



# CHALMERS

---

## Utveckling av flexibel fixtur

- En studie om flexibilitet

Kandidatarbete inom Maskinteknik

ADAM ANDERSSON

HANNA LINDAHL

JAKOB SANDSTRÖM

## Abstract

Volvo Cars in collaboration with Chalmers University of Technology recently started a research project on one of Volvo's production cells, in which the underlying structure of Volvo's S80 car model front is being manufactured. This bachelor thesis is part of a much larger project, comprising of six different teams in total, where research is being done simultaneously on several different aspects of the cell. The different groups are mainly working separately, but certain elements of the various projects are interlinked. This bachelor thesis examines the possibilities to implement the use of a flexible assembly and welding fixture within the production cell. The main focuses of the project are the theories and ideas related to the flexibility of a fixture in order to build a solid foundation of knowledge for future research projects regarding fixturing at Chalmers.

In order to examine the possibilities with the usage of a flexible fixture the team, chose to begin working with a standardized modular framework. The greatest challenge in the project was creating angular flexibility in the fixture as the framework itself lacks that particular ability. As a result, a great effort has been put in to solving the difficulties that occur due to the usage of the modular framework. Custom components have been manufactured in order to create a bridge between the framework and work piece.

The result is mostly presented with virtual models as no complete prototype has been constructed due to a shortage of necessary components. Despite the lack of components, part of the prototype was constructed with promising performance results.

The conclusion drawn from the project is that it is theoretically possible to apply an increased amount of flexibility to fixtures in the car industry exists, however plenty of development remains before the concept is ready to be introduced to the market.

## Sammanfattning

Volvo Cars har i samarbete med Chalmers startat ett forskningsprojekt för utveckling av en produktionscell för den bakomliggande stålstrukturen till fronten på Volvos bilmodell S80. I detta forskningsprojekt undersöker flera kandidatgrupper olika aspekter av produktionscellen. Projekten arbetar huvudsakligen individuellt, men vissa element av ett kandidatprojekt kan beröra andra grupper. Detta kandidatarbete har handlat om att undersöka möjligheterna kring att implementera en flexibel monterings- och sammanfogningsfixtur i produktionscellen. Projektet har bedrivits med fokus på teorier och idéer kring flexibilitet i fixturer och lagt en grund för framtida fixtureringsprojekt på Chalmers.

För att undersöka möjligheterna kring en flexibel fixtur har gruppen valt att utgå från ett modulbaserat ramverkssystem bestående av standardkomponenter. Den stora utmaningen med att skapa flexibilitet vid användningen av ramverket är systemets vinkelbegränsningar. Störst fokus har lagts på att lösa problematiken som uppstår i samband med detta. Utgående från ramverket har specialtillverkade delar tagits fram för att skapa en brygga mellan fixturens ramverk och arbetsstycket.

Projektets resultat har presenterats främst i form av virtuella modeller då ingen fullständig prototyp har konstruerats på grund av brist på nödvändiga komponenter. Lösningen på vinkelövergången från det modulära systemet till fixeringsobjekten har däremot kunnat demonstreras med en mindre prototyp, och med lovande resultat.

Slutsatserna som dragits utifrån det här projektet är att det är teoretiskt möjligt att tillämpa flexibilitet på fixturer i bilindustrin, men att det fortfarande återstår vidareutvecklingsarbete innan en väl fungerade flexibel fixtur kan introduceras för marknaden.

# Ordlista

**PSL-laboratoriet** – Production System Laboratory. Ligger i Maskinhuset på Chalmers tekniska högskola i Göteborg.

**BoxJoint**- Samlingsnamn för ett modulbaserat ramverkssystem uppbyggt av standardkomponenter.

**Styrpinnar**- Komponenter som håller produkten på plats i fixturen genom att de placeras i fixeringshål.

**Klackar**- Stöd som tar upp krafter. Används för att förhindra till exempel utbuktningar eller andra typer av deformationer.

**Fästanordningar**- Samlings namn för styrpinnar, klackar och klämmor.

**Shims**- Små metallbrickor som placeras mellan kanter för att skapa vinkeländringar.

**Shimsbox**- Skruvförband bestående av ställ- och spännskruvar för att skapa noggrann vinkeländring.

**Ställskruvar**- Skruvar som trycker mot ytor för att skapa vinkeländringar.

**Spännskruvar**- Skruvar som drar åt shimsboxen när rätt vinkel uppnåtts.

**Överlåsa**- När för många frihetsgrader är låsta. Kan leda till att detaljer inte går att montera etc

# Innehåll

1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte	8
1.3	Avgränsningar	9
1.4	Metod	9
<b>2</b>	<b>Teori</b>	<b>11</b>
2.1	Fixturer	11
2.2	Fixturens delar	11
2.3	Vinkeländring i fixturer	12
2.4	De sex frihetsgraderna	13
2.5	3-2-1-metoden	14
<b>3</b>	<b>Resultat</b>	<b>16</b>
3.1	Fixturen	16
3.2	Styrpinnar	16
3.3	Klämmor	17
3.4	Ramverk	17
3.5	Vinkeltest med mätarm	18
3.6	Fixturbygget	19
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>21</b>
4.1	Analys av metodval	21
4.2	Komponenter	21
4.3	Test	22
4.4	Projektreflektion	23
<b>5</b>	<b>Slutsatser och rekommendationer</b>	<b>25</b>
	<b>Källförteckning</b>	<b>26</b>

## Bilagor

*Bilaga I Ritning styrpinne 1*

*Bilaga II Ritning styrpinne 2*

*Bilaga III Ritning styrpinne 3*

*Bilaga IV Ritning platta 1*

*Bilaga V Ritning platta 2*

**Bilaga VI Ritning platta 3**

**Bilaga VII Ritning platta 4**

**Bilaga VIII Volvo fixtur**

## Figurer

<b>Figur 1: Den bakomliggande stålkonstruktionen till en Volvo S80-front. I den övre bilden ses en sprängskiss och i den undre är fronten hopmonterad. Denna struktur sitter direkt bakom den yttre fronten och går att se vid öppen huv. Det är häri som lykthusen sitter.....</b>	<b>8</b>
<b>Figur 2: Sprängskiss av BoxJoint. Bilden kommer från BoxJoint ABs hemsida [5].</b>	<b>9</b>
<b>Figur 3: Schematisk överblick över processen för fixturutformning.</b>	<b>10</b>
<b>Figur 4: Schematisk bild av en fixturuppbyggnad.</b>	<b>11</b>
<b>Figur 5: Exempel på två tillämpningar av shims. Bildkälla: Henrik Kihlman.</b>	<b>12</b>
<b>Figur 6: Principiell bild över ett tvärsnitt av en shimsbox med markerade spänn- och ställskruvar.</b>	<b>13</b>
<b>Figur 7: Illustration av sfäriska brickor under snedställning</b>	<b>13</b>
<b>Figur 8: De sex frihetsgraderna i ett koordinatsystem</b>	<b>14</b>
<b>Figur 9: Kub i förhållande till ett koordinatsystem</b>	<b>14</b>
<b>Figur 10: Illustration av 3-2-1-metoden.</b>	<b>15</b>
<b>Figur 11: Fixtur, med och utan front.</b>	<b>16</b>
<b>Figur 12: Fixering av styrypinnar i en shimsbox.</b>	<b>17</b>
<b>Figur 13 Exempel på en komplett shimsbox med alla ingående delar</b>	<b>17</b>
<b>Figur 14: Exempel på BoxJoint konstruktion där justerbarheten i x-, y- och z-led illustreras.</b>	<b>18</b>
<b>Figur 15: Monteringen av shimsboxen på en BoxJoint-balk.</b>	<b>18</b>
<b>Tabell 1 Resultat av vinkeltest</b>	<b>19</b>
<b>Figur 16: Shimsbox prototyp med och utan plåt monterad</b>	<b>19</b>
<b>Figur 17: Shimsbox monterad på en BoxJoint-box.</b>	<b>20</b>
<b>Figur 18 Uppsättning av ställskruvar. Blå skruvar styr rotation runt blå axel och röda skruvar rotation runt röd axel</b>	<b>22</b>

# Inledning

I det här kapitlet beskrivs bakgrunden till problemet, syftet med projektet följt av en problemformulering samt avgränsningar och metod. Kapitlet ska ge bild av vad projektet handlar om och vad projektets ambitioner är.

## 1.1 Bakgrund

Fixturer är enheter som under tillverkningsprocessen håller produkter i önskat läge. De traditionella fixturerna är dedikerade till en produkt och har i princip inga möjligheter att justeras om. Det innebär att om produkten omdesignas måste man normalt även ta fram en ny fixtur för att kunna uppnå rätt toleranskrav. Detta är både kostsamt och tidskrävande för industrin. För att kringgå problematiken som uppstår med detta tillvägagångssätt har det utvecklats tekniker som erbjuder samma prestanda, men med möjlighet att justera och bygga om fixturen på ett effektivt sätt. Fixturer med nämnda egenskaperna brukar benämnas som flexibla fixturer.

Det finns nu intresse att applicera flexibla fixturer inom bilindustrin. Jämfört med de traditionella fixturerna skulle det här betyda att man kan åtgärda eventuella fel efter att man fixerat produkten men innan man punktsvetsat ihop delarna. På detta sätt skulle onödiga utgifter kunna undvikas eftersom att toleransavvikelse på fixturen ofta betyder att de i hopsvetsade delarna avyttras. Volvo Cars har i samarbete med Chalmers startat ett projekt där möjligheterna kring flexibla fixturer ska undersökas, med utgångspunkt från den bakomliggande stålkonstruktionen i en Volvo S80-front.

Fixturen som idag används av Volvo Cars (se bilaga VIII) är dedikerad men med inslag av justerbarhet då det går att förskjuta fixeringspunkterna i x-, y- och z-led. Den håller upp den bakomliggande stålkonstruktionens delar med hjälp av så kallade styrypinnar och klämmor. Styrypinnarna positionerar delarna på rätt plats och klämmorna låser fast dem. Plåtarna placeras manuellt i fixturen och när alla bitar positionerats förflyttas fixturen vidare i produktionscellen där delarna sedan svetsas samman.

Något som man i framtiden vill ha möjlighet till är att kunna göra kontrollmätningar på produkten direkt i fixturen för att kunna göra mindre korrigeringar innan svetsoperationerna påbörjas. Detta skulle förhoppningsvis minska antalet fel i de svetsade plåtarna, vilket leder till att färre behöver kasseras. I dagsläget gör man denna kontroll i en separat mätfixtur efter att plåtarna har svetsats samman till en frontdel vilket medför den problematik som man vill lösa.

