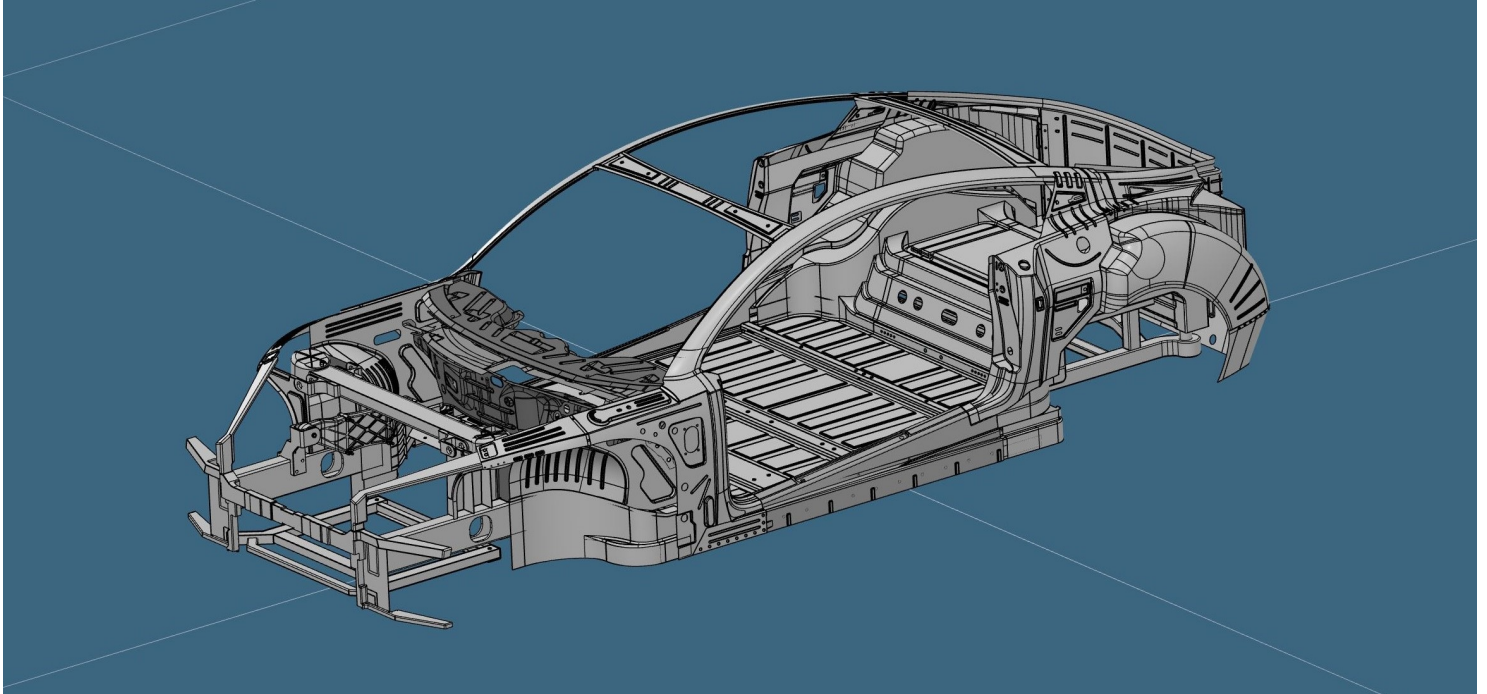




CHALMERS



Bilfabrikens karossverkstad

Framställning av en karossmodel med hjälp av additiv tillverkning och kartläggning av 3DEXPERIENCE.

Kandidatarbete inom Maskinteknik

FILIP BOHM
ANTON HELLBERG
WILLIAM KARLSSON
OSKAR NILSSON

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se

KANDIDATARBETE 2022

Bilfabrikens karossverkstad

Framställning av en karossmodell med hjälp av additiv tillverkning
och kartläggning av 3DEXPERIENCE.

FILIP BOHM

ANTON HELLBERG

WILLIAM KARLSSON

OSKAR NILSSON



CHALMERS

Institutuionen För Industri- och Materialvetenskap

IMSX15-22-13

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2022

Framställning av en karosmodell med hjälp av additiv tillverkning och kartläggning av 3DEXPERIENCE.

FILIP BOHM

ANTON HELLBERG

WILLIAM KARLSSON

OSKAR NILSSON

© Filip Bohm, Anton Hellberg, William Karlsson & Oskar Nilsson, 2022.

Handledare: Per Nyqvist & Göran Stigler, Institutionen För Industri- och Materialvetenskap

Examinator: Henrik Kihlman, Institutionen För Industri- och Materialvetenskap.

Kandidatarbete 2022

Institutionen För Industri- och Materialvetenskap

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Telephone +46 (0)31 772 1000

Omslag: Omslagsbilden visar en avskalad version av Dassault Systemes konceptbil, som är utgångspunkten för karosmodellen som detta arbete tänkt framställa, med hjälp av additiv tillverkning.

Typsättning i L^AT_EX

Göteborg, Sverige 2022

Förord

Detta kandidatarbetet har genomförts av fyra civilingenjörsstudenter inom Maskinteknik på Chalmers Tekniska Högskola vid institutionen för industri- och materialvetenskap.

Först vill vi tacka vår handledare och examinator Henrik Kihlman, forskare på avdelningen för Produktionssystem, Institutionen för industri- och materialvetenskap, som har hjälpt oss med programvara och erfarenheter från industrin.

Vi vill också tacka vår handledare Per Nyqvist, forskningsingenjör på avdelningen för Produktionssystem, Institutionen för industri- och materialvetenskap, för de lärariska diskussioner och god hjälp under arbetet.

Ett tack går även till handledaren Göran Stigler, forskningsingenjör, som delat med sig om sina erfarenheter gällande additiv tillverkning och skött inköp av material till arbetet.

Slutligen vill vi även tacka våra två systergrupper för ett givande och trevligt samarbete.

Filip Bohm, Anton Hellberg, William Karlsson & Oskar Nilsson, Göteborg, maj, 2022

Framställning av en karosmodell med hjälp av additiv tillverkning och kartläggning av 3DEXPERIENCE.

FILIP BOHM, ANTON HELLBERG, WILLIAM KARLSSON, OSKAR NILSSON
Instituionen För Industri- och Materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola

Sammandrag

Detta kandidatarbete syftar till att framställa en modellkaross genom additiv tillverkning. Karossen ska kunna monteras med hjälp av automationsrobotar, och dess sammanfogning ska efterlikna punktsvetsning. Arbetet utförs i samarbete med två andra grupper, vars ansvarsområden är framställning av en digital tvilling respektive en automationscell. Samarbetet mellan grupperna sker med hjälp av den digitala plattformen 3DEXPERIENCE, som också ska kartläggas med hänsyn till additiv tillverkning. Samarbetet mellan de ingående gruppernas ska också analyseras.

Tidigt i arbetet genomfördes en upplärningsfas av 3DEXPERIENCE, vilket skedde på deras egna läroplattform. En informationsinsamling på databaser gjordes inom additiv tillverkning, material och toleranser. Tillverka testmodeller med additiv tillverkning gjordes också för att skapa förståelse för hur olika inställningar och material påverkar komponenter.

Arbetet resulterade i en modellkaross bestående av åtta komponenter, som sammanfogas genom popnintnig med nylon-nitar. Sammanfogningen efterliknar punktsvetsning, och kan monteras både manuellt och av automationsrobotarna med en pneumatisk nitpistol. 3DEXPERINCE har använts under arbetet, men inte under additiv tillverkning, eftersom plattformen inte stödjer de önskvärda funktioner inom additiv tillverkning som arbetet krävt. Istället användes PrusaSlicer, som är en programvara avsedd för additiv tillverkning

Slutsatserna som drogs av arbetet är att det med hjälp av additiv tillverkning är möjligt att framställa en modellkaross, som kan sammanfogas med en metod som efterliknar svetsning. Tyvärr kunde inte hela karossens monteringsförmåga verifieras, på grund av att de andra grupperna inte färdigställde ett program för automationsrobotarna som kunde köras under arbetets gång. Karossen kunde dock monteras manuellt, med hjälp av en handhållen nitpistol. Arbetet utfördes till största del inom 3DEXPERIENCE, förutom till additiv tillverkning, då plattformen saknar nödvändiga funktioner, vilket ledde till att kompletterande programvara krävdes. Kommunikationen mellan grupperna var problematiskt, då information inte alltid nådde fram till alla i arbetet. Lösningen på detta är att ha en huvudansvarig för varje grupp, och en ansvarig för hela projekt, likt ett riktigt företag.

Manufacturing of body in white through additive manufacturing and mapping of 3DEXPERIENCE.

FILIP BOHM, ANTON HELLBERG, WILLIAM KARLSSON, OSKAR NILSSON
Department of Industrial and Materials Science
Chalmers University of Technology

Abstract

This bachelor thesis aims at developing a model of a body in white through additive manufacturing. The body in white will be assembled by automation robots, and the joining should resemble spot welding. The project is a collaboration with two other groups, whose areas of responsibility are the development of a digital twin respective preparations of the automation cell. To support the collaborative work the digital platform 3DEXPERIENCE will be used. The platform will be mapped concerning additive manufacturing.

Early in the project, a learning phase of 3DEXPERIENCE was implemented, on their learning platform. A collection of information from databases were carried out on additive manufacturing, materials and tolerances. Test prints through additive manufacturing were performed to gain knowledge on how different parameters and materials affect components.

The project resulted in a model of a body in white consisting of eight components, which are joined by pop riveting. The rivets are made of nylon. The joining method resembles spot welding and can be carried out both by a pneumatic rivet gun mounted on an automation robot and by hand. Through the project 3DEXPERIENCE has been used, but not for additive manufacturing, for the platform does not support desired functions for additive manufacturing. As a complement PrusaSlicer was used, which is a program developed for additive manufacturing.

The project conclude that it is possible to manufacture a body in white through additive manufacturing, which can be joined with a method that resembles spot welding. Unfortunately, the complete assembly of the body in white could not be verified, due to an incomplete robot simulation. The body in white was thereby assembled by hand. The project was for the most part carried out in 3DEXPERIENCE, apart from when additive manufacturing was carried out. This due to some critical functions being missing. To solve this the program PrusaSlicer was used for complementary use. The lack of communication between groups where problematic, information did not always get out to the ones who needed it. The solution to this problem is to give a member in each group a responsibility to inform and collect information from the other groups, another person should also be responsible for that information has reached all groups similar to how it would work in a company.

Innehåll

Lista av Akronymer	xii
Figurer	xv
Tabeller	xvii
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Målformulering	2
2 Teoretisk referensram	5
2.1 Additiv tillverkning	5
2.1.1 Slicer	6
2.1.2 Stödstrukturer	6
2.1.3 Noggrannhet, toleranser & passning	6
2.2 3DEXPERIENCE	7
2.2.1 Part design	7
2.2.2 Assembly design	8
2.2.3 Verktyg för additiv tillverkning	8
2.3 Sammanfogningsmetoder	9
2.4 Materialteknik inom additiv tillverkning	9
2.4.1 PLA & E-PLA, de vanligaste materialen	9
2.4.2 PET-G, ett material med goda mekaniska egenskaper	9
2.4.3 HIPS, PVA & BVOH, vanliga stödmaterial	9
2.5 Designgranskning	11
2.6 3-2-1 Anpassning	11
3 Metod	13
3.1 Förstudie	13
3.1.1 3DEXPERIENCE	13
3.1.2 Material	13
3.1.3 Additiv tillverkning	14
3.1.4 Sammanfogningsteknik	14
3.2 Miniprojekt	14
3.3 Testtillverkning	14

3.4	Framtagning av karosdelar	14
3.4.1	Iterationsprocess	15
3.4.2	Designgranskning	15
3.5	Stödja gruppernas behov	15
3.6	Miljö	15
4	Genomförande	17
4.1	Informationsinsamling	17
4.2	Kartläggning av 3DEXPERIENCE	17
4.3	Miniprojekt	17
4.3.1	Tillvägagångssätt	17
4.3.2	Framtagna krav	18
4.4	Första iterationsprocessen	18
4.4.1	Avskalning av bil	18
4.4.2	Uppdelning av karossen	18
4.4.3	Delar till första iterationsprocessen	18
4.4.4	Modifiering av karosdelar	19
4.4.5	Designgranskning för första iterationsprocessen	19
4.5	Andra iterationsprocessen	19
4.5.1	Fästelement	19
4.5.2	Bottenplattan, sidorna & fronten	20
4.5.3	Bakdel	20
4.6	Tredje iterationsprocessen	20
4.6.1	Tak	20
4.6.2	Bakre upphängning	20
4.7	Fjärde iterationsprocessen	20
4.7.1	Modifiering av delar	21
4.8	Additiv tillverkning av karosdelarna	21
4.9	Stödja andra grupper	21
4.9.1	Verktyg	21
4.9.2	Materialflöde	21
4.10	Miljö	21
5	Resultat	23
5.1	Kartläggning av 3DEXPERIENCE	23
5.1.1	Additiv tillverkning	23
5.1.2	Assembly- och Part design	23
5.2	Miniprojekt	24
5.2.1	Bas	25
5.2.2	Styrdon	25
5.2.3	Lock	25
5.2.4	Plugg	25
5.3	Sammanfogningsmetod	25
5.3.1	Sammanfogningsstester	25
5.3.2	Vald sammanfogningsmetod	27
5.4	Framtagning av karosdelar	28
5.4.1	Uppdelning av karossen	28

5.4.2	Första iterationen	29
5.4.3	Andra iterationen	31
5.4.4	Tredje iterationen	34
5.4.5	Fjärde iterationen	37
5.5	Sammanställning av fjärde iterationen, och slutlig kaross	39
5.6	Stöd till andra grupper	41
5.6.1	Verktyg	41
5.6.2	Materialflöde	44
5.7	Samarbetet mellan grupperna	46
5.8	Miljö	46
6	Diskussion	47
6.1	Additiv tillverkning	47
6.1.1	Miniprojekt	47
6.2	Sammanfogningsmetod	48
6.3	Karossen	48
6.3.1	Modellering	48
6.3.2	Konstruktion	49
6.4	Kartläggning av 3DEXPERIENCE	49
6.5	Disciplinärt arbete	50
6.6	Materialflöde	51
6.7	Miljö	51
6.8	Fortsatt arbete	51
7	Slutsats	53
	Källförteckning	55
A	Ritningar	I
A.1	Sammanställningsritning	II
A.2	Ritning Bakdel	III
A.3	Ritning Sida vänster	IV
A.4	Ritning Sida höger	V
A.5	Ritning Bottenplatta bakre	VI
A.6	Ritning Bottenplatta främre	VII
A.7	Ritning Front	VIII
A.8	Ritning Bakre upphängning	IX
A.9	Ritning Tak	X
B	Sprängskiss	XI

Lista av Akronymmer & Termer

Nedan visas en lista av akronymmer och termer som använts genom rapporten listade i alfabetisk ordning:

BOM	Bill of material
CAD	Computer Aided Design
Frihetsgrader	De parametrar som bestämmer en geometris positionering i rymden det finns totalt sex frihetsgrader, tre translationer och tre rotationer.
Offline-programmering	Koden skapas oberoende av robotcellen som ska styras i verkligheten. Körs istället av en simulering över förloppet.
TCP	Tool center point, koordinatsystem som definierar verktyget.
STL-fil	Filformat som en CAD-modell sparas som, inför tillverkning.

Figurer

1.1	Dassault Systèmes konceptbil B.L.E.U som använts under arbetet. . .	1
2.1	Exmpel på två FFF skrivare 3D printers. [Photograph]. Hämtad från Encyclopædia Britannica ImageQuest. https://quest-eb-com.eu1.proxy.openathens.net/search/132_3038082/1/132_3038082/cite	5
5.1	Bild på de ingående komponenterna för miniprojektet: basplatta, lock och fyra pluggar. Pluggarna består av två olika material, PET-G (vit) och PLA (grå)	24
5.2	Montering av miniprojektet	24
5.3	Sammanfogningsmetod 1: Plugg med fyra hakar	26
5.4	Sammanfogningsmetod 2: Plugg med två spetsar	26
5.5	Sammanfogningsmetod 3: Plugg med två hakar	27
5.6	Sammanfogningsmetod 4: U-format clips	27
5.7	Sammanfogningsmetod 5: Popnit av nylon	27
5.8	Magasin för nitar	28
5.9	Karossen uppdelad i delar, med färgkodning	29
5.10	BOM av karossen, uppdelad i delar	29
5.11	Additivt tillverkade delar som utgör bottenplattan i iteration 1	30
5.12	Ihopsatta delarna som utgör bottenplattan i iteration 1	30
5.13	Utskriven del som utgör bakdelen i iteration 1	30
5.14	Alla utskrivna delar som ingår i iteration 1	31
5.15	Ingående delar i sammanfogningstest av bottenplattan	32
5.16	Karossen efter andra iterationen	33
5.17	Taket från iteration tre	34
5.18	Sammanfogning av front och tak	34
5.19	Sammanfogning för sidan och taket	34
5.20	Bakre upphängningen från iteration tre	35
5.21	Utbyggnad av fronten för nitning.	36
5.22	Resultatet av karossen efter tredje iterationen	36
5.23	Bild på bottenplattan ovanifrån, fjärde iterationen	37
5.24	Bild på bottenplattan underifrån, fjärde iteration	37
5.25	Bild på bakdelen bakifrån, fjärde iteration	38
5.26	Bild på bakdelen framifrån, fjärde iteration	38
5.27	Bild på bakre upphängningen, fjärde iteration	38
5.28	Bild på fronten, fjärde iteration	39
5.29	Bild på taket, fjärde iteration	39

5.30	Bild på sidorna, fjärde iteration	39
5.31	Slutlig kaross i CAD	40
5.32	Slutresultatet av karossen, bild snett framifrån	40
5.33	Slutresultatet av karossen, bild snett bakifrån	40
5.34	Slutresultatet av karossen, bild uppifrån	41
5.35	Bild på verktyget för tak uppifrån	42
5.36	Bild på verktyget för tak uppifrån	42
5.37	Bild på verktyget för fronten	42
5.38	Bild på verktyget för sidorna	43
5.39	Bild på verktyget för sidorna underifrån	43
5.40	Bild på verktyget för bakdel framifrån	43
5.41	Bild på verktyget för bakdel bakifrån	43
5.42	Munstycket för nitverktyget	44
5.43	Nitverktyget med det monterade munstycket	44
5.44	Koncept 1: Två separerbara plattor med alla komponenter	45
5.45	Koncept 2:	45
5.46	Exempel placering av koncept 2	45

Tabeller

2.1	Material för additiv tillverkning, del 1/2	10
2.2	Material för additiv tillverkning, del 2/2	11
5.1	Miljötabell för material	46

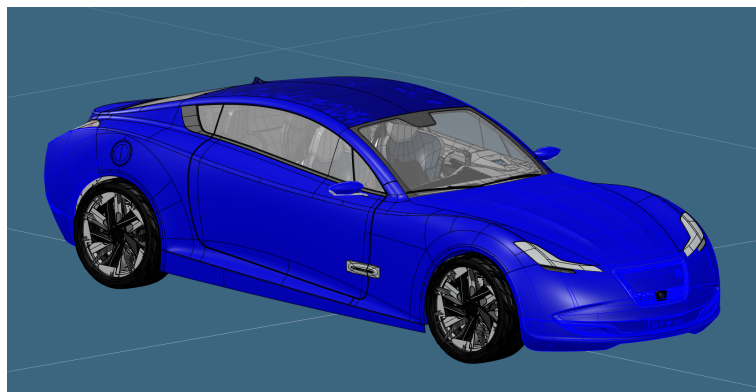
1

Inledning

I detta kapitel presenteras och beskrivs arbetets bakgrund, syfte, avgränsningar och mål.

1.1 Bakgrund

Detta kandidatarbete är en vidareutveckling av ett tidigare arbete, där en digital tvilling av produktionscellen i Chalmers produktionssystemslaboratorium framställdes. I arbetet kommer en bilfabrik i miniatyrformat anläggas i produktionscellen, där en modell av en bilkaross med ungefärlig längd 300 till 400mm ska monteras. Karossen ska framställas med hjälp av additiv tillverkning, och kan beskrivas som *body in white*, vilket kan liknas med bilens skelett, och är alltså de viktigaste bärande komponenterna, vilket beskrivs av Sai Aditya Pradeep m. fl. i artikeln *Automotive Applications of Plastics: Past, Present, and Future* (Pradeep m. fl., 2017). Bilen som ska användas under arbetet är en konceptbil från Dassault Systèmes (Arnaud, u. å), se Figur 1.1. Arbetet ska utföras i programmet 3DEXPERIENCE som är ett molnbaserat system, och ger tillgång till flera verktyg som simulering, visualisering och additiv tillverkning. Arbetet ska också ligga som grund för framtida kurser inom produktionsteknik på Chalmers. De funktioner i 3DEXPERIENCE som stödjer arbetet kring additiv tillverkning ska kartläggas. Detta görs för att ge insikt till vad plattformen kan användas till, och för att utnyttja dess molnfunktion för enklare samarbete mellan olika discipliner. Projektet utförs nämligen mellan tre grupper som har olika ansvarsområden.



Figur 1.1: Dassault Systèmes konceptbil B.L.E.U som använts under arbetet.

De tre ingående grupperna i arbetet är Digital tvilling, Monteringsstation och Karossverkstaden. Digitala tvillings uppgift är att skapa en produktionscell och simulera monteringen digitalt, för att sedan Framingstation ska kunna utföra denna i verkligheten. Karossverkstadens uppgift är att tillhandahålla karossdelar till produktionen, både digitalt och i verkligheten via additiv tillverkning. Karossverkstaden ska även stödja de andra grupperna med konstruktion, och additiv tillverkning, av produktionsutrustning. Eftersom arbetet utförs i samverkan mellan flera grupper, krävs god kommunikation och ett bra samarbete.

1.2 Syfte

Syftet med kandidatarbetet är att med hjälp av additiv tillverkning framställa modellkarossdelar som ska monteras ihop till en färdig kaross, med hjälp av automationsrobotarna i Chalmers produktionssystemlaboratorium, samt eventuell utrustning som behövs för att bygga minifabriken. Det syftar även på att kartlägga och analysera 3DEXPERIENCE funktioner relaterade till additiv tillverkning, samt analys av samarbetet mellan discipliner.

1.3 Avgränsningar

För att undvika att skada utrustning eller personal i produktionssystemslaboratoriet kommer inte metoder som kan innebära spill, av restprodukter, eller brandfara utföras av automationsrobotarna. Detta innefattar till exempel borrar, svetsning och limning. Karossen som framställs ska konstrueras för produktionssystemslaboratoriet, och inte för en verklig bilindustri. Antalet komponenter till karossen kommer utgöras av cirka sex till tolv komponenter, vilket är färre än i en verklig kaross, för att uppnå en rimlig komplexitet. Karossen kommer inte designas och modelleras från grunden, utan en tillhandahållen CAD-modell kommer att modifieras för att uppfylla de krav som upprättas.

