesschemat ger en enkel bild över hur fixturen skulle kunna fungera, där variabeln "i" står för för antalet bildelar som placerats och fixerats korrekt.



Figur 5.2.2: Flödesschema för fixturen.

Utifrån dessa två analyser kan nu set-based-definitionen appliceras. Steg ett; *ta fram en mängd av lösningsförslag till problemet som ska lösas*. Lösningsförslag till de primära funktionerna presenteras i tabell 5.2.1.

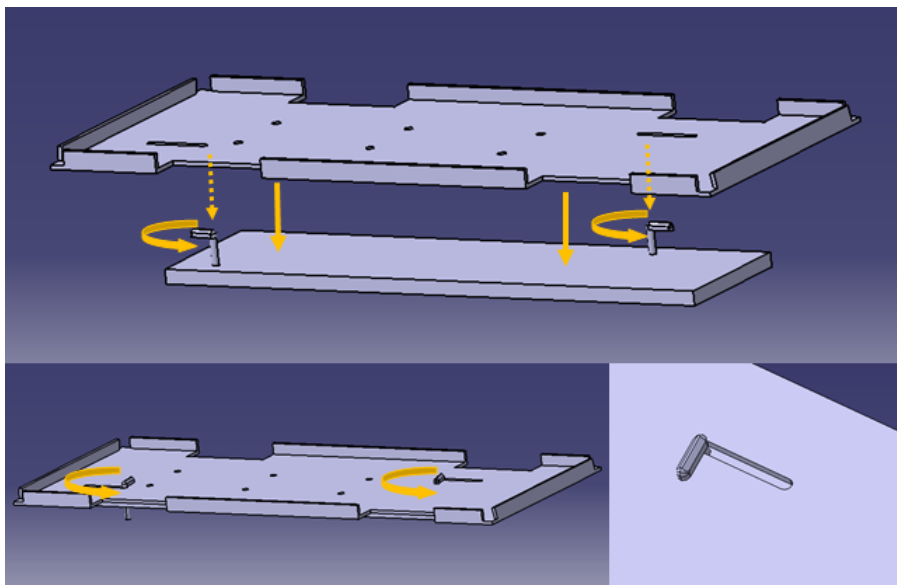
Tabell 5.2.1: Lösningsförslag till ingående funktioner.

Stödanordning bottenplatta	Fixera bottenplatta	Dektektera placering av bildelar	Styra in bottenplatta
Fixturplatta	L-formad styrpinne	Sensorer	Konad styrpinne
Fyra stödpunkter	Swing-clamp Utspännande klämmor Cylindrar under bottenplattan som klämmer i hjulhusen		

Genom att kombinera flera av dellösningarna sammanställs en mängd av helhetslösningar, vilken är den mängden som steg ett i set-based-definitionen syftar på. Härfter följer beskrivningar och CAD-bilder på de helhetslösningar som ingår i mängden.

5.2.1 Fixering av bottenplatta med L-formade swing-clamps

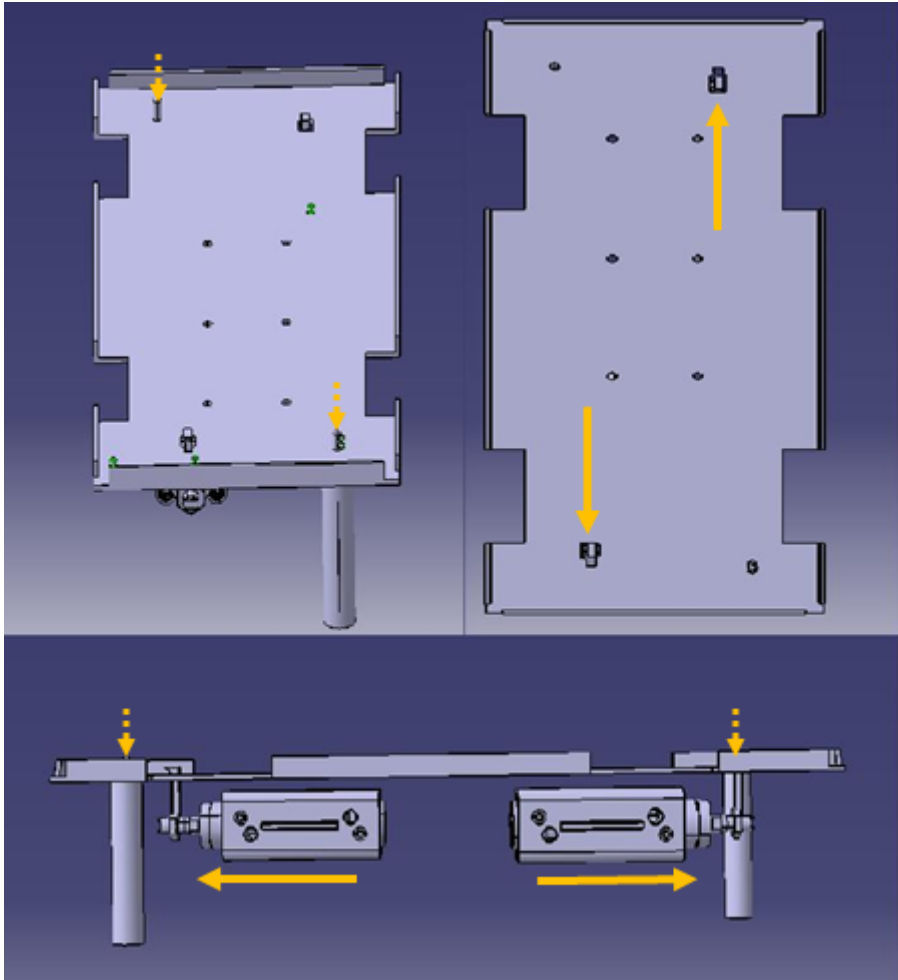
Det L-formade lösningsförslaget består av en fixturplatta och två L-formade styrpinnar, se figur 5.2.3. När bottenplattan sänks ner av roboten mot fixturplattan ska de L-formade styrpinnarna styras in i spåren på bottenplattan och därmed styra in bilens bottenplatta till samma läge varje gång. När bottenplattan har kontakt med fixturen ska de L-formade styrpinnarna vrida sig och sänkas ner mot bottenplattan, så att den fixeras mot fixturen. Det är tänkt att både vridningen och nedsänkning av de L-formade styrpinnarna ska ske med hjälp av swing-clamp-cylindrar.



Figur 5.2.3: CAD-modell över fixeringsanordning med L-formade styrpinnar.

5.2.2 Fixering av bottenplatta med sidospännande fixering

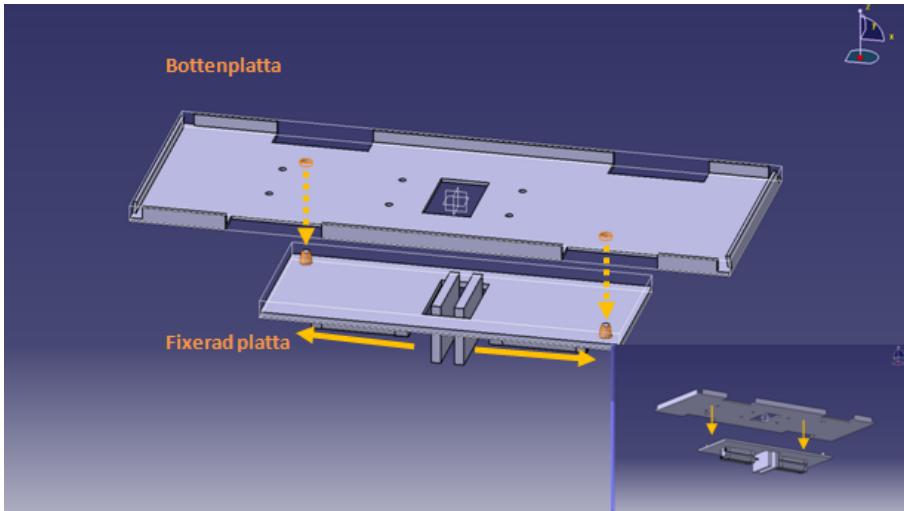
Den sidospännande fixturmodellen är uppbyggd av två pelare där varje pelare har en konad styrpinne på toppen som ser till att bottenplattan styrs in rätt se figur 5.2.4. Bottenplattan har ett högprecisions hål och ett ovalformat hål som styrpinnarna passar i. När bottenplattan ligger på plats pressas de två cylindrarna ut och låser fast bottenplattan åt sidorna, samt nedåt eftersom klämmorna är vinklade. När cylindrarna når respektive ändläge låses bottenplattan fast i alla 12 frihetsgrader, vilket är nödvändigt för att uppnå tillräcklig precision. Cylindrarna ska moteras på stag som är justerbara i alla 12 frihetsgrader för att få en så bra passform som möjligt.