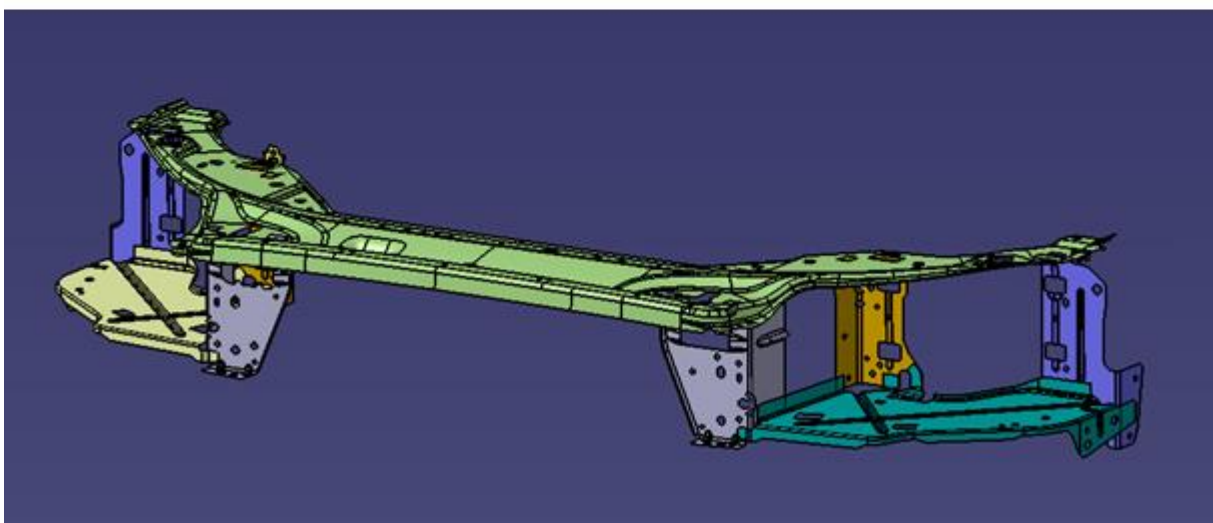
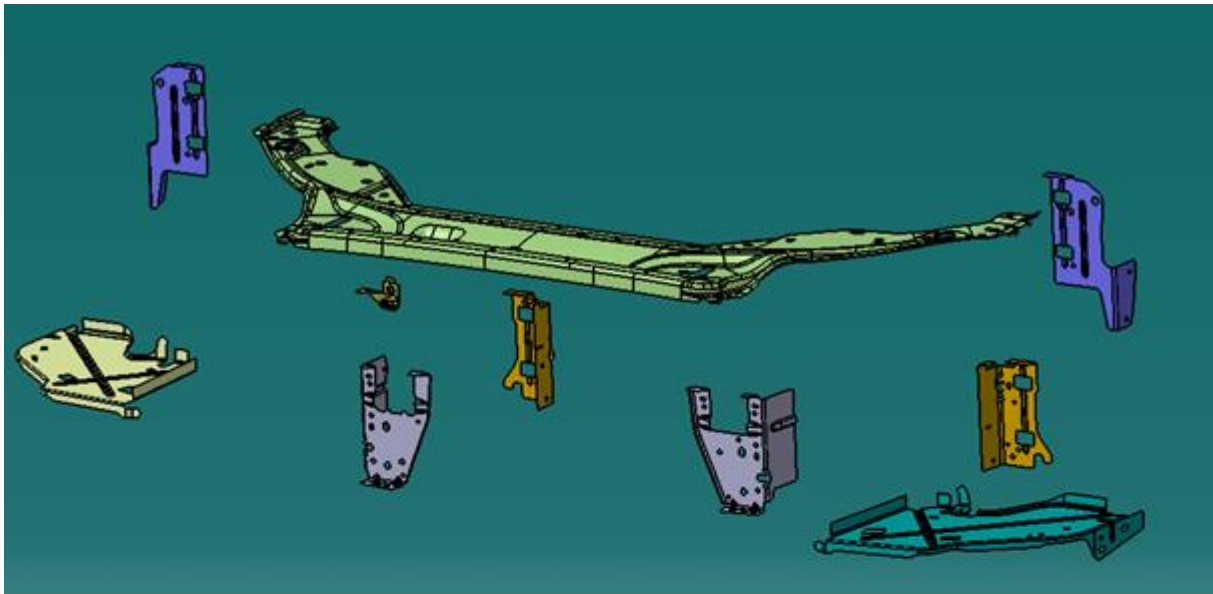
## 1.2 Syfte

Syftet med det här kandidatarbetet är att undersöka möjligheterna att införa ökad flexibilitet inom bilindustrin med den bakomliggande stålkonstruktionen till en Volvo S80-front (se figur 1) som utgångspunkt. Fokus i projektet kommer främst läggas på att skapa en grund för framtida forskning och projekt i Production System Laboratory (hädanefter kallat PSL-labbet) inom ämnesområdet.

En flexibel fixtur till den bakomliggande stålkonstruktionen i en Volvo S80-front ska designas och konstrueras. Den färdiga fixturen ska placeras i en produktionscell på Chalmers där en hopsatt front ska kunna monteras manuellt och sedan flyttas med en robot.

Detta ska uppnås med hjälp av följande delmål:

- Undersöka möjligheterna kring vinkeljustering i fixtur.
- Undersöka möjligheterna kring olika fästordningar.
- Skapa en virtuell modell av prototypen.
- Skapa en fysisk prototyp.



*Figur 1: Den bakomliggande stålkonstruktionen till en Volvo S80-front. I den övre bilden ses en sprängskiss och i den undre är fronten hopmonterad. Denna struktur sitter direkt bakom den yttre fronten och går att se vid öppen huv. Det är häri som lykthusen sitter.*



### 1.3 Avgränsningar

Tiden är en avgränsning då projektet löper över 15 veckor. I fixturen kommer flexibiliteten främst att eftersträvas i ramverk och i så stor utsträckning som möjligt i andra element. Projektet kommer ligga som grund för framtida kandidatprojekt i PSL-labbet.

I det här kandidatarbetet kommer området med mätning i fixturen inte att undersökas, då detta kräver en fullständig prototyp innan det går att arbeta vidare med den aspekten. Att både utveckla en fixturprototyp och ta fram en lösning på att kunna utföra kontrollmätning i den är något som är alltför omfattande för kandidatarbetets ramar.

Ytterligare en avgränsning är att fixturen ska monteras i en produktionscell i PSL-labbet. I cellen finns industrirobotar och dessa ska lyfta ut produkten ur fixturen. Då flera grupper arbetar i produktionscellen var det bestämt var fixturen ska vara placerad och från vilket håll industriroboten ska lyfta ur produkten, vilket skapade begränsningar i designen gentemot endast manuell url Lyftning.

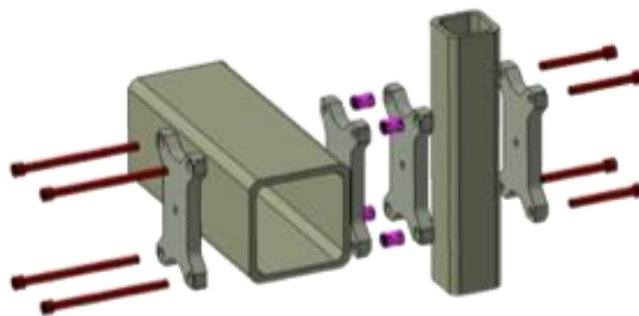
Fixturen kommer inte skapas för industriella ändamål utan snarare i ett utbildnings- och forskningssyfte. Därför kommer fixturen inte ha några industriella krav på sig för att effektivt producera nya produkter.

### 1.4 Metod

Problemet som ska lösas är konkret men komplext. Därför har följande faser i arbetsgången genomförts för att successivt komma närmare de uppsatta målen. Till en början låg mycket fokus på att bygga upp en kunskapsgrund, och en viktig del var att identifiera de grundläggande principerna för att kunna konstruera en prototyp av fixturen där den bakomliggande stålkonstruktionen korrekt kan placeras för montering och sammanfogning.

För att tydligare förstå problemet och identifiera de grundläggande principerna gjordes en litteraturstudie. Fixturer är komplexa och fokus låg till stor del på identifiering av begrepp, själva skapandeprocessen samt gamla och nya teorier kring fixturering. Som komplement till litteraturstudierna gjordes ett besök på fabriken i Olofström där plåtarna tillverkas och sammanfogas. På plats kunde diskussion om oklarheter och svårigheter tas för att ge en bredare förståelse och klarhet i fixturens komplexitet och användning.

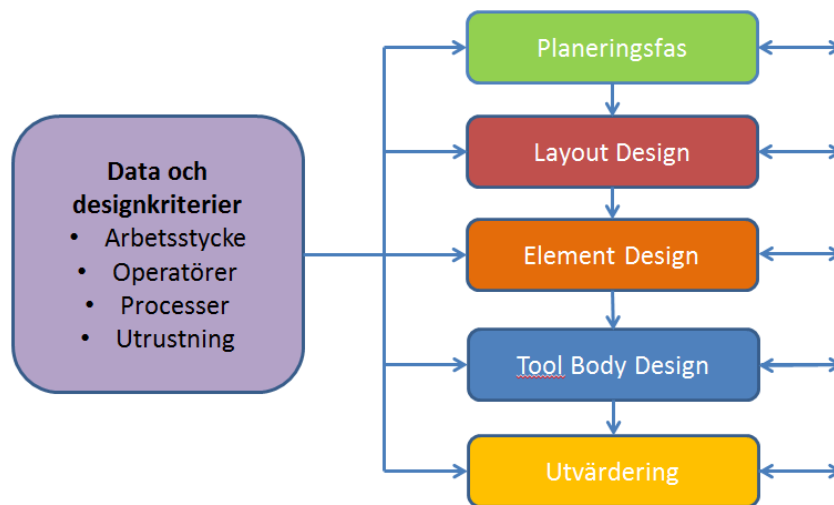
Med stöd från litteratur och fabriksbesök undersöktes möjligheterna till hur problematiken med flexibilitet skulle kunna lösas. Först gjordes en kartläggning över vad som är intressant och nödvändigt att göra flexibelt. Efter att de områden där flexibilitet var önskvärt hade kartlagts, diskuterade gruppmedlemmarna olika lösningar på problemen. Olika typer av ramverk undersöktes eftersom de utgör störst del av fixturen. Två system fanns tillgängliga på Chalmers och efter provat på att använda dessa utsågs ett modulbaserat komponentsystem kallat BoxJoint som mest passande till projektet (se figur 2). Anledning till att endast dessa två system undersöktes var att båda hade använts med framgång och rekommenderades av handledare.



Figur 2: Sprängskiss av BoxJoint. Bilden kommer från BoxJoint ABs hemsida [5].

De resterande lösningsförslagen undersöktes i virtuell miljö för att visualisera fixturen tillsammans med bilfrontens bakomliggande stålkonstruktion. Detta gjordes i CATIA-applikationen DELMIA V21. För att konstruera fixturenas ramverk användes BoxJoint Design Tool, vilket är ett tillägsprogram till DELMIA V21. I applikationen finns alla BoxJoint-komponenter som färdiga CAD-filer och även en uppsättning funktion för att sätta samman dessa i olika kombinationer. Detta möjliggjorde att olika designers kunde testas virtuellt innan den applicerades i verkligheten. I slutändan valdes det koncept som bäst kunde upprätthålla krav på justerbarhet, tillverkningsbarhet och noggrannhet.

Designarbetet har till största del gjorts virtuellt och har följt följande utformningsprocess. Den huvudsakliga process som har använts inom projektet återfinns i [3] där de olika steg som presenteras är planering, layout design, element design, tool body design och utvärdering (se figur 10).



Figur 3: Schematisk överblick över processen för fixturutformning.