Arbetet har bara tillgång till FFF skrivare, vilket leder till restriktioner inom hur tillverkning kan ske. Mer information om FFF skrivare hittas under 2.1 Additiv tillverkning.

1.4 Målformulering

Ett av de viktigaste målen är att kunna tillverka en kaross, som ska monteras av automationsrobotar, och har en sammanfogningsteknik likt punktsvetsning. Målet med karossen är även att den ska bestå av cirka sex till tolv komponenter, för att inte göra arbetet för enkelt eller komplicerat. Allt ska göras i 3DEXPERIENCE, för att kunna bredda kunskaper inom plattformen. En del i frågeställningen är att undersöka och kartlägga funktioner relaterat till additiv tillverkning i 3DEXPERIENCE. Det som undersöks är vad som är möjligt att göra i plattformen, samt vilka funktioner som är relevanta. Det sista målet syftar till att ge förståelse angående

samverkan mellan discipliner i ett arbete. Det ska undersökas hur 3DEXPERIENCE kan användas för samarbete mellan grupper. Målen presenteras tydligt nedanför:

- Tillverka en kaross, med hjälp av additiv tillverkning, som har en sammanfogningsteknik likt punktsvetsning och kan monteras av automationsrobotar.
- Karossen ska bestå av cirka sex till tolv komponenter.
- Allt ska göras i 3DEXPERINCE och programvaran ska kartläggas.
- Ge förståelse angående samverkan mellan discipliner i ett arbete, samt hur 3DEXPERIENCE kan användas för samarbete.

2

Teoretisk referensram

I följande kapitel redogörs det teoretiskaramverket som använts för att nå ett resultat inom arbetet. Först presenteras information angående additiv tillverkning, och hur det fungerar. Därefter förklaras programvaran 3DEXPERIENCE, och dess funktioner som är viktiga för arbetet. Sammanfogningsmetoder och materialteknik presenteras sedan, följt av designgranskning. Avslutningsvis redovisas teorin angående 3-2-1 anpassning.

2.1 Additiv tillverkning

Additiv tillverkning är en tillverkningsmetod som bygger på att material successivt tillförs lagervis för att framställa en tredimensionell komponent. Denna tillverkningsmetod kan utföras på flera olika sätt och med olika typer av material. Den vanligaste och enklaste metoden är smält filament tillverkning (eng. *Fused filament fabrication*), förkortat FFF. Den fungerar genom att smält plast lagervis tillförs via ett munstycke, och skapar modellen nerifrån och upp. FFF-skrivare används oftast till mekaniska delar, eller prototyper, och två exempel skrivare ses i Figur 2.1. (Prusa, 2019).



Figur 2.1: Exmpel på två FFF skrivare 3D printers. [Photograph]. Hämtad från Encyclopædia Britannica ImageQuest.

https://quest-eb-com.eu1.proxy.openathens.net/search/132_3038082/1/132_3038082/cite

2.1.1 Slicer

En slicer (sv. *skivare*) är ett program som konverterar digitala 3D-modeller till läsbar instruktionskod, så att 3D-skrivaren kan skriva ut modellen, vilket Lucas Carolo skriver i sin artikel *What Is a 3D Slicer? - Simply Explained* (Carolo, 2020). Med hjälp av slicern ställer man även in parameterdata angående hur 3D-skrivaren ska hantera lager höjd, utskrifthastighet eller stödstruktur. Slicern delar även upp modellen i skivor, därav namnet slicer, som 3D-skrivaren sedan skriver ut lager för lager. En slicer delar alltså upp en 3D-modell i flera horisontella 2D-lager. Instruktionskoden som skapas av slicern är oftast G-code, som också används till ett flertal andra tillverkningssystem (Carolo, 2020).

2.1.2 Stödstrukturer

En viktig del i additiv tillverkning är stödstrukturer, då det kompenserar för tillverkningsmetodens begränsningar. Exempel på begränsningar är överhäng, vilket kan leda till att materialet deformeras om inte stödstrukturer implementeras. De flesta slicer-program har inbyggda inställningar som genererar färdiga stödstrukturer anpassat efter modellen. Dock kan det vara bra att designa komponenter med egna stödstrukturer, om specifika ytor måste vara släta, eftersom stödstrukturer har en tendens att skapa ojämna ytor.

Det finns två sorters stödstrukturer: extern och intern. Den externa är till för att styrka konstruktionen, och tas bort efter tillverkning. Den interna modifierar insidan av modellen, genom en avvägning mellan kostnad, tid och material- och strukturgenskaper, vilket beskrivs av Marco Attene m. fl. i *Design, Representations, and Processing for Additive Manufacturing* (Attene m. fl., 2018).

2.1.3 Noggrannhet, toleranser & passning

Det är viktigt att de additivt tillverkade modellerna stämmer överens med den digitala modellen, eftersom robotarna är offline-programmerade utifrån de digitala CAD-modellerna. Är avvikelserna för stora mellan de tillverkade karosdelarna och CAD-modellerna kommer inte robotarna kunna montera ihop delarna. En hög tolerans på de tillverkade karosdelarna är därför viktig att uppnå. Det finns många faktorer som påverkar noggrannheten på utskriften. Hur väl den tillverkade modellen stämmer överens med CAD-modellen, kan bero på hur modellen är designad, med vinklar eller övergångar. Det kan också bero på hur 3D-skrivaren är inställd. Den kan exempelvis ställas in utifrån hastighet, hur tjockt lager den ska lägga på och temperatur. Det kan också vara fel på 3D-skrivaren, exempelvis att den behöver kalibreras om på nytt, skriver Zeng Lianghua och Li Lin i *Error Orientation Analysis and Experimental Study on 3D Printing* (Lianghua & Lin, 2020). Vidare beskriver Lianghua och Lin att det finns olika typer av vanliga fel som kan uppstå under hela processen. Det kan vara datahanteringsfel, exempelvis att det blir fel på modellen redan vid konverteringen till STL-fil. Det kan bli fel vid förberedelsen av modellen (slicing). Valet av slicing-program och inställningarna i den kan avgöra hur noggrann modellen blir. Ett annat typ av fel är bearbetningsfel under själva tillverkningsprocessen, vilket oftast beror på designen av modellen eller skrivarens

inställningar.

Defekter på modellen inom additiv tillverkning kan delas upp i två olika kategorier, vilket påverkar modellens form och egenskaper. En typ är makroskopiska defekter, vilka är synliga fel. Exempel på händelser som kan leda till makroskopiska defekter är att skrivaren inte fullföljer tillverkningsprocessen, tillverkade delar kollapsar, fel i stelningsprocessen eller fel i lageruppbyggnaden. Den andra typen är mikroskopiska defekter, vilka är svårare att se. Materialkrympning är exempel på mikroskopiska defekter (Lianghua & Lin, 2020).

En additivt tillverkad modell kan alltid ha en viss avvikelse vilket gör att toleranser vid montering behöver uppmärksammas. Karosdelarna kan inte vara designade för att passa helt precist utan en viss tolerans behövs ta hänsyn till. För att se till att det är tillräcklig noggrannhet av komponenternas placering används 3-2-1 anpassning, vilket presenteras vidare i avsnitt 2.6.

2.2 3DEXPERIENCE

3DEXPERIENCE är en molnbaserad plattform riktad mot produktframställning, som ger tillgång till en mängd program inom olika kategorier av produktframställning. Vilka program som användaren har tillgång till beror på den roll som användaren tillhandahåller. Att plattformen är molnbaserad öppnar möjligheten för att utföra disciplinärt arbete, där alla som deltar i ett projekt har tillgång till de senaste uppdaterade filerna. På plattformen finns det även online-kurser tillhörande de program användaren har licens för. Kurserna utgörs av filmer och bildpresentationer, vilket Maria Vemborg beskriver i *3DEXPERIENCE – Collaborative product development on cloud* (Vemborg, 2021).

De programvaror som kommer utgöra kartläggningen av plattformen 3DEXPERIENCE i detta arbete är de som stödjer, gynnar och underlättar additiv tillverkning. Verktögen presenteras nedan, med en kort beskrivning, samt vilka verktyg som är anpassningsbar med varandra.

2.2.1 Part design

Verktöget Part design bygger på CATIA V6, som är ett CAD-program där design och visualisering av komponenter görs. Det är även den viktigaste del i additiv tillverkningsprocessen, eftersom det är här man definierar sin struktur som ska tillverkas. Strukturen måste designas med åtanke till att den ska tillverkas additivt, och måste därför följa vissa riktlinjer. Några riktlinjer är, spara på material, tid och få en fin slutlig yta. Detta görs genom att designa en komponent som inte kräver stöd, alltså att inte starta en tillverkning i luften, eller använder stora överhäng. Stöd leder nämligen till ökad materiellkonsumtion, samt en ökning på utskrivningstiden och ger en ful slutlig yta. Därav är det väsentligt att designa en komponent som minimerar användningen av supports, förklarar Josef Průša i *Basics of 3D printing with Josef Prusa* (Prusa, 2019).

2.2.1.1 Skalning

En funktion inuti Part design är Scaling, som skalar ner befintliga komponenter till önskad storlek. Detta är användbart vid prototyp- eller modellutskrifter, eftersom man kan testa en funktion, eller ge en verklig visualisering av komponenten. Viktigt att notera är att även tjockleken skalas, vilket kan ge problem eftersom 3D-skrivaren inte kan tillverka för tunna lager (Prusa, 2019).

2.2.2 Assembly design

Den modell som används i arbetet kommer från en Assembly design, vilket gör det till ett väsentligt verktyg att bemästra. Assembly design är en sammansättning av flera komponenter, som tillsammans bildar en delkomponent eller slutprodukt.

2.2.2.1 Derived Representation

Derived Representation är ett verktyg för att sammanfoga flera komponenter till en och samma, genom att skapa en 3D-figur av en Assembly. Det är ungefär samma sak som en komponent, eftersom den går att öppna i Part design verktyget.

2.2.3 Verktyg för additiv tillverkning

Bland verktygen i 3DEXPERIENCE finns två verktyg som ska underlätta och stödja additiv tillverkning: 3D Printing och 3D Printing Preparation. Dessa verktyg tillåter användaren att:

- Skapa *mesh* (sv. rutnät) från ett moln av punkter, eller en Tessellation från ett objekt, med det menas alltså en utfyllnad av ett plan med geometriska figurer utan överlappningar.
- Redigera eller förbättra mesh.
- Utföra operationer på meshes, till exempel offset för att stänga och öppna meshes.
- Exportera meshes som STL-, AMF- eller 3MF-filer.

Detta beskrivs i Dassault Systemes egna användarguide (“3D Printing and 3D Printing Preparation - User Assistance R2022x”, u. å).

Med verktygen 3D Printing och 3D Printing Preparation är det enbart möjligt att hantera innehållstyperna 3D Part och 3D Shape, som skapas med hjälp av verktyget Part design. Verktygen kan sedan förbereda komponenter för additiv tillverkning. Det görs med funktionen Print 3D, som orientera om komponenten genom att välja ett specifikt plan eller en yta som man vill använda som bas. Detta skickas sedan till 3DEXPERIENCE Marketplace, där ett flertal företag erbjuder att additivt tillverka komponenten. Komponenterna kan alltså inte skickas direkt till 3D-skrivaren för tillverkning, utan måste gå igenom marketplace eller en tredjehandsslicer, vilket förklaras av David Cano-Mejia i artikeln *How to 3D Print from 3DEXPERIENCE* (Cano-Mejia, 2020).

2.3 Sammanfogningsmetoder

Karossen ska monteras ihop med en sammanfogningsmetod som liknar punktsvetsning. Punktsvetsning är den metod som används i bilindustrin och processen utförs för det mesta av robotar. Punktsvetsning går ut på att två plåtar fogas samman i en punkt. Förloppet fungerar genom att två elektroder pressar ihop plåtarna och en ström leds genom, vilket leder till att metallen smälter ihop. Detta förklaras i *punktsvetsning* av NE (NE, u. å).

2.4 Materialteknik inom additiv tillverkning

Det finns flera material som kan används vid additiv tillverkning, där alla har sina egna användningsområden och påverkan på komponenter. Därav krävs ett materialval, för att uppnå det bästa resultatet för varje komponent. En överblick av för- och nackdelar av ett flertal material hittas i Tabell 2.1 & 2.2, och de vanligaste materialen förklaras mer utförligt i avsnitt 2.4.2-4.

2.4.1 PLA & E-PLA, de vanligaste materialen

PLA och E-PLA är de vanligaste materialen för additiv tillverkning, på grund av dess materialdata. Utskrifterna blir hårda, för både små och stora komponenter, samt att de har låg termisk expansion. De klarar även av att tillverka små detaljerade komponenter, vilket gör att den lämpar sig till de flesta tillverkningar. Användningsområdena är ofta inom prototyper, figurer eller arkitektmodeller. E-PLA riktar sig framförallt till nybörjare, eftersom den är mer lättanvänd. Därav är PLA och E-PLA lämpliga att använda tidigt i arbetet, samt till att tillverka prototyper, beskriver Josef Průša i sin *3D PRINTING HANDBOOK* (Prusa, 2021).

2.4.2 PET-G, ett material med goda mekaniska egenskaper

En annan vanlig plast är PET-G som har goda mekaniska egenskaper, jämfört med PLA och E-PLA. Dess egenskaper låter den motstå högre temperaturer, samt att den har en god elastisk förmåga, vilket leder till att den inte är spröd. Materialet är dock inte anpassat för att tillverka små modeller, och stödmaterial kan vara svårt att avlägsna från den slutliga modellen.

2.4.3 HIPS, PVA & BVOH, vanliga stödmaterial

Stödmaterial ska vara enkelt att avlägsna från modeller, därför finns det olika material till detta. HIPS för ASA och ABS. PVA och BVOH är användbart för PLA och E-PLA. PERG klarar sig bra utan support, supports förstör nämligen ytan. Men PVA och BVOH är att rekommenderas om användning måste ske.

Tabell 2.1: Material för additiv tillverkning, del 1/2

Material	Fördelar	Nackdelar
PLA	<ul style="list-style-type: none"> • Enkel att tillverka • Tillverkar lätt detaljerade små modeller • Enkelt att printa stora komponenter • Låg flexibilitet • Doftfri • Prisvärd • Finns i många färger 	<ul style="list-style-type: none"> • Spröd • Lågt temperaturmotstånd (60°C) • Svår att förarbeta • Inte anpassad till utomhusbruk
E-PLA	Samma som PLA, men också lättanvänd	Samma som PLA
PET och PET-G	<ul style="list-style-type: none"> • Tål höga temperaturer • Enkel att tillverka • Låg termisk expansion • Vattentålig 	<ul style="list-style-type: none"> • Inte anpassad till att tillverka små modeller • Bildar lätt trådar (så kallad stringing) • Svårt att avlägsna stöd • Svårt att tillverka bro liknande modeller.
ASA och ABS	<ul style="list-style-type: none"> • Tål höga temperaturer • Bra för utomhusbruk, UV-stabil • Enkel att limma ihop • hög slag- och slitstyrka 	<ul style="list-style-type: none"> • Svår att tillverka • Får lätt defekter • Ger inga bra detaljer • Otrevlig doft vid tillverkning
PC Blend (Prusament)	<ul style="list-style-type: none"> • Tål höga temperaturer • Hög slag- och draghållfasthet • Fungerar som elektriskisulator 	<ul style="list-style-type: none"> • Får lätt defekter, speciellt vid tillverkning av stora modeller • Svår att använda för nybörjare
Flex	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibel och elastisk • Få defekter 	<ul style="list-style-type: none"> • Det krävs mer jobb att ladda tråden i 3D-skrivaren • Krävs mycket förarbete • högt pris

Tabell 2.2: Material för additiv tillverkning, del 2/2

Material	Fördelar	Nackdelar
Kompositer	<ul style="list-style-type: none"> • Bra utseende med efterbehandling • Inga defekter 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräver ett speciellt munstycke • Kräver ett 0.6 mm munstycke
HIPS	<ul style="list-style-type: none"> • Lägre densitet än ABS • God yt jämnhet 	<ul style="list-style-type: none"> • Svår att tillverka • Får lätt defekter
PVA och BVOH	<ul style="list-style-type: none"> • Vattenlöslig 	<ul style="list-style-type: none"> • Dyr
PP	<ul style="list-style-type: none"> • Formbar • Delvis formbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Får lätt defekter • Dålig fastsatt på tillverkningsytan

2.5 Designgranskning

Designgranskning (eng. *Design review*) är ett användbart verktyg för att utvärdera produktdesign mot projekts krav och mål. Granskningstillfället ska visa projektets framgång, men också klargöra nästa steg i projektet, för att på så sätt underlätta den framtida utveckling. Tillfället är inte till för att sälja in produkten, utan är enbart till för att utveckla och ge kritik till den befintliga designen. Det ska även gå snabbt, och alla idéer och tankar ska ges. Alla engagerade i projektet ska delta, oavsett om de jobbar inom design eller ej, eftersom alla ser projektet från olika vinklar, vilket Andrew Smyk förklarar i sin artikel *How to Conduct a Design Review* (Smyk, 2017).

Det som görs under ett designgranskningsmöte är att den nuvarande designen presenteras och övriga deltagare ger feedback i form av frågor, hinder och förbättringsförslag. Sedan används den feedback som fåtts för att utvärdera, ändra och förbättra designen inför nästa iterationsprocess. Detta beskrivs i *Design Review Process Essentials* av Joe Weller (Weller, 2021).

2.6 3-2-1 Anpassning

Vid fasthållning av komponenterna är 3-2-1 anpassning en användbar metod. Det innebär att man låser den i flera riktningar och rörelser. Först låser man fast komponenten i tre punkter som hindrar rotation i två olika plan, samt en punkt som hindrar en translation i en riktning. Sedan läggs två sekundära punkter in, en som hindrar och låser komponenten i en rotationsriktning, samt en punkt som hindrar och låser komponenten i en translationsriktning. Till sist läggs en tertiär punkt in som låser den sista riktningen för translation. Detta beskriver Nam P. Suh i sin presentation *Axiomatic Design & Robust Design* (P. Suh, u. å).

3

Metod

Nedanstående kapitel beskriver den metod som använts under projektets gång. Metoden för förstudien presenteras först, och därefter miniprojektet och test tillverkning. Därefter redovisas metoden för framtagning av karosdelar, och hur arbetet med andra grupper verkstälts. Slutligen förklaras metoden av miljöaspekten av arbetet. Först presenteras information angående additiv tillverkning, och hur det fungerar. Därefter förklaras programvaran 3DEXPERIENCE, och dess funktioner som är viktiga för arbetet. Sammanfogningsmetoder och materialteknik presenteras sedan, följt av designgranskning. Avslutningsvis redovisas teorin angående 3-2-1 anpassning.

3.1 Förstudie

En förstudie gjordes, med syfte att bredda kunskaperna inom 3DEXPERIENCE och additiv tillverkning. Genom att skaffa sig förståelse i ett tidigt skede, underlättades planeringen och utförandeprocessen av arbetet. Ytterligare ett syfte med förstudien var att ta med sig en del resultat till fortsatt arbetet.

3.1.1 3DEXPERIENCE

Förstudien i 3DEXPERIENCE gjordes på programmets utbildningssida, 3DEXPERIENCE Edu SPACE. På sidan finns videos och texter om de olika verktygen och dess funktioner. Förstudien baserades också på att utforska plattformen på egen hand. Hur CAD-verktygen fungerar testades fram genom att prova på karosdelar. Upptäcktes det att funktionen inte fungerade som tänkt, letades information upp på digitala källor om verktyget. Anledningen till att en stor del av förstudien baserades på att testa de olika verktygen på egen hand, beror på att något liknande arbete i 3DEXPERIENCE inte finns väldokumenterat.

3.1.2 Material

Olika material användes vid tillverkning, där modeller med olika geometrier och inställningar på skrivaren testades. Detta för att kunna observera deformationer av modeller, och hur de förändras med olika material. Kunskap inom material fanns till stor del från tidigare kurser på Chalmers, men även ny information hämtades från handböcker och digitala databaser.

3.1.3 Additiv tillverkning

Handböcker om additiv tillverkning användes till förstudien om hur det fungerar och vad som bör tänkas på. Informationen från dem togs med till egenkonstruerade tester för att lära sig ännu mer om hur det fungerar. Tester som gjordes var exempelvis hur modellen ska placeras ut för att behålla form och utseende på bästa sätt. Det undersöktes också hur olika parametrar i slicer-programmet påverkar utskriften.

3.1.4 Sammanfogningsteknik

En förstudie inom sammanfogningsteknik gjordes. Främst låg fokus på att undersöka vad det finns för olika metoder som lämpar sig för arbetets mål och avgränsningar. Från de olika metoderna togs inspiration för egen tillverkade fogningstekniker. Anledningen till att egna fogningstekniker testades var för att se om det fanns potential för metoden att fungera för ändamålet. Med hjälp av förstudien kunde en lämplig sammanfogningsteknik väljas i ett senare skede.

3.2 Miniprojekt

De nya kunskaperna applicerades i ett miniprojekt, med syfte att tillverka simpla delar och inleda samarbete mellan de andra grupperna. Genom att i ett tidigt skede träna på samarbetet skapas en förståelse om vad de andra grupperna har för krav och behov. Ytterligare ett syfte var att ta med sig ny kunskap från miniprojektet till fortsatt arbete.

3.3 Testtillverkning

För att lära sig om additiv tillverkning gjordes många egna tester. Till att börja med enkla modeller som inte tillhörde det huvudsakliga projektet. Metoden som följdes var alltså *learning by doing* (sv. *lära genom att göra*), eller praktiskt lärande, vilket nämns i Sonja Niiranens artikeln *Supporting the development of students' technological understanding in craft and technology education via the learning-by-doing approach* (Niiranen, 2021). Hon nämner att studier har visat hur praktiskt lärande och praktiska aktiviteter hjälper individer att konceptualisera teknisk kunskap och utveckla sina intellektuella processer. Praktiskt lärande är alltså ett lärosätt där man lär sig genom praktiska tillämpningar och tar lärdom av det man ser, i detta fallet användes det alltså genom att prova sig fram vid den additiva tillverkningen för att sedan ta lärdom av vad som är möjligt och inte.

3.4 Framtagning av karosdelar

Karosdelarna togs från Dassault Systèmes egna konceptbil B.L.E.U". Bilen var i fullskala vilket gjorde att en del i processen var att skala ner den till 1:11. Bilen var fullt utrustad med allt som en bil består av, därmed raderades alla delar som inte var karosdelar. De nerskalade karosdelarna var för tunna för att tillverkas

därmed ökades tjockleken på alla ytor. Tjockleken lades till på ytorna i Part design med verktyget Thick surface innan nerskalning gjordes. Att arbetet följde den här metoden berodde på två orsaker. En anledning var att olika tillvägagångssätt testades i förstudien och den valda metoden var den som fungerade bäst. Den andra anledningen var att ett mål var att 3DEXPERIENCE ska användas så mycket som möjligt. Programmets verktyg och hur programmet fungerar var därför det som lade grund för metoden.