Figur 5.2.4: CAD-modell över fixeringsanordning med sidospännande cylindrar.

5.2.3 Fixering av bottenplatta med utspännande klämmor

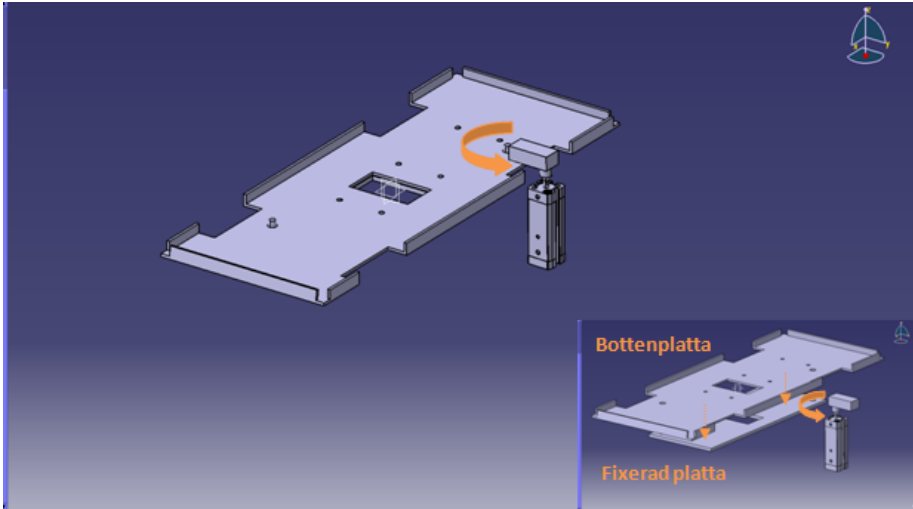
Utspännande klämmor är ett lösningsförslag som använder en fixerad platta med ett par konade styrcylindrar för att styra in bilens bottenplatta. Ett fyrkantigt hål integreras i mitten av bottenplattan där två nedåtvinklade klämmorna spänns ut. På så sätt fixeras bottenplattan vid den undre plattan. Klämmorna spänns ut med cylindrar som fästs på undersidan av den fixerade plattan. Markerat i figur 5.2.5 är styrcylindrarna på den fixerade plattan med respektive hål på bottenplattan (streckad pil) samt kolvrörelsen (hel pil).



Figur 5.2.5: CAD-modell över fixeringsanordning med utspännande cylindrar.

5.2.4 Fixering av bottenplatta med swing-clamp i hjulhuset

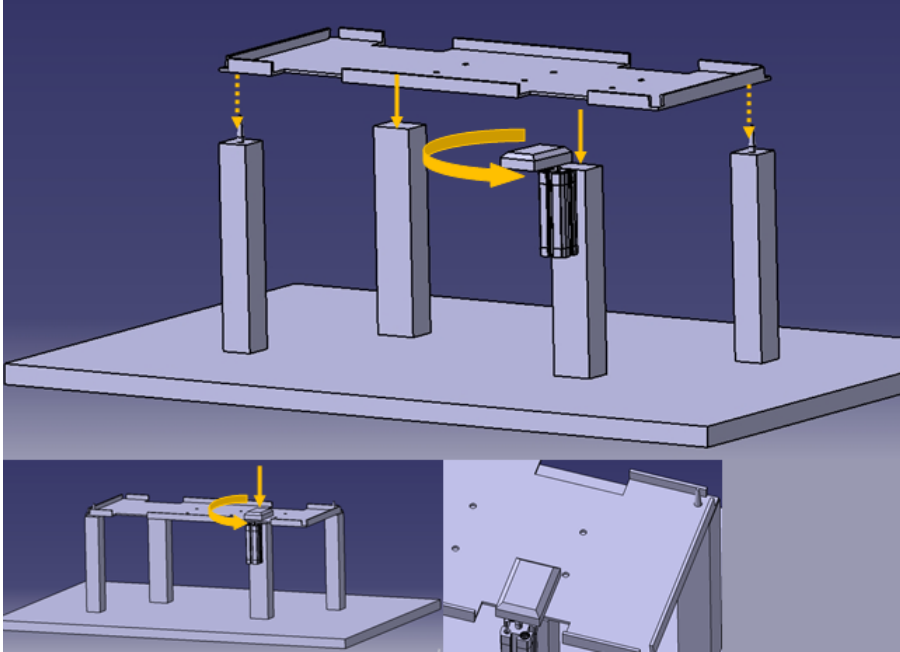
Precis som lösningen med utspännade klämmor används en fixerad bottenplatta med konade styrypinnar i lösningsförslaget. Bottenplattan sänks ner ovanifrån och riktas rätt med styrypinnarna. Figur 5.2.6 visar hur en cylinder med vridbar kolv klämma fast bottenplattan mot en fixerad platta. Det figurerade exemplet innehåller endast en cylinder, men tanken är att minst två cylindrar ska tillämpas för fixeringen. Klossarna, vars kontaktyta utövar tryck nedåt mot bottenplattan, ska vara tillräckligt små för att kunna rotera i hjulhuset utan att ta i några kanter. Swing-clamps används för att fixera bottenplattan, detta möjliggör både en rotations- och höjdlägrörelse



Figur 5.2.6: CAD-modell över fixeringsanordning med roterande swing-clamp-cylinder.

5.2.5 Fyra stödpunkter för bottenplatta

Fixturmodellen är uppbyggd av en bottenplatta med fyra stycken stödpelare som visas i figur 5.2.7. På två av stödpelarna sitter två konade styrrpinnar som ska styra in bilens bottenplatta när roboten placerar den mot fixturens stödpunkter. I bilens bottenplatta finns ett högprecisionshål och ett ovalt hål som båda ska matchas mot styrrpinnarna på fixturen när bottenplattan styrs in. När bottenplattan ligger mot de fyra stöden kommer två pneumatiska klämmor, som sitter diagonalt i förhållande till varandra, att fixera bilens bottenplatta mot stöden. Bottenplattan blir då låst i alla 12 frihetsgrader. De pneumatiska klämmorna ska monteras på två av stöden.