- **Planering** - I planeringsfasen är frågorna och ovissheten stor för designteamet. Här är det viktigt att kartlägga fixturen så detaljerat som möjligt för att besvara relevanta frågor: hur många delar finns det som ska fixeras, finns det toleranser som måste tas hänsyn till, finns det lämpliga punkter för att fästa klämmor och styrelement, hur kan kostnaderna hållas nere, vad för operationer behöver utföras i fixturen och vad eller vem ska utföra det?  
Den bakomliggande stålkonstruktionen består av nio delar och dessa ska fixeras i fixturen. Med utgångspunkt i den befintliga fixturen valdes fästpunkter och viktiga toleranser kunde identifieras. Med hänsyn till avgränsningarna i projektet bestämdes det att fixturen endast skulle skötas manuellt. Fokus med projektet är inte att utveckla en fixtur med optimala produktionsegenskaper utan en anpassad för lärande ändamål.
- **Layout Design** - Väl i designen av layouten börjar fixturen att anta den slutgiltiga formen. Kontaktytor, styrelement och klämmor har placerats ut och information om nödvändiga klämkrafter och sekvenser är känd för kandidatgruppen.  
I denna fas bestämdes ordningen för hur delar placeras i fixturen och lämpliga klämmor positionerades efter klämpunkterna.
- **Element Design** - Är fasen då specifika fixturerings-element utformas för de områden där standardiserade komponenter av olika anledningar inte klarar av att uppfylla uppgiften.
- **Tool Body Design** - Som sista steg i konstruktionskedjan är att utforma ramverket som ska förse fixturen med nödvändiga fästpunkter för subsystemen som låser arbetsstycket.  
Här användes BoxJoint Design Tool för att anpassa ramverket för de fixerande delarna.
- **Utvärdering** - När fixturen är färdig testas den för att se om den är duglig.

## 2 Teori

I det här kapitlet beskrivs det vad en fixtur är och dess ingående komponenter. Dessutom kommer kapitlet att behandla bakomliggande teori för grundläggande fixtureringsprinciper. Kapitlet ska ge en förståelse över vad fixturer är och teorin bakom.

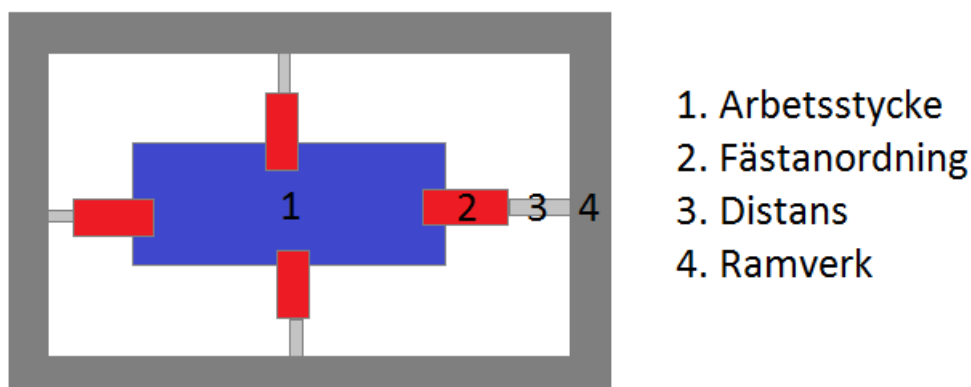
### 2.1 Fixturer

En fixtur är ett redskap som används vid tillverkning och montering av produkter eller delar av produkter [1]. Det finns krav på några element som måste ingå för att det ska kallas fixtur. En fixtur måste ha en struktur som upprätthåller förhållandet mellan dess olika komponenter. Fixturen måste även ha två andra typer av delar; en som positionerar arbetsstycket och en som säkerställer att den inte flyttas även under påverkan av yttre krafter (svarvning, fräsning, borrar, etc.). Den viktigaste aspekten med en fixtur är repeterbarhet, detta innebär att varje slutgiltig komponent är näst intill identisk med föregående. Fixturen eliminerar momentet med att för varje enskild del mäta, anpassa och kontrollera, vilket kortar ner tillverkningsprocessen. Användandet av fixturer minskar även kraven på operatörernas kompetens och skicklighet, vilket även detta är kostnadssparande.

Fixturer har länge använts inom industrin. De som då använts är de dedikerade fixturena, som är skapta för endast en produkt och ett ändamål [2]. Dessa är kostsamma då ledtiden för design, tillverkning och modifieringar är lång. Det är även kostsamt att förvara de dedikerade fixturena då de tar mycket plats. Det uppskattas att design och tillverkning av dedikerade fixturer uppgår till 10-20% av den totala tillverkningskostnaden.

### 2.2 Fixturens delar

Som tidigare nämnts består en fixtur av en mängd element som alla fyller en funktion, och är nödvändiga för att det ska bli en fixtur [1]. Nedan följer en beskrivning om hur en fixtur kan vara uppbyggd (se figur 3) [4].



*Figur 4: Schematisk bild av en fixturuppbyggnad.*

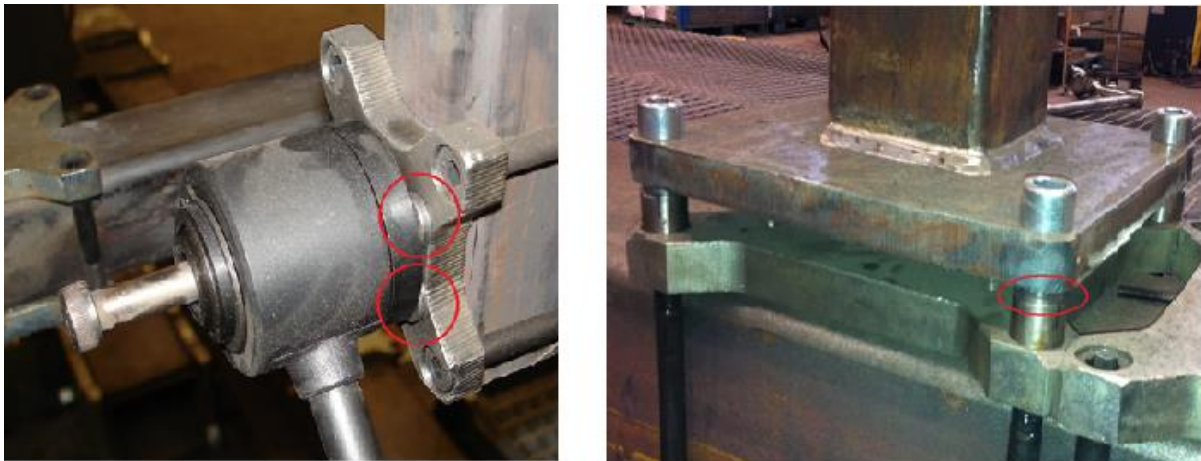
Fästordningar är de delar av fixturen som ligger närmast arbetsstycket och håller detta på plats. Dessa utgörs generellt av styrrpinnar, klackar och klämanordningar. Styrrpinnar placeras i hål för att lokalisera och hålla uppe de olika delarna genom att låsa rörelse i en eller flera frihetsgrader. Styrrpinnarnas positionering är det mest kritiska momentet under designarbetet eftersom väldigt små toleransmissar kan leda till att arbetsstycket inte passar i fixturen. Klackar används som stöd för att motverka böjning eller förflyttning av arbetsstycket som kan uppstå på grund av olika yttre krafter eller av arbetsstyckets egenvikt. Klämanordningar är det som normalt låser arbetsstyckets sista frihetsgrad i fixturen. Innan fästordningar placeras ut är det av vikt att toleranser identifieras samt strategiska punkter identifieras på arbetsstycket. Med strategiska punkter menas punkter man kan låsa i flera frihetsgrader men utan att förhindra in-och utplockning ur fixturen. Fästordningar som

används för att fixera arbetsstycket måste i sin tur sitta fast i någon annan komponent. Denna typ av komponent kallas distans och har som syfte att koppla ihop fästordningarna med ramverket. Distanser kan även betraktas som en del av ramverket, men då deras primära funktion är att komma närmare arbetsstycket kan de betraktas som en egen komponentgrupp. Det yttersta området i fixturen kallas ramverk. Det är till denna del alla andra ingående komponenter och subsystem till sist kopplas. Ramverket är oftast enkelt men kan bli invecklat för att tillgodose tillräckligt med nödvändiga vinklar och åtkomstpunkter åt distanser och fästordningar. Sammanfattningsvis beror det på arbetsstyckets utformning och komplexitet.

## 2.3 Vinkeländring i fixturer

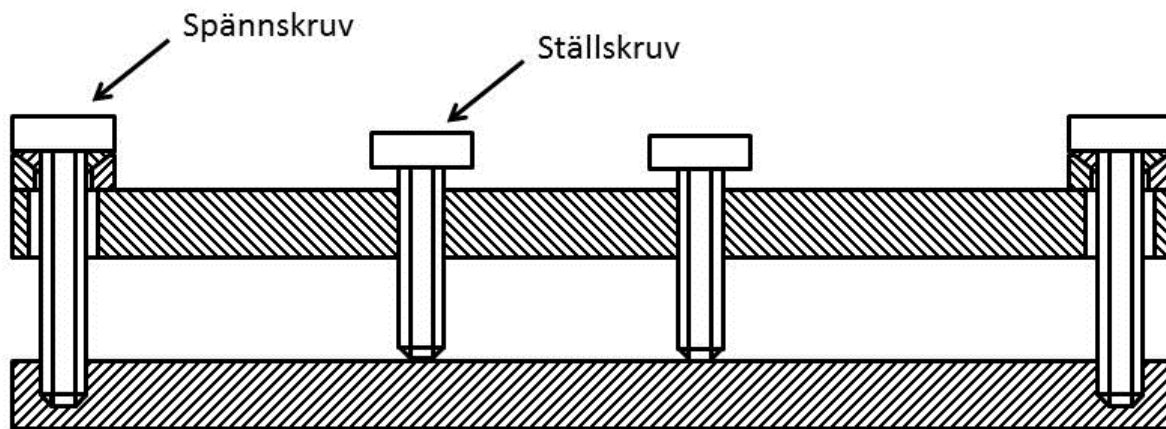
Generellt sett är ramverk relativt enkelt konstruerade eftersom de främst är menade att lösa de längre förflyttningarna in till arbetsstycket. Det här betyder att toleranserna är grova och möjligheterna till justering är ganska små. Det första problemet som uppstår är vinkeländringen för att leda styrpinnar och klackar till rätt positioner. Det finns olika sätt att lösa detta:

Den enklaste metoden för att lösa vinkelproblematik är att använda sig av shims, vilket lämpar sig för vinkeländringar med mindre krav på noggrannhet. Den önskade vinkelförändringen åstadkoms genom att man testat sig fram med en kombination av brickor i olika tjocklekar (se figur 4). Fördelen att använda sig av shims är att kostnaden är låg. Eftersom man generellt bara behöver uppnå ett ungefärligt resultat går det ofta fort att ställa in systemet.