En annan del i arbetet med framtagning av karosdelar var att anpassa dem. Delarna anpassades i CAD-programmet utifrån vald sammanfogningsteknik, men också utifrån att en robot ska kunna greppa delarna. Metoden som följdes var att diskutera med de andra grupperna och med hjälp av varandra valdes lämpliga punkter att lyfta delarna i. På de valda punkterna gjordes justeringar på karosdelarna för att roboten skulle kunna greppa dem.

Färdigställda karosdelar exporterades till en STL-fil, och importerades till ett slicer-program. Filen sparades som en G-code och fördes över till 3D-skrivaren. Därefter startades tillverkningen av karosdelar.

3.4.1 Iterationsprocess

Arbetet valdes att göras i flera iterationssteg, eftersom det är viktigt att göra ändringar under hela arbetets gång. Iterationsprocessen delades upp i fyra steg. För de första iterationsstegen ökades antalet komponenter för varje iteration men mot slutet ändrades endast komponenternas utformning.

3.4.2 Designgranskning

När en iteration var slutförd hölls en designgranskning mellan alla grupperna. Utifrån responsen från gruppen och de andra grupperna, modifierades karosdelarna till nästa iteration. Metoden designgranskning innebär att andra intressenter bedömer den aktuella designen.

3.5 Stödja gruppernas behov

För att uppnå ett så bra slutresultat som möjligt krävs en metod där grupperna stödjer varandras behov. Metoden som följdes var att ha en öppen dialog mellan grupperna, för att kunna fördela arbetsuppgifter och hjälpa varandra. Att hjälpa de andra grupperna innebar att stödja deras arbetsuppgifter, eller förbättra och slutföra påbörjade arbeten.

3.6 Miljö

För att utvärdera arbetet ur ett miljöperspektiv kommer energin och koldioxidutsläppet som arbetet resulterat i att estimeras. Dessa värden kommer att jämföras

med stål och aluminium, eftersom de är alternativa material, om additiv tillverkning inte var tillgängligt.

4

Genomförande

I detta kapitel presenteras genomförandet av arbetet, som utgår från metoden. Det som presenteras är informationsinsamling, kartläggningen av 3DEXPERIENCE samt miniprojektet. De fyra stegen i iterationsprocessen presenteras därefter, följt av hur stödjandet till de andra grupperna gjorts. Slutligen förklaras genomförandet av arbetes miljöpåverkan.

4.1 Informationsinsamling

För att erhålla information angående additiv tillverkning gjordes flera test tillverkningar, med olika inställningar och material. Utöver detta hämtades information angående additiv tillverkning från internet källor. Information angående 3DEXPERIENCE hämtades från deras egna användarguide, Edu SPACE.

4.2 Kartläggning av 3DEXPERIENCE

Kartläggningen av 3DEXPERIENCE gjordes under hela arbetets gång. Den gjordes genom att utforska vad programmet har att erbjuda, parallellt med arbetet på kassan. Forskningen gjordes genom att prova på egen hand i programmet eller söka efter dokumenterad kunskap i form av text och film. Till hjälp användes Dassault Systemes egna användarguide där tillgång fås till både videos samt manualer för alla applikationer som distribueras av 3DEXPERIENCE (“Welcome to the 3DEXPERIENCE User Assistance - User Assistance R2022x”, u. å).

4.3 Miniprojekt

För att skapa en grundläggande förståelse för användningen av den mjukvara och hårdvara som utnyttjades genom projektet utfördes ett miniprojekt. Projektet utfördes tillsammans med de andra grupperna, där varje grupp hade hand om sitt ansvarsområde.

4.3.1 Tillvägagångssätt

Inledningsvis studerades olika typer av pluggar för att sammanfoga komponenter. I detta läge undersöktes endast möjligheten att tillverka egna pluggar. Egna delar

skapades som sedan skulle monteras ihop av robotarna. Det undersöktes hur roboten kan lyfta komponenter, alltså robotens precision vid montering.

4.3.2 Framtagna krav

Det krav som ställdes på miniprojektet var att en enkel konstruktion bestående av flera separata delar skulle framställas. Denna konstruktion skulle vara monterbar av automationsrobotarna i produktionssystemets laboratoriet, vara anpassad enligt 3-2-1 motoden, modellerade i 3DEXPERIENCE och tillverkade med den tillhandahållna 3D-skrivaren.

4.4 Första iterationsprocessen

I första iterationsprocessen rensades den befintliga CAD-modellen av Dassult Systems exempelbil ned till karossen. Efter rensningen delades karossen upp i lämpliga delkomponenter. Dessa komponenter modifierades sedan för att kunna tillverkas, vilket gjordes genom att öka tjocklek och skala ner till önskad storlek. Till sist utvärderades resultatet av iterationen vid ett designgranskningstillfälle.

4.4.1 Avskalning av bil

Den givna bilen var fullutrustad med allt som en bil består av. I ett första steg raderades allt förutom bilens kaross, det vill säga bilens body-in-white. Avskalningen utfördes i Assembly design genom att allt som skulle bort markerades och därefter raderades.

4.4.2 Uppdelning av karossen

Enligt arbetets avgränsningar ska karossen bestå av sex till tolv delar. Under uppdelningen av karossen togs det hänsyn till att denna ska vara monterbar. Detta ställde krav på att det skulle finnas möjligheten till att införa lämpliga kontaktytor, och punkter, för sammanfogningselement mellan de ingående delarna. Även greppytor för robotverktyg var tvunget att införas. Storleken på 3D-skrivarens tillverkningsyta var även något som påverkade uppdelningen, eftersom delarna till viss del anpassades för att på ett praktiskt sätt kunna tillverkas. När karossen var uppdelad användes verktyget Derived Representation, som skapar en sammanställd komponent av flera mindre komponenter.

4.4.3 Delar till första iterationsprocessen

I den första iterationen togs två karossdelar fram, karossens bottenplatta och bakdel. Anledningen till att två delar tillverkades i första iterationen beror på att det var viktigt att i ett tidigt skede se om vald metod fungerade på karossdelarna, därför var få delar att föredra.

4.4.4 Modifiering av karosdelar

Karossens uppdelade delar modifierades för att göra de tillverkningsbara och sammanfogningsbara. Modifieringen innefattade att lägga på tjocklek, ta bort detaljer, skala ner parten och möjliggöra ihopsättning. Öka tjockleken på delarna gjordes till större delen i Part design med verktyget Thick surface. Verktyget lägger till en extra tjocklek på en vald yta. Varje del bestod av många småytor, ytornas tjocklek ökades med en tjocklek på 20 mm till 50 mm, en yta i taget. Thick Surface verktyget fungerade inte alltid att använda på alla ytor, vilket gjorde att alternativa verktyg fick användas. Ibland ritades en skiss direkt på delarna och därefter skapades en solid av skissen med hjälp av verktyget Pad. Symmetriska delar delades i mitten och verktyget Mirror användes för att spegla karosdelen. När en komponent var färdig modifierad skalades den ner med verktyget Scale. Skalningen utfördes i tre steg, vilka var i de tre olika planen, XY-, YZ- och ZX-planet. De nerskalade och modifierade delarna lades sedan in i en Assembly för att undersöka passning mellan delarna.

4.4.4.1 Bottenplattan

Processen för att ta fram bottenplattan följde den generella modifierings metoden. Bottenplattan är symmetrisk, därmed arbetades det på ena halvan och sedan speglades den. Bottenplattan har mycket detaljer, och det är viktigt att detaljerna är i fyllda och inga större hålrum lämnas där tjockleken ökas. Med hjälp av verktyget Clipping Tool i Assembly design kunde ett tvärsnitt ses av modellen. Verktyget användes till stor del för att undersöka att allt var i fyllt.

4.4.4.2 Bakdel

Framtagning av bakdelen följde samma process som för bottenplattan. I första iterationen låg fokus på att få ut delen i rätt skala och tjocklek.

4.4.5 Designgranskning för första iterationsprocessen

Den första iterationen avslutades med en designgranskning mellan alla grupperna. Tillfället fokuserade på att ta upp sådant som behöver förbättras eller läggas till under nästa iteration.

4.5 Andra iterationsprocessen

Den andra iterationsprocessen innebar att sidorna och fronten introducerades till karossen. Responsen från den tidigare designgranskningen var också något som fokuserades på. Den andra iterationen avslutades med en designgranskning, likt tidigare iteration.

4.5.1 Fästelement

I den andra iterationen eftersöktes verklighetstroga alternativ till fästelement. Dessa önskades även vara kompakta och platseffektiva. Detta för att öppna möjlighe-

terna till att placera fästpunkter på små ytor och göra ett minimalt intrång på helhetsintrycket.

4.5.2 Bottenplattan, sidorna & fronten

Sidorna och fronten framställdes och modifierades inför additiv tillverkning. Detta genom att addera material till delarna som sedan tidigare delats upp i den första iteration, med hjälp av verktyget Thick surface. Efter detta skalades delarna ner med verktyget Scale. För att möjliggöra sammanfogning mellan sidorna, bottenplattan och bakdelen infördes fästpunkter anpassade efter sammanfogningstekniken. Tester för sammanfogning av bottenplattans fram- och bakdel gjordes.

4.5.3 Bakdel

Passningen från första iterationen undersöktes och utifrån det drogs slutsatser om hur modellen bör anpassas. En anpassning av bakdelen för sammanfogning var också något som gjordes. Valet av fästpunkter gjordes utifrån flera beslutskriterier. Placeringen fick inte påverka karosdelarnas utseende för mycket utan lösningen skulle integreras in på ett bra sätt. Även åtkomlighet för roboten, och hur väl punkten kommer hålla ihop karosdelarna, var något som var i åtanke.

4.6 Tredje iterationsprocessen

Efter den andra iterationen återstod det två komponenter till karossen, nämligen taket och bakre upphängning. Taket påverkar sidorna och frambdelen, medan bakre upphängning enbart påverkar den bakre bottenplattan. De redan befintliga delarna förbättrades för den valda sammanfogningstekniken, och för montering av karossen. En designgranskning hölls mellan alla tre grupper i slutet av iterationsprocessen.

4.6.1 Tak

På grund av att taket påverkas av tre andra komponenter, sidorna och fronten, var det komplext att få det fungera med sammanfogning. Därmed placerades en helt nedskald modell in i en Assembly design med de andra delarna för att kunna se vart fästelementen enklast ska placeras.

4.6.2 Bakre upphängning

Den bakre upphängningen sitter endast ihop med en annan komponent, nämligen den bakre bottenplattan. Den skalades likt de tidigare komponenterna, och endast höjden behövde modifieras på grund av glapp mellan komponenterna.

4.7 Fjärde iterationsprocessen

Under den fjärde iteration förbättrades karossen ytterligare för att kunna monteras enklare. De problem som lades fram under designgranskningen för tredje iterationen

hanterades. Detta innebar modifiering av bottenplattan, sidorna och fronten.

4.7.1 Modifiering av delar

Hur monteringen kan förbättras ytterligare, gjordes genom att undersöka de tillverkade delarna i iteration tre. Grepppunkter för roboten förbättrades genom att prova verktygen på punkterna i verkligheten, och utifrån det dra slutsatser om vad som behöver förbättras. Punkter som roboten ska gå till lades in i Assembly design, med hjälp av verktyget Point.

4.8 Additiv tillverkning av karosdelarna

Karosdelar tillverkades kontinuerligt under varje iteration. Karosdelarna lades in i PrusaSlicer i format STL, och i programmet lades stödstrukturer till vid behov. Komponenten sparades som G-code och fördes över till 3D-skrivaren med hjälp av ett SD-kort. Tillverkningen gjordes med 3D-skrivaren Original Prusa i3 MK3S.

4.9 Stödja andra grupper

En del i arbetsprocessen var att stödja de andra grupperna. Det gick till genom att avlasta deras arbete, ta över arbete, hjälpa till med CAD och additiv tillverkning och utväxla kunskap.

4.9.1 Verktyg

För att säkerställa precision och stabilitet i monteringen vidareutvecklades verktygen framtagna av gruppen Digital tvilling. Verktygen som tidigare under arbetet framstälts hade bra grundkoncept, men brister i sin konstruktion. Dessa brister gällde styvhet och robusthet vilket ledde till dålig precision och undermålig greppkraft.

4.9.2 Materialflöde

De andra grupperna tog fram fixturer för att hålla karosdelarna på plats. Med deras design kan en kaross tillverkas, och därefter behövs nya karosdelar placeras för att kunna tillverka en ny kaross. Designen utvecklades genom att ta fram koncept på hur ett kontinuerligt materialflöde kan uppnås, vilket möjliggör en serieproduktion. Koncepten togs fram genom att undersöka vad varje karosdel har för möjlighet.

4.10 Miljö

Data för material samlades in genom programmet GRANTA EduPac. Datan som undersöktes var koldioxidutsläpp och energin som går åt vid framställning av materialet. De material som jämfördes var PLA tillsammans med PET-G mot stål och aluminium.

5

Resultat

I följande kapitel presenteras resultatet av arbetet, vilket innefattar åtta delkapitel. Den första delen är kartläggningen av programvaran 3DEXPERIENCE, följt av ett miniprojekt. Därefter kommer delkapitel om sammanfogningsmetoder och uppdelning av kaross. Resultatet av iterationsprocesserna och den slutliga kaross presenteras därefter. Sedan redogörs resultatet av stöd till andra grupper och disciplinärt arbete, avslutningsvis redovisas resultatet av projektets påverkan på miljön.

5.1 Kartläggning av 3DEXPERIENCE

I det här avsnittet presenteras resultatet av kartläggningen av 3DEXPERIENCE. Resultatet baseras på den förstudie som gjordes och på kunskaper uppkomna under arbetets gång.

5.1.1 Additiv tillverkning

3DEXPERIENCE har en begränsningar inom additiv tillverkning, eftersom plattformen inte kan konvertera 3D-modellen till läsbar instruktionskod. Det finns dock två alternativa sätt för att kunna skriva ut modellen. Det ena är att via 3DEXPERIENCEs Marketplace, som lejer bort tillverkningen till andra företag. Det andra alternativet är att spara modellen som en STL-fil och sedan konvertera modellen till läsbar kod i en tredjehandslicer, exempelvis PrusaSlicer. Det alternativet som har används i arbetet är att konvertera till STL-fil, eftersom en del i arbetet var att tillverka karosdelarna på egen hand.

5.1.2 Assembly- och Part design

Alla sammansatta karosdelar finns i Assembly design. Verktøget Assembly design tillåter inte användaren att använda de väsentliga verktygen som har används i arbetet. Skala ner och lägga på tjocklek går inte göra direkt i Assembly design utan det görs i verktyget Part Design. För att kunna öppna en Assembly design i Part design måste en Derived Representation göras. I Part design ökades sedan tjockleken på karosdelarna, och därefter skalades de till rätt skala 1:11.

5.1.2.1 Tjocklek

Verktøget Thick surface användes för att öka tjockleken på ytorna. Majoriteten av gånger verktyget användes fungerade det bra, men ibland gick det inte att lägga på

önskad tjocklek. Lösningen på problemet kunde vara att minska värdet och göra det i flera steg. Exempelvis om en yta skulle ökas med 20 mm kunde det behöva göras i flera steg. Exempelvis börja med ett värde på 18 mm, sedan 1.5 mm, och avslutningsvis 0.5 mm. Radier var extra känsliga för att lägga på tjocklek. I vissa radier var det endast möjligt att lägga på en tjocklek av ett värde precis under radiens storlek.

I den givna bil-modellen var vissa delar skapade som en split, och dessa delar tillät inte verktyget Thick surface. Istället fick verktyget Extract användas först, och därefter kunde tjockleken ökas. Den här metoden användes dock inte, eftersom Split-ytorna var svåra att skala ner. Istället raderades split-ytor och egna ytor modellerades.

5.1.2.2 Skalning

Skalningen görs i modellens alla tre plan, ett plan i taget. I flera fall fungerade inte nedskalningen, men problemet kunde lösas genom att ändra ordningsföljden på vilket plan som skalas först. Om inte detta fungerade kunde skalning till 2:11 och sedan 1:2 göras. Detta ger nämligen en skala på 1:11. I vissa fall fungerade inte detta heller, och lösningen var att skala ner modellen först, och addera tjocklek efteråt.

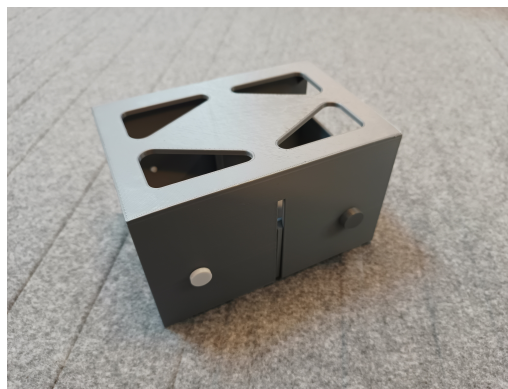
5.2 Miniprojekt

Miniprojektet som inledde detta arbete gav upphov till en konstruktion bestående av två grundkomponenter, basplatta och lock. Dessa komponenter monterades med hjälp av en automationsrobot. Fästelement är pluggar konstruerade i två olika material, PLA och PET-G. Se Figur 5.1 för de ingående komponenterna, och Figur 5.2 för montering.



Figur 5.1: Bild på de ingående komponenterna för miniprojektet: basplatta, lock och fyra pluggar.

Pluggarna består av två olika material, PET-G (vit) och PLA (grå)



Figur 5.2: Montering av miniprojektet

5.2.1 Bas

Basen till miniprojektet utformades som en låda med höjden 53 mm, bredden 100 mm, längden 160 mm och väggjockleken 3 mm. Materialåtgången minimerades genom att avlägsna material där de ej uppfyllde någon nödvändig funktion. För att fixera bottenplattan i en fixturplatta skapades hål enligt 3-2-1-metoden vilka styrdonen passar i. I botten placerades hål för styrningar enligt 3-2-1 metoden, där ett hål är överdimensionerat, ett är ellipsformat och ett är precist.

5.2.2 Styrdon

För att låsa basen i alla frihetsgrader för rotationer och translationer i X och Y-led infördes styrdon. De anpassades för att passa i en fixturplatta med hål med diametern 10 mm och avståndet 50 mm ifrån varandra i ett rektangulärt mönster. Den låstes dock inte i z-translationen, eftersom kunskap om hur detta inte fanns vid tillfället. För att styra locket som skall monteras skapades styrningar på långsidorna av lådan. På dessa sidor skapades även hål som överensstämmer med locket för att möjliggöra montering.

5.2.3 Lock

Locket är u-format med mått så att dess sidor ligger mot utsidan av basen. I toppen avlägsnades material, för att minska materialåtgången och tillverkningstiden. Den har även styrningar och hål som överensstämmer med basen.

5.2.4 Plugg

För att sammanfoga basen och locket skapades pluggar. De utformades likt en spik, där den har en skalle bestående av en cylinder med diametern 15 mm och höjden 5 mm, samt en mindre cylinder med diametern 5 mm och höjden 10 mm. Toppen av den mindre cylindern konformades för att underlätta monteringen av pluggarna. Roboten lyfter pluggen en i taget och trycker in den genom de hål som skapades för sammanfogning.

5.3 Sammanfogningsmetod

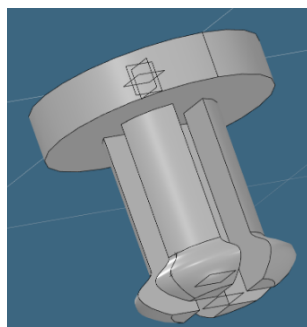
Här presenteras de olika metoder för sammanfogning som testats, men också det slutliga resultatet av vald sammanfogningsteknik.

5.3.1 Sammanfogningstester

Resultatet av de olika metoderna för sammanfogning presenteras nedan, och består utav egen tillverkade metoder och inköpta.

Metod 1

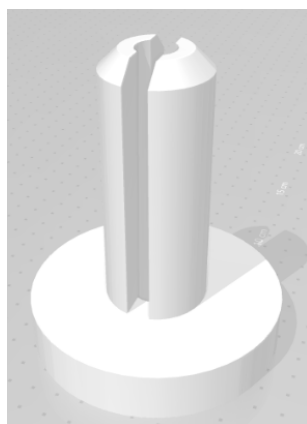
Den första metoden, se Figur 5.3, är en plugg, som består utav fyra spetsar. Dessa hakar fast sig på baksidan av ett hål, och sedan förs en pinne och pluggen spänner ut sig. Resultatet var en stark sammanfogning, men pluggen var spröd och gick lätt sönder.



Figur 5.3: Sammanfogningsmetod 1: Plugg med fyra hakar

Metod 2

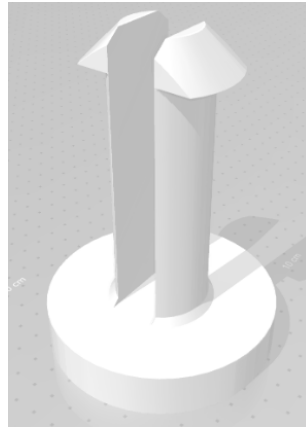
Den andra metoden, se Figur 5.4, är lik den första, men är uppdelad med två spetsar. Detta medförde att den inte var lika spröd, men eftersom den inte hade några hakar var sammanfogningen svag.



Figur 5.4: Sammanfogningsmetod 2: Plugg med två spetsar

Metod 3

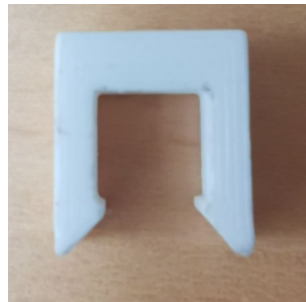
De två första metoderna sammanställdes till den tredje metoden, som har två hakar, och fungerar på samma sätt som de tidigare. Resultatet, se Figur 5.5, var en stark sammanfogning.



Figur 5.5: Sammanfogningsmetod 3: Plugg med två hakar

Metod 4

Den fjärde metoden är ett u-format clips, se Figur 5.6, med invändiga hakar som pressas genom två hål och låster på baksidan. Resultatet var en god sammanfogningsförmåga, som visar på robusthet.



Figur 5.6: Sammanfogningsmetod 4: U-format clips

Metod 5

Den sista metoden är en inköpt popnit av nylon, se Figur 5.7. Denna metod var robust, och fungerade bra med verktyget som roboten använder.