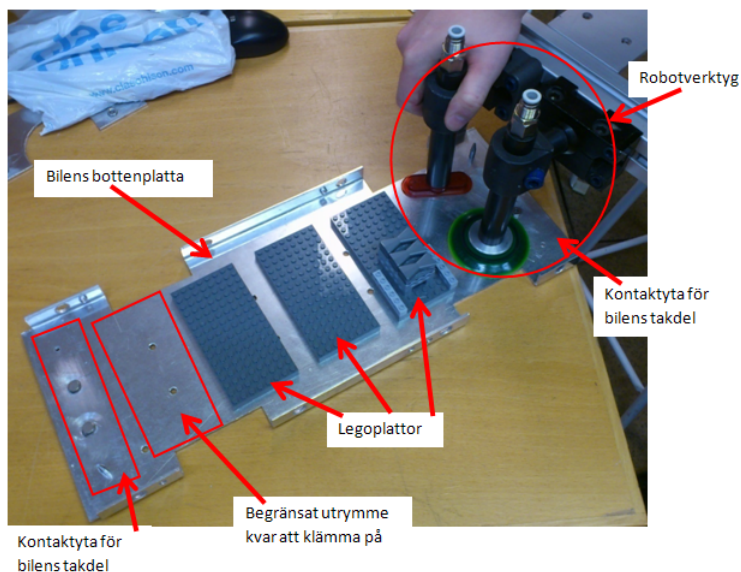


Figur 5.2.7: CAD-modell över fixeringsanordning med fyra stödpunkter.

Beskrivna helhetslösningar utgör den mängd som bearbetas i set-based-definition steg två; *Skaffa kunskap om de olika förslagen genom praktiska tester och teoriundersökningar. Skjut upp avgörande beslut tills dess att tillräcklig kunskap finns. Uteslut de lösningar där tester eller teori visar på att de inte kommer att fungera. Eliminering av lösningar måste baseras på fakta.*

Fyra av de tidigare fem beskrivna designförslagen (L-formad swing-clamp, sidospännande fixering, utspännande klämmor och swing-clamps i hjulhusen) för fixturen har en platta som bilens bottenplatta ska placeras mot. Denna delösning är dock inte att föredra då teoriundersökningar (se avsnitt 2.2 Fixturkonstruktion - Allmänna riktlinjer) visar att det bästa sättet att uppnå hög precision är att ha ett antal, till ytan små, stödpunkter utplacerade långt ifrån varandra. Alltså kan lösningen, med att låta bilens bottenplatta vila på en platta, strykas ur lösningsmängden till förmån för lösningen med fyra stödpunkter.

Tre av lösningsmängdens förslag (L-formad swing-clamp, sidospännande fixering och utspännande klämmor) har i olika utformningar en fixeringsanordning som sticker upp genom bilens bottenplatta. Ett test visar (se figur 5.2.8) att dessa förslag kommer bli svår genomförbara då utrymme för robotverktyg, legoplattor och bilens kontaktytor för takdelen måste komma i första hand. Vidare stryks dessa förslag från lösningsmängden.



Figur 5.2.8: Bilden visar hur utrymmesfördelningen på bottenplattan ser ut.

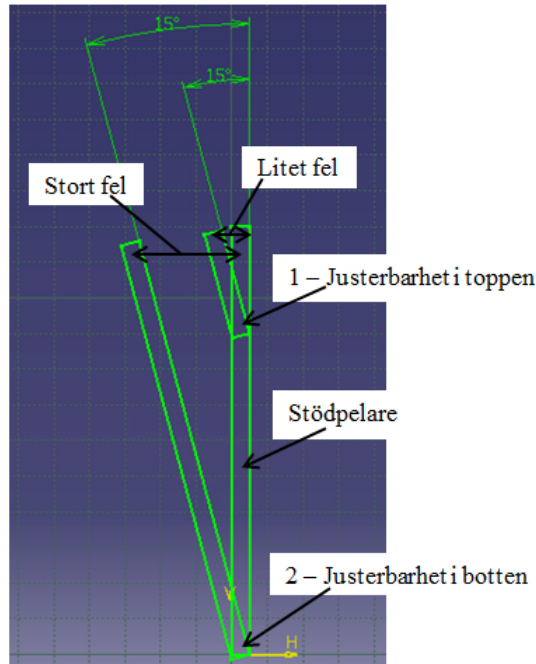
Lösningmängden, stödåordning bottenplatta, har nu minskats ner till en lösning, se tabell 5.2.2. Steg tre i set-based-definitionen (se avsnitt 2.1.5 Rapportens definition av set-based-metoden) ska därför kunna genomföras, men för att få en flexiblare lösning bör ytterligare en funktion adderas; möjligheten att justera stödpunkterna i höjddled. Stegen i set-based-definitionen upprepas därför för att lösa detta problem. Lösningförslagen till justering i höjddled av stödpunkterna är följande:

1. Justerbarhet i toppen av en stöpelare.
2. Justerbarhet i botten av en stöpelare.

Tabell 5.2.2: Utvärderade lösningförslag till ingående funktioner

Stödåordning bottenplatta	Fixera bottenplatta	Dektektera placering av bildelar	Styra in bottenplatta
Fixturplatta Fyra stödpunkter	L-formad styrpinne Swing-clamp Utspännande klammer Cylindrar under bottenplattan som klämmer i hjulhusen	Sensorer	Konad styrpinne

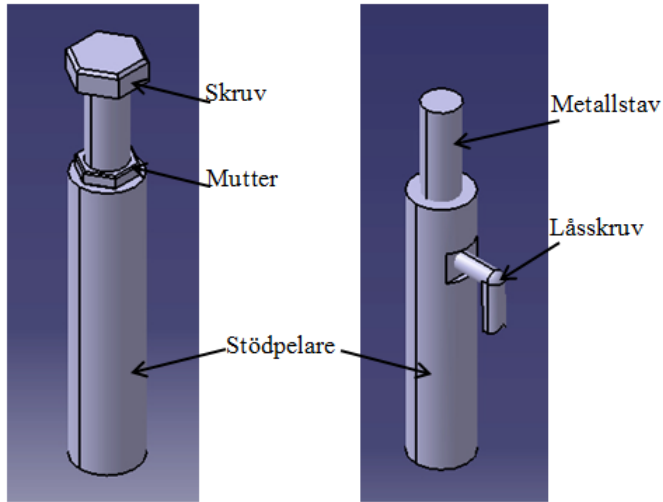
Steg två i set-based-definitionen inleds med en enkel illustration av de två förslagen, se figur 5.2.9. Figur 5.2.9 avslöjar genast problemet med förslag två. Om justeringsåordningen ger upphov till ett litet fel blir felet mycket större i förslag två än förslag ett. Vidare stryks därför förslag två från mängden till förmån för förslag ett.



Figur 5.2.9: Skillnaden mellan vinkelfel vid festsättning i topp eller botten.

För att möjliggöra justering i toppen av en stödpelare upprepas appliceringen av set-based definition. Här presenteras två möjliga lösningar:

1. En skruv i toppen – justeringen sker med hjälp av en gänga och låsningen med en mutter, se figur 5.2.10.
2. En metallstav i toppen med en låsskruv – metallstaven kan ställas genom att dra/trycka den upp eller ner genom ett frigåendehål i stödpelaren, se figur 5.2.10. Låsningen av metallstaven sker med en tvärgående låsskruv, som gängar genom stödpelaren och låser metallstaven genom friktion.



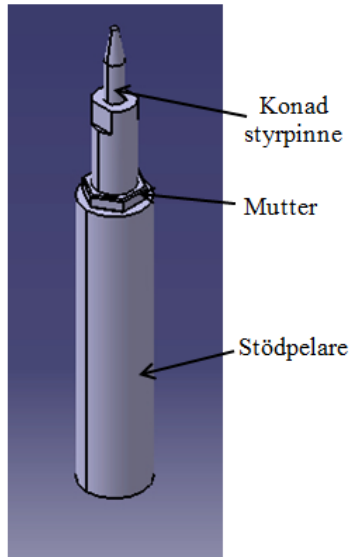
Figur 5.2.10: De två lösningsalternativen för stödpunkterna

Dessa förslag är relativt likvärdiga. Dock talar framför allt två argument för förslag ett, bland de två lösningsalternativen som visas i figur 5.2.10.