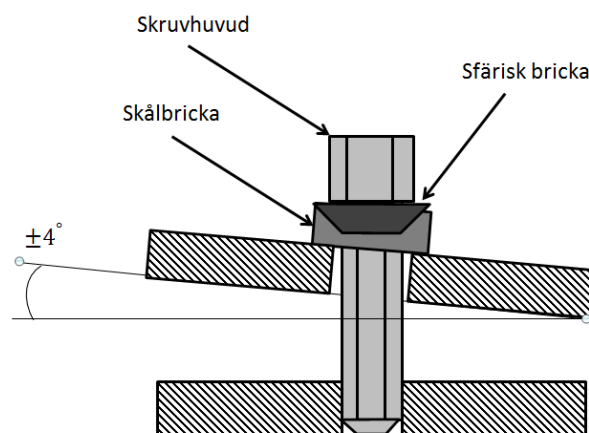
*Figur 5: Exempel på två tillämpningar av shims. Bildkälla: Henrik Kihlman.*

Ett mer noggrant sätt att lösa problemet är att använda sig av en shimsbox vilken ger mer exakta möjligheter till snedställning. Boxen är en variant av ett skruvförband som med hjälp av skruvar skapar en vinkeländring. Det finns två typer av skruvar i en shimsbox; ställskruvar och spännskruvar. Ställskruvarna skapar vinkeländringen och spännskruvarna drar åt förbandet (se figur 5).



Figur 6: Principiell bild över ett tvärsnitt av en shimsbox med markerade spänn- och ställskruvar

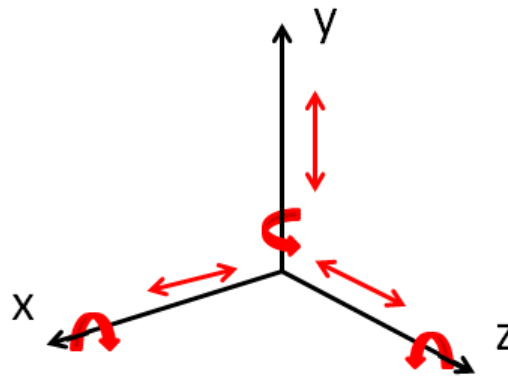
Ställskruvarna gängas fast i ytan där en vinkeländring önskas och skruvas nedåt mot den undre ytan, vilket skapar en höjdskillnad och således en vinkel. Spännskruvarna skruvas fast i den undre ytan för att låsa fast den övre ytan i den uppnådda vinkeln. För att skruvförbanden ska dra på ett korrekt sätt även när en yta är vinklad används sfäriska brickor och skålbrickor (se figur 6). Effekten av att använda dessa blir att de utjämnar vinkeländringen och på så vis tillåter att skruven kan dras åt som om det aldrig vore någon vinkeländring.



Figur 7: Illustration av sfäriska brickor under snedställning

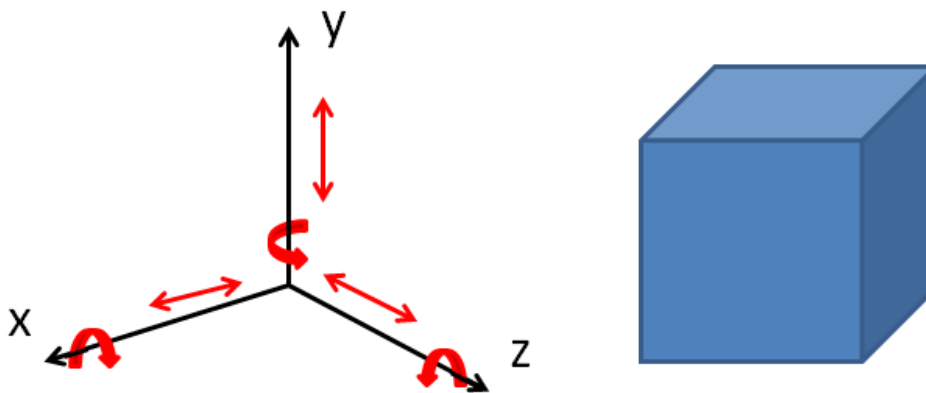
## 2.4 De sex frihetsgraderna

Det finns tre linjära frihetsgrader och tre roterande frihetsgrader (se figur 7). Det går att röra ett föremål i positiv och negativ riktning längst med axlarna samt rotera medurs eller moturs runt axlarna. När man kontrollerar och stabiliserar ett föremål låser man föremålet i en eller flera frihetsgrader.



Figur 8: De sex frihetsgraderna i ett koordinatsystem

Kuben i figur 8 går att flytta helt fritt i koordinatsystemet. Pondera att xz-planet är en yta, exempelvis ett bord där kuben placeras. Den låses då i negativ y-riktning, kuben kan alltså inte längre röra sig fritt i y-led då den begränsas av bordet. En av de linjära frihetsgraderna är nu låst, men kuben fortfarande rör sig linjärt längst med x- och z-axeln. Kuben kan dock inte längre rotera kring x- och z-axeln, då den är begränsad av bordet. Däremot kan den fortfarande rotera kring sin egen axel och y-axeln. Den är nu låst i tre av sex frihetsgrader. Vid låsning är det önskvärt att låsa i alla sex frihetsgrader, men endast i sex frihetsgrader då fler låsningar eller dubbla låsningar resulterar i att kuben blir överlåst.



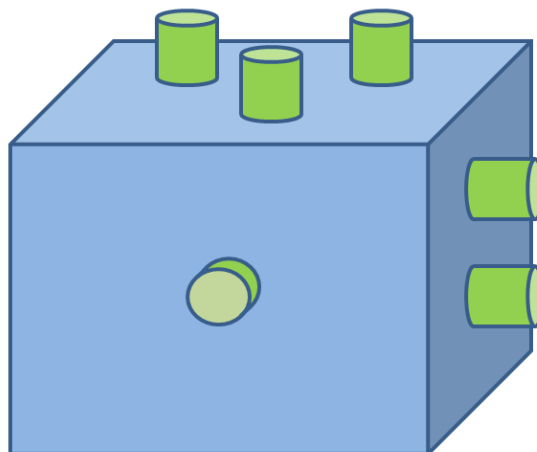
Figur 9: Kub i förhållande till ett koordinatsystem

## 2.5 3-2-1-metoden

En metod som går att tillämpa för att uppnå önskad låsning och begränsning av delar är 3-2-1 metoden [1]. Med låsning innebär det att delen inte går att röra i en eller flera frihetsgrader. Då 3-2-1-metoden används är målet att låsa delen i alla sex frihetsgrader utan att överlåsa. Grundprincipen för denna metod är att man låser arbetsstycket i tre plan som är vinkelräta mot varandra. I första planet låser man tre punkter, i andra planet låser man två punkter och i tredje planet låser man en punkt (se figur 9). Då detta är gjort är arbetsstycket helt låst utan att vara överlåst. Således låses kuben i ett plan, en linje och en punkt.

Det är viktigt att ta hänsyn till vilka lokaliseringpunkter eller ytor som väljs. Med lokaliseringpunkt menas en punkt där något utomstående trycker på arbetsstycket, exempelvis en klack, klämma eller

upphängning på en styrpinne. När en lokaliseringpunkt är vald bör denna inte ändras förrän alla operationer på arbetsstycket är klara. Detta för att minska fel i konstruktionen.



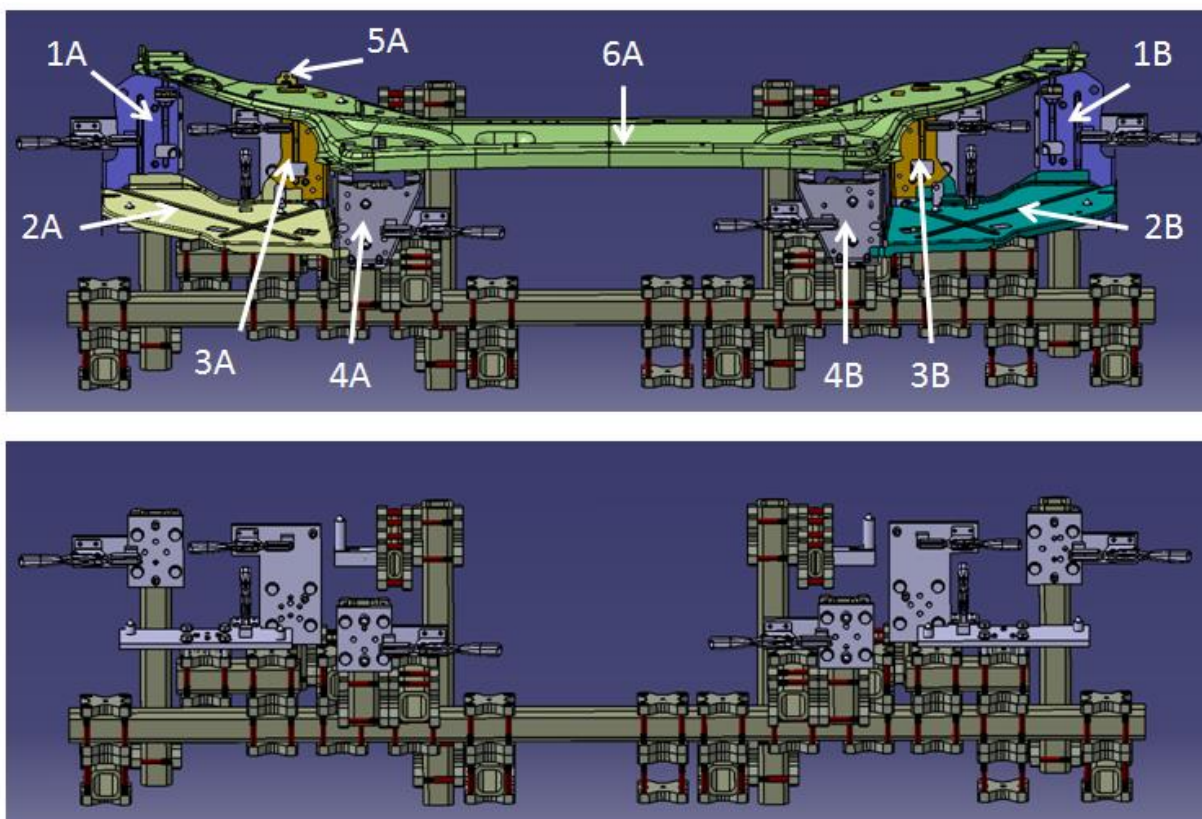
*Figur 10: Illustration av 3-2-1-metoden.*

## 3 Resultat

I början av projektet kartlades de delproblem som behövde lösas för att ett koncept över en fullständig fixtur skulle kunna designas och konstrueras. I det här kapitlet presenteras de lösningar som har tagits fram för att lösa varje delproblem från närmast den bakomliggande stålkonstruktionens delar och ut till ramverket, samt bakomliggande test och prototyper.

### 3.1 Fixturen

I Figur 11 visar den övre figuren fixturen med den bakomliggande stålkonstruktionens delar monterade och den undre visar endast fixturen. Stålkonstruktionens delar har numrerats för att särskilja de spegelvända delarna. Den övre plattan i shimsboxen (se kapitel 2.3) kallas här efter shimsbox-plattan och den skruvas fast i BoxJoint plattan och bildar tillsammans en komplett shimsbox (se figur 13). Styrpinnar och klämmor monteras i sin tur på shimsbox-plattan. De ingående delarna presenteras noggrannare nedan.