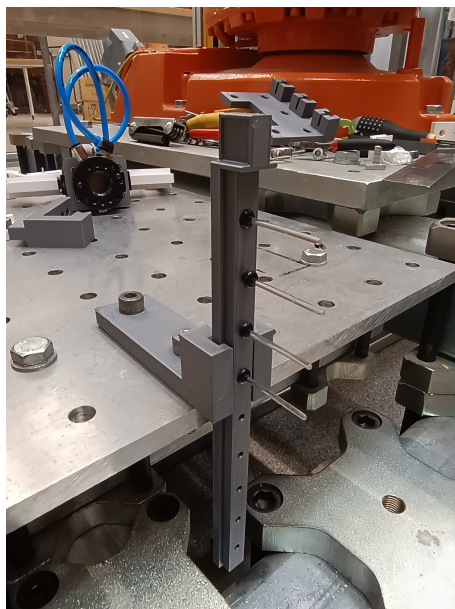


Figur 5.7: Sammanfogningsmetod 5: Popnit av nylon

5.3.2 Vald sammanfogningsmetod

Den valda metoden är popnitning, alltså metod 5. Metoden undersöktes genom tester där sammanfogning av plattor med olika tjocklek testades. Resultatet från testerna var att fogarna var stabila och starka för alla tjocklekar. Processen utförs av en pneumatisk nitpistol monterad på robotens arm. Roboten hämtar upp en nit i taget och nitar fast niten genom hål, placerade på karosdelarna. Nitarna är inköpta, och

tillverkade av nylon och de har en diameter på 3.2 mm. Nitarna placeras i ett eget konstruerat nitmagasin, se Figur 5.8. Magasinet består av två delar, en nithållare och en magasinållare, och har plats för nio nitar.



Figur 5.8: Magasin för nitar

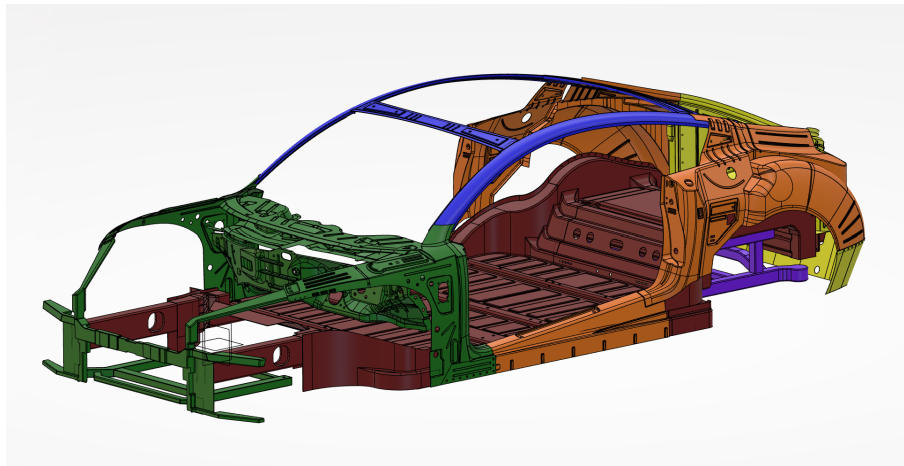
5.4 Framtagning av karossdelar

I det här avsnittet presenteras resultatet av framtagningen av karossdelarna, samt resultatet för varje iterationssteg.

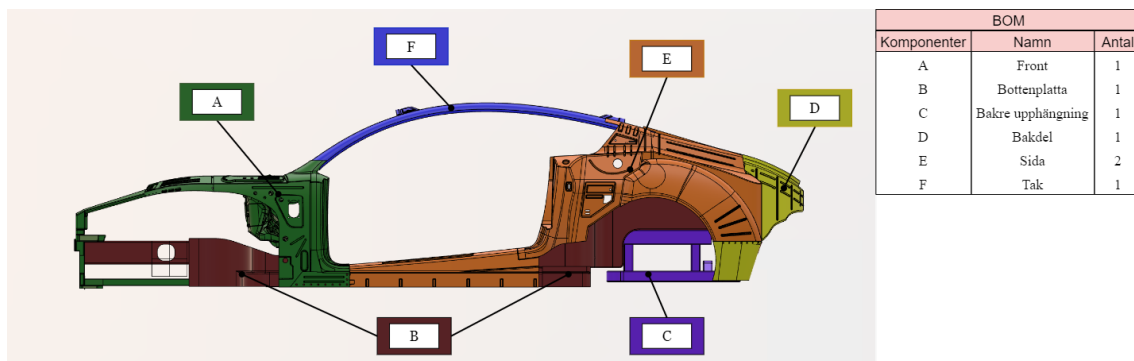
5.4.1 Uppdelning av karossen

Enligt arbetets avgränsningar skall karossen bestå av sex till tolv delar. Med denna avgränsning i åtanke delades bilen upp i åtta delar, med öppenhet för att vidare dela upp karossen om detta blir nödvändigt. Uppdelningen illustreras i Figur 5.9 där varje färg motsvarar en del. Figur 5.10 visar komponent namn och antal.

Under uppdelningen av karossen togs det hänsyn till att denna skall vara monterbar. Detta ställde krav på att det skulle finnas möjligheten till att införa lämpliga kontaktytor och punkter för sammanfogningselement, mellan de ingående delarna. Även greppytor för robotverktyg var tvunget att kunna införas. Tillverkningsytan på den typ av 3D-skrivare som används i arbetet var även något som påverkade uppdelningen, eftersom delarna till viss del anpassades för att på ett praktiskt sätt kunna framställas.



Figur 5.9: Karossen uppdelad i delar, med färgkodning



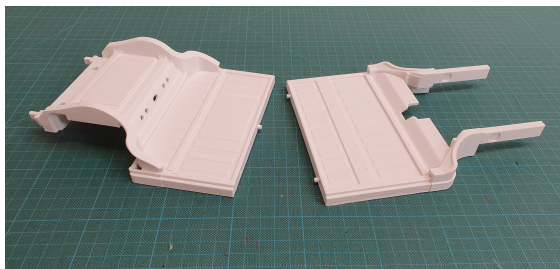
Figur 5.10: BOM av karossen, uppdelad i delar

5.4.2 Första iterationen

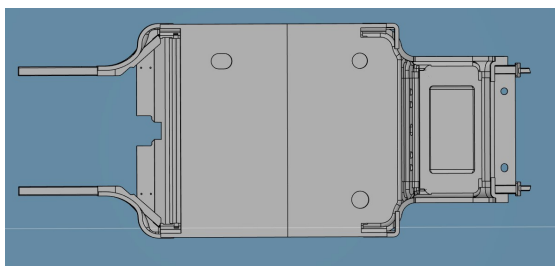
De karosdelar som tillverkades under den första iterationen är bottenplattan och bakdel. Delarna anpassades inte för popnitning under den första iterationen.

5.4.2.1 Bottenplattan

Bottenplattan delades upp i två delar och monteras samman till en del, på grund av dess storlek är större än tillverkningsytan. Montering till en del sker genom tre piggar och tre hål placerade på delarna, se Figur 5.11 och 5.12. Andra justeringar som gjordes på bottenplattan, jämfört med originaldelen var att skapa tre hål under plattan. Bottenplattan placeras på tre piggar placerade på monteringsplattan för att positionerna karossen i X och Y-led. Designen av positioneringen baseras på kunskapen från miniprojektet. Hålen skapades enligt 3-2-1 principen.



Figur 5.11: Additivt tillverkade delar som utgör bottenplattan i iteration 1



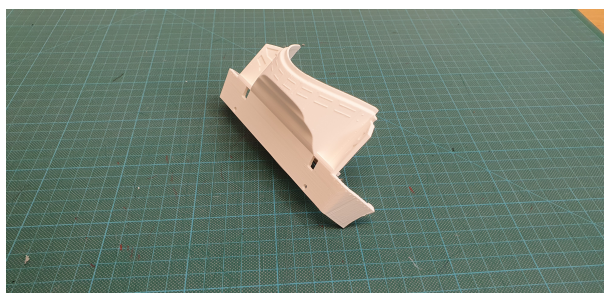
Figur 5.12: Ihopsatta delarna som utgör bottenplattan i iteration 1

Vid tillverkning av bottenplattan inträffade materialkrympning flera gånger på båda fram- och bakdelen. Det är viktigt att delarna håller en hög noggrannhet, eftersom delarna ska passa med varandra. Bottenplattan är basen för hela karossen och övriga karossdelars placering berörs om bottenplattan är skev. Materialet som användes för bottenplattan var E-PLA. Ett materialbyte gjordes under den första iterationen till PET-G. Med PET-G minskade problemet med materialkrympning för bottenplattan. Bottenplattans utformning krävde att stöd användes vid tillverkning. Nackdelen med PET-G var att stöden närmast modellen var svåra att ta bort jämfört med E-PLA. Det satt lätt kvar stöd, därmed fick en del ytbearbetning göras där stöden satt för hårt fast.

5.4.2.2 Bakdel

Bakdelen som togs fram under den första iterationen hade inga förändringar mot originaldelen, förutom att delen skalades ner och fick en ny tjocklek. Bakdelens form höll en hög noggrannhet för båda materialen.

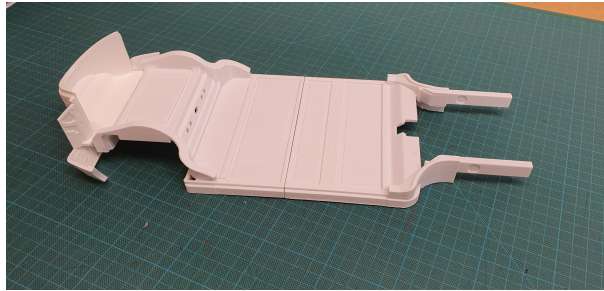
Delen anpassades inte efter någon sammanfogningsteknik med övriga karossdelar. I Figur 5.13 syns baksidan från den första iterationen.



Figur 5.13: Utskriven del som utgör bakdelen i iteration 1

5.4.2.3 Sammanställning första iterationen

I Figur 5.14 visas delarna från första iterationen ihopsatta. Delarna satt endast löst mot varandra eftersom de aldrig anpassades efter någon sammanfogningsteknik.



Figur 5.14: Alla utskrivna delar som ingår i iteration 1

5.4.2.4 Designgranskning för första iterationsprocessen

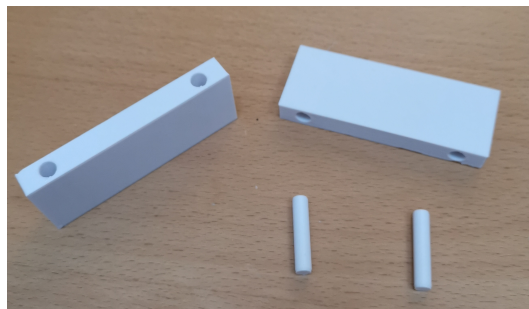
Under designgranskningstillfället beslutades det att bottenplattans ihopsättningsmetod med piggarna behöver förbättras under nästa iteration, eftersom bitarna inte sitter ordenligt ihop med varandra. Det beslutades också att bakdelens form måste justeras på grund av att den inte passade perfekt med underredet. Välja fogningsmetod och anpassa delarna efter metoden var också något som valdes att göras inför nästa iteration. En yta för roboten att lyfta bottenplattan i var också en synpunkt som togs upp.

5.4.3 Andra iterationen

Under den andra iterationen tillkom nya delar, och de synpunkter som togs upp från designgranskningstillfället förbättrades. Fokus låg också på att integrera in hål i karosdelarna för popnitningen. De karosdelar som ingick under den andra iterationen var, bottenplattan, bakdel, sidorna, front och bakre upphängning.

5.4.3.1 Bottenplattan

Sammanfogningsmetoden för bottenplattans fram- och bakdel förbättrades genom en metod som kan beskrivas likt träpluggarför möbelmontering, se Figur ???. Pluggar med längden 28 mm och diametern 6 mm utformades med en fasning på 20 grader (1 mm) in. Hålen som användes modellerades till samma diameter som pluggarna och djupet 15 mm, vilket ger en greppassning och extra utrymme för pluggarna. Metoden utvärderades innan applikation på bottenplattan genom en mindre testmodell i form av två block i storleken 30x90x10mm. Resultatet från det första testet var att pluggarna var för spröda, eftersom brott uppkom vid böjning. För att åtgärda detta ökades ifyllnadsprocenten på pluggarna från 20 till 100 procent i slicer-programmet. Resultatet av ett ytterligare test med de nya pluggarna visade inga tecken på instabilitet i fogen och inget brott förekom.



Figur 5.15: Ingående delar i sammanfogningstest av bottenplattan

Hål för nitning placerades där sidorna, framdelen och bakdelen ska monteras med bottenplattan. Där nitning sker på sidan av bottenplattan gröptes hål ut, underifrån, för att få plats med niten.

5.4.3.2 Bakdel

Kanten på bakdelen justerades för att passa bra med bottenplattan. Kanten gjordes något kortare och hörnena på kanten rundades av. De här förbättringarna gjorde att bakdelen träffade rätt varje gång vid montering för hand. Det skapades också hål för nitning, och för att möjliggöra det mellan sidan och bakdelen lades material till på bakdelen. Det byggdes ut en platta med ett hål i där nitning kommer ske. De nya plattorna hade svårigheter att tillverkas. Flera gånger fullföljde inte 3D-skrivaren tillverkningen av de utbyggda plattorna med hål i. Undersökningar på hur modellens placering i skrivaren påverkar kvalitén på utskriften gjordes. Placerades delen liggandes klarade inte skrivaren av att tillverka alla detaljer. Om modellen placerades stående, erhöles en hög noggrannhet på den tillverkade modellen.

5.4.3.3 Sidorna

I den första iteration kunde inte sidan modifieras på grund av tröskeln, eftersom den är inte var en riktig yta, utan en "split". Därmed skapades en egen tröskel, som efterliknande den befintliga ytan. Problem uppstod när den skulle skalas och därmed fick delen skalas innan modifiering, vilket löste problemet med skalning.

Karossen består av två stycken sidor placerade på var sin sida av bottenplattan. Ena sida arbetades det på och den andra sidan är en spegelvänd kopia.

Tröskeln var tunn på ett ställe vilket gjorde den för vek för att lyftas av roboten. Den riskerade att gå av om en robot ska lyfta i den. Sidans utformning gör det svårt för en robot att lyfta delen eftersom det finns få ytor att greppa i. Under den andra iterationen integrerades inga grepppunkter in i delen. Utöver att lägga på tjocklek och skala ner den anpassades den för nitning. Sidan fick tre stycken hål, två som nitas med bottenplattan och ett som nitas med bakdelen. Nitningen med bakdelen sker där den utbyggda plattan byggdes på bakdelen. När passningen undersöktes i verkligheten passade inte sidan med bakdelen helt perfekt. Problemet låg i att

bakdelen stack ut för mycket på två ställen vilket gjorde att delarna tog i varandra. Passforms justeringar togs vidare till nästa iteration.

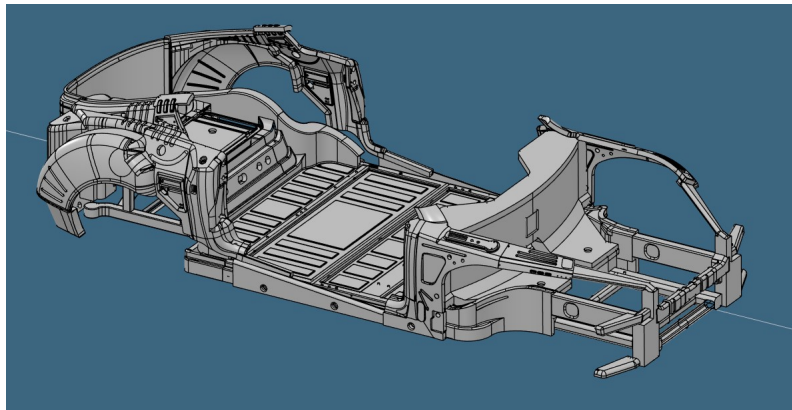
5.4.3.4 Front

Karossens front valdes att göras till en stor del istället för att dela upp den i flera bitar. Med flera bitar hade karossen riskerat att bli instabil eftersom nitning hade behövt göras i flera kritiska punkter. Den noggrannhet som krävs hade därmed riskerat att förloras. För överblick av fronten, se den gröna delen i Figur 5.9. Det skapades en egen torpedvägg från grunden på grund av att originalytan var en split. Att göra en egen torpedvägg från grunden var fördelaktigt, eftersom det beslutades att roboten ska greppa i den. Delen blev både stabilare att hålla i än originaldelen och den fick två grepppunkter på var sin sida av torpedväggen.

Den första tillverkade fronten passade inte med bottenplattan. En clash hade missats i assemblyn. Det rättades till direkt innan nästa iteration påbörjades. Delen var vek på flera ställen och den gick sönder en gång vid tillverkning. Att stärka upp den och lägga på tjocklek var något som beslutades att göras under nästa iteration. Fronten har kontakt med bottenplattan i två punkter, på var sin sida vilket var för lite. Delen satt inte ordenligt fast, därmed behövde antalet nitpunkter att ökas. Fronten har inte kontakt med någon annan del med dess nuvarande form, vilket gör det svårt att hitta nya punkter. Problemet togs vidare till nästa iteration.

5.4.3.5 Sammanställning andra iterationen

I Figur 5.16 visas de komponenter som igår i den andra iterationen.



Figur 5.16: Karossen efter andra iterationen

5.4.3.6 Designgranskning för andra iterationsprocessen

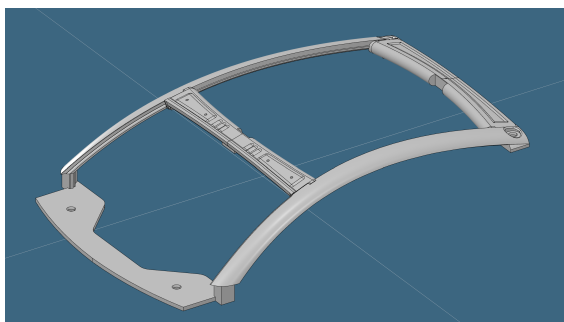
Under den andra designgranskningen togs det upp att designen på sidorna behöver ändras. Ytan som roboten ska greppa i behöver förbättras för att fungera med greppverktygen, vilket togs med till nästa iteration. Tröskeln till sidan var också lite tunn och riskerade att knäckas. Även fronten riskerade att gå av på två ställen. Nithålen är svåra att passa med varandra, måste lägga till ovala hål.

5.4.4 Tredje iterationen

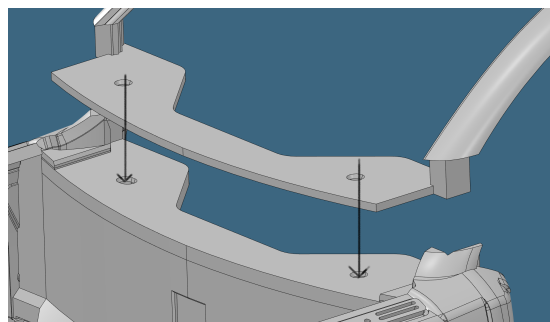
Taket och bakre upphängning lades till under den här iterationen vilket innebar att nya sammanfogningspunkter behövde fixas. Vidare, förbättrades resultatet från den förra iterationen utifrån designgranskningen.

5.4.4.1 Tak

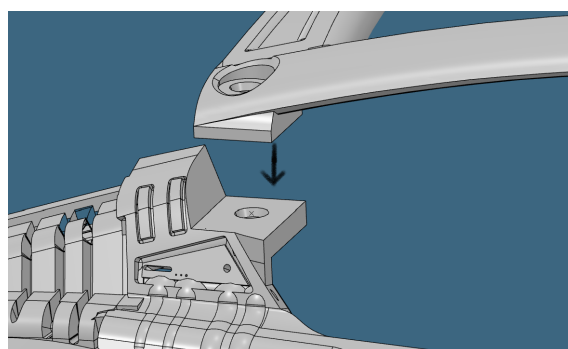
Originaltaket har kontakt med andra karossdelar i fyra punkter, men punkterna är svåra att nita i på grund av dess storlek. Nitningspunkterna placerades istället på egna utbyggda punkter. Sidorna fick en ny plåtå som taket kunde vila på, i denna sätts även sammanfogningningen, se Figur 5.19. För att sammanfoga taket med framdelen gjordes en modifiering på den främre delen av taket. Modifieringen är en platta som har samma form som torpedväggen. Ytan läggs uppe på torpedväggen och nitningen utförs i två punkter, se Figur 5.18. Denna modifiering medförde också att taket blev mer stabilt, vilket underlättar monteringen. Se Figur 5.17 för resultatet av taket.



Figur 5.17: Taket från iteration tre



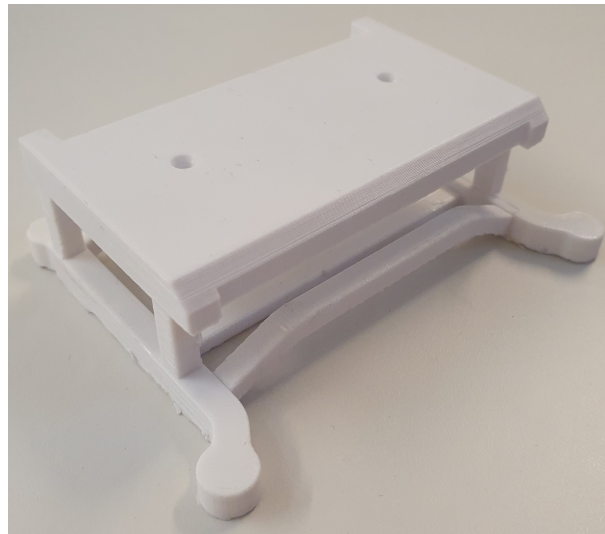
Figur 5.18: Sammanfogning av front och tak



Figur 5.19: Sammanfogning för sidan och taket

5.4.4.2 Bakre upphängning

Den bakre upphängningen sammanfogas genom två hål i den bakre bottenplattan, vilket visas i Figur 5.20. Ramen har även höjts med 1 mm, för att undvika glapp mellan komponenterna.



Figur 5.20: Bakre upphängningen från iteration tre

5.4.4.3 Bakdel

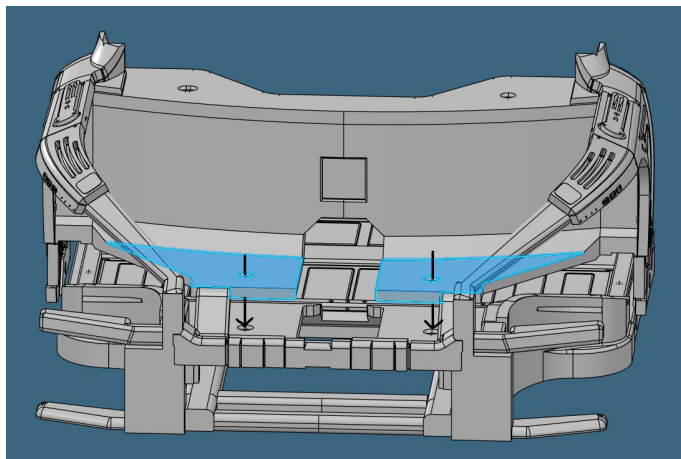
För att förbättra passformen mellan sida och bakdel avlägsnades överlappande material från bakdelen, för att skapa en lämplig skarv.