Argument A – enklare tillverkningsprocess då endast bearbetning i en svarv kommer att vara nödvändigt, vid tillverkning av förslag ett. För tillverkning av förslag två krävs utöver svarvning, också uppspanning i en fräsmaskin för att åstadkomma den plana ytan som låsskruvens gänghål ska löpa genom.

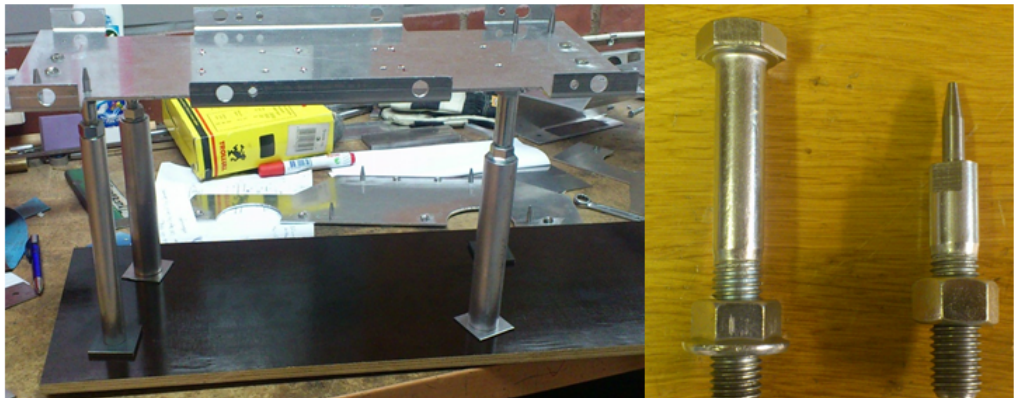
Argument B – fixeringen av skruven, i förslag ett, sker på ett bättre sätt med hjälp av muttern som låser i höjddled. I förslag två kommer fixeringen av metallstaven att ske med hjälp av friktion (låsskruv trycker mot metallstaven) vilket inte ger lika stor kraft i fixeringen, som med mutter och skruv. Upprepande låsningar i förslag två kommer dessutom bidra till ett slitage på metallstaven, vilket inte inträffar i förslag ett.

Argument A och B leder således till att förslag två kan förkastas till förmån för förslag ett. Hittills har fixturdesignen smalnats av till följande – fyra stödpelare med en justerbar skruv i toppen på två av de fyra stödpelarna. De resterande två stödpelarna har en justerbar (av samma princip som den justerbara skruven) konad styrpinne, se figur 5.2.11, som har till uppgift att ge stöd åt och styra in bilens bottenplatta.



Figur 5.2.11: Stödpunkt med justerbar styrpinne.

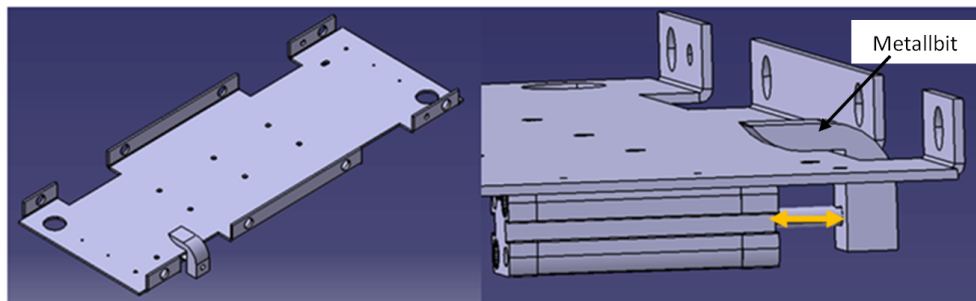
Steg tre i set-based-definitionen kan nu genomföras på de hittills bestämda designpunkterna, stödpelarna med ställbar skruv och ställbar konad styrpinne. En första prototyp tillverkas därför i Prototypplabbet på Chalmers Tekniska högskola och resultatet visas i figur 5.2.12. Höjden på stödpelarna gjordes extra långa, då längden ej fastställts ännu.



Figur 5.2.12: Utprovning av fixturprototyp.

Tabell 5.2.2 visar på att det fortfarande är en lösningsmängd – **Fixera bottenplatta** – som ännu inte förkortats ner till en lösning. Steg två appliceras därför på denna mängd.

En beskrivning av hur swing-clampen (roterande cylinder) är tänkt att fungera kan läsas under lösningsförslaget 5.2.4 Fixering av bottenplatta med swing-clamp i hjulhusen. Den andra lösningen som återstår inom detta område är *“Cylindrar under bottenplattan som klämmer i hjulhusen”* och en enkel beskrivning av den ges i figur 5.2.13.

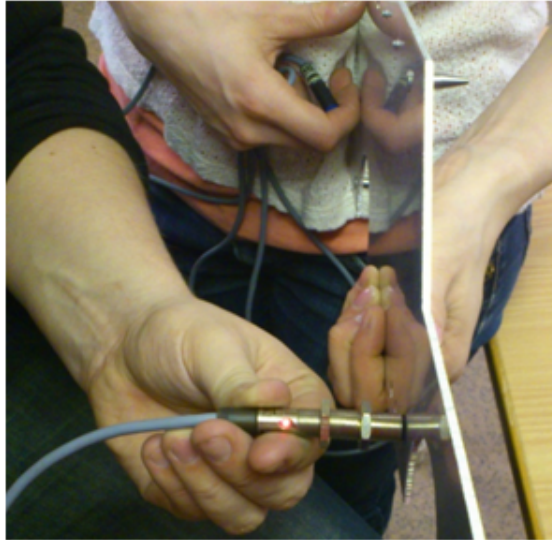


Figur 5.2.13: Klämande cylinder i hjulhus.

Cylindern kommer på något sätt att fästas under bilens bottenplatta utan att bottenplattan har kontakt med cylindern, då bottenplattan är korrekt placerad. Lösningen ska innefatta två cylindrar placerade vid de hjulhus som förhåller sig diagonalt till varandra.

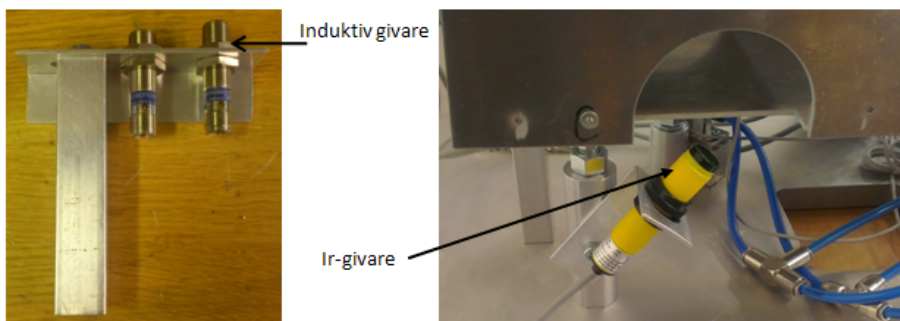
Både lösningen att fixera bottenplattan med swing-clamps vid hjulhusen och lösningen som visas i figur 5.2.13 låser bottenplattan i alla 12 frihetsgrader i kombination med de fyra stödpunkterna och de konade styrypinnarna. Det som talar emot lösningen som visas i figur 5.2.13 är att den kommer att medföra ett slitage på bilens bottenplatta varje gång den spänner fast bottenplattan. För att anbringa ett tryck nedåt på bottenplattan måste metallbiten, som fäster på cylinderpistongens ände, placeras lite längre ner än bottenplattans position när den vilar på stödpunkterna. Detta kommer leda till att varje gång cylindern drar in och trycker ut pistongen, kommer metallbiten att skrapa mot bilens bottenplatta och därmed nöta på bottenplattans aluminium. Detta problem kommer inte att uppstå med swing-clampen, vilket visar på att swing-clampen kan väljas till förmån för *“Cylindrar under bottenplattan som klämmer i hjulhusen”*.