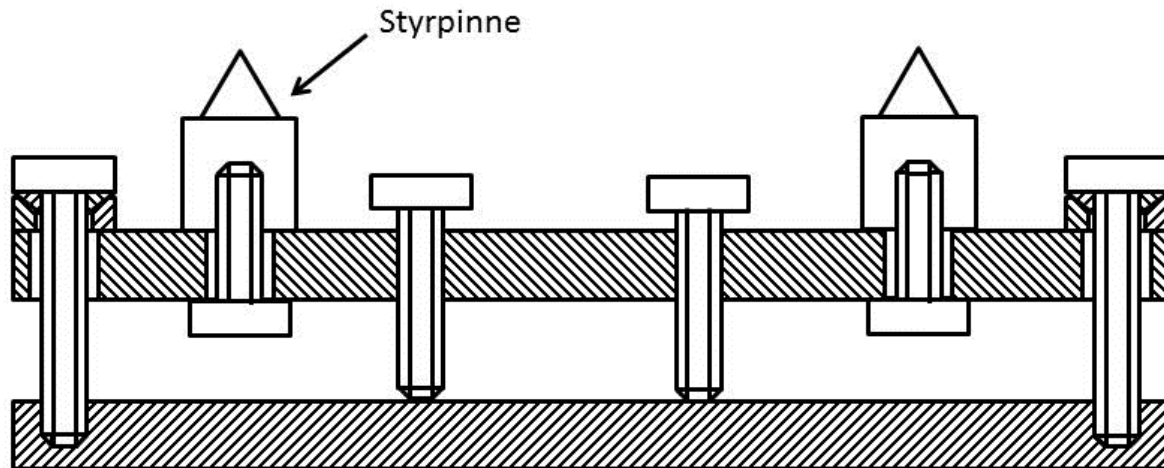


Figur 11: Fixtur, med och utan front.

### 3.2 Styrpinnar

Styrpinnar används för att hålla plåtarna på plats och för att begränsa varje enskild del av den bakomliggande stålkonstruktionens frihetsgrader. Utgångspunkten för placeringen av styrpinnarna var Volvos CAD-modell över den nuvarande fixturen. Styrpinnarna skruvas fast i shimsbox-plattan från undersidan, och för att kunna utföra små justeringar borrades hålet i plattan med en lite större diameter än vad skruven kräver. Detta gör att det går att uppnå den eftersökta noggrannheten (se figur 12). Designen av styrpinnarna har ändrats från Volvos originalstyrpinnar då det lagts till en kant på varje styrpinne. Kanten fungerar som klack och lades till för att minska antalet ingående delar och på så sätt minska komplexiteten och även materialkostnaden.



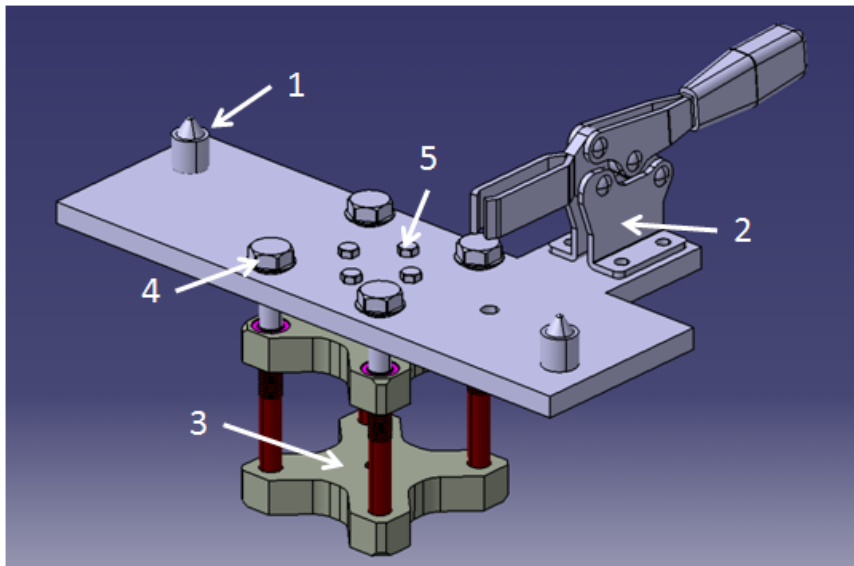


Figur 12: Fixering av styrpinnar i en shimsbox.

Samtliga styrpinnar har konstruerats i en 3D-printer. Det gjorde det möjligt att kontinuerligt välja olika mått och geometrier, tillverka pinnarna och sedan att sätta in dem i fixturen. Detta underlättade dimensioneringsarbetet då det kan vara väldigt svårt att uppskatta passformen utifrån en CAD-modell.

### 3.3 Klämmor

Volvo använder idag specialdesignade klämanordningar för att säkerställa att plåtarna sitter fast i fixturen. Detta var inget alternativ i projektet främst på grund av tidsbegränsningarna. Istället köptes färdiga gripanordningar för att åstadkomma samma sak. Dessa skruvas fast på de shimsbox-plattorna vars design har tagit klämmornas position i beaktning (se figur 13).



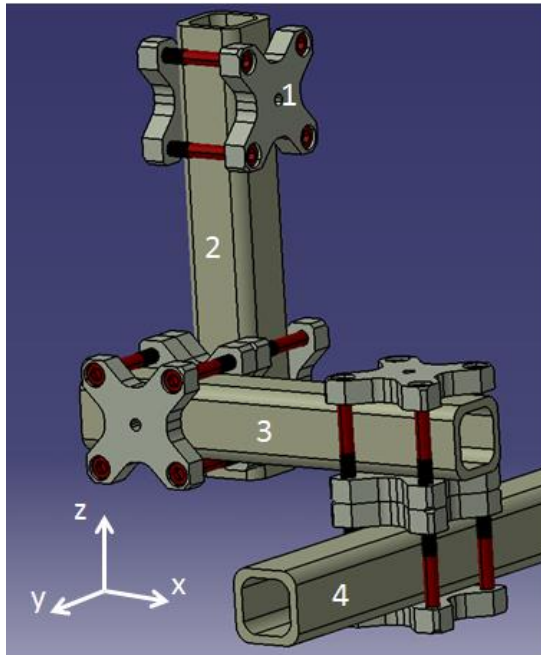
1. Styrpinne
2. Klämma
3. BoxJoint-box
4. Spännskruv
5. Ställskruv

Figur 13 Exempel på en komplett shimsbox med alla ingående delar

### 3.4 Ramverk

Vid designen av ramverket har först en CAD-modell konstruerats med hjälp av BoxJoint Design Tool. Designarbetet av ramverket har börjat närmast arbetsstycket med styrpinnarna och de vattenskurna plattorna som utgångspunkt. Vidare har det eftersträfvats att alla BoxJoint komponenter ska utgå från endast en balk vilket gör att det är möjligt att enklare sätta in och plocka ur hela fixturen ur

produktionscellen. Alla plattor placerats på utgångsbalken med två andra balkar vilket möjliggör grövre förflyttningar i x, y och z (se figur 14).



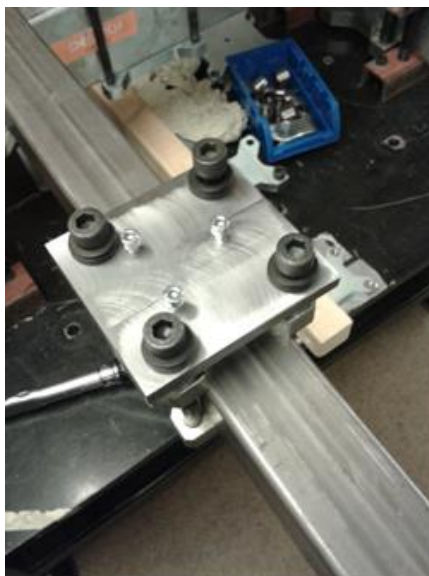
1. Position för platta
2. Balk för förflyttning i z
3. Balk för förflyttning i x
4. Utgångsbalk (förflyttning i y)

Figur 14: Exempel på BoxJoint konstruktion där justerbarheten i x-, y- och z-led illustreras.

### 3.5 Vinkeltest med mätarm

För att säkerställa att shimsboxen fungerar som tänkt utfördes ett vinkeltest. En shimsbox-prototyp tillverkades för detta ändamål och testades enligt nedan.

Testet började med att enheten monterades på en BoxJoint-balk (se figur 15.) Testet gick ut på att gruppens medlemmar satte upp ett mål för hur stor vinkeländring som skulle åstadkommas och därefter försökte detta resultat uppnås. Vinkeln kontrollerades med en extern mätarm som mäter mellan BoxJoint- och shimsbox-plattan. I testet användes endast en förenklad version av en shimsbox-platta utan styrpinnar och klämmor.



Figur 15: Monteringen av shimsboxen på en BoxJoint-balk.

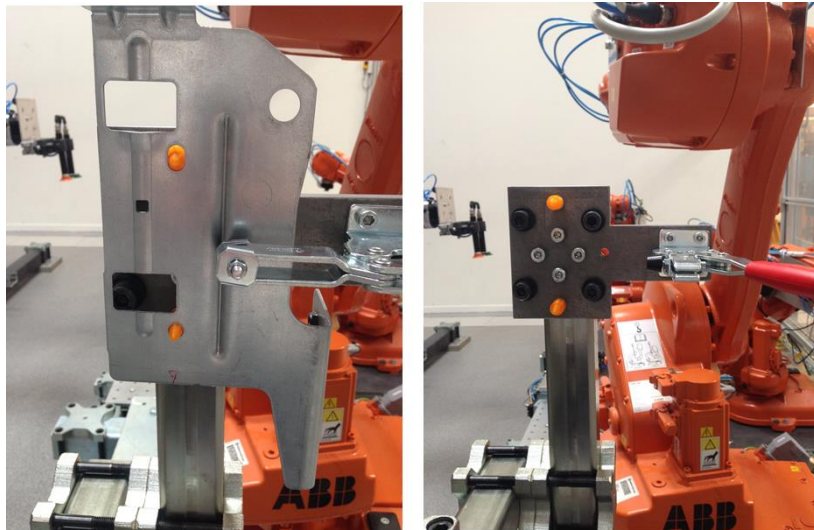
Resultatet av mätningen presenteras i tabell 1.

*Tabell 1 Resultat av vinkeltest*

Målvinkel	Vinkel mot x	Vinkel mot y
1° mot y	0,221	0,896
1° mot y	0,265	1,112
1° mot y	0,091	0,957
3° mot x	2,787	0,007

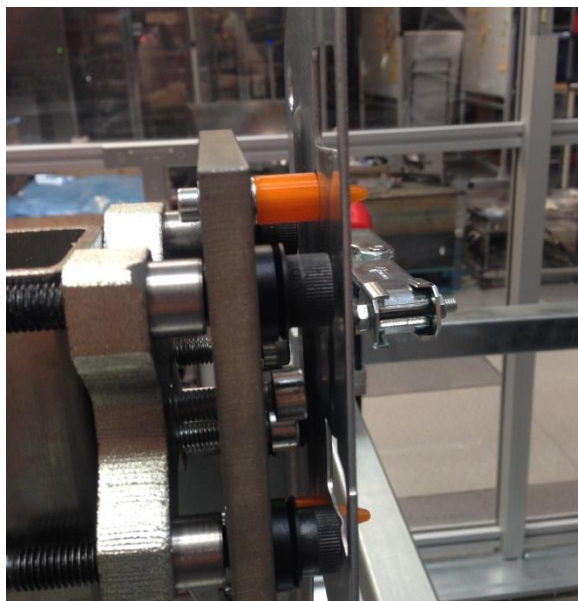
### 3.6 Fixturbygget

Problem uppstod vid byggandet av fixturen då de delar som behövdes för att bygga hela ramverket inte beställdes i tid. Dock fanns det tillräckligt för att realisera en del av fixturen. Det var även av intresse att testa shimsboxen, för att även om vinkeltestet var framgångsrikt, var det fortfarande andra aspekter som inte kontrollerades. Det intressanta är att säkerställa att shimsboxen fortfarande håller toleranserna med stålkonstruktionens delar monterade. I figur 18 ses shimsboxen som fixerar del 1B (se figur 11). Denna hålls uppe av två styrepinnar och fixeras med klämman. Genom att justera styrskruvorna och spännskruvorna uppnås den önskade vinkeln.