5.4.4.4 Sidorna

Fokus på sidorna var att lägga till en punkt där roboten kan lyfta delen. Punkten placerades i bak eftersom delen är baktung. Punkten löstes genom att göra en yta platt där det tidigare var en yta fylld med detaljer. Ytans form formades utifrån de robotverktyg som ska lyfta delen.

5.4.4.5 Fronten

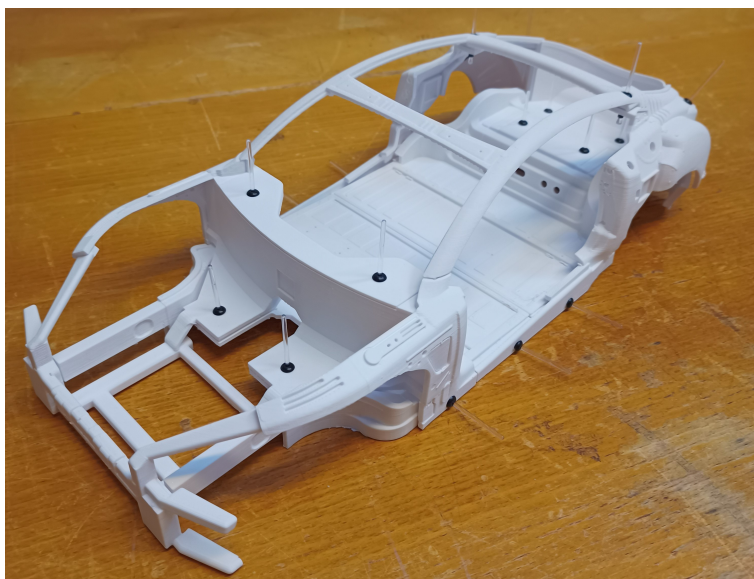
Problemet med att den var vek och att den hade för få nitpunkter löstes med en och samma lösning. Delen stärktes upp genom att bygga ut material från torpedvägen. Med det nya utbyggda materialet skapades två nya kontaktytor med bottenplattan, se Figur 5.21. I ytorna skapades det två hål för nitning. Fronten nitas nu i totalt fyra punkter och sitter betydligt bättre fast än tidigare.



Figur 5.21: Utbyggnad av fronten för nitning.

5.4.4.6 Sammanställning tredje iterationen

Vid sammanställningen av den tredje iterationen kunde nu alla komponenter användas, och nitarna placerades i alla hål. De fanns inget färdigt fungerande program för att testa om robotarna kunde montera ihop karossen i den verkliga robotcellen. Se den sammanställda karossen i Figur 5.22.



Figur 5.22: Resultatet av karossen efter tredje iterationen

5.4.4.7 Designgranskning för tredje iterationsprocessen

Vid designgranskningen för iteration tre framkom det att karossen måste vridas 180 grader för att möjliggöra montering. Detta för att roboten som opererar nitpistolen inte kommer åt på båda sidor av karossen. Därmed adderades ännu ett styrningshål på bottenplattan.

Vid montering måste bilen vridas 180 grader, och därmed måste ett till hål läggas till i bottenplattan, utöver de tre hål som redan är där, för att passa de tre styrpiggarna på monteringsplattan. Montering av taket är svårt, därav behöver platån på sidorna som taket fäst vid modifieras. Fronten behöver modifieras för att passa bättre med verktyget när den greppar fronten och förflyttar den för att erhålla högre precision.

5.4.5 Fjärde iterationen

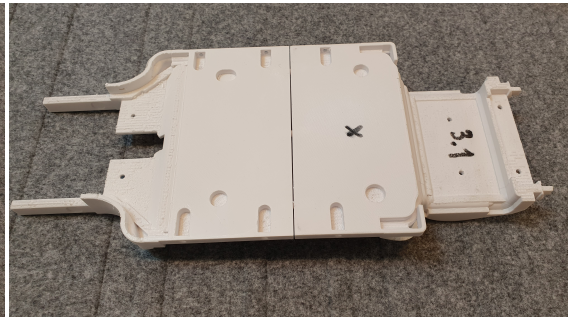
Den fjärde iterationen är den sista iterationen, därmed är resultatet av den fjärde iterationen slutresultatet. Inga större förändringar gjordes på karosdelarna. Gemensamt för alla delar under den fjärde iterationen var att punkter placerades ut där nitning sker. Totalt placerades det ut 18 punkter för nitning, ett för varje nit-hål. Punkterna placerades centrerat i hålet längst ut mot ytan. Anledningen till att punkterna placerades ut, beror på att Digital tvilling gruppen behöver punkter som roboten ska gå till.

5.4.5.1 Bottenplatta

Ett extra hål lades till under bottenplattan med anledning av att karossen roteras 180 grader. Rotationen sker vid montering, och om 3-2-1 anpassningen ska fortsätta gälla behövdes ett extra hål läggas till.



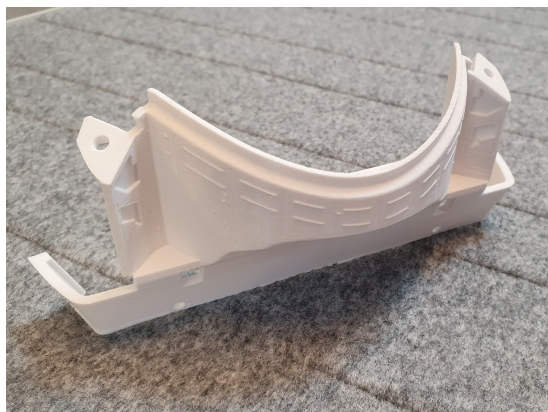
Figur 5.23: Bild på bottenplattan ovanifrån, fjärde iterationen



Figur 5.24: Bild på bottenplattan underifrån, fjärde iteration

5.4.5.2 Bakdelen och bakre upphängningen

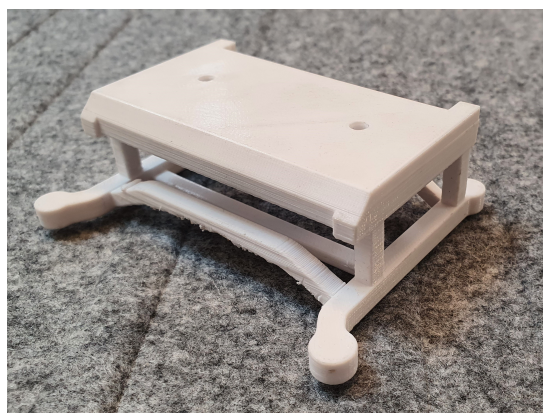
Inga förändringar gjordes på bakdelen eller bakre upphängningen inför iteration fyra och slutresultatet. Bilder på karosdelarnas slutresultat presenteras i Figur 5.25, 5.26 och 5.27



Figur 5.25: Bild på bakdelen bakifrån, fjärde iteration



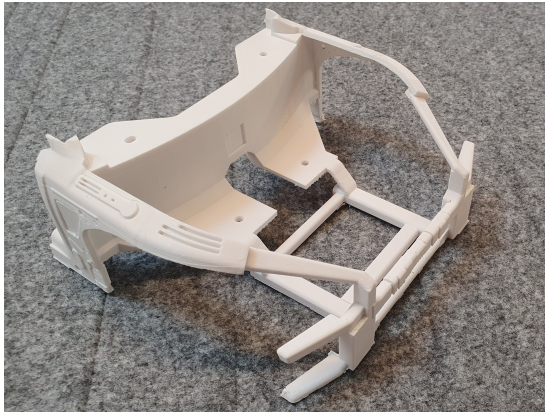
Figur 5.26: Bild på bakdelen framifrån, fjärde iteration



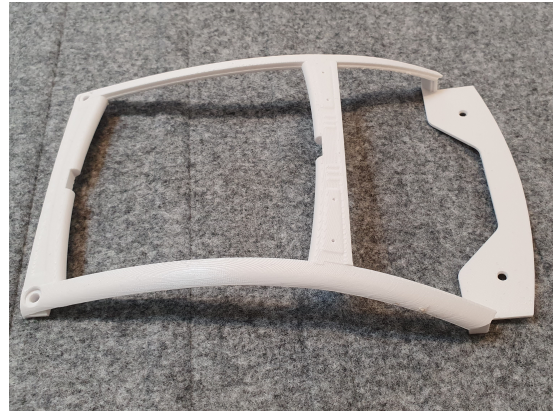
Figur 5.27: Bild på bakre upphängningen, fjärde iteration

5.4.5.3 Fronten, sidorna och taket

Verktyget riskerade att glida, eftersom frontens och sidornas greppyta var för stor för verktyget. Ytan gjordes mindre och fick en annan fasning. Djupet på ytan justerades också, vilket resulterade i ett mer stabilt lyft av roboten. Det lades även till en större fasning på fronten vid den sektion där taket ska styras in. Fronten presenteras i Figur 5.28, och sidorna i Figur 5.30. Greppytan för taket förbättrades eftersom verktyget satt löst med taket från den förra iterationen. Det togs bort material och taket formades mer sluttande för greppytan, se Figur 5.29.



Figur 5.28: Bild på fronten, fjärde iteration



Figur 5.29: Bild på taket, fjärde iteration

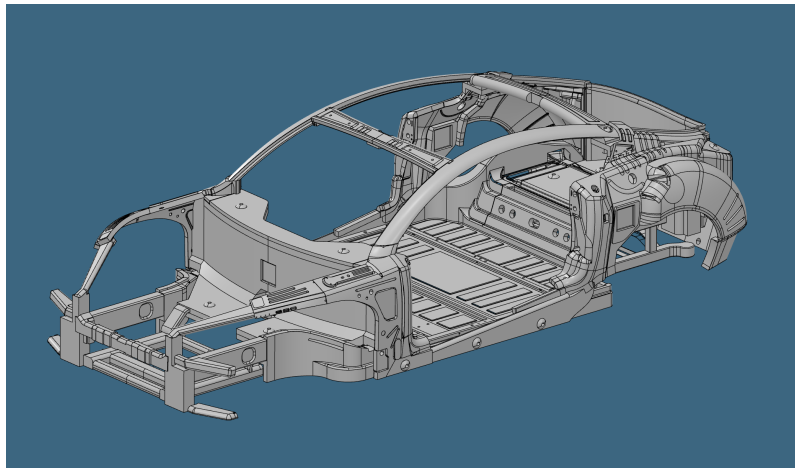


Figur 5.30: Bild på sidorna, fjärde iteration

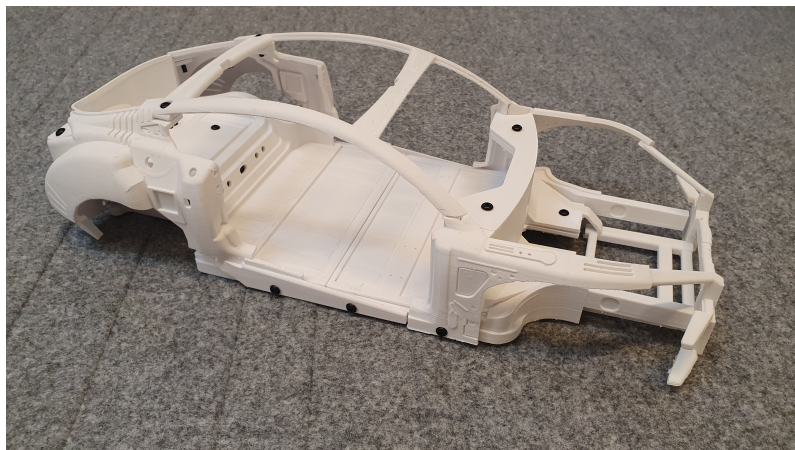
5.5 Sammanställning av fjärde iterationen, och slutlig kaross

I Figur 5.31 visas den slutliga karossen med alla komponenter ifrån 3DEXPERIENCE. Även nitar är med i sammanställningen för att tydligt visa vart de monteras. Slutresultatet i CAD illustreras i Figur 5.31. I Bilaga A och B presenteras CAD-ritningar för sammanställningen samt alla komponenter med alla viktiga mått, som till exempel placering av hål för nitar samt längd- och höjdmått.

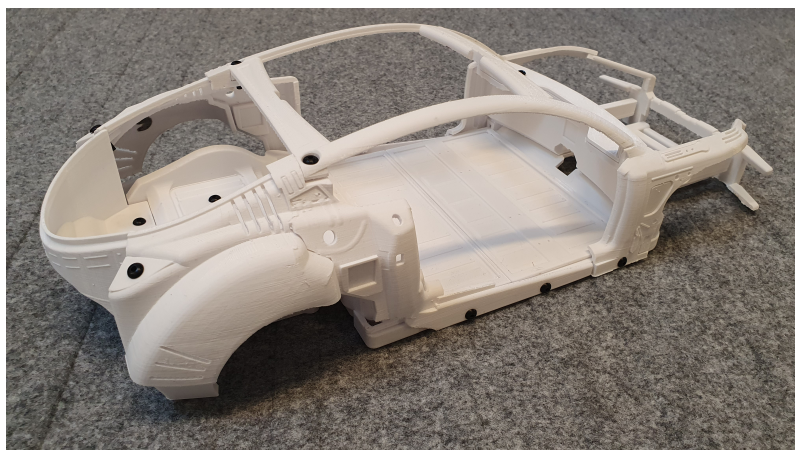
I Figur 5.32, 5.33 och 5.34 visas alla komponenter efter framställning med hjälp av additiv tillverkning. Alla komponenter har nitats ihop för hand på bilderna, och de visar alltså den slutgiltiga modellen. Att utföra monteringen av karosdelarna med roboten hann inte att slutföras av de andra grupperna. Det var endast några delar som kunde testas med nitning och monteringen. De nitarna som testades fungerade att nita fast karosdelarna. Hurvida det går att montera ihop alla karosdelar med en robot finns det inget fullständigt resultat på i skrivande stund.



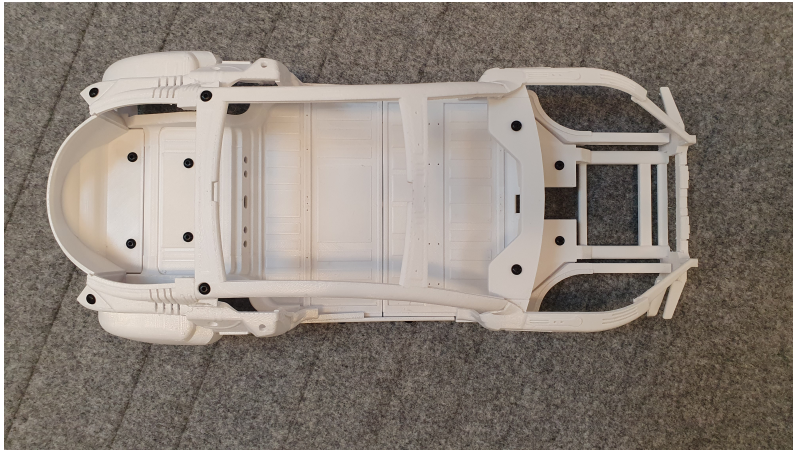
Figur 5.31: Slutlig kaross i CAD



Figur 5.32: Slutresultatet av karossen, bild snett framifrån



Figur 5.33: Slutresultatet av karossen, bild snett bakifrån



Figur 5.34: Slutresultatet av karossen, bild uppifrån

5.6 Stöd till andra grupper

Här beskrivs de resultat som har bistått de andra grupperna i arbetet, inom verktyg och materialflöde.

5.6.1 Verktyg

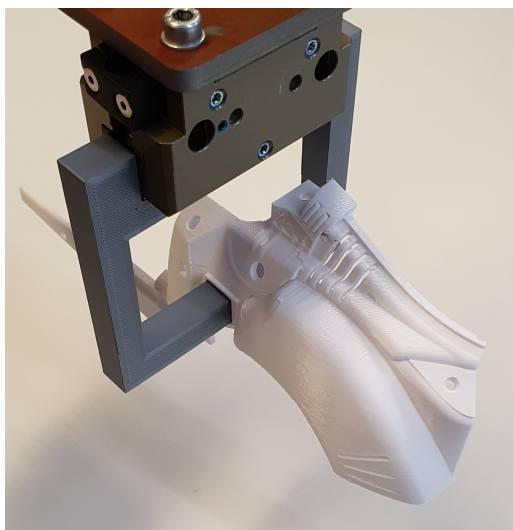
I detta kapitel presenteras de modifieringar som utförts på verktygen tillverkade av gruppen Digital tvilling.

5.6.1.1 Adapterplatta för grippermodul och verktygskoppling

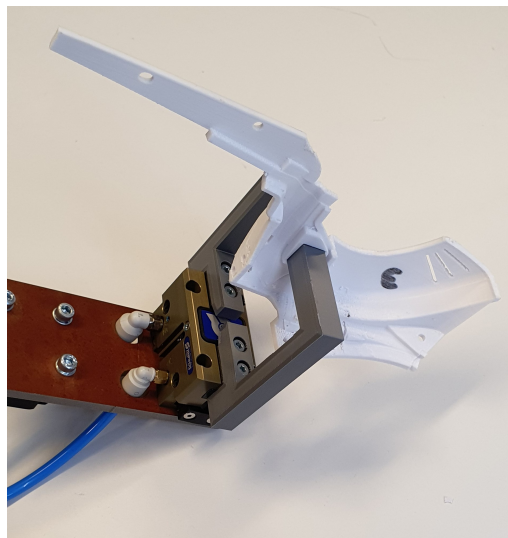
För att förbättra precisionen i verktygen ändrades konstruktionen på adapterplattan mellan grippermodulen och verktygskopplingen. Den tidigare adapterplattan hade måtten 60x120x6mm och var tillverkad i stål. Hål för montering av verktygskoppling och grippermodul fanns i var sin ände där dessa sedan kunde monteras på motsatta sidor. För att förbättra denna konstruktionen togs ett nytt koncept fram som centrerar verktygskopplingen och grippermodulen med varandra. Detta för att uppnå högre noggrannhet då avståndet till TCP minskar. Centreringen gav även upphov till lägre momentkrafter vilket gjorde att materialet kunde bytas till plast utan att konstruktionens stabilitet ändrades märkbart. För att uppnå centreringen skapades försänkningar till M6 insexskruvar, för att fästa verktygskopplingen. På den motsatta sidan skapades även urhålningar för att pressa in M4 muttrar vilket gör det möjligt att montera grippermodulen med skruvar från översidan. Ännu en fördel med denna konstruktion är att vikten minskades från 350g till 20g.

5.6.1.2 Greppverktyg för sidorna och fronten

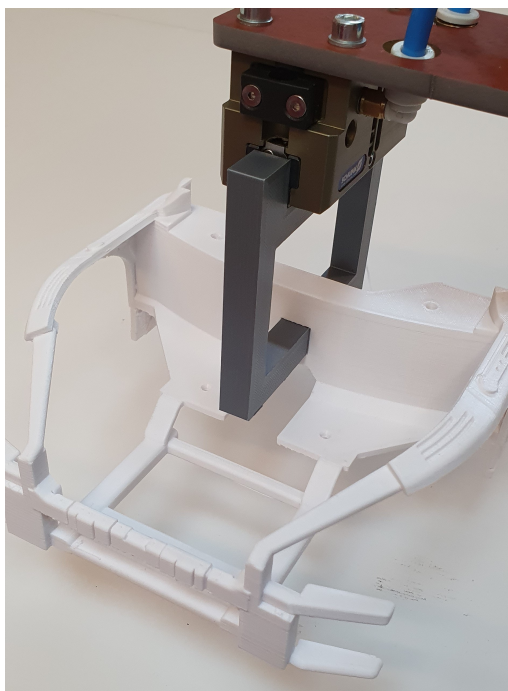
För att motverka böjning i gripklorna ökades tvärsnittet på det område där mest böjning förekom. För att stoppa det böjande momentet från när gripklor klämmer så skapades även ett mothåll mot grippermodulens glidklossar (Se Figur 5.35, 5.36 och 5.37).



Figur 5.35: Bild på verktyget för tak uppifrån



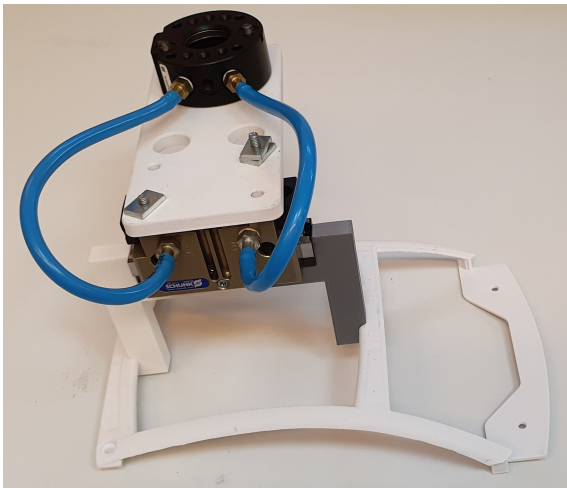
Figur 5.36: Bild på verktyget för tak uppifrån



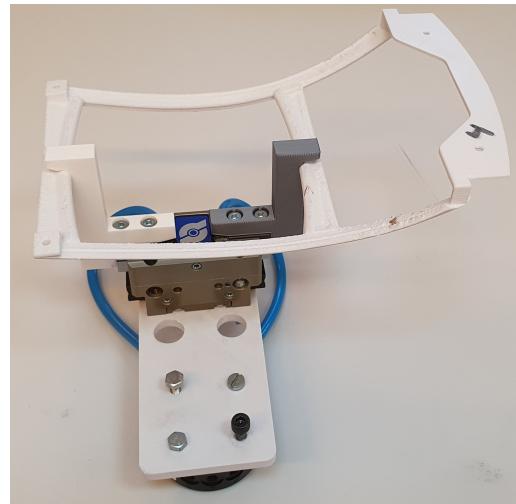
Figur 5.37: Bild på verktyget för fronten

5.6.1.3 Greppverktyg för tak

För att motverka böjning i gripklorna ökades tvärsnittet på de områden där mest böjning uppstod. De två gripklorna utformades med två olika längder. Detta för att greppytorna i taket inte ligger på samma höjd. Detta gör att taket och verktygets koordinatsystem överensstämmer (Se Figur 5.38 och 5.39).