Vid val av sensorer fanns det induktiva givare och IR-givare att tillgå från ett tidigare kandidatarbete, på Chalmers Tekniska högskola. Givarnas funktion kontrollerades mot prototypbilens ena sida, se figur 5.2.14, vilket visade på att de var tillräckligt bra för att användas.



Figur 5.2.14: *Utprovning av induktiva givare.*

Hållarna för givarna designades direkt på plats i prototypplabbet på Chalmers Tekniska högskola, se figur 5.2.15. Detta gjorde tillverkningsprocessen enkel eftersom givarhållarna kunde passas in direkt mot bilen placerad på fixturen. Givarhållaren till vänster i figur 5.2.15 detekterar bottenplatta och takdel på bilen. Den induktiva givare, som sitter längst till höger på hållaren, sticker upp genom ett hål i bilens bottenplatta och detekterar takdelen. Från början var det tänkt att robotgruppens robotar skulle detektera sidorna. Då detta inte blev fallet tillkom två IR-givare som båda fästes på vardera diagonal stödpelare för att möjliggöra detektering av sidorna.



Figur 5.2.15: *Fästanordningar för fixturgivare.*

Alla designpunkter har klargjorts vilket leder till att en slutgiltig Cad-modell av fixturen kan därför färdigställas, och den verkliga fixturen kan tillverkas. Det vill säga steg tre i

set-based-definition kan genomföras. För en utförlig beskrivning av den färdiga fixturen se appendix A.3.

6 Diskussion

Utmaningen under detta projekt har inte varit konstruktionen av fixturen eller modellbilen. Problematiken har snarare varit att applicera set-based metod på rätt sätt i arbetsgången. Detta speglas framförallt i utvecklingen av modellbilen som var den första produkten, vilken set-based tillämpades på.

Tidigare erfarenhet inom produktutveckling har legat på point-based-metod och tillämpningen av set-based-metoden har varit helt ny inom projektet. Via litteraturstudier har en kunskapsgrund för metoden byggts upp, som använts för att ta fram både modellbil och fixtur. Det innebär ofrånkomligen svårigheter när ett helt nytt arbetssätt ska införas och användas. Missförstånd har funnits kring vad set-based-metoden verkligen är och hur den används.

Set-based har varit en ny metod att arbeta utifrån, vilket har påverkat resultaten. Kunskapen om set-based var som lägst i början av projektet, vilket också ledde till att utvecklingsmetoden av bilen blev mindre set-based i sin karaktär än vad utveckling av fixturen skulle komma att bli. Utvecklingsmetoden av bilen är mindre set-based i sin karaktär i det avseendet att själva utseendet på karosdelarna valdes snabbt utan att utgå från någon lösningsmängd. Framtagandet, för sammansättningen av karosdelarna med styrcylindrar och magneter, var mer set-based eftersom genomförandeprocessen följde den uppsatta definitionen av set-based, se avsnitt 2.1.2 Grunder i utvecklingsmetoden Set-based. Dock var inte elimineringsbesluten grundade på teori eller tester. Istället grundades dessa beslut på logiska resonemang vilket liknar mer ett point-based-genomförande. En verifiering av det valda lösningskonceptet gjordes genom att tillverka en prototyp av modellbilen och testa styrcylindrarna och magneternas funktion. Detta bekräftade att lösningen fungerade, men genomförandet kan inte ses som set-based då antagandet att lösningen skulle fungera redan var gjord.

Ytterligare en faktor, som spelade in vid den begränsade tillämpningen av set-based under bilutvecklingen, förutom kunskapsbristen inom set-based, var vikten av att få klart modellbilen så snart som möjligt. Detta var av högsta prioritet då alla inblandande grupper i tillverkningscellen var beroende av att få vetskap om den slutgiltiga designutformningen av modellbilen. Designen behövde dessutom anpassas efter behov från samtliga grupper. Tidsbristen påvisade en av svårigheterna med set-based, eftersom det är en metod som kräver tid för kunskapsutveckling innan beslut kan fattas. Detta ledde följaktligen till att tillämpningen av set-based blev lidande under utvecklingen av modellbilen.

Trots kunskapsbrist inom set-based metod i början av projektet och en del oklarheter i projektuppgiftens mål har set-based fungerat över förväntan. Detta gäller framförallt under fixturutvecklingen, då kunskapsnivån om set-based som tidigare nämnts var högre än under bilutvecklingen. En av de tydligaste fördelarna har varit frånvaron av problem som har behövt korrigeras i efterhand. Lösningssättet har genomförts enligt definitionen för set-based med en lösningsmängd som minskats ned till en slutlösning. Allteftersom kunskapen ökat har lösningsförslag kunnat elimineras utifrån fakta eller tester. Ett exempel på detta är fixturplattan som eliminerades till förmån för fyra stödpunkter. Teori visade

på att det skulle bli lättare att uppnå högre precision med mindre stödpunkter långt ifrån varandra istället för en, till ytan stor, stödplatta.

Första hälften av projektet bestod av arbete med lösningsmängderna. Under den perioden tillkom de flesta ändringarna i riktlinjerna för projektet. Trots en del större förändringar kunde de implementeras och integreras på ett bra sätt i utvecklingsprocessen. En anledning kan vara de större toleranserna som använts till en början. Först när kunskapen ökat för de olika dellösningarna har detaljgraden ökat och toleranserna minskat. Systemet blir därför flexibelt och möter tillkommande ändringar på ett bra sätt. Exempel på detta är ihopsättningen av bilen som diskuterades och en fastsättning med plastklipp länge ansågs som det mest lämpliga alternativet. Vidare resonemang visade på ett flertal fördelar med styrcylindrar och magneter, vilket också förenklade fixturdesignen mycket då endast bottenplattan behövde fixeras.

Anledningen till att inga större problem uppstått verkar ligga i set-based genomförande-process. Eftersom beslut baseras på kunskap har otillräckliga lösningar eliminerats under processens gång. Dessutom har möjligheten till överlappande produktutvecklingen av både fixtur och bilmodell varit fördelaktig, då arbetsprocesserna har kunnat påverka varandra vilket har lett till en bättre och enklare slutlösning. Med point-based-metoden finns däremot risk för att undermåliga och onödigt komplexa dellösningar ingår i den slutgiltiga lösningen. Anledningen är att kunskapsnivån, för dellösningarna, är för låg då beslut tvingas fram tidigt. Ytterligare en anledning till att inga större ändringar behövs genomföras på den färdiga fixturen är att ingen kravspecifikation fastställdes i början av projektet. Om en kravspecifikation hade skapats hade risken varit stor att kraven skulle varit orimliga eller irrelevanta, då kunskap kring produkten saknats eller varit för låg. Kraven och detaljrikedomen på designen har istället utvecklats under projektets gång, allteftersom ny kunskap införskaffats genom litteratur och tester.

Nya och förbättrade lösningar har kunnat integreras för fixturen under hela lösningsgången, eftersom slutlösningen fastställs sent relativt point-based-metoden. Givetvis har inga drastiska ändringar gjorts, men bättre dellösningar har haft möjlighet att implementeras. Belägg för detta avspeglas i justeringsmöjligheten för stödpunkterna. Först togs stödpunkterna fram och därefter implementerades förbättringen med möjlighet till justering i höjdd. Detta visar på att flexibilitetsgraden har varit hög samtidigt som lösningarna integrerats till ett robust system, då samtliga lösningar analyserats och testats. Dellösningarna har setts ur ett generellt perspektiv, till en början, för att därefter när kunskapen om dellösningarna ökat, skräddarsytt och anpassats till en slutlösning. Den generella synen som funnits med har troligtvis bidragit till ökad flexibilitet och robusthet.