*Figur 16: Shimsbox prototyp med och utan plåt monterad*

Shimsbox-plattan är fäst i BoxJoint-plattan med hjälp av dubbelhylsor och spännskrivar (se figur 19). Styrepinnarna är fastdragna i den vattenskurna plattan med skruvar från undersidan. Klämmorna monteras på shimsbox-plattan med hjälp av brickor, skruv och låsande muttrar.



*Figur 17: Shimsbox monterad på en BoxJoint-box.*

## 4 Diskussion

Fixturdesign är som tidigare nämnt ett komplext arbete där det är lätt att missa kritiska moment. Det är viktigt att hela tiden se till helheten under designarbetet då alla delarna i en fixtur påverkar varandra. Små förändringar av t.ex. ramverket kan ge stora förändringar i fästordningarna. Problemen kan vara allt från överlåsningar till komponenter som slår i varandra eller inte får plats. På grund av detta är det väldigt viktigt att först arbeta i en virtuell miljö och sedan testa i verkligheten. Virtuella tester ger möjligheter att upptäcka och korrigera fel tidigt. Under projektets gång upptäcktes det bland annat att den ursprungliga designen på styripinnarna inte var möjlig att ha då de överläste plåtbitarna. Det går dessutom att testa flera olika lösningar innan ett slutgiltigt koncept utses. Empiriska tester i form av t.ex. prototyper är viktiga i de senare delarna av projektet då det är viktigt att säkerställa att allt fungerar som planerat.

På grund av förseningarna av tillverkningsprocessen utformades de shimsbox-plattorna för att göra dem enkla att tillverka. Detta löstes med en design som tillåter grova toleranser. Ur tillverkningsynpunkt är det här åtråvärt eftersom det förenklar alla bearbetningsprocesser.

Huruvida det faktiskt är intressant att använda sig av modulära fixturesystem i industrin kan diskuteras. Innan beslut fattas bör en omfattande kostnadsanalys utföras för att se vad som är mest lönsamt, modulära fixturesystem eller dedikerade fixturesystem. Då det är stora produktionsvolymerna behöver även beräkningar göras på hållbarhet och livslängd för de olika systemen.

### 4.1 Analys av metodval

Gruppen valde att använda sig av CAD-modellering för att analysera de olika lösningsförslagen. Bakgrunden till detta var att Volvo låtit gruppen ta del av deras modeller över en sammanfogade bakomliggande stålkonstruktionen samt fixtur den idag monteras och svetsas i. Det här gjorde det möjligt att använda befintliga koordinater och mått vilket underlättade designprocess och ökade toleranssäkerheten. Vid användandet av virtuella hjälpmedel kunde precisa modeller över hur fixturprototypen skulle förhålla sig till stålkonstruktionen konstrueras. Detta hjälpmedel gav tydliga insikter i vilka geometriska begränsningar som förekom, vilket användes som underlag för fixturens utformning. Programmen som använts har valts då det var de enda som var kompatibelt med BoxJoint Design Tool. Ytterligare en fördel med CAD-modellering var att det är mer tids- och kostnadseffektivt då flera lösningar kan testas utan att delar och komponenter behöver tas fram eller beställas. Färdiga komponenter som senare skulle beställas kunde i förväg laddas ner och provas i DELMIA.

Valet av ramverk grundades till stor del på att BoxJoint redan användes i produktionscellen där fixturen skulle placeras. Det här gör det väldigt smidigt att flytta fixturen in och ut ur produktionscellen vilket var viktigt eftersom flera kandidatprojekt arbetar i denna. Tillgängligheten i början av projektet gjorde det möjligt att både se olika applikationer av BoxJoint samt testa att göra egna konstruktioner. Dessutom var applikationsprogrammet till DELMIA väldigt användbart under det virtuella arbetet.

### 4.2 Komponenter

Shimsboxen gav positiva resultat gällande toleranser under testerna. Dock var det en omständigt process att ställa in vinklarna. Något som hade kunnat underlätta det här arbetet hade varit om man använt kultrycksskruvar. Dessa skruvar har en kulle i slutet på gängningen med en plan yta som anpassas efter underlaget. Den här lösningen hade förmodligen gett bättre möjligheter till finjustering då kullen inte har deformationer som slutet på en skruvs gängning kan ha. Ett annat problem som upplevdes under testet var att ställskruvarna utsattes för deformation. Med detta som bakgrund valdes M8 som dimension på ställskruvarna, men det kan debatteras att en ännu grövre bör användas för att uppnå bättre resultat. Grövre skruvar skulle medföra att spännskruvarna kan dras åt hårdare och att förbandet på så vis blir stabilare. Dock medför en ökad skruvdimension att justeringen av shimsboxens

vinkel blir svårare att ställa in då skruvars gängning blir grövre med ökad dimension. M8 blev därför den skruvdimension som valdes då den kominerade hållfasthet med justeringsmöjlighet.

Klämanordningarna som använts i det här projektet är standardkomponenter och de shimsbox-plattorna anpassades efter dessa. Målet var att se till att plåtarna gick att plocka ut ur fixturen efter att de monterats ihop och klämmorna fällts upp. Stora möjligheter finns att designa klämanordningar som är bättre anpassade för ändamålet. Viktigast i projektet var att klämanordningarna inte var i vägen efter att de uppfyllt sin funktion.

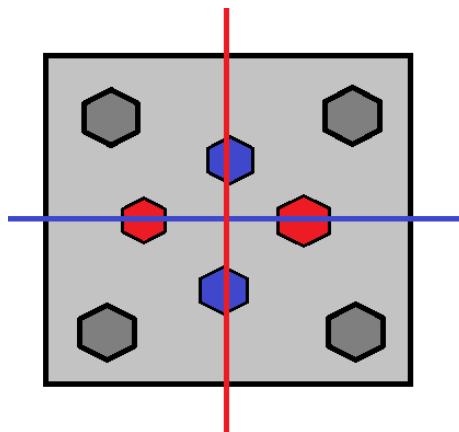
Att tillverka styrpinnarna i en 3D-printer kan också diskuteras. Fördelarna är att tillverkningen går fort samt att metoden är billig att använda sig av. Detta gör att man kan prova olika utformning på styrpinnarna med relativt liten arbetsinsats. Den stora nackdelen är dock att en 3D-printer inte ger samma precision som en NC-svarv gör i tillverkningen. När toleransen på styrpinnarna inte är tillräckligt bra kommer plåtarna inte att hamna på rätt position.

BoxJoint har varit ett användarvänligt system under projektets gång, speciellt i samband med tilläggsprogrammet i DELMIA. Nackdelen med BoxJoint är att konstruktionerna snabbt blir stora och komplicerade. Systemet är inte optimalt för små korrigeringar då endast grova toleranser går att ställa in, vilket gör det svårt att bedöma och kan ge upphov till avvikelser från målet.

En fixtur som är flexibel i den mening att arbetsstyckets delar går att omplaceras och positioneras i förhållande till varandra är en teknik som går att utveckla. Däremot är det komplicerat och skapandeprocessen är svår när det inte finns något att utgå från. Fixturer som är modulbaserade är lättare designa eftersom det går att använda standardkomponenter. Här ligger svårigheterna istället i att uppnå samma prestanda som en motsvarande dedikerad fixtur. Det här projektet har försökt åstadkomma just detta och resultaten har till viss del lyckats.

### 4.3 Test

Resultatet från försöket visade att enheten kunde uppnå ett stort spann av vinkelförändringar i alla riktningar vilket var positivt. Däremot insågs att det är mycket svårt att använda sig av endast tre styrskravar då justering på en pinne påverkar i flera riktningar. En smartare lösning är att använda sig av 4 styrskravar där de agerar i par. Två skruvar styr lutningen kring ena axeln medan det andra paret styr den andra (se figur 17). De två skruvparen blir frikopplade från varandra och justering av en skruv påverkar bara kring en axel, till skillnad från då tre ställskruvar används. Generellt vid inställning används tre ställskruvar för att bestämma vinkeln medan den fjärde hjälper till vid låsningen.



*Figur 18 Uppsättning av ställskruvar. Blå skruvar styr rotation runt blå axel och röda skruvar rotation runt röd axel*

Ytterligare en slutsats som kunde dras från testet var att storlek M5, var för liten dimension på ställskruvarna. När spännskruvarna drogs åt böjdes en av ställskruvarna vid relativt lite kraft. För att motverka detta bestämdes det att en ny dimension måste användas för att enheten inte ska vara lika

känslig. För att minska risken för deformation av styrskruvorna valdes den största skruvdimension som fick plats. Valet föll då på M8-dimensionen.

## 4.4 Projektreflektion

En kritisk återblick av projektet har tagit fram ett par element som kandidatgruppen hade velat göra annorlunda. Det första och mest självklara är att konstruera hela fixturen enligt CAD-modellen och inte bara en del. Det här hade gett möjligheter att testa en komplett montering och även att flytta fronten in och ur fixturen efter detta moment.

Att tillverka styripinnarna i stål hade varit fördelaktigt att testa. Tillverkningen i 3D-printern hade onekligen sina fördelar under projektet men när det gäller att producera den slutgiltiga noggrannheten kunde denna inte uppnås. Eftersom toleranserna på just styripinnarna är de viktigaste så hade det varit väldigt givande att få testa dem i fixturen.

Gruppen anser dock att de viktigaste egenskaperna, flexibilitet i ramverket och vinkelanpassning, hos fixturen har varit kontrollerbara med lovande resultat. Vidare anser gruppen att projektet har skapat en god grund för framtida studier inom ämnet och hoppas att koncepten som tagits fram kan användas av antingen Volvo Cars eller Chalmers.

Ett stort problem som uppstod grundades i att projektet hade olika intressenter, vilket skapade stor förvirring kring vad som skulle göras och uppnås i projektet. Detta ledde till att fokus i projektet hamnade på fel saker och en stor del av det tidiga arbetet blev oanvändbart i slutändan. Direktiven blev klara när gruppen tillsammans med handledare redde ut vad det huvudsakliga målet med projektet var. Förvirringsfasen hade eventuellt kunnat kortas ner om gruppens medlemmar tidigare fokuserat på vem man primärt skulle lyssna på. Huruvida det var möjligt kan också diskuteras, då alla intressenter kanske inte varit tillräckligt insatta själva, eftersom forskningsprojektet mellan Volvo och Chalmers endast var några få veckor gammalt då kandidatarbetet startade.

Genombrottet för arbetet skedde efter ett studiebesök på Volvos fabrik i Olofström. Där fördes dialog med Volvos kontaktperson för projektet vilket gav insikt vilka områden som idag kan förbättras på fixturen. Därefter började det faktiska arbetet med att designa en fixtur som kunde uppfylla de krav och önskemål som ställts. Önskvärt hade varit om besöket kunnat ske tidigare i projektet då det var på plats som projektet fick sin karaktär, men det var svårt att få till en tid då alla parter kunde. För tidigt hade dock inte varit bra då en kunskapsgrund behövde byggas upp innan för att få ut maximalt av besöket.

Komplikationer med licens och gamla versioner av programvara skapade direkt problem med tillägsprogrammet BoxJoint Design Tool som behövdes för att modellera upp ramverket med BoxJoint-komponenter. Problematiken låg i att CAD-programmet inte var kompatibelt med BoxJoint Design Tool och som därför inte kunde startas. Detta problem dröjde ett par veckor att lösa vilket ledde till att det faktiska arbetet kom igång då projektet redan gått mer än halvvägs.

Ytterligare ett moment som dragit ut på tiden har varit att kommunikationssvårigheter med handledare. Den mest ämneskunniga handledaren arbetar bara på Chalmers en dag i veckan vilket gjort det svårt att snabbt få svar på frågor och feedback på arbetet. När kommunikationen primärt består av mailkontakt tar det längre tid att kommunicera med varandra. De mänskliga faktorerna leder till att det händer att meddelanden missas, något glöms att bifogas samt att det ibland blir otydligheter i meddelandena. En konsekvens av den här var att mycket omarbete fick göras. Något som hade kunnat förbättras från gruppens del hade varit att ringa handledarna för enklare frågor istället för att ha använt sig av mailkontakt. Mailkommunikationen har dock varit fördelaktigt ur den aspekten att man tydligt kunnat se vad som behövts besvaras samt att man alltid kunnat gå tillbaka i historiken och kolla upp information. Något värt att påpeka är att vid de tillfällen gruppen och handledarna träffats har de alltid kommit med lärorik och bra feedback vilket hjälpt massvis för arbetets utveckling.

Projektet har även varit sena med sina beställningar av delar från utomstående firmor. Shimsbox-plattorna där styrcylindrar och klämmor fästs var planerade att tillverkas i prototyp-labbet på Chalmers, men det visade sig att det inte var möjligt då varken material eller redskap för att göra nödvändiga bearbetningar fanns på Chalmers. Gruppen fick då kontakta firmor som kunde utföra arbetet och vänta på deras utlåtande rörande ritningarna samt offerter för deras tjänster. Detta var en process som dröjde tid då båda parterna kommunicerade fram och tillbaka för att komma överrens om pris, förtydliga tillverkningsdirektiv och leveransvillkor. För att öka chanserna för att få saker i tid och hålla ner kostnaderna tog gruppen beslutet att inte beställa styrcylindrar. Dessa valdes istället att tillverkas i 3D-printer. Den positiva aspekten av detta beslut var att gruppen nu gavs stor frihet att prova olika utformning på styrcylindrarna eftersom deras tillverkningsprocess var både billig och snabb. Leveransen av shimsbox-plattorna kunde ske först ett par dagar innan deadline för rapporten.

Något som från gruppens del hade kunnat göras bättre hade varit att i ett tidigare skede kontrollera att nödvändigt material och utrustning fanns tillgängligt på Chalmers. På så vis hade man tidigare insett problematiken och arbetat hårdare för att få klart ritningarna och tidigare lägga tillverkningsorder. På så vis hade det funnits mer tid på att lägga på montering, tester och iakttagelser.

Ett misstag som gruppen begick var att tro att leverans av BoxJoint var klart utan att ha fått en konkret skriftlig bekräftelse på att så verkligen var fallet. Trots att det aldrig verkade vara ett problem att ordna fram de behövda delarna var det dumt att inte dubbelkolla leveranssituationen. En ordentlig läxa som i framtiden inte kommer att göras om.



## 5 Slutsatser och rekommendationer

Slutsatsen som dras utifrån det här projektet är att det är teoretiskt sett möjligt att tillämpa flexibilitet på fixturer i bilindustrin, som nämndes i diskussioner behöver kostnads- och hållfasthetsanalyser genomföras för att se om det är lönsamt. Det som undersökts här är först och främst möjligheterna kring ett modulärt ramverk och om användningen av BoxJoint är ett smidigt sätt att bygga upp en struktur på. För att undersöka fler flexibilitetsmöjligheter hade mer tid krävts, då det tog lång tid att sätta sig in i hur fixturer i allmänhet fungerar. Det hade nog underlättat processen att se fler olika exempel på fixturer, hur de är uppbyggda och deras funktioner för att få mer förståelse, inspiration och idéer.

Projektet har varit intressant och givande men tyvärr kunde ingen fullskalig fixtur byggas. I övrigt så uppfylldes alla delmål framgångsrikt. Det finns möjligheter att arbeta vidare med projektet då skapandet av fixturer är en process som bygger på ”trial and error”. Projektets syfte var att lägga en grund för framtida forskning i PSL-labbet inom området, vilket anses blivit uppnått.

Det har varit en lärande process men om ett liknande projekt skulle dyka upp i framtiden skulle det attackeras från ett annat håll. Som nämndes i diskussionen bör mer fokus ligga på att koppla den virtuella modellen närmare verkligheten genom att göra mindre experiment med småskaliga test av olika teorier för att se att det fungerar som tänkt. Det är viktigt att empiriskt testa sig fram och på så sätt bygga upp en kunskapsgrund och inte bara förlita sig på den virtuella modellen.

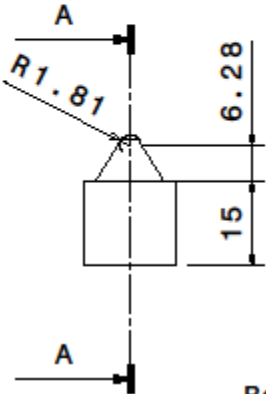
Rekommendationer till framtida vidareutveckling är att specialtillverka mer ingående delar, för att uppnå önskade toleranser och hållfasthet. Ett exempel på detta är att tillverka egna specialklämmor som är mer anpassade, då de som köptes in var begränsade i sin längd samt att de blockerade för andra delar. Att tillverka styrcylindrar som efter sammanfogning går att flytta är också att rekommendera då det skulle underlätta in och ur lyftande ur fixturen.

Rekommendationer för liknande projekt i framtiden är att det är en fördel att vara fler än tre, då det hade gjorts att projektet kunnat framgå med bättre tempo. Det är många arbetsuppgifter som tar tid att göra och hade fördelaktigt fördelats på fler personer. Ska ett liknande projekt göras med personer utan kunskapsbas, liksom i detta fall, är mer tid att rekommendera då det som tidigare nämnts är ett brett ämne att sätta sig in i.

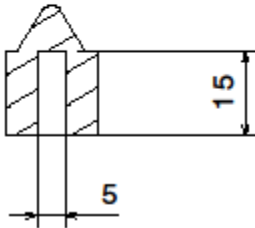
# Källförteckning

- [1] Pollack, H.W. Tool Design. Second Edition. New Jersey: Prentice- Hall Inc, 1988
- [2] Jonsson, M. Ossbahr, G. Aspects of reconfigurable and flexible fixtures. German Academic Society for Production Engineering, 2010
- [3] Nee, Kumar, A.S. and Tao, Z.J. Advanced Treatise on Fixture Design and Planning, World Scientific Publishing Company, 2004
- [4] Kihlman, H. Affordable Automation for Airframe Assembly, Linköpings Universitet, 2005
- [5] BoxJoint, Linköping: BoxJoint AB [läst 2014-05-11]. Tillgänglig:  
[http://www.boxjoint.se/BoxJoint/What\\_is\\_BoxJoint.html](http://www.boxjoint.se/BoxJoint/What_is_BoxJoint.html)

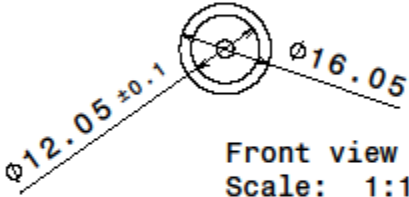
# Bilaga I Ritning styrpinne 1



Bottom view  
Scale: 1:1



Section view A-A  
Scale: 1:1

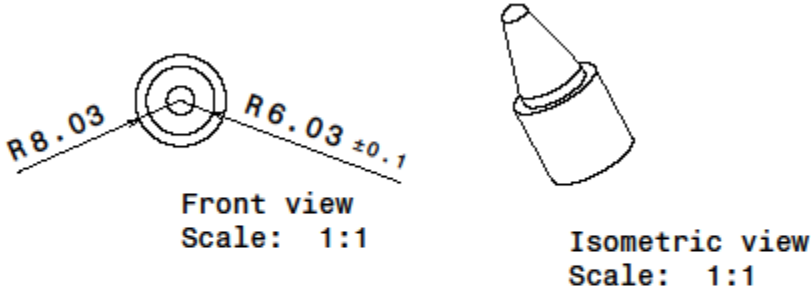
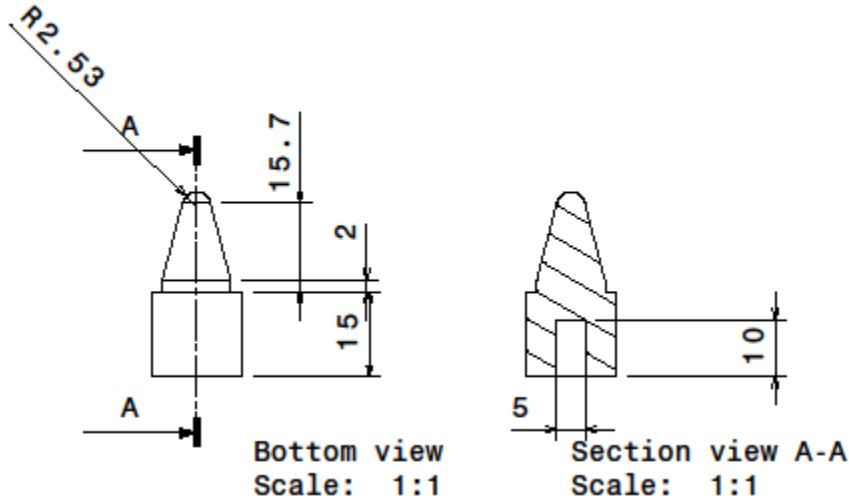