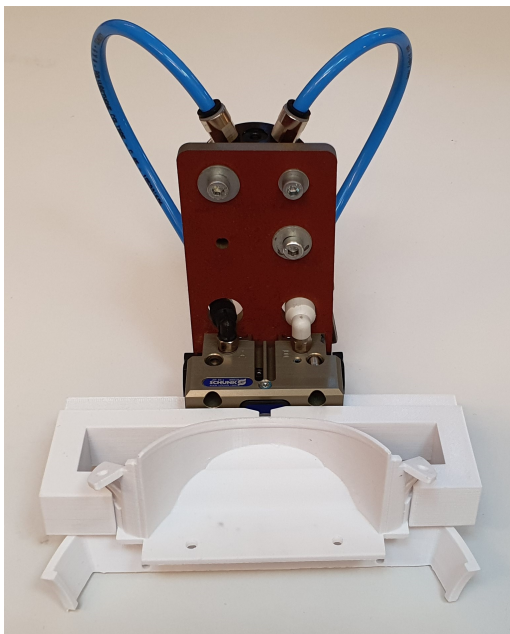
Figur 5.38: Bild på verktyget för sidorna



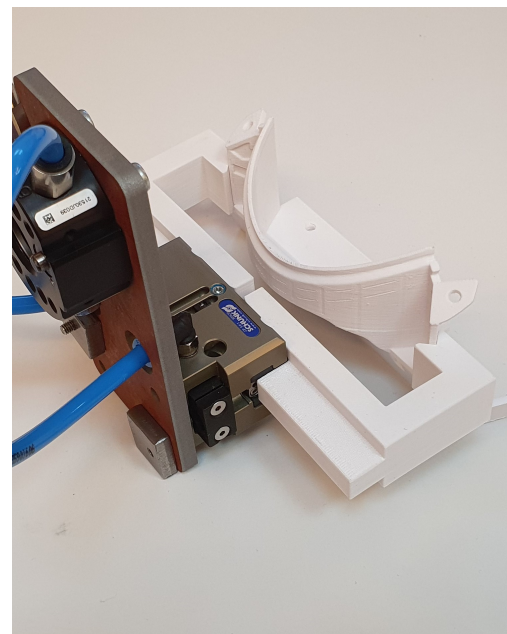
Figur 5.39: Bild på verktyget för sidorna underifrån

5.6.1.4 Greppverktyg för bakdel

Greppverktyget för bakdelen konstruerades så att den greppar bakdelen från sidorna, med en v-formad greppyta, som kan ses i Figur 5.40 och 5.41. Greppytan är konstruerad så att den följer vinklarna på bakdelens sidor, vilket resulterar i att den styr komponenten rätt med hög precision. För att öka konstruktionens styvhet utökades tvärsnittet så det blev T-format på den del där mest böjning tidigare uppstått, detta för att öka tröghetsmomentet. För att låsa frihetsgrader och fixera T-stolpen placerades denna mot grippermodulens glidklossar.



Figur 5.40: Bild på verktyget för bakdel framifrån



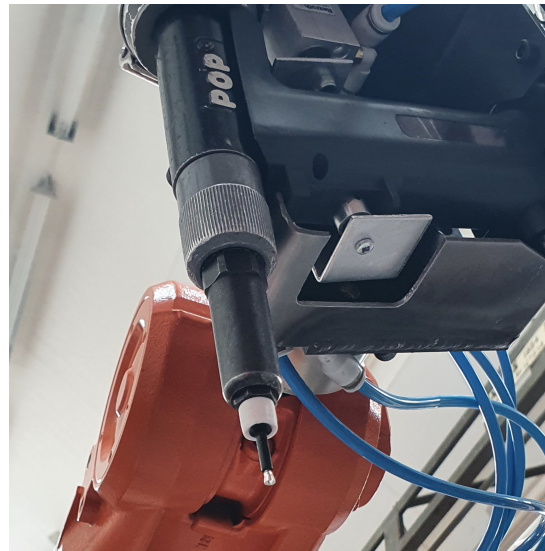
Figur 5.41: Bild på verktyget för bakdel bakifrån

5.6.1.5 Nitverktyg

För att underlätta för roboten att plocka upp nitarna skapades ett trattformat munstycke som styr in nitarna i nitverktyget, se Figur 5.42 och 5.43. Konstruktionen är sådan att nitarna ska kunna vara lite sneda eller ur position och roboten ska ändå kunna plocka upp dem och ge ett kontinuerligt flöde för nitupplockning. Den är konstruerad så att nitarna nästan kommer lika långt in i nitverktyget, men med cirka 1 mm avstånd ifrån. Detta gör att nitverktyget fortfarande kan uppnå samma sug- och nitförmåga som innan, och alltså inte påverka resultatet vid nitning.



Figur 5.42: Munstycket för nitverktyget



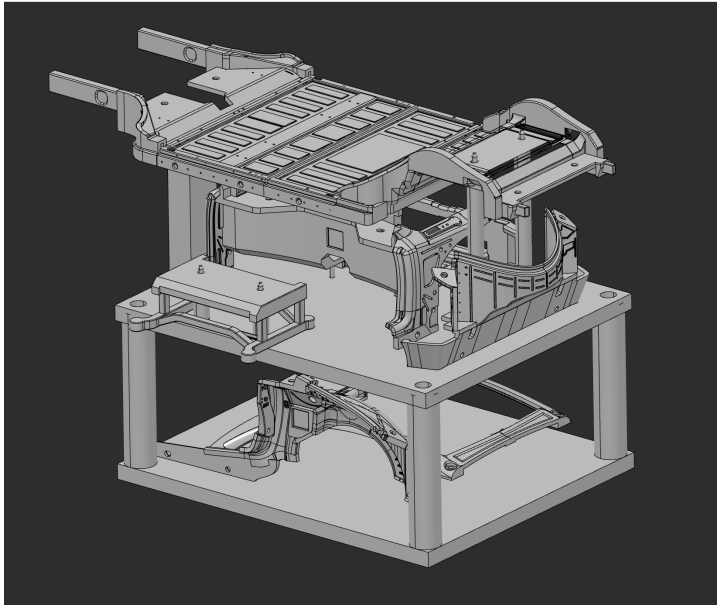
Figur 5.43: Nitverktyget med det monterade munstycket

5.6.2 Materialflöde

De togs fram tre olika koncept för materialflöden, som presenteras nedan.

Koncept 1

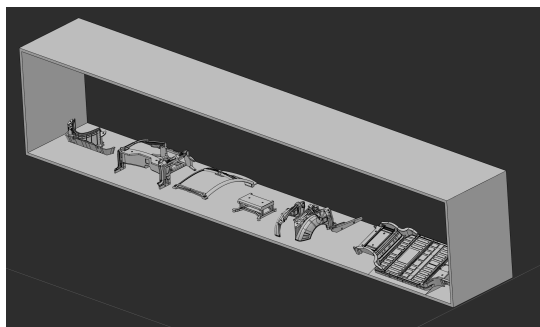
Det förta konceptet består av två plattor som innehåller alla ingående komponenter. Roboten lyfter in plattan, eller så placeras den manuellt, och utifrån det kan den monteras. Konceptet visas i Figur 5.44.



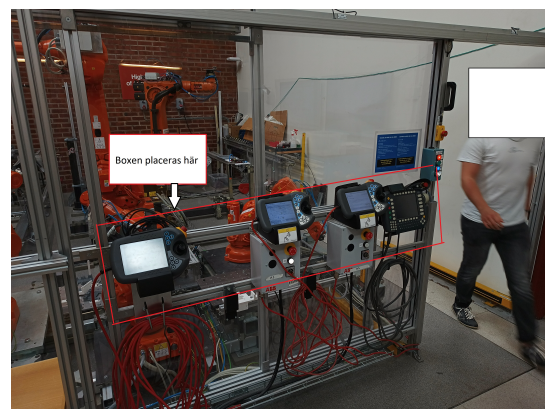
Figur 5.44: Koncept 1: Två separerbara plattor med alla komponenter

Koncept 2

Det andra konceptet, se Figur 5.45, består av en rektangulär box som är öppen från två sidor. Komponenterna kan fyllas på från enda sidan, när roboten har hämtat dem. Boxen placeras på sidan av fabriken, se Figur 5.46, där handdatorerna är placerade i nuläget.



Figur 5.45: Koncept 2:



Figur 5.46: Exempel placering av koncept 2

Koncept 3

Detta koncept bygger på koncept 2, men består av två boxar som står mot varandra. Denna fixtur ska kunna roteras, och därmed kan man fylla på den tomma sidan, medan roboten arbetar med den andra sidan. Denna kan placeras inne i cellen, eller på samma ställe som koncept 2.

Koncept 4

Ett koncept som är lämpligast för de karosdelar som är små. Tekniken efterliknas det nitmagasin som konstruerades. Tekniken fungerar genom att när roboten hämtar en karosdel åker nästa del ner och hamnar i hämtpositionen. Delarna fästs fast på pinnar genom nithålen och styrs via väggar.

5.7 Samarbetet mellan grupperna

En del i arbetet var att undersöka och få erfarenhet av samverkan mellan discipliner. Det har varit ett nära samarbetet mellan grupperna eftersom arbetet har skett på plats i gemensamma lokaler. Det upptäcktes hur viktigt det är att grupperna håller sig till tidsplanen, annars riskerade arbetet att bromsas upp eller att resultat inte kan utvärderas. Ett återkommande problem som förekom var brister i kommunikation mellan det ingående grupperna. Det hände ofta att information inte kom fram till alla grupper när nya riktlinjer och information lyfts till en av grupperna, vilket gjort att arbeten har behövt ändras eller gjorts om totalt. Den största fördelen med att arbeta disciplinärt inom ett arbete är att det olika grupperna får en chans att skapa en djup förståelse för deras arbetsområde. Detta gör att andra grupper lätt vet vart de kan vända sig när de har frågor som befinner sig utanför sitt område.

5.8 Miljö

Under arbetets gång har 10.875 kg material förbrukats vid additiv tillverkning. 6 kg av detta bestod av plasten PET-G, och 4.875 kg av PLA. För att utvärdera hur stor miljöpåverkan materialåtgången resulterat i estimerades koldioxidutsläppet, och energin som krävts för att framställa dessa material. Det totala koldioxidutsläppet som beräknades var 40.095 kg, och energin beräknades till 1102.04 MJ. För att sätta dessa värden i perspektiv beräknades även koldioxidutsläpp och energiåtgång för stål och aluminium. Resultatet presenteras i Tabell 5.1.

En stor del av det förbrukade materialet gick till spill i form av stödstrukturer och misslyckade tillverkningar. För att motverka den negativa miljöpåverkan som kom från detta materialsvinn togs det hänsyn till återvinningen av materialet. Återvinningen har skett genom att separera plasterna, och återvinna dem i plaståtervinningen.

Tabell 5.1: Miljötabell för material

	Massa [kg]	Embodied energy [MJ]	CO ₂ Footprint [kg]
PLA	4,875	540,14	13,845
PET-G	6	561,9	26,25
Arbete totalt	10,875	1102,04	40,095
Stål	67,808	2196,9792	161,044
Aluminium	22,863	3418,09325	313,22995

6

Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultat i relation till syftet och mål, där de flesta målen är uppnådda. Projektet lyckades tillverka en kaross med hjälp av additiv tillverkning, som även har en fungerande sammanfogningsteknik, men utan vetskap om huruvida automationsrobotar kan montera karossen eller ej. Den består av ett godkänt antal komponenter, som till stor del framställt med hjälp av 3DEXPERIENCE, bortsett från användningen av slicer-verktyget, som istället gjordes med programmet PrusaSlicer. Även utrustning som behövs för montering framställdes. I nedanstående delkapitel diskuteras mer utförligt de hinder som dök upp, och mer ingående hur väl målen och syftet uppnåddes.

6.1 Additiv tillverkning

Alla karossdelar är framställda av additiv tillverkning, vilket var ett mål. Det som inte gick att tillverka additivt var nitarna. Det är möjligt att göra egna nitar men de nitar som skapades höll inte den kvalité och verklighetkänsla av punktsvetsning som de inköpta popnitarna.

Resultaten inom additiv tillverkning från detta arbete stämmer överens med vad Průša presenterar i *Basics of 3D printing with Josef Prusa* (Prusa, 2019). De tillverkningsresultat, särskilt inom materialteknik stämmer väl överens med teorin. Exempelvis, att PET-G är lämpligt för större modeller stämmer överens med det resultat som uppnåddes. Stödstrukturerna satt hårt fast på karossdelarna när PET-G användes vilket Průša presenterade om materialet.

6.1.1 Miniprojekt

Miniprojektet gav insikt inom 3DEXPERIENCE, sammanfogningstekniker och samarbetet mellan grupperna. Detta skapade därmed en god förståelse för hur det riktiga arbetet skulle utföras. De olika verktygen inom 3DEXPERIENCE kunde nu användas för första gången, och svårigheter med molntjänsten kunde hittas.

De olika sammanfogningstekniker som testades i miniprojektet, användes inte till att montera ihop den slutliga bilen. Dock var det givande eftersom det gav kunskap om vilken precision robotarna har, och vad som bör tänkas på vid fogning av den riktiga karossen.

Syftet med miniprojektet var även att analysera hur arbetet mellan grupperna fungerade. Det som framgick var att projektet var mer givande för oss, än för de andra

grupperna. Samtidigt gav det förståelse angående kommunikationen mellan grupperna, eftersom det är svårt att förmedla alla små ändringar. Detta kunde vara bra att tänka på senare i arbetet, då kommunikationen är ännu viktigare. En lösning på detta hade varit att ha en huvudansvarig för hela arbetet, som kunde dirigera och hålla koll på informationen. Det blir också lättare för alla inblandade att kunna fråga någon om oklarheter inom arbetet.

6.2 Sammanfogningsmetod

Efterlikna punktsvetsning är svårt att uppnå utifrån de avgränsningar, och begränsningar som finns i arbetet. Den valda metoden popnitning liknar punktsvetsning genom att karosdelar fogas samman i punkter. Det liknas också genom att det är roboten som utför processen med ett verktyg monterat på den. Den största begränsningen till att efterlikna punktsvetsning är att materialet inte får smältas i området där robotarna befinner sig, vilket förhindrar att svetsförloppet efterliknas. Eftersom karossen är liten är det även svårt att få in många sammanfogningspunkter, och det leder till att det inte efterliknar bilindustrins punktsvetsning.

6.3 Karossen

Karossen stötte på flera problem under arbetet vid modelleringen av komponenter, men också vid detaljbevarandet av karossen. Konstruktionen stötte också på hinder vid nitning.

6.3.1 Modellering

Modelleringen som gjordes i 3DEXPERIENCE följde en generell grundmetod under hela arbetet, men varje del hade sin egna specifika metod. Flera metoder testades för att ta fram nedskalade delar med en tillverkningsbar tjocklek. Risken med den metod som följdes under arbetet var att ibland vägrade programmet att skala ner bearbetade delar. Att lägga på tjockleken innan var väldigt tidskrävande, och fungerade inte nedskalningen av modellen försvann flera timmars arbete. Att istället välja att skala ner modellen först, och därefter lägga på tjocklek är en avvägningsfråga. Skalades modellen ned först blev ytorna känsligare för att öka tjockleken, vilket är en stor nackdel. Det kan bli mer arbete för att få till en detaljrik yta med rätt tjocklek. Utifrån de metoder som testades och vad som togs fram under förstudien är den metod som följts i nedskalningsprocessen bra, om detaljer och former vill behållas. Dock är den tidskrävande, och det krävs precision. En förbättring som kunde gjorts på metoden är att kontinuerligt prova att skala ner modellen. Skulle det inte längre fungera att skala ner hade det varit lättare att undersöka vad felet beror på, och därmed hade risken minskat att en modell inte går att använda.

6.3.2 Konstruktion

Konstruktionen av karossen valdes att följa den givna karossens design i stor utsträckning som möjligt. Där det fanns mest påverkan för alternativ utformning är där sammanfogning sker. Inriktningen för de konstruerade lösningar handlade till större delen om att integrera in dem för att kunna behålla alla detaljer. Konstruktionen måste också efterlika en verklig kaross, med alla ingående komponenter, och att inte alla detaljer är bort plockade.

Ett mål var att karossdelarna ska kunna sättas ihop av robotarna. Detta målet fokuserades mycket på under arbetet genom att konstruera greppytor, och sammanfogningspunkter integrerat i designen av karossen. Valet av att integrera in grepplösningar försvårar själva ihopsättningsprocessen, men samtidigt uppnås ett verklighetstroget resultat. Ett annat alternativ skulle vara att anpassa verktygen efter utformningen av varje komponent, vilket också blir mer verklighetstroget. Komponenterna hade också kunnat anpassats, och utformas bättre för robotmontering, genom att exempelvis lägga till fler styrningar och förbättra passningen med varandra.

Hur väl alla karossdelar klarar av att nitas och sättas ihop av robotarna är inget som har utvärderas, eftersom det inte finns en färdigställd simulering. Detta är en begränsning med arbetets resultat, eftersom det är svårt att avgöra om karossdelarna är tillräckligt bra konstruerade för montering och nitning av robotarna. Tanken var att få respons från robotkörningar efter varje iterationsprocess, och utifrån dem justera delarna. Första robotkörning kunde testas efter tredje iterationen, där bottenplattan lyftes. Karossen monterades däremot manuellt, med en popnitstång, och utifrån detta kunde karossen förbättras. Samtidigt är det inte säkert att konstruktionen kommer fungera vid montering av robotarna.

Nitningen, och placeringen av nithålen, har inte heller kunnat utvärderas på ett sätt som hade varit att fördra. Nitningen på karossdelarna är till större delen endast utvärderad efter att nitat ihop delarna på egen hand, inte med hjälp av roboten med pneumatisk nitpistol. Nitning av roboten gjordes endast på två karossdelar. För de karossdelarna fungerade nitningen, men för de andra finns det en osäkerhet i resultatet om den precision och stabilitet finns för att träffa rätt med nitningen. Hade fler robotkörningar testats hade det varit lättare att förbättra konstruktionen. Karossen delades upp i åtta stycken delar. Antalet delar valdes utifrån målet, att antalet komponenter ska vara mellan sex till tolv komponenter. En tanke var att dela upp karossdelarna i ännu fler delar, men eftersom robotprocessen inte blev färdigställd, lades tid på att stödja de andra grupperna. Åtta delar kändes som en bra nivå att ha för de första karosserna som monteras av robotarna. För vidare arbete går det att öka antalet delar genom att dela upp större karossdelar i flera mindre delar. Fronten är ett exempel på en större del som kan delas upp i flera mindre delar.

6.4 Kartläggning av 3DEXPERIENCE

Att använda 3DEXPERIENCE under hela arbetet gick tyvärr inte, eftersom programmet inte stödjer viktiga funktioner inom additiv tillverkning. Dock har det

används till att framställa alla komponenter till karossen, och stödjandet till andra grupper.

3DEXPERIENCE har funktioner, som *Marketplace* som skickar CAD-filen till ett företag. Företaget skriver sedan ut komponenten, och skickar tillbaka den, vilket är perfekt för någon som inte har tillgång till additiv tillverkning. Arbetet syftade dock till att tillverka egna komponenter, och därmed var tredjehands program nödvändigt. PrucaSlicer användes för att framställa G-code med lageruppbyggnad, vilket 3DEXPERIENCE inte klarade av. PrucaSlicer fungerar även bra till de skrivare som användes under arbetet, eftersom det är en Prusa skrivare. 3DEXPERIENCE har inte heller möjlighet till att skapa stödstrukturer, vilket är nödvändigt för tillverkning av alla komponenter. PrucaSlicer löser även detta problem, genom att generera egna stödstrukturer. Kartläggningen av 3DEXPERIENCE inom additiv tillverkning blir därmed kort, eftersom den inte har de viktiga verktygen för ämnet.

6.5 Disciplinärt arbete

Samarbetet mellan de tre grupperna är något som har varit en återkommande utmaning under arbetet. Samarbetet har fungerat bra till stor del, men när det inte har fungerat har det påverkat resultatet. Ibland förekom bristande kommunikation vilket gjorde att arbete behövde göras om på grund av nya direktiv från någon annan grupp. Information hade behövts spridas på ett bättre sätt mellan alla grupperna, exempelvis med hjälp av mer formellt protokoll. Flertalet gånger fick en grupp direktiv från handledarna om vad de ville ha, vilket kunde dröja länge innan de andra grupperna fick direktiven till sig. Materialflödet hann till exempel inte realiseras, eftersom informationen inte kom fram i tid. Därmed började en grupp att bygga robotcellen utan integrera ett kontinuerligt materialflöde. Istället hade materialflödet kunnat utvecklas tidigare om alla hade varit medvetna om direktiven.

Ett annat problem, vilket har påverkat resultatet, är att grupperna har varit i olika faser av arbetet. Arbetsuppgifter har haft olika lång upplärningstid, därmed har resultat och respons från de olika grupperna fått väntas på. Det här var något som påverkade designgranskningens utförande, eftersom tanken var att få mer respons under varje tillfälle genom att prova karosdelarna med robotarna. Problemet var att det inte fanns en färdig simulering av monteringen.

Samtidigt har det funnits en stor samarbetetsvilja mellan grupperna, då alla strävar mot samma mål: att montera en kaross. Kunskap har utväxlats mellan grupperna och flera arbeten har utförts tillsammans av alla grupperna, exempelvis konstruktion av verktygen. Tillgängligheten på grupperna har varit bra eftersom alla har befunnit sig på plats i de gemensamma lokalerna.

6.6 Materialflöde

Konceptet på de materialflöden som togs fram valdes att inte realiseras, på grund av att andra grupper inte hade kunnat simulera koncepten. De hade nämligen inte gjort klart simuleringen för montering av en kaross, och därav skulle inte koncepten simuleras. En lösning på detta hade varit att börja med koncept för materialflöde tidigare.

Det mest relevanta konceptet, och det som skulle kunna utvecklas vidare, var koncept 2. Konceptet hade löst problemet med att ingen får befinna sig i robotcellen vid drift, men också att robotarna är lokaliserade i närheten boxen.

6.7 Miljö

För arbetets ändamål fungerar plast bra eftersom hållfasthet inte är en uteslutande faktor. Resultatet i Tabell 5.1 visar på att det är bättre att använda plast än metall i det här arbetet ur ett energiperspektiv. Ändamålet är att tillverka karossdelar vilka kommer att användas till att de går sönder, därefter återvinns dem. Karosdelarna är ingen förbrukningsvara, vilket gör att de inte behöver återvinnas frekvent.

Nästan 11 kg plast har använts under arbetet vilket förvånade gruppen. Till andra arbeten bör passning undersökas mer noggrant i Assembly design, därmed kan modeller som inte fungerar undvikas att tillverkas. En stor del av materialet som har gått åt har använts till stödstrukturer. Det är viktigt att tänka på hur modellen placeras för att minimera stödnyandandet. Modellens utformning påverkar också mängden stödstruktur som går åt. I det här arbetet var det svårt att styra över designen på modellerna vilket gjorde att vissa karossdelar krävde en hel del stöd.

6.8 Fortsatt arbete

Det som inte har slutförts under arbetet, och behöver utvecklas vidare, är materialflödet till robotarna och även huruvida komponenterna kommer behövas konstrueras om eller inte. Detta på grund av att alla komponenter är låsta till en position i robotfabriken, vilket innebär att inför varje ny montering av en kaross behövs alla komponenter placeras ut manuellt. Detta leder till många pauser och att ett flöde inte kan åstadkommas. Materialflödet har inte ändrats eftersom de andra grupperna inte ansett att tiden finns för nya simuleringar och inmätningar.