Ytterligare en fördel har varit de tester som gjorts på lösningar genom processen. Kunskapsnivån har ökat och oförutsedda nackdelar eller fördelar med lösningsalternativ har framkommit och tydliggjorts. Exempel på en sådan nackdel har varit "klämmande cylinder i hjulhus, se figur 5.2.13. De beslut som tagits har därmed varit kunskapsgrundade, vilket innebär att risken för att slutlösningen inte ska fungera blivit mycket liten. Ytterligare exempel på detta är elimineringen av alla fixeringslösningar av bilens bottenplatta, vilka innebär att någon klämanordning skulle föras upp genom bottenplattan och fixera. Ett

enkelt test visade då att det inte skulle finnas tillräckligt med plats för dessa lösningar då robotens lyftverktyg och legoplattorna tog stor del av bottenplattans lediga utrymme, se figur 5.2.8.

Enligt set-based-metod ska vunnna kunskaper föras in i begränsnings- och avvägningskurvor som ytterligare redskap i beslutsprocessen. Detta som nämnt för att underlätta beslut men även som verktyg för framtida projekt som ska tillämpa den sammanfattade kunskapen i kurvorna. Undersökningen för projektet har inte tillämpat dessa redskap då det berört ett relativt litet projekt och då kunskapen, om set-based som metod, växt fram under processens gång. Projektet ska, utöver nämnda aspekter, avslutas definitivt och projektgruppen kommer inte fortsätta arbeta på projekt i anslutning till detta. Vidare medför detta att kunskap i eventuella avvägnings- och begränsningskurvor inte kommer användas i framtiden. I lärande synpunkt hade det dock funnits anledning att skapa kurvorna då förståelsen för hur de används hade ökat.

Den stress som kan upplevas i projekt med point-based tillämpning har inte upplevts vid detta projekt. Det har inte funnits krav på tidigt satta lösningar, utan lösningsmängden har arbetats igenom med ett helhetsperspektiv på systemet. I jämförelse med andra projektgrupper i cellen har projektet varit relativt lugnt i slutfasen, då den framtagna slutlösningen fungerat tillfredsställande. Det har tillkommit ändringar, som två extra sensorer på fixturen, men ändringarna har kunnat pareras bra inom projektet då extra tid under testningsfasen funnits. Den stress som funnits har främst varit under mittparten av projektet då modellbilen skulle konstrueras, eftersom övriga grupper var starkt beroende av att en sådan skapades fort. Stressen kan också bero på kunskapsbrist kring användandet av set-based som metod.

Ytterligare en fördel, med set-based kontra point-based tillämpning, kan anses vara graden av innovation och genomarbetade lösningsförslag. Då fler lösningsmängder testas och utvärderas parallellt finns möjligheter att ta vissa dellösningar steget längre. Även här kan de justerbara stödpelarna ses som ett bra exempel. Systemet blir såpass robust att dellösningar med högre innovationsgrad kan tillåtas, trots att det medför större risk för misslyckande. Skulle dellösningen visa sig otillräcklig vid test finns det fortfarande andra lösningsalternativ att utveckla vidare.

En nackdel med att använda set-based-metod i det undersökta projektet har varit det faktum att andra projektgrupper inom robotcellen inte använt metoden. Slutlösningen för fixturen har därför efterfrågats innan en slutlösning färdigställts, vilket medfört försvårande arbete för andra projektgrupper som hamnat i beroendeställning. Dellösningar som skapats för fixturen har även tvingats elimineras då övriga grupper använt en point-based inriktning i sin lösningsgång vilken inte tillåter samma flexibilitet. Set-based-metoden har därmed fått begränsad användning i denna aspekt. Ett exempel, som orsakats av denna begränsning, har varit den sena lösningen med sensorer för att känna av bilen sidor.

En annan skillnad, från tillämpning av point-based-metod, är att resursåtgången är hög under produktutvecklingens tidigare skede vid set-based tillämpning, då många tester görs parallellt för lösningsalternativ. Vid point-based tillämpning är resursåtgången istället högre mot slutet av produktutvecklings skedet på grund av sent tillkommande ändringar och behovet av fler slutliga prototyper i fullskala. Det innebär att projekt, som tillämpar

set-based, måste ha tillgång till en större resursbas tidigt. Det kan vara en nackdel då projekt traditionellt sätt har tillgång till mer resurser mot slutet av projekt.

En aspekt, som kan påverka slutsatsen i undersökningen, är att endast set-based-metoden använts i projektet. Slutsatsen hade kunnat bli annorlunda om en parallell point-based process använts som jämförelse. En djupare analys på skillnaderna hade antagligen kunnat göras i det fallet, och skillnader hade kunnat synliggöras baserat på praktisk kunskap. Då jämförelsen grundas på tidigare praktisk erfarenhet samt teori vad gäller point-based-metoden finns inga konkreta belägg för skillnaderna, utan beläggen formas utifrån mer abstrakta aspekter. Däribland känslan av mindre stress och flexibla system. Resultaten motiveras därmed utifrån ofullständiga grunder vilket gör det svårt att komma fram till en fullständigt legitim slutsats.

7 Slutsats

Om kunskap och erfarenhet inom arbete med set-based funnits i starten av projektet hade antagligen en djupare och mer riktig bedömning av set-based-metoden kunnat göras. Svårighet finns även för den rutinerade användaren av point-based i övergången till set-based.

Den kunskap, som tillägnats inom området för set-based, anses ändå tillräcklig för att dra slutsatsen att metoden medför förbättringar mot point-based-metoden. Fördelarna anses vara en mer robust slutlösning skapad med färre tillkommande ändringar under en kortare tidsperiod. Vidare är set-based en säkrare metod som vid rätt tilläpning säkerställer en fungerande slutlösning då dellösningarnas funktion baseras på kunskap.

Den största skillnaden som upplevts har varit att beslut baseras på kunskap. Det finns ingen tvekan eller oro för att slutlösningen inte ska fungera då utförliga analyser och tester genomförts.

A Appendix

A.1 Riktlinjer

A.1.1 Förteckning över riktlinjer för bil

- * Bilen ska bestå av fyra delar.
- * Bilen ska på ett enkelt sätt kunna demonteras för att förbereda den för en ny körning i cellen.
- * Bilen bör vara självbärande.
- * Bilens ingående delar ska ha plana ytor där sugkoppar kan greppa.

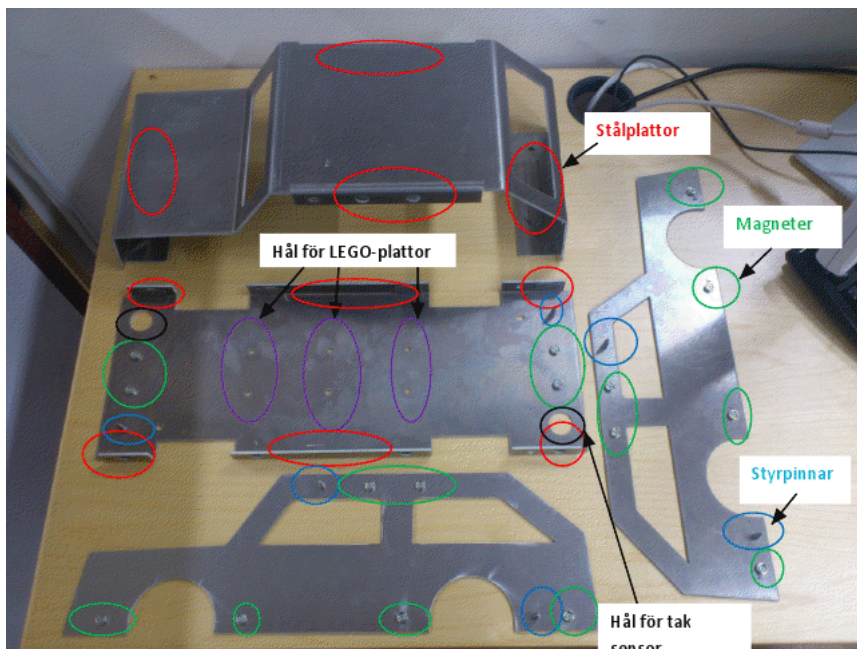
A.1.2 Företeckning över riktlinjer för fixtur

Utifrån givna förutsättningar är det några övergripande krav som fixturen, oavsett konstruktion behöver uppfylla för att fungera med övriga komponenter i cellen.