Front view  
Scale: 1:1

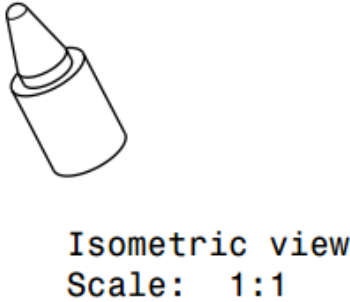
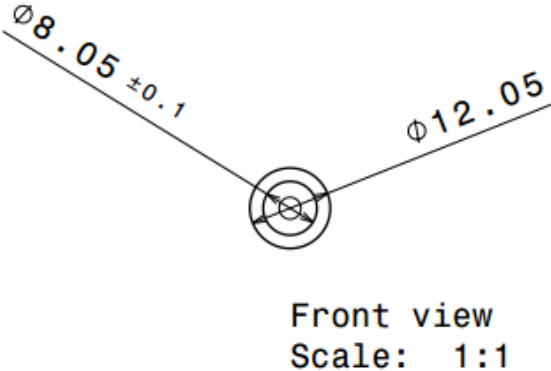
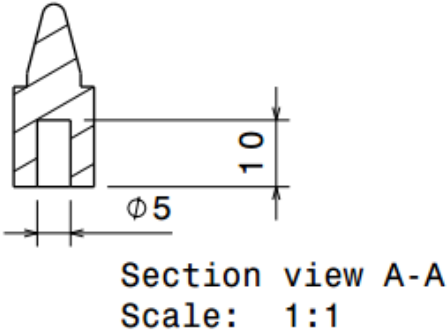
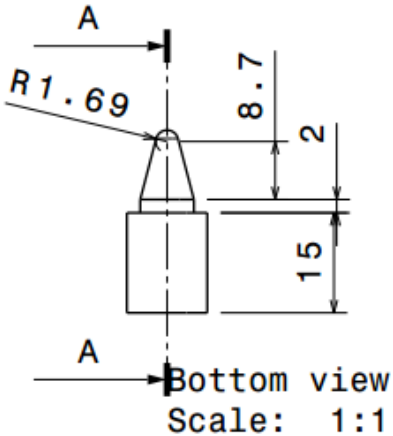


Isometric view  
Scale: 1:1

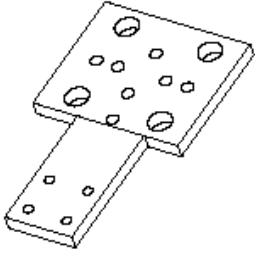
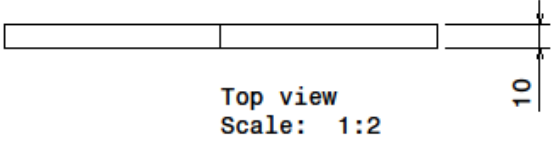
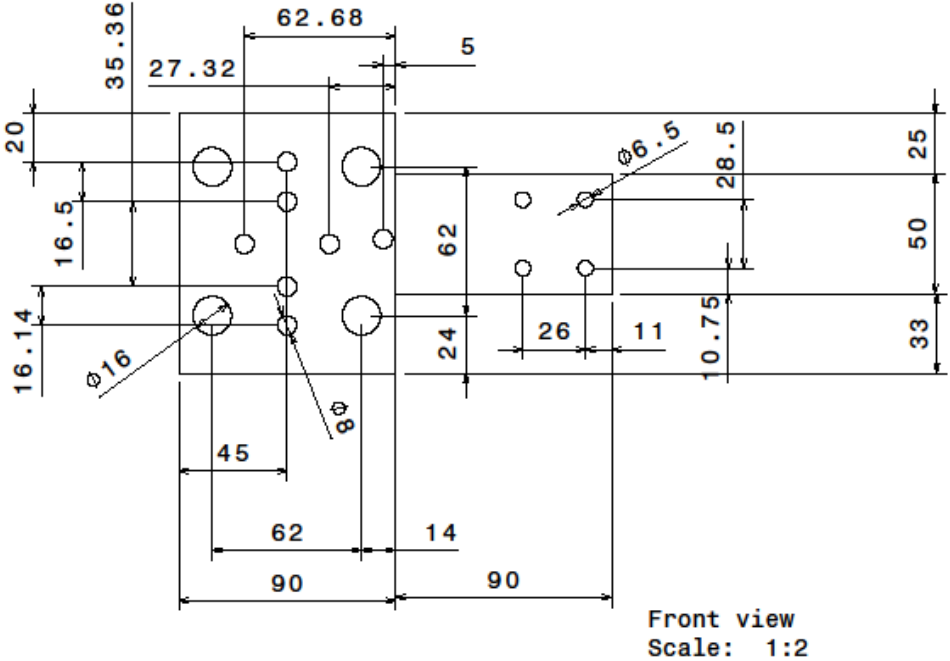
# Bilaga II Ritning styrpinne 2



# Bilaga III Ritning styrpinne 3

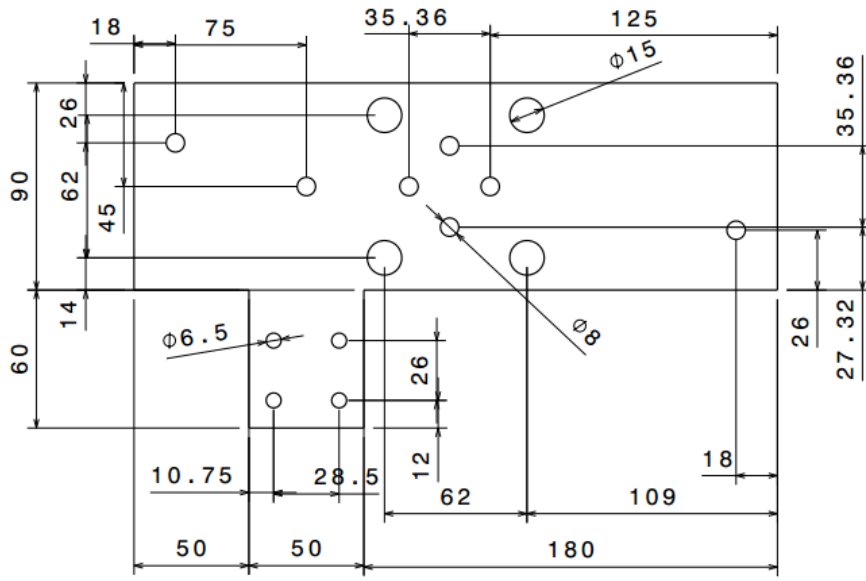


# Bilaga IV Ritning platta 1

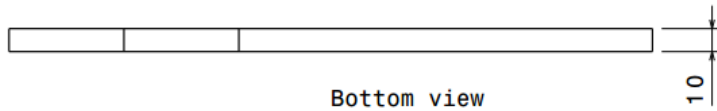


Isometric view  
Scale: 1:3

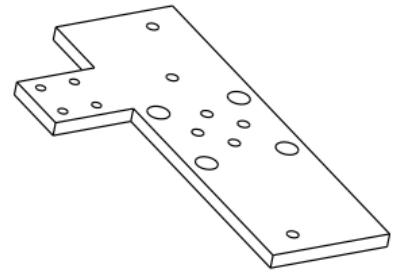
# Bilaga V Ritning platta 2



Front view  
Scale: 1:2

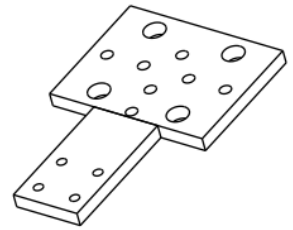
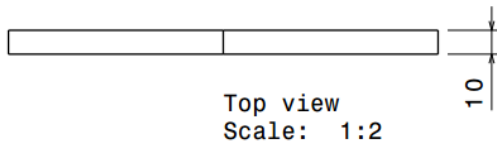
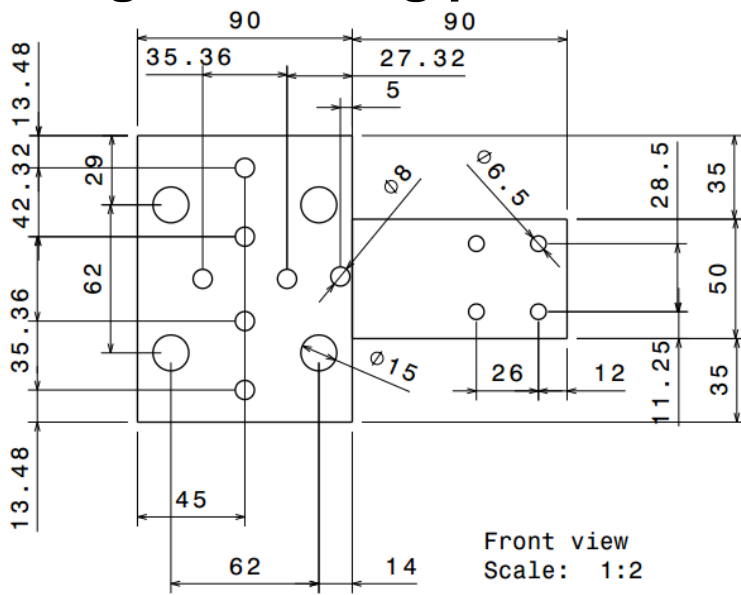


Bottom view  
Scale: 1:2



Isometric view  
Scale: 1:3

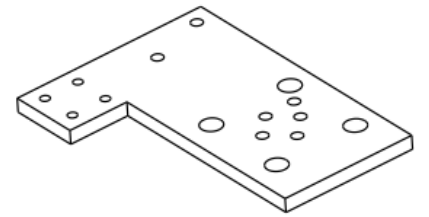
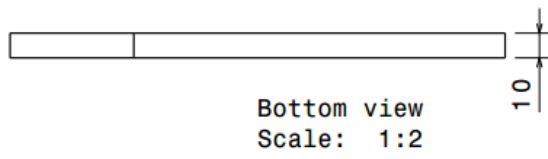
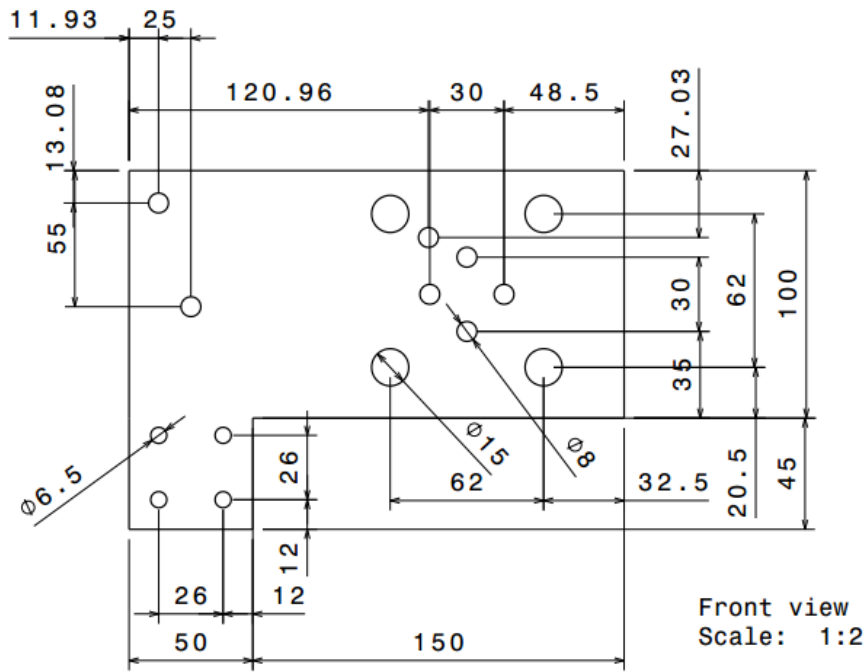
# Bilaga VI Ritning platta 3



Isometric view  
Scale: 1:3



# Bilaga VII Ritning platta 4



Isometric view  
Scale: 1:3

# Bilaga VIII Volvo fixtur