Karossens komponenter har inte kunnat sättas ihop av automationsrobotar, då simuleringen inte färdigställts i tid. Därav har inte karossen verifierats angående montering, och troligen innebär det att vissa fel inte upptäckts. Dessa problem skulle behöva korrigeras i framtiden när simuleringen exciteras. Förhoppningsvis kommer det inte behövas, eftersom vi vet att karossen är fullt monteringsbar manuellt. Det återstår dock att se om all montering är kompatibel för robotarna.

7

Slutsats

Arbetet har uppnått syftet och de mål som ställts, genom att tillverka en modellkaross med hjälp av programvaran 3DEXPERINCE. Karossen består av åtta komponenter, och har framställts med hjälp av additiv tillverkning. Den kan även sammanfogas med en teknik som efterliknar punktsvetsning, med hjälp av popnitning.

I det disciplinära arbetet har karossen spelat en betydande roll, eftersom de andra grupperna förlita sig på den. Karossens montering simuleras i en digital tvilling, där robot-kod skapas, för att slutligen monteras i den verkliga robotcellen. Det disciplinära arbete har gett en förståelse inom de problem som kan uppstå under en längre arbetsprocess, där till exempel viktig information kan gå miste mellan grupperna.

Den digitala plattformen 3DEXPERIENCE har varit ett bra verktyg för detta arbete, eftersom det underlättar samarbete mellan grupperna. Karosdelarna har kunnat hämtas, och användas, av de andra grupperna på ett enkelt och lätt sätt.

De problem som återstår är att en montering med automationsrobotar, av karossen, inte har genomförts. Detta leder till osäkerheter inom konstruktionen av karossen. 3DEXPERIENCE sakande också stöd för att fullt ut kunna utföra additiv tillverkning. Däremot kartlades plattformen på övriga områdena som arbetet berört.

Avslutningsvis har arbetet lagt en god grund till fortsatt arbete, eftersom karossen troligen kommer att behöva omkonstrueras efter montering med automationsrobotar.

Källförteckning

- 3D Printing and 3D Printing Preparation - User Assistance R2022x. (u. å). Hämtad 22 februari 2022, från <https://help.3ds.com/2022x/English/DsDoc/StlUserMap/stl-c-ov.htm?contextscope=all&id=30702eba3d044c7eb82f50114d6c78cc>
- Arnaud. (u. å). 'bleu': The CATIA Design Showcar. Hämtad 17 februari 2022, från <https://blogs.3ds.com/perspectives/bleu-the-catia-design-showcar/>
- Attene, M., Livesu, M., Lefebvre, S., Funkhouser, T., Rusinkiewicz, S., Ellero, S., Martinez, J. & Bermano, A. H. (2018). *Design, Representations, and Processing for Additive Manufacturing*.
- Cano-Mejia, D. (2020). How to 3D Print from 3DEXPERIENCE. Hämtad 17 februari 2022, från <https://blog.trimech.com/how-to-3d-print-from-3dexperience>
- Carolo, L. (2020). What Is a 3D Slicer? – Simply Explained. Hämtad 5 april 2022, från <https://all3dp.com/2/what-is-a-3d-slicer-simply-explained/>
- Lianghua, Z. & Lin, L. (2020). Error Orientation Analysis and Experimental Study on 3D Printing. *2020 5th International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering (ICMCCE)*, 677–680. <https://doi.org/10.1109/ICMCCE51767.2020.00149>
- NE. (u. å). punktsvetsning - Uppslagsverk - NE.se. Hämtad 12 maj 2022, från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/punktsvetsning>
- Niiranen, S. (2021). Supporting the development of students' technological understanding in craft and technology education via the learning-by-doing approach. *INTERNATIONAL JOURNAL OF TECHNOLOGY AND DESIGN EDUCATION*, 31(1), 81–93. <https://doi.org/10.1007/s10798-019-09546-0>
- P. Suh, N. (u. å). *Axiomatic Design and Robust Design*. Wingquist Laboratory/Chalmers. https://chalmers.instructure.com/courses/15909/files/1768225?module_item_id=227184&fbclid=IwAR2GesUBTVFhlcE8J04EanA6zA8TBLvIkt4Ph3H9zMmV1xdge6iG_2DjMQo
- Pradeep, S. A., Iyer, R. K., Kazan, H. & Pilla, S. (2017). 30 - Automotive Applications of Plastics: Past, Present, and Future. I M. Kutz (Red.), *Applied Plastics Engineering Handbook (Second Edition)* (Second Edition, s. 651–673). William Andrew Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39040-8.00031-6>
- Prusa, J. (2019). *Basics of 3D Printing* (1. utg.). Prusa Research a.s.
- Prusa, J. (2021). *3D PRINTING HANDBOOK* (3.16). Prusa Research.
- Smyk, A. (2017). How to Conduct a Design Review. <https://blog.adobe.com/en/publish/2017/05/26/how-to-conduct-a-design-review>

- Welcome to the 3DEXPERIENCE User Assistance - User Assistance R2022x. (u. å). Hämtad 10 maj 2022, från <https://help.3ds.com/2022x/English/DSDoc/FrontmatterMap/DSDocHome.htm?contextscope=cloud&id=f22fd5ec0c3443298bdfd87fd7935d44>
- Weller, J. (2021). Design Review Process Essentials | Smartsheet. Hämtad 10 mars 2022, från <https://www.smartsheet.com/content/design-review-process>
- Vemborg, M. (2021). 3DEXPERIENCE - Collaborative product development on cloud. Hämtad 5 april 2022, från <https://plmgroup.eu/articles/3dexperience-collaborative-product-development/>

A

Ritningar

A.1: Sammanställningsritning

A.2: Ritning Bakdel

A.3: Ritning Sida vänster

A.4: Ritning Sida höger

A.5: Ritning Bottenplatta bakre

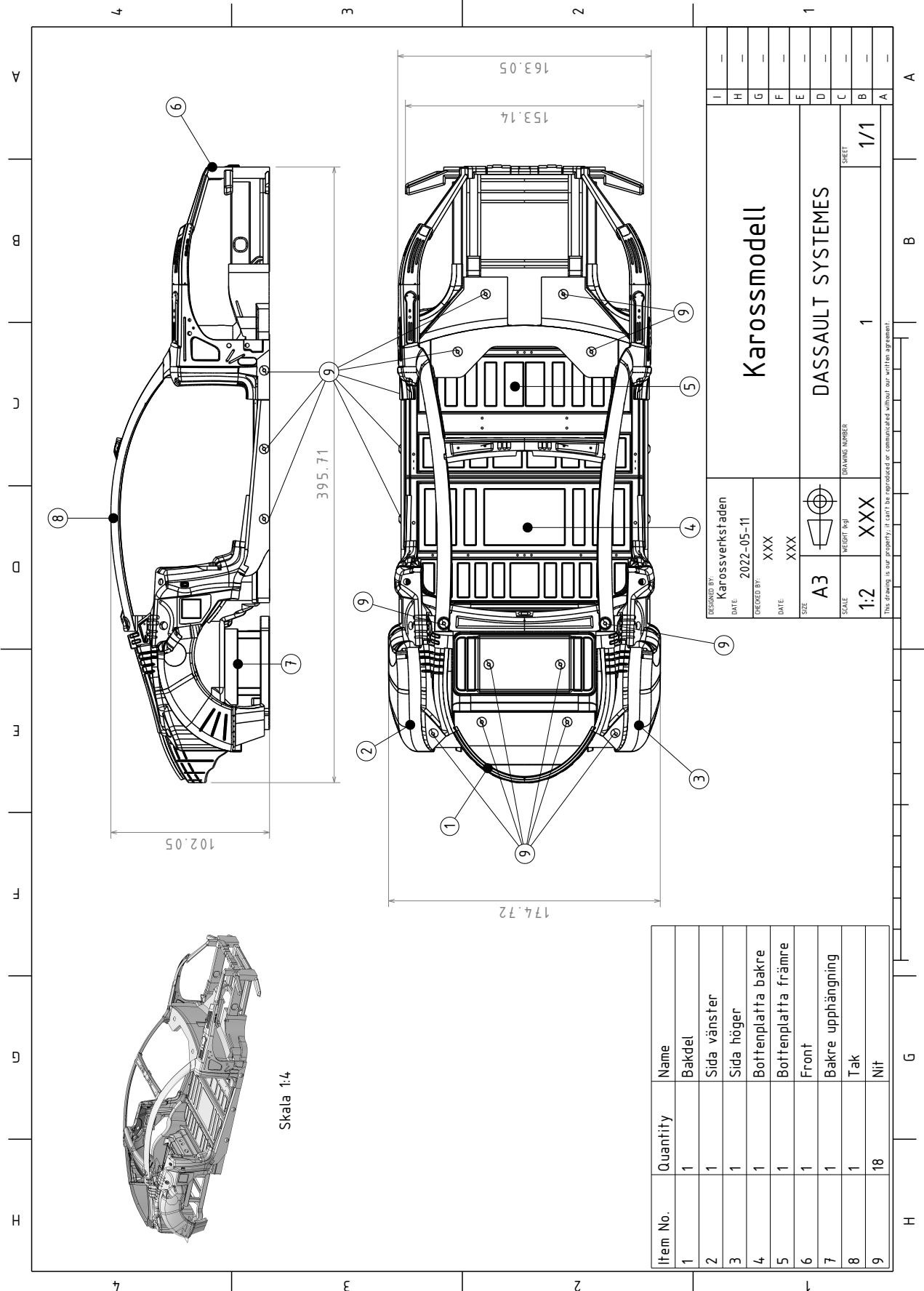
A.6: Ritning Bottenplatta främre

A.7: Ritning Front

A.8: Ritning Bakre upphängning

A.9: Ritning Tak

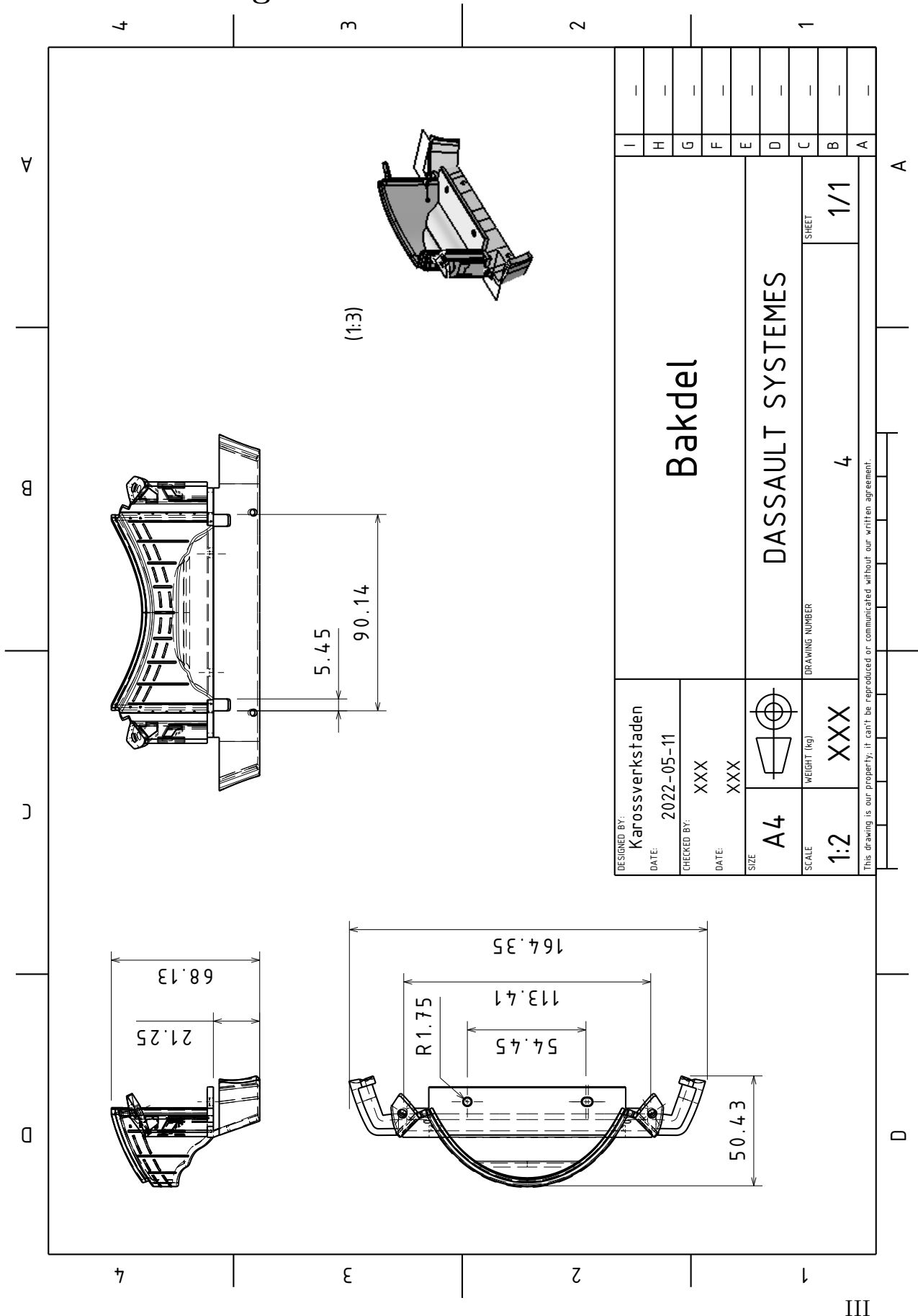
A.1 Sammanställningsritning



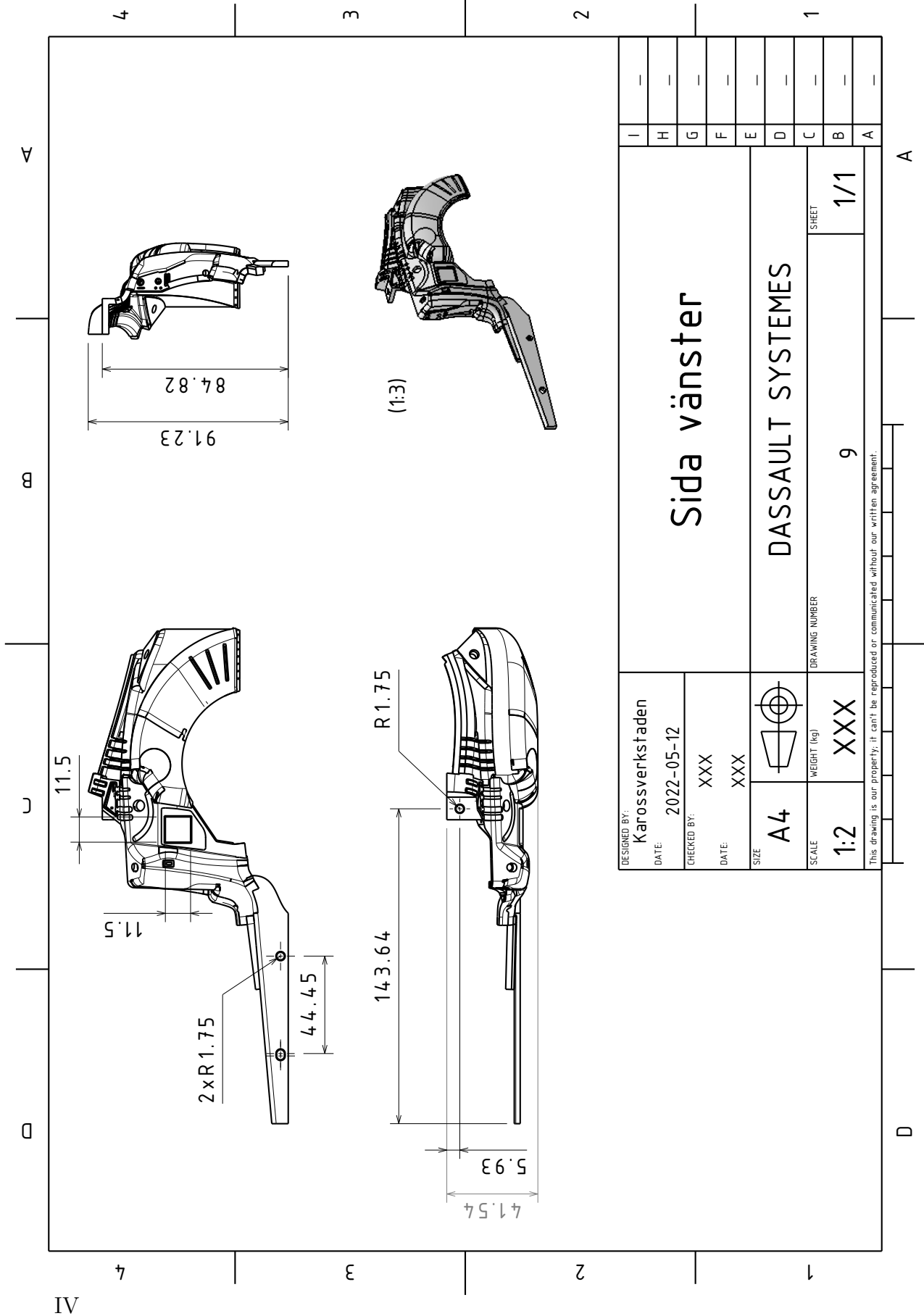
Item No.	Quantity	Name
1	1	Bakdel
2	1	Sida vänster
3	1	Sida höger
4	1	Bottenplatta bakre
5	1	Bottenplatta främre
6	1	Front
7	1	Bakre upphängning
8	1	Tak
9	18	Nift

DESIGNED BY: Karosverkstaden		Karosmodell	
DATE: 2022-05-11		DASSAULT SYSTEMES	
CHECKED BY: XXX		DRAWING NUMBER 1	
DATE: XXX		SHEET 1/1	
SIZE A3	WEIGHT (kg) XXX		
SCALE 1:2	This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		

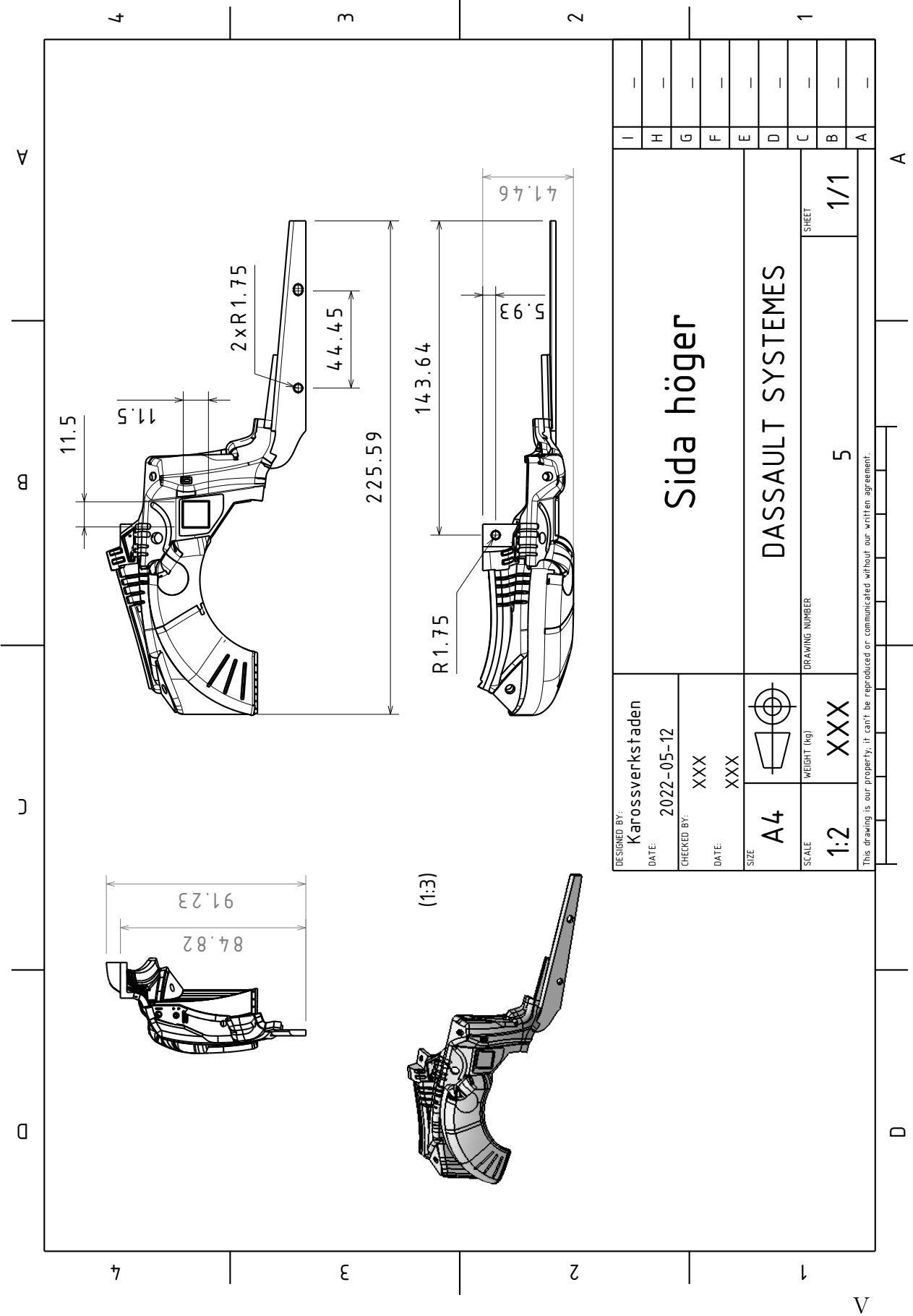
A.2 Ritning Bakdel



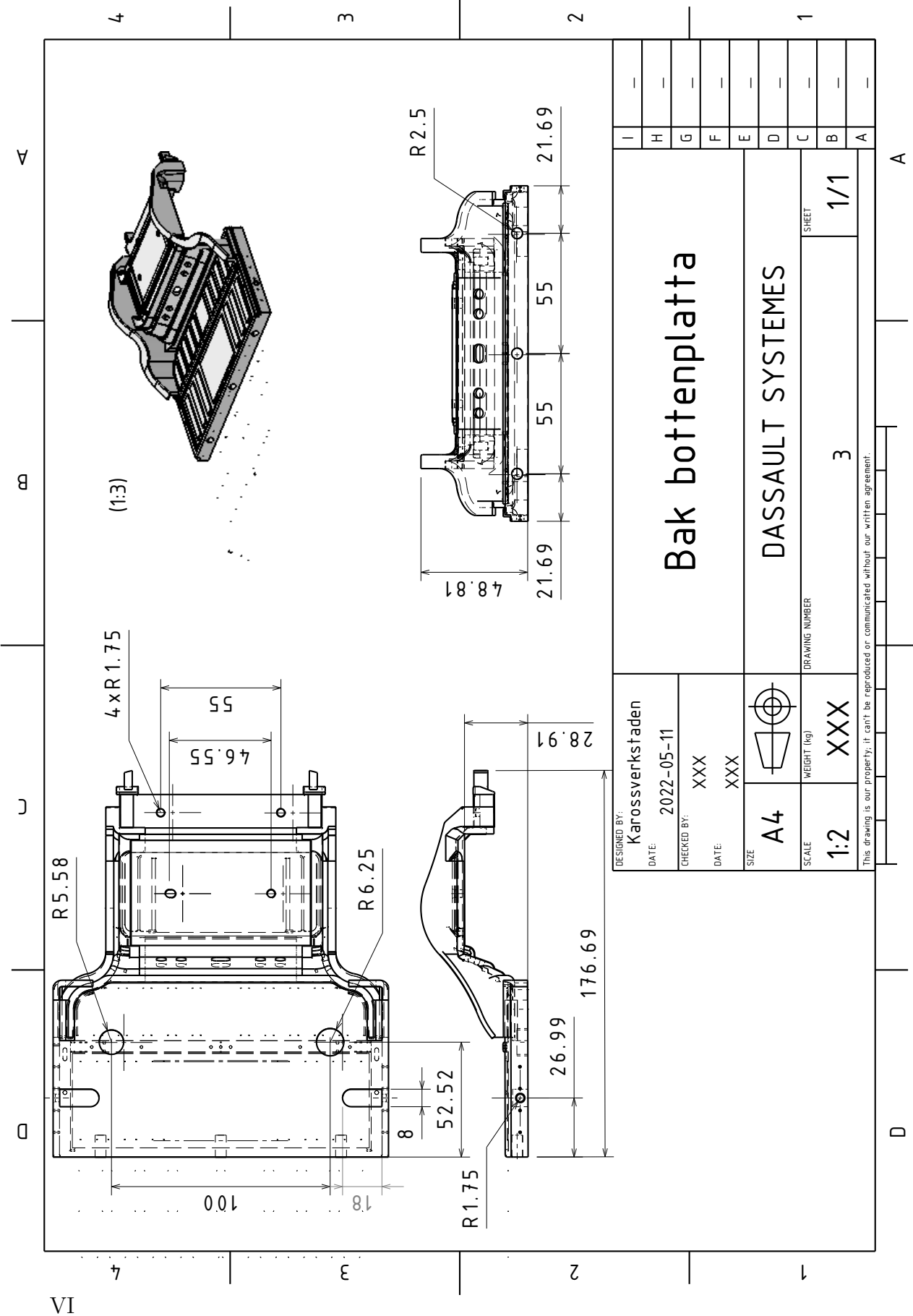
A.3 Ritning Sida vänster



A.4 Ritning Sida höger



A.5 Ritning Bottenplatta bakre



DESIGNED BY: Krossverkstaden		DATE: 2022-05-11	
CHECKED BY: XXX		DATE: XXX	
SIZE A4	WEIGHT (kg) XXX	DRAWING NUMBER 3	
SCALE 1:2	SHEET 1/1		
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.			