- * Fixturen ska lösa fixeringen av bilens olika delar med kontinuerlig precision.
- * Fixturen ska anslutas till den fälbus som finns i framdraget i cellen, fältbussen följer PROFIBUS standard och ligger under en Siemens PLC.
- * Fixturen ska vara storleksmässig anpassad till resten av cellen.
- * Fixturen ska kunna detektera att delarna är på plats och returnera detta till PLC:n.
- * Fixturen ska ha rörliga delar som ska styras från PLC:n.
- * Fixturen ska kunna vara löstagbar.

A.2 Beskrivning över färdigställd bil

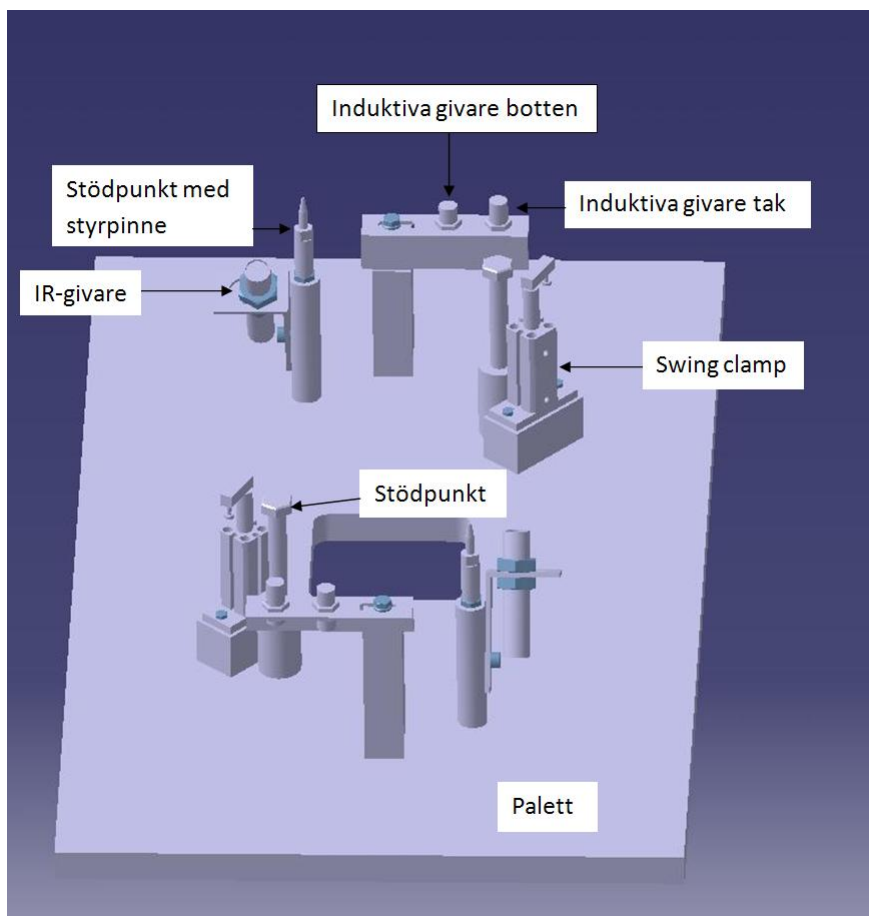
Bilen består av fyra delar i aluminium, en bottenplatta, två sidor och ett tak. Dessa sätts ihop med hjälp av magneter och styrpinnar som sitter på de olika delarna, se figur A.2.1.



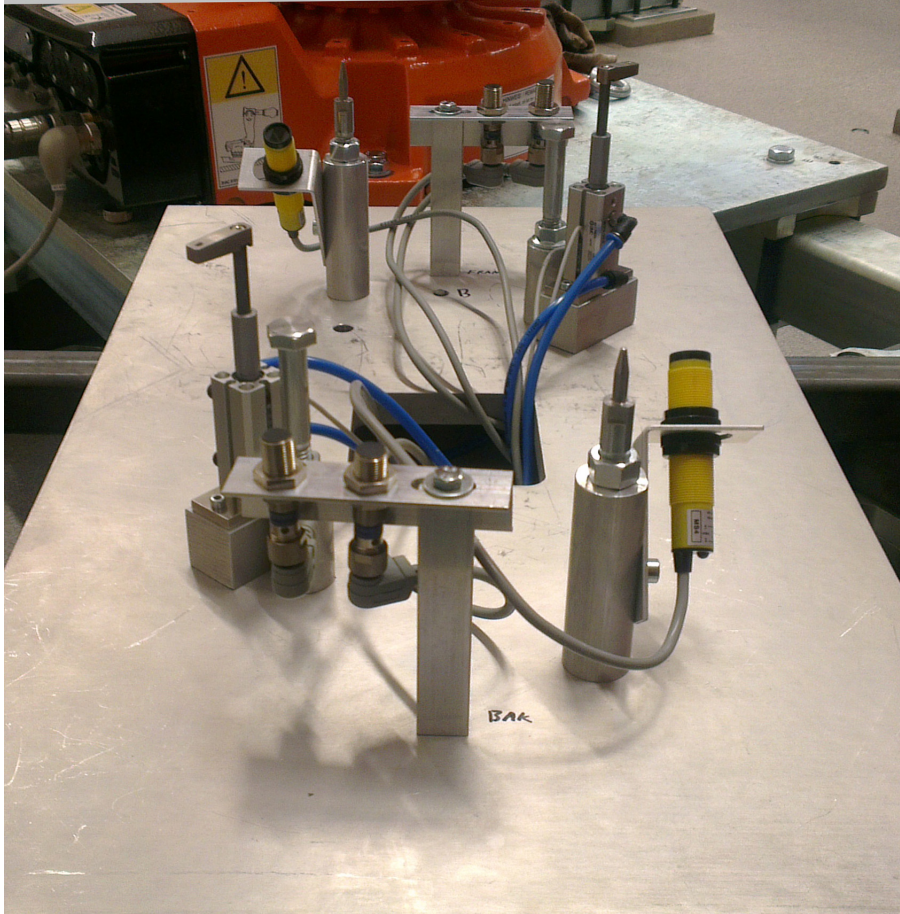
Figur A.2.1: Beskrivande bild över modellbilen.

A.3 Beskrivning över färdigställd fixtur

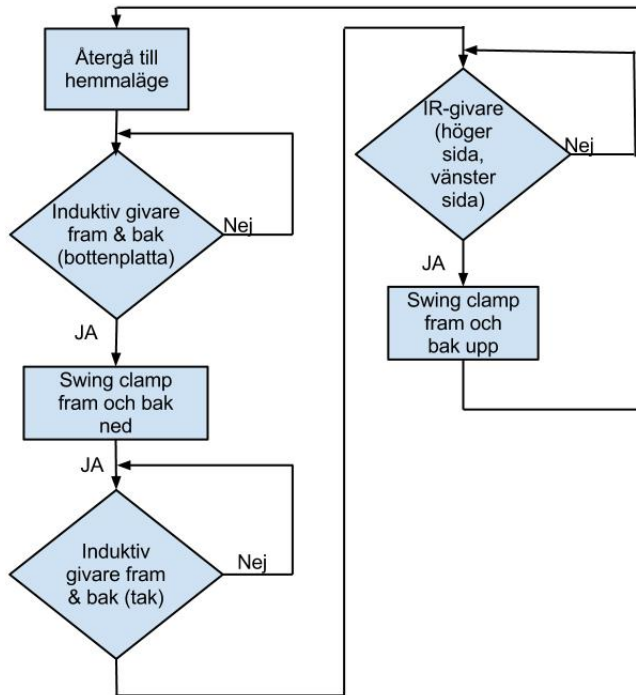
Fixturen är byggd på en 30 mm tjock aluminiumpalett som är 400 mm bred och 700 mm lång. Från den finns det fyra i höjdlid justerbara stödpunkter fastsatta på paletten, där två av stödpunkterna har styrpinnar för att styra in bottenplattan, se figur A.3.1 för digital modell och figur A.3.2 för färdig fixtur. De två andra stödpelarna har plana ytor upptill och tätt inpå sitter två swing clamps fast, en vid respektive pelare. Det finns även två hållare, som vardera håller två induktiva givare. Två givare för dektekering av bottenplattan och två för dektekering av takdel. De två IR-givarna registrerar när sidorna på bilen är placerade på korrekt position. På varje swing clamp sitter det två sensorer som känner av när swing clampen är i ändläge. I figur A.3.3 visas prodionsflödet genom fixturen.



Figur A.3.1: CAD-ritning för färdig fixtur.

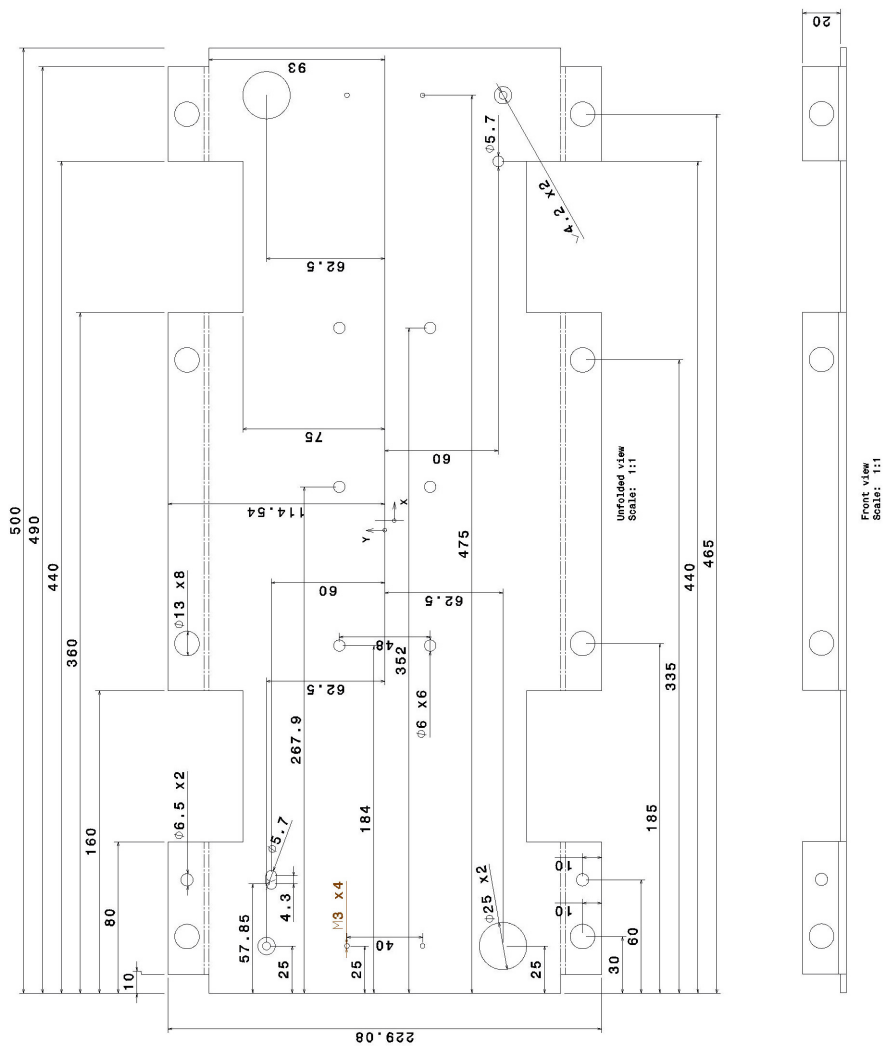


Figur A.3.2: Bild över den färdiga fixturen.



Figur A.3.3: Flödesschema fixtur.

A.4 Ritning över bil



Figur A.4.1: CAD-ritning över bottenplattan.

Referenser

- Bayegan, M. och m.fl. (2005). *ABB, Review Special Report Robotics*.
- Burenius, J. och P. Lindstedt (2006). *The Value Model: How to Master Product Development and Create Unrivalled Customer Value*. Ödesborg: Nimba, s. 536–538.
- Clark K. B, Fujimoto T. (1991). *I Product Development Performance: Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry*. Boston: Boston Massachusetts: Harvard Business School Press. Kap. Integrating Problem-Solving Cycles, s. 205–245.
- Computer aided fixture design: Recent research and trends* (2012). Website. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010448510001259>.
- Drake, C. (1989). *Metals Handbook*. 9th. USA: ASM International.
- Ghodrat, K. (2003). *Industrial Process Control*. Woburn: Gulf Professional Publishing.
- Grahm, L., H.G. Jubrink och A. Lauber (1990). *Modern industriell mätteknik : givare*. Tredje upplagan. Lund: Teknikinformation.
- Greenway, B. (2000). “Robot accuracy”. English. I: *The Industrial Robot* 27.4, s. 257–265.
- Hoffman, E. G (2004). *Jig and Fixture Design*. Fifth edition. New York: Delmar Learning.
- Holmdahl, L (2010). *Lean Product Development på svenska*. Första upplagan. Göteborg: Stromia Digitaltryck AB, s. 111–145.
- Larsson, F. (2012-02-01). *Programmerbart styrsystem — Nationalencyklopedin*. Website. <http://www.ne.se/programmerbart-styrsystem>.
- Liao, Y. G. (2003). “A genetic algorithm-based fixture locating positions and clamping schemes optimization”. I: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers* 217.8, s. 1075–1083.
- Locating and clamping principles* (2012). Website. <http://www.carrlane.com/Catalog/index.cfm/29625071F0B221118070C1C513906103E0B05543B0B012009083C3B285351405948201>
- Majumdar, S.R. (1996). *Pneumatic systems : principles and maintenance*. First edition. New York: McGraw-Hill.
- Nee, Andrew Y.C. (2004). *An Advanced Treatise on fixture design and planning*. First edition. London: World scientific publishing Co. pte.ltd.
- Robotics and Fixtures Coming Together* (2012). Website. <http://www.royalworkholding.com/guides-and-case-histories/guides/robotics-and-fixtures-coming-together>.
- Singer D. J., Doerry N. och M. E. Buckley (2009). “What Is Set-Based Design?” I: *Naval Engineers Journal* 121.4, 31–43.
- Sobek II, Durward K., Allen C. Ward och Jeffrey K. Liker (1999). “Toyota’s principles of set-based concurrent engineering.” I: *Sloan Management Review* 40.2, s. 67 –83.
- Teresko, John (2002). “Robots evolution”. English. I: *Industry Week* 251.3, s. 44–44.
- Ward, A.C. (2009). *Lean Production and Process Development, Set-based concurrent engineering (SBCE)*. First edition. Cambridge, MA, USA: The Lean Enterprise Institute, s. 111–145.
- Welding fixtures for robotic welding* (2012-04-02). Website. <http://www.robotwelding.co.uk/fixtures.html>.