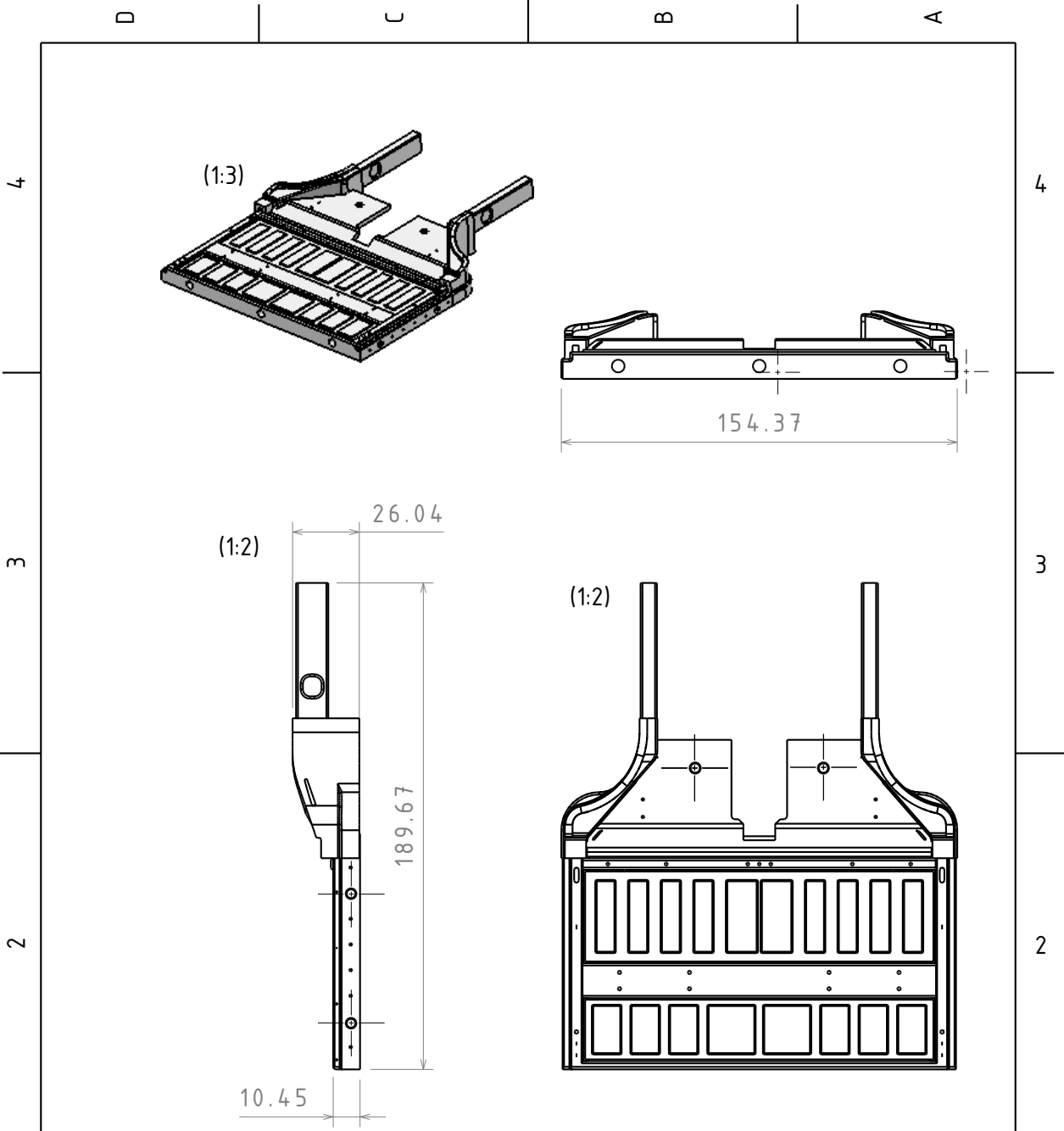
Bak bottenplatta

DASSAULT SYSTEMES

A

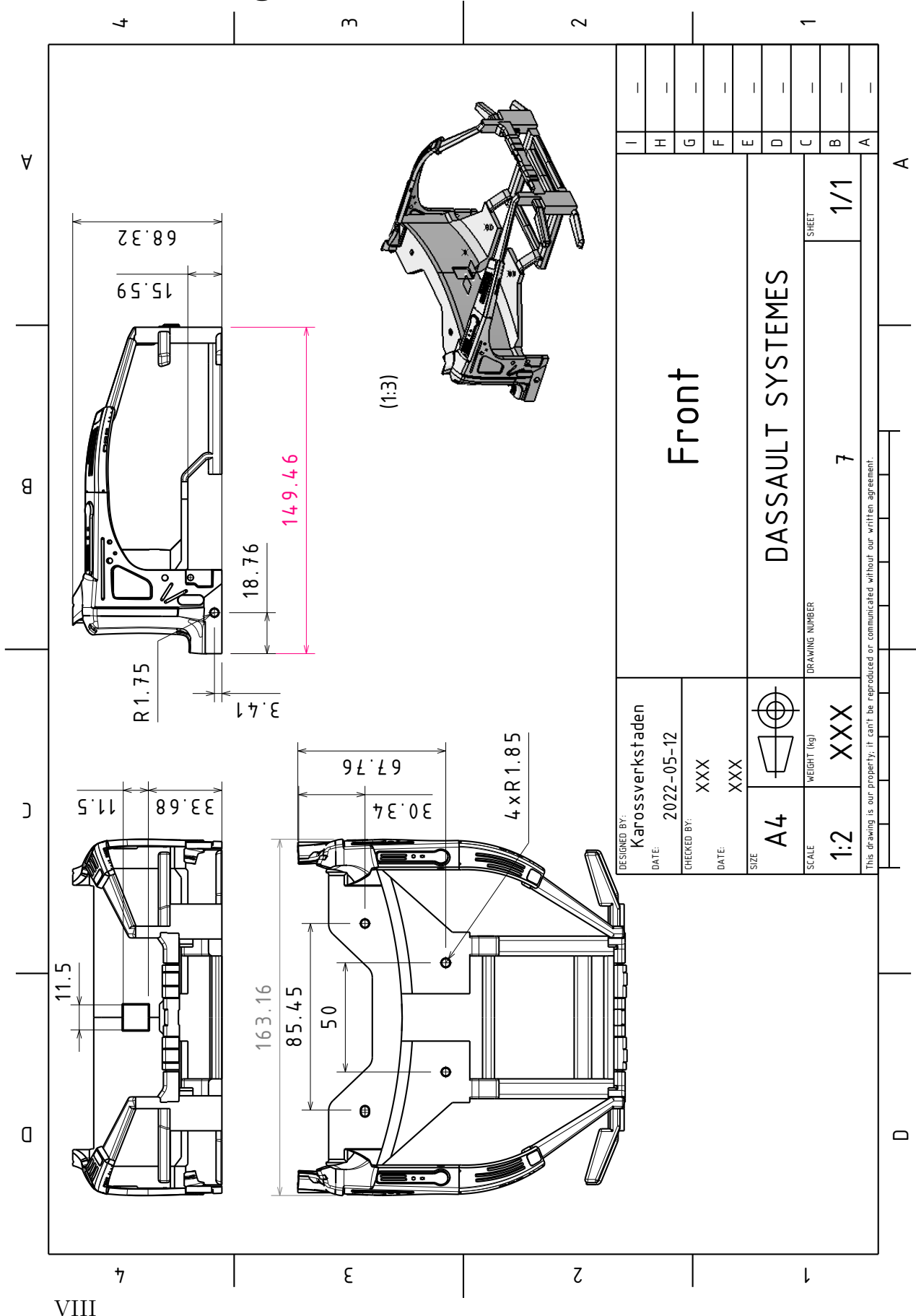
D

A.6 Ritning Bottenplatta främre



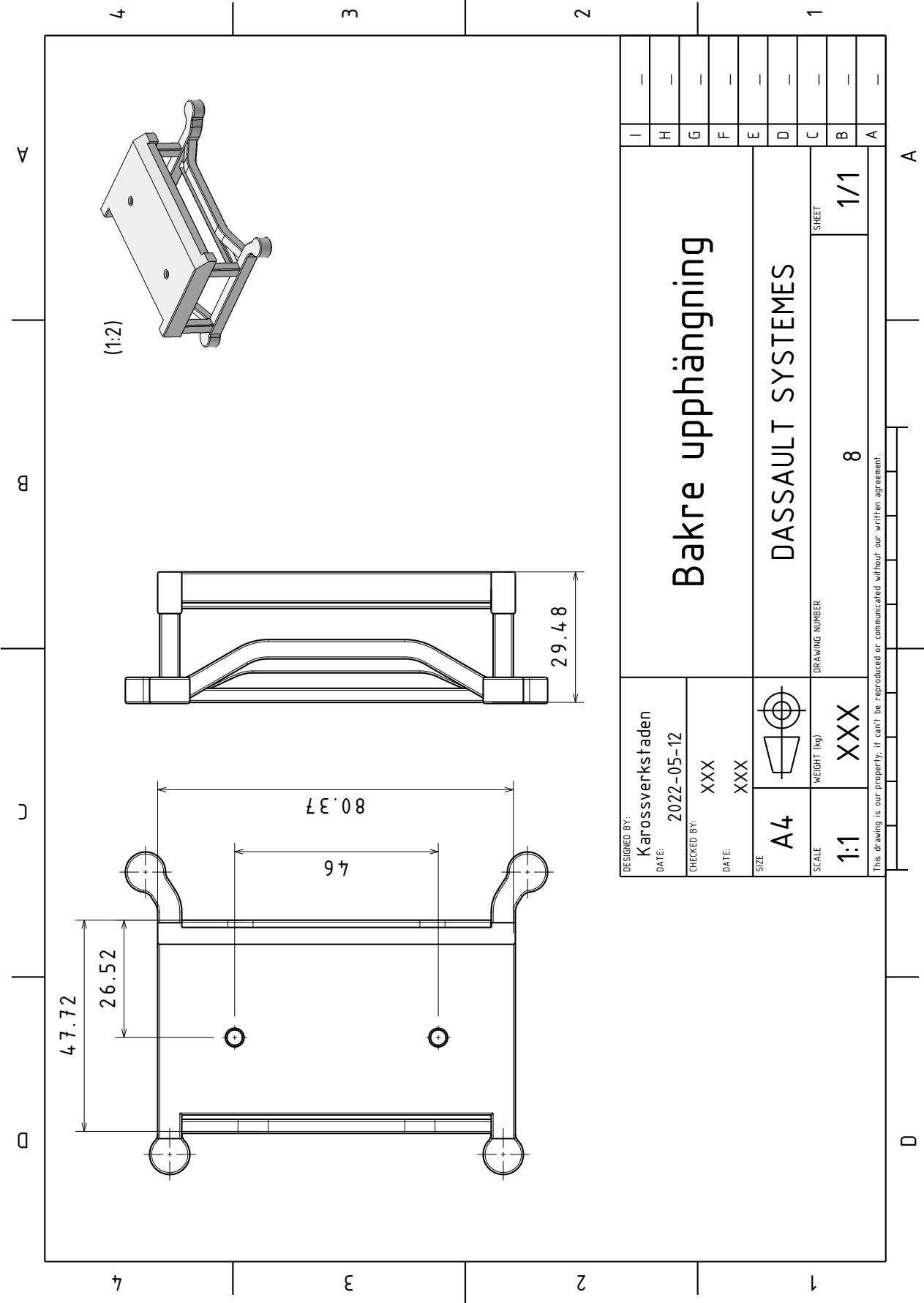
DESIGNED BY: Karosverkstaden		<h1>Fram bottenplattan</h1>	I	—	
DATE: 2022-05-11			H	—	
CHECKED BY: XXX			G	—	
DATE: XXX			F	—	
SIZE A4		<h2>DASSAULT SYSTEMES</h2>		E	—
SCALE 1:1		WEIGHT (kg) XXX	DRAWING NUMBER 2	SHEET 1/1	D
This drawing is our property, it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				C	—
				B	—
				A	—

A.7 Ritning Front

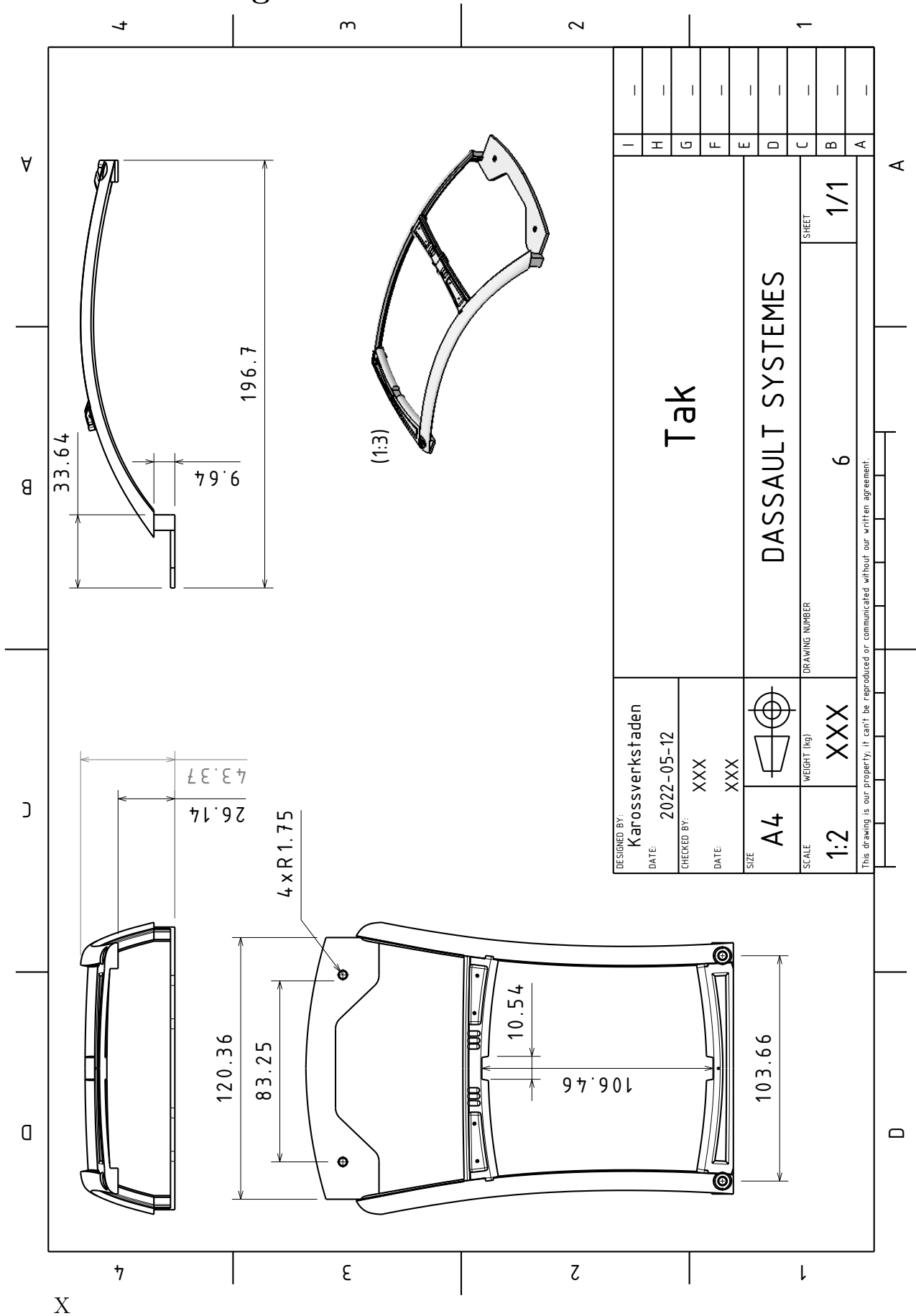


DESIGNED BY: Krossverkstaden	DATE: 2022-05-12	CHECKED BY: XXX	DATE: XXX	SIZE: A4	WEIGHT (kg): XXX	DRAWING NUMBER: 7	SHEET: 1/1
Front				DASSAULT SYSTEMES			
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.							

A.8 Ritning Bakre upphängning

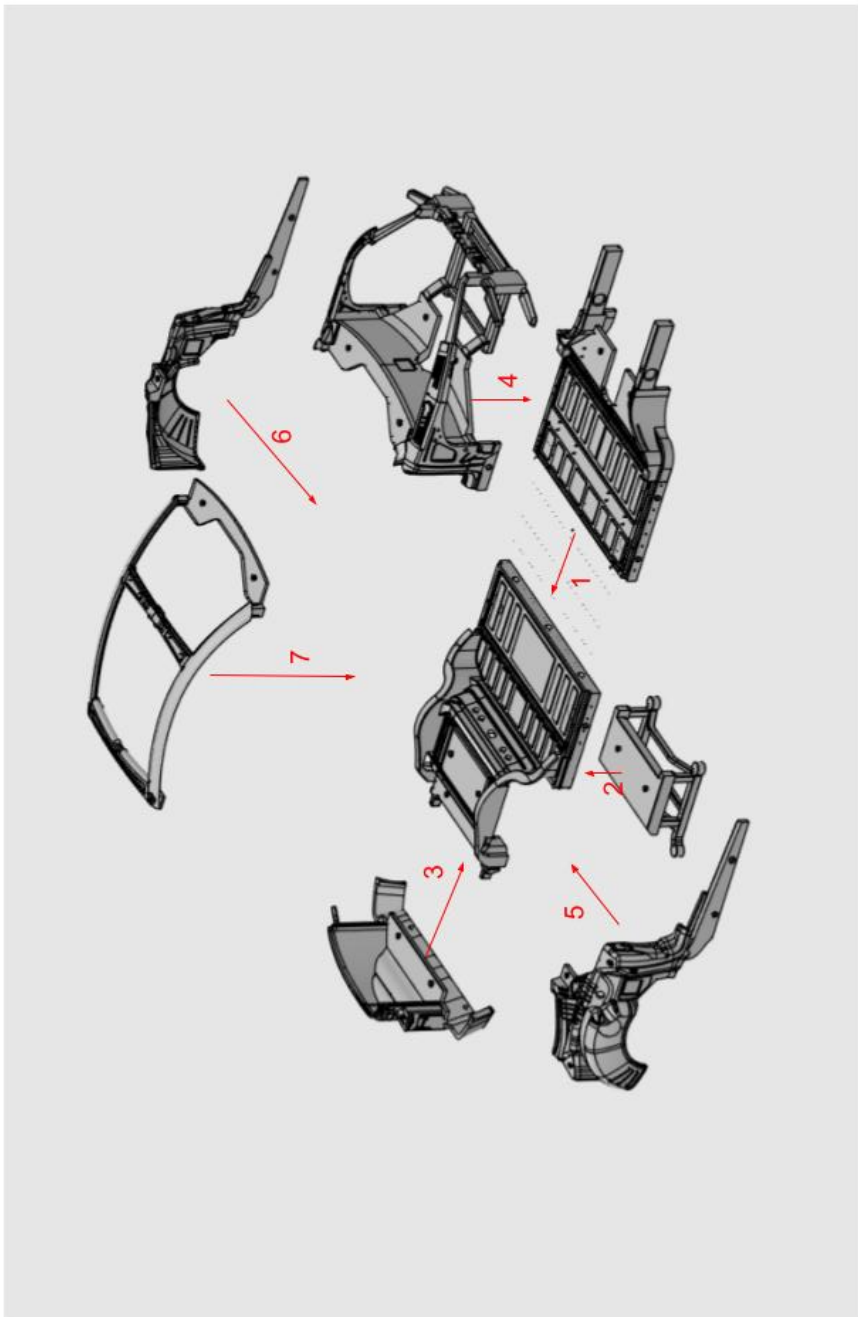


A.9 Ritning Tak



B

Sprängskiss



**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI -
OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige 2022

www.chalmers.se



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY