

# Reviderad Design Av Likbil

Niklas Heffler

DIVISION OF PRODUCT DEVELOPMENT | DEPARTMENT OF DESIGN SCIENCES  
FACULTY OF ENGINEERING LTH | LUND UNIVERSITY  
2019

EXAMENSARBETE

adiga



# REVIDERAD DESIGN AV LIKBIL

NIKLAS HEFFLER

13 JUNI 2019



**LUNDS**  
UNIVERSITET

# Reviderad Design av Likbil

Copyright © 2019 Niklas Heffler

Publicerad av  
Institutionen för designvetenskaper  
Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet  
Box 118, 221 00 Lund

Ämne: Produktutveckling (MMKM05) Avdelning: Produktutveckling  
Huvudhandledare: Per-Erik Andersson  
Bitr. handledare: Axel Nordin  
Examinator: Giorgos Nikoleris

# Abstract

The purpose of this thesis is to analyze the construction of a hearse made by *Adiga* on account for *Nilsson Special Vehicles*. The vehicle suffers from deformations in the rear as a result of mismatched gas springs and in side doors when these are kept open.

Virtual models of side doors and rear are prepared in *Catia* and then analyzed in *Ansys*. For the tailgate, the minimum necessary force in the gas springs required to keep the tailgate open is calculated analytically. The impact of the gas springs attachment points on this force is also calculated and alternative locations are tested to minimize the necessary force.

Feedback from *NSV* during process reveals that the reported problems with the side doors have been resolved satisfactorily by *NSV* themselves, so no argument on improvement points is made for them in this thesis. For the tailgate, a number of improvement points are proposed: Movement of attachment points further back in the body and further down in the tailgate. Introduction of support arch to reinforce the most affected areas. Suggestions for alternative material choices and alternative technical solutions.



# Sammanfattning

Syftet med detta arbetet är att analysera konstruktionen av en likbil framtagen av *Adiga* för *Nilsson Special Vehicless, NSV*, räkning. Fordonet lider av deformationer i bakpartiet till följd av missanpassade gasfjädrar och i sidodörrar då dessa hålls öppna.

Virtuella modeller av sidodörrar och bakparti förberedes i *Catia* för att sedan analyseras i *Ansys*. För bakluckan beräknas analytiskt den minsta nödvändiga kraften i gasfjädrarna som krävs för att hålla bakluckan öppen. Inverkan av gasfjädrarnas infästningspunkter på denna kraften beräknas också och alternativa placeringar testas för att minimera den nödvändiga kraften.

Återkoppling från *NSV* under arbetets gång avslöjar att de rapporterade problemen med sidodörrarna har lösts på ett tillfredställande sätt av *NSV* själva, varför ingen argumentation på förbättringspunkter görs i detta arbetet. För bakluckan föreslås en rad förbättringspunkter: Förflyttning av infästningspunkter längre bak i karossen och längre ner i bakluckan. Införande av stödbåge för att förstyva de mest påverkade områdena. Förslag på alternativ materialval samt alternativa tekniska lösningar.

# Förord

Först och främst vill jag tacka min handledare Per-Erik Andersson samt opponenter Rita Iteka, Pardis Adibi, Oliver Hendriksen och Markus Pettersson som hjälpt mig utforma denna rapport till det bästa den kunde bli.

Tack till min biträdande handledare Axel Nordin som delat med sig av många hjälpsamma förslag för att mina analyser i *Ansys* skulle gå så smärtfritt som möjligt.

Utan Rudolf Abelins hjälp med att låta mig utnyttja hans server för tunga beräkningar hade detta arbetet troligtvis fortfarande väntat på resultat.

Jag vill tacka Adiga AB, nu del av DevPort, för möjligheten att utföra detta examensarbete. Det har varit både utmanande och lärorikt.

Speciellt vill jag tacka min företagshandledare Kenneth Magnusson för att han hittade detta examensarbetet till mig. Ett särskilt tack även till Johan Fässberg och Johan Ljunggren som bidrog med ovärderlig hjälp för att få mig att komma igång med *Catia*.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>7</b>
1.1	Syfte . . . . .	7
1.2	Bakgrund . . . . .	7
1.3	Problemformulering . . . . .	7
1.3.1	Sidodörrar . . . . .	8
1.3.2	Baklucka . . . . .	8
1.4	Avgränsningar och antaganden . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Metod</b>	<b>11</b>
2.1	Analytisk metod . . . . .	11
2.2	Datorstödd metod . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Teori</b>	<b>12</b>
3.1	Kompositmaterial . . . . .	12
3.2	Gasfjädrar . . . . .	13
3.3	Mekaniska samband . . . . .	13
3.4	Materialdata . . . . .	19
<b>4</b>	<b>Genomförande</b>	<b>21</b>
4.1	Analytisk metod . . . . .	21
4.2	Datorstödd metod . . . . .	21
4.2.1	Sidodörren . . . . .	22
4.2.2	Bakluckan . . . . .	24
4.2.3	Randvillkor . . . . .	26
4.2.4	Mesh . . . . .	28
<b>5</b>	<b>Resultat</b>	<b>31</b>
5.1	Sidodörren . . . . .	31
5.2	Bakluckan . . . . .	41
5.2.1	Analytisk metod . . . . .	41
5.2.2	Datorstödd metod . . . . .	42
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>53</b>
6.1	Sidodörr . . . . .	53
6.2	Baklucka . . . . .	54

<b>7 Slutsats</b>	<b>57</b>
7.1 Sidodörren . . . . .	57
7.2 Bakluckan . . . . .	57
<b>Referenser</b>	<b>58</b>
<b>Appendix A</b>	<b>59</b>
<b>Appendix B</b>	<b>61</b>
<b>Appendix C</b>	<b>69</b>

# 1 — Introduktion

*Nedanstående delkapitel beskriver syftet med detta arbete, bakgrunden till varför arbetet efterfrågats samt vilka problem som arbetet ämnar att lösa.*

## 1.1 Syfte

Målsättningen för detta examensarbete är att undersöka en tidigare konstruktion av en specifik modell av likbil. Denna konstruktion ska analyseras och problemområden ska identifieras. Förbättringspunkter till framtida konstruktioner ska också föreslås.

## 1.2 Bakgrund

*Nilsson Special Vehicles AB, NSV*, har för en tid sedan beställt en ny konstruktion av likbil från *Adiga AB*. Den nya konstruktionen skulle innefatta en odelad baklucka vilken öppnas utåt och uppåt, likt de flesta bakluckor på personbilar fast i något större storlek.

Under *Adigas* arbete att ta fram den nya konstruktionen erbjöd de att även utföra hållfasthetsberäkningar för att säkerställa funktion. *NSV* valde att inte anta erbjudandet.

*Adiga* ritade upp den nya konstruktionen och beräknade fram den kraft som var nödvändig för att hålla bakluckan i öppet läge utifrån det materialval *Adiga* föreslagit för konstruktionen.

När konstruktionen sedan realiserades upptäcktes att kraften, beräknad av *Adiga*, var för stor för den nya konstruktionen att hantera. Stora spänningar orsakade bristningar i materialet och deformationer på fordonets utsida.

Efter returflöden av fordon till *NSV* har företaget försökt avhjälpa problemen manuellt. Detta genom att montera in förstyrningsplåtar där problem observerats.

Varje fordon utvärderas individuellt och avhjälps manuellt. Detta innebär stora kostnader för *NSV*.

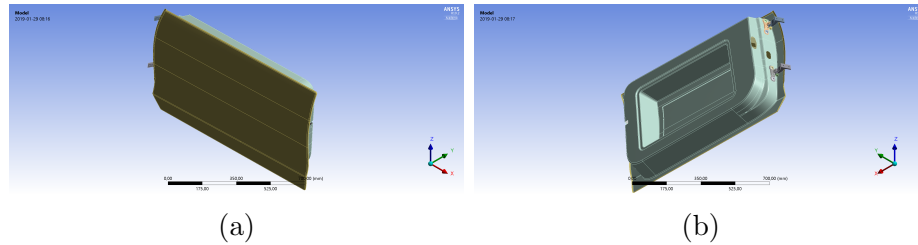
Målet för detta examensarbete är att gå till botten med problemet. Med analyser och simuleringar som underlag ska nya konstruktionsmöjligheter föreslås.

## 1.3 Problemformulering

Likbilens aktuella konstruktion har hållfasthetsproblem i sidodörrarna samt i bakluckan.

### 1.3.1 Sidodörrar

I detta fallet avser termen “sidodörrar” dörrarna på mitten av fordonet, om detta är sett från sidan. Dessa dörrar leder till ett förvaringsutrymme. Virtuella modeller av sidodörrarna kan ses i figur 1.1.

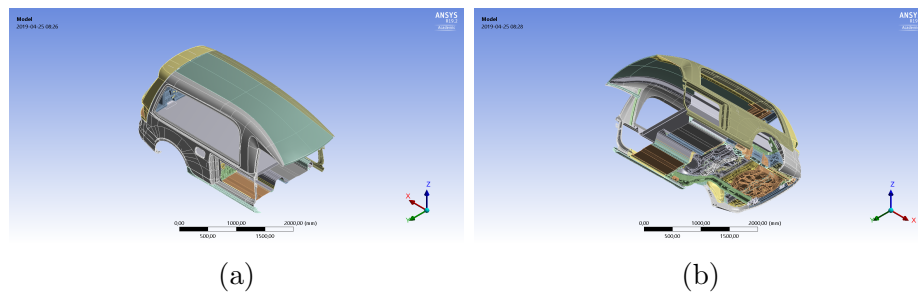


Figur 1.1: Sidodörren. Framsida (a) respektive baksida (b).

Sidodörrarnas aktuella konstruktion medför att de töjs på ett sådant sätt att en veckning på sidodörrens utsida uppstår då dörrarna hålls öppna. Veckningen är främst ett estetiskt problem men ger fordonet en icke-robust känsla. En bild som påvisar detta fenomen har efterfrågats från *NSV*, men inget svar på detta har delgivits. Det får då förutsättas att dessa effekter kommer uppträda vid FEM-analyserna, senare i denna rapport.

### 1.3.2 Backlucka

Bakluckans längd och tyngd har satt krav på kraftiga gasfjädrar för att luckan ska kunna hållas i öppet läge på egen hand. Problemen uppstår då luckan stängs. Krafterna i gasfjädrarna får då hela bakändan på fordonet att deformeras. Deformationerna propagerar vidare i fordonets tak. Den virtuella modellen av bakpartiet kan ses i figur 1.2.

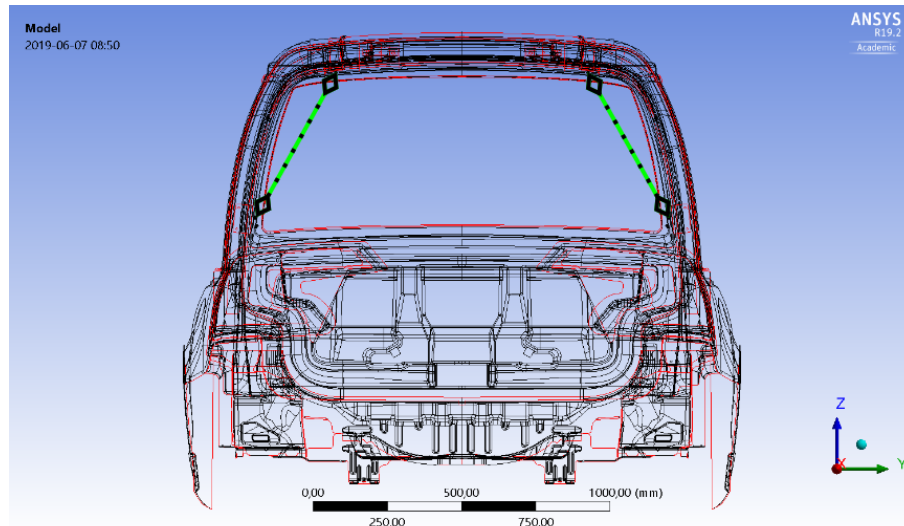


Figur 1.2: Bakpartiet. Ovansida (a) respektive undersida (b).

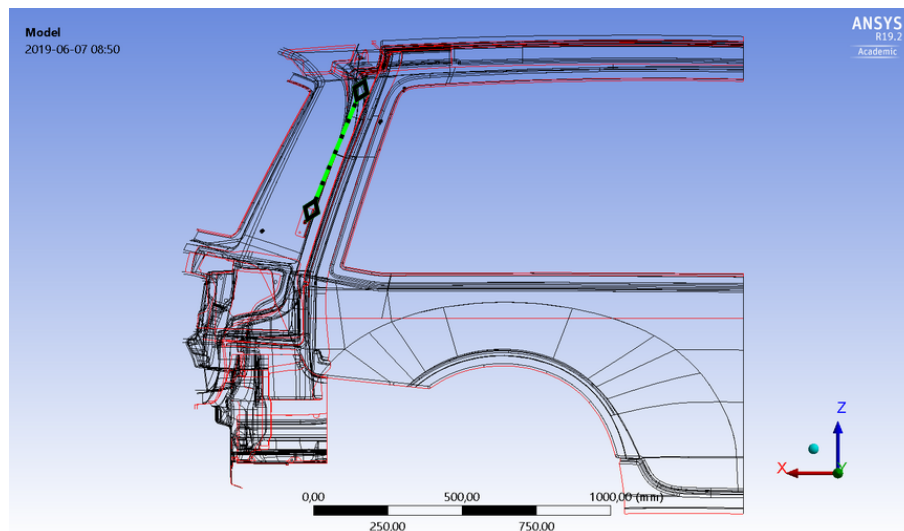
Gasfjädrarna är ursprungligen två till antalet och är placerade i bakpartiet i enighet med figur 1.3 och 1.4

## 1.4 Avgränsningar och antaganden

Detta arbetet kommer fokusera främst på att motverka eller minimera de deformationer som rapporterats uppstå i och omkring sidodörrarna och bakluckan.



Figur 1.3: Gasfjädrarnas placering i YZ-planet.



Figur 1.4: Gasfjädrarnas placering i XZ-planet.

Hurvida lösningen uppfyller nödvändiga trafiksäkerhetsregler kommer inte vidare diskuteras. Detta dels för att problemet främst är estetiskt och inga av de påverkade delarna av fordonet ämnar skydda några passagerare. En förhoppning, men inte en målsättning, är att resultaten kommer kunna användas som underlag för att ta fram en konstruktion som även möter aktuella trafiksäkerhetsregler.

Till följd av dålig återkoppling mellan *NSV*, kompositmaterialsleverantör *Fiber* och författaren är den exakta tillverkningsmetoden av använt material i konstruktionen inte känt. Utifrån tidigare korrespondens mellan *Adiga* och *NSV* har företagshandledare Kenneth Magnusson beskrivit tillverkningsmetoden som att “fibrerna rollas på”. Detta leder till antagandet att fibrerna är slumpmässig distribuerade över de tillverkade detaljerna, något som har betydande inverkan på materialets beteende under mekanisk belastning. Effekterna av denna tillverkningsmetoden kommer beskrivas senare, i kapitel 3.1.

Som referenskonstruktion antas en sammansättning av 2 mm kolfiber- + 3 mm glasfiberarmerad polymer gälla för sidodörr och baklucka, se avsnitt 3.4 för materialdata. Detta för att det, enligt *Adiga*, var den sammansättning som rekommenderades vid leverans mellan företagen. Det är inte garanterat att de rapporterade deformationerna uppträder för denna sammansättning. Det är inte heller bekräftat att materialdatan presenterad i tabell 3.2 överensstämmer med materialdatan för de material som använts av *NSV*.



## 2 — Metod

*Nedan presenteras hur arbetet ämnar att gå till väga för att erhålla önsvärda resultat.*

*Först beskrivs hur bakluckan behandlas analytiskt. Därefter beskrivs hur sidodörren och bakluckan behandlas i det valda simuleringsprogrammet.*

*Med resultaten från både de analytiska och datorstödda metoderna kan nya konstruktioner föreslås.*

### 2.1 Analytisk metod

En matematisk formel som beskriver den minsta nödvändiga kraften i gasfjädrarna som krävs för att hålla bakluckan i vågrätt läge härleds. Beroenden på valet av punkter där gasfjädrarna fästs in i fordonet samt beroenden på material inkorporeras i formlerna. Formlerna skrivs sedan ner i ett *MATLAB*-script som presenteras i Appendix B.

En analytisk lösning för sidodörrarna anses inte vara nödvändig. Det finns möjlighet att en analytisk lösning hade gett förslag på hur gångjärnen kunnat förflyttas så att veckningen förhindrats. Ett sådant ingrepp riskerar dock att medföra förändringar på många fler delar än enbart sidodörren. En sådan operation riskerar därmed att bli ytterst kostsam och vill därför undvikas. Påverkan av material görs enklare och snabbare i den datorstödda metoden beskriven nedan.

### 2.2 Datorstödd metod

Digitala modeller av fordonet förbereds i *Catia*, utifrån *Adigas* leveransfiler till *NSV*. Sedan utförs en belastningssimulering i *Ansys Workbench*. Detta kommer tillhandahålla en kartläggning av deformation, töjningar och spänningar genom konstruktionen, samt ge nödvändig data på detaljers massa och tyngdpunkter.

## 3 — Teori

*Nedan presenteras olika teoretiska materialdata, beräkningsmetoder och avgränsningar som utgör grunden till denna rapport. En närmare inblick i vad kompositmaterial och gasfjädrar är ges också.*

### 3.1 Kompositmaterial

Enligt William D. Callister, Jr och David G. Rethwisch [1] är kompositmaterial ett multifasmaterial som uppvisar en distinkt förbättring i materialegenskaper som resultat av sammansättningen. Då kompositer nämns i dagligt tal avses oftast artificiellt tillverkade multifasmaterial. Dessa artificiella kompositer kommer i tre huvudsakliga grupper: Partikelförstärkta, fiberförstärkta eller strukturella kompositer. Glas- och kolfiber, som denna rapporten huvudsakligen behandlar, är medlemmar i gruppen fiberförstärkta kompositmaterial. Fokus kommer därmed inte läggas på de övriga komposittyperna.

Fiberförstärka kompositmaterial består normalt av två faser: fiberfasen, oftast glas, grafit eller aramid och matrisfasen, oftast polymer, metal eller keram. När det i dagligt tal pratas om glas- och kolfiber avses en polymermatris förstärkt med glas- respektive kolfiber. Fördelarna hos dessa kompositer är att de har en hög resistans till olika korrosiva miljöer. Glasfiber är enkelt och billigt att tillverka och ger ett material med hög styrka-till-vikt-förhållande. Kolfiber är dyrare att tillverka, dock har nya tillverkningsmetoder gjort materialet relativt kostnadseffektivt. Kolfiber är både lättare och starkare än glasfiber vilket gör det till ett föredraget material, sett enbart till mekaniska egenskaper.

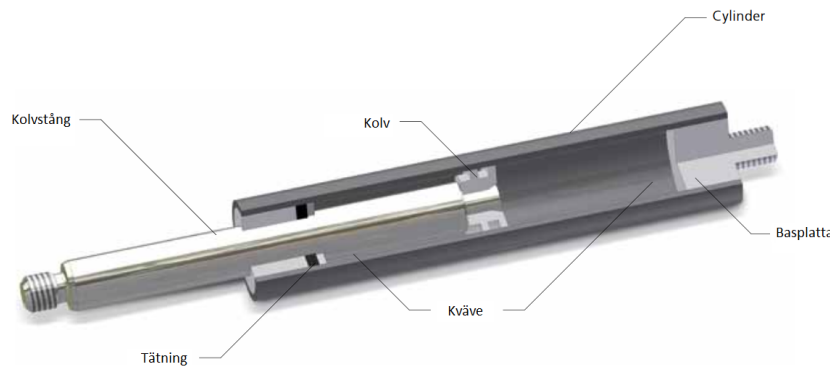
Den mekaniska förstärkningen försedd av fibrerna är beroende på fibrernas orientering relativt belastningsriktningen. Starkast är ett material som har samtliga fibrer parallella belastningsriktningen, omvänt presterar då ett material med fibrer vinkelräta belastningsriktningen som om det vore oförstärkt. En annan tillverkningsmetod är att fibrerna fördelas slumpmässigt över den tillverkade detaljen, antingen i ett plan eller tredimensionellt. Förstärkningseffektiviteten vid denna metod är antingen 38% eller 20% respektive, jämfört med fibrer som löper parallellt med belastningsriktningen. Fördelen med slumpmässigt applicerade fibrer är att materialet blir isotropt. Ett isotropt material innebär ett material som har samma mekaniska egenskaper i alla riktningar. För kompositmaterial med slumpmässigt distribuerade fibrer bestäms materialets elasticitetsmodul som en viktning av de ingående materialens elasticitetsmoduler. I *Fundamentals of Materials, Science and Engineering, An Integrated Approach* tar denna viktning formen,

$$E = kE_fV_f + E_mV_m \quad (3.1)$$

där  $E$  är kompositmaterialets elasticitetsmodul,  $E_f$  och  $E_m$  är fibrernas och matrixens respektive elasticitetsmoduler,  $V_f$  och  $V_m$  är fibrernas och matrixens respektive volymandelar i kompositen och  $k$  är fibrernas förstärkningseffektivitet [1].

## 3.2 Gasfjädrar

Hos gasfjäderleverantör *Araton* samt tillverkare *Hahn* [2] beskrivs en gasfjäder enligt följande: En gasfjäder består huvudsakligen av två delar: En cylinder och en kolv. Kolven löper på insidan av cylindern. En tätning hindrar gasen i cylindern, innanför kolven, att pysa ut ur cylindern. Detta tillåter att ett tryck byggs upp bakom kolven som forcerar denna utåt då gasen i cylindern vill jämna ut tryckskillnaden.



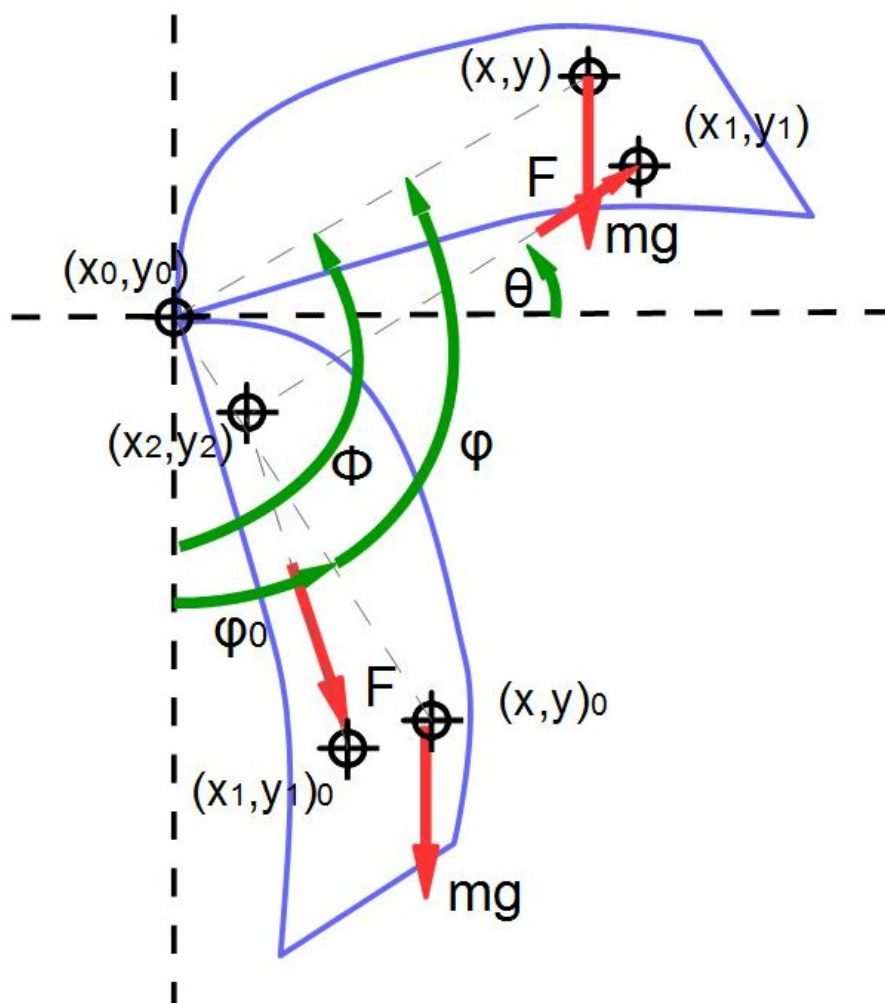
Figur 3.1: Schematisk bild av uppbyggnaden av en gasfjäder.

För gasfjädrar finns en mängd olika parametrar. Två av de viktigaste för detta arbetet är slaglängd och kraftstegring. Slaglängden är skillnaden mellan gasfjäders längd i utfällt och infällt läge. Kraftstegringen är hur mycket kraft som tillkommer i gasfjäders läge då den pressas samman. Den stegring som kan uppstå i gasfjädrar i storleksordning anpassade för detta arbetet varierar mellan 17-30%.

Det bör påpekas att dessa båda parametrar även är sammankopplade. En fjäder med stor slaglängd kommer ha en medföljande hög kraftstegring [2]. Det är därmed av intresse för detta arbetet att finna en konstruktion med kortast möjliga slaglängd för att minimera kraftstegringen och därmed även spänningarna som uppträder då bakluckan stängs.

## 3.3 Mekaniska samband

För att ta fram de mekaniska sambanden nödvändiga för detta arbetet ritas en enkel skiss av bakluckan upp och kan ses i figur 3.2. Parametrarna i figur 3.2 beskrivs ingående i tabell 3.1.



Figur 3.2: Jämviktsskiss.

Tabell 3.1: Parametrar

$(x_0, y_0)$	Origo	Bakluckans infästning till kaross
$(x_1, y_1)$	Punkt	Gasfjäders infästning till bakluckan
$(x_2, y_2)$	Punkt	gasfjäders infästning till kaross
$(x, y)$	Tyngdpunkt	Bakluckans masscentrum
$mg$	Kraft [N]	Tyngdkraften i bakluckan
$F$	Kraft [N]	Kraften som gasfjäders utövar
$\phi$	vinkel (rad.)	Önskad öppningsvinkel
$\phi_0$	vinkel (rad.)	Vinkelskillnaden mellan lod och linjen mellan origo och tyngdpunkt
$\Phi$	vinkel (rad.)	Vinkelskillnaden mellan origo och tyngdpunkt, efter öppning
$\theta$	vinkel (rad.)	Vinkeln mellan horisont och linjen mellan gasfjäders båda infästningspunkter

Med bakluckans infästning till gångjärnet, punkten  $(x_0, y_0)$ , som momentpunkt beräknas en momentjämvikt. Denna får utseendet:

$$F_x y_1 + mgx = F_y x_1 \quad (3.2)$$

$$F y_1 \cos\theta + mgx = F x_1 \sin\theta \quad (3.3)$$

$$F(x_1 \sin\theta - y_1 \cos\theta) = mgx \quad (3.4)$$

$$F = \frac{mgx}{x_1 \sin\theta - y_1 \cos\theta} \quad (3.5)$$

vilket är kraften som måste utövas på bakluckan för den givna öppningvinkeln  $\phi$  för att bakluckan ska kunna hållas i öppet läge på egen hand.  $F$  är i detta läget enbart en hypotetisk kraft som verkar mellan de punkter som senare kommer utnyttjas som gasfjädrarnas infästningspunkter till kaross respektive baklucka. Öppningvinkeln  $\phi$  är fritt valbar i alla fall då bakluckans lägsta punkt är minst två meter över marken. I detta arbetet har samtliga test utförts för en öppningsvinkel á 90°. På grund av att övriga test genererar stora datamängder lämnas inverkan av olika öppningsvinklar till ett annat arbete.

Eftersom bakluckan endast har små variationer mellan sin höger och vänster sida kommer all variation i  $z$ -led försummas för samtliga punkter.

*Ansys* beräknar automatiskt avståndet mellan en parts tyngdpunkt och origo och presenterar detta i XYZ-komponenter, vilket visas i figur 3.3. Vid beräkning av den kraft som krävs för att hålla bakluckan i horisontellt läge kan dessa komponenter användas för att ta fram  $(x, y)_0$ ,  $(x_0, y_0)$ ,  $(x_1, y_1)_0$  samt  $(x_2, y_2)$ .

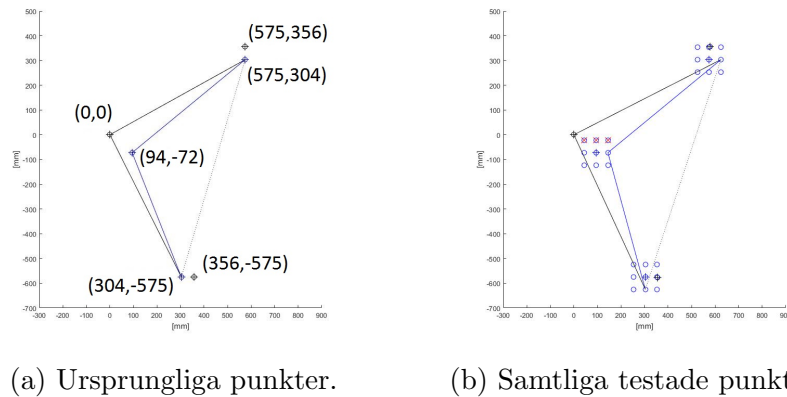
Details of "NSV - BGRB 903 - Tailgate INT"		
+	Graphics Properties	
+	Definition	
+	Material	
+	Bounding Box	
-	Properties	
<input type="checkbox"/>	Volume	8,758e+006 mm <sup>3</sup>
<input type="checkbox"/>	Mass	14,013 kg
	Centroid X	6122,4 mm
	Centroid Y	2,0479 mm
	Centroid Z	1262,2 mm
<input type="checkbox"/>	Moment of Inertia ...	5,4888e+006 kg·mm <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/>	Moment of Inertia ...	2,4441e+006 kg·mm <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/>	Moment of Inertia ...	3,2684e+006 kg·mm <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/>	Surface Area(appr...)	2,1895e+006 mm <sup>2</sup>
+	Statistics	

Figur 3.3: Detaljdata.

Punkterna  $(x, y)_0$  och  $(x_1, y_1)_0$ , vilka ses i figur 3.2, betecknar startpunkt för bakluckans tyngdpunkt respektive infästningspunkt innan bakluckan öppnas. Detta

är punkterna som *Ansys* ger efter import av CAD-modellen. Hur de nödvändiga punkterna  $(x, y)$  och  $(x_1, y_1)$  beräknas fram beskrivs nedan.

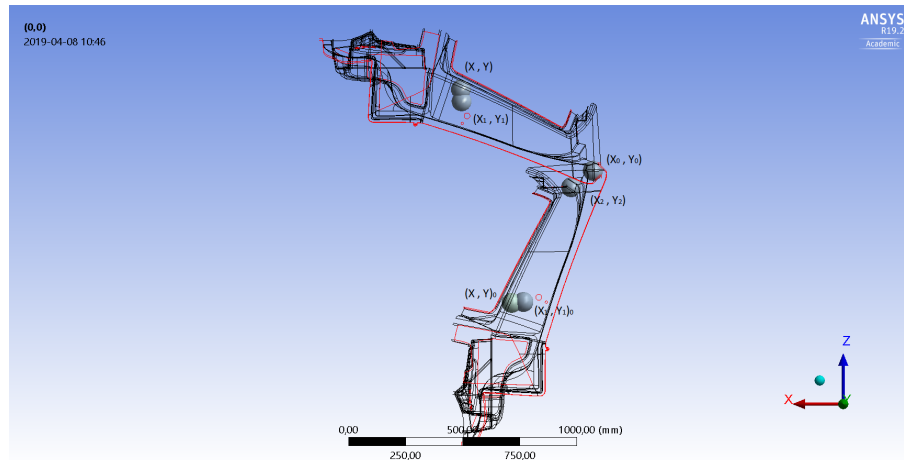
Figurerna 3.4a, 3.4b visar grafiskt hur de beskrivna punkterna förhåller sig till varann, sett från sidan. I figur 3.4a syns speciellt koordinaterna för punkterna som presenterades i figur 3.2 och tabell 3.1. I figur 3.4b syns alla de punkter som testades för att hitta en alternativ infästning för gasfjädrarna. Punkterna markerade med  $\oplus$  är de ursprungliga punkterna. Punkterna som är överkryssade är inte praktiskt genomförbara. I figur 3.5 Syns samma punkter tillsammans med en nätmodell.



(a) Ursprungliga punkter.

(b) Samtliga testade punkter.

Figur 3.4: Grafisk placering av punkter.



Figur 3.5: Punkterna som beskrivs i 3.4a, nu med tillägg av en nätmodell av bakluckan.

*Ansys* beräknar dessvärre inte tyngdpunkten för sammansatta kroppar. Detta får uppskattas till ett viktat värde mellan tyngdpunkterna och de enskilda massorna i den sammansatta kroppen. Genom att samla värdena för de enskilda massorna i en vektor  $M$ , samt koordinaterna för varje parts tyngdpunkt i två vektorer  $X$  och  $Y$ , kan den viktade tyngdpunkten fås fram ur ekvationen,

$$(x, y) = \frac{1}{\sum_1^n M_n} \left( \sum_1^n (X_n M_n), \sum_1^n (Y_n M_n) \right) \quad (3.6)$$

där  $n$  är antalet parter som ingår i bakluckan.

Med koordinaterna för samtliga intressanta punkter kända kan deras inbördes avstånd beräknas. Innan dess sätts ett lokal origo upp i momentpunkten, för att få smidigare beräkningar. Avstånden till respektive punkt från det nya origo blir då,

$$r_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \quad (3.7)$$

Med  $r_i$  är det möjligt att, genom användning av polära koordinater, ta reda på var tyngdpunkten och infästningen till bakluckan tar vägen efter att bakluckan öppnats en önskad vinkel  $\phi$ .

$$\phi_0 = \arctan\left(\frac{x_i}{y_i}\right) \quad (3.8)$$

$$\Phi = \phi + \phi_0 \quad (3.9)$$

$$(x_i, y_i) = r_i(\sin(\Phi), \cos(\Phi)) \quad (3.10)$$

Denna operationen är endast nödvändig på tyngdpunkten,  $(x, y)$ , och infästningen till bakluckan,  $(x_1, y_1)$ , då de övriga två punkterna förblir stationära.

Nästa steg är att bestämma i vilken vinkel,  $\theta$  fjäderkraften,  $F$ , från ekvation (3.5), angriper infästningspunkten till bakluckan. Denna beräknas som,

$$\theta = \arccos\left(\frac{x_1 - x_2}{d}\right) \quad (3.11)$$

där  $d$  är avståndet mellan punkterna  $(x_1, y_1)$  och  $(x_2, y_2)$ , se figur 3.6.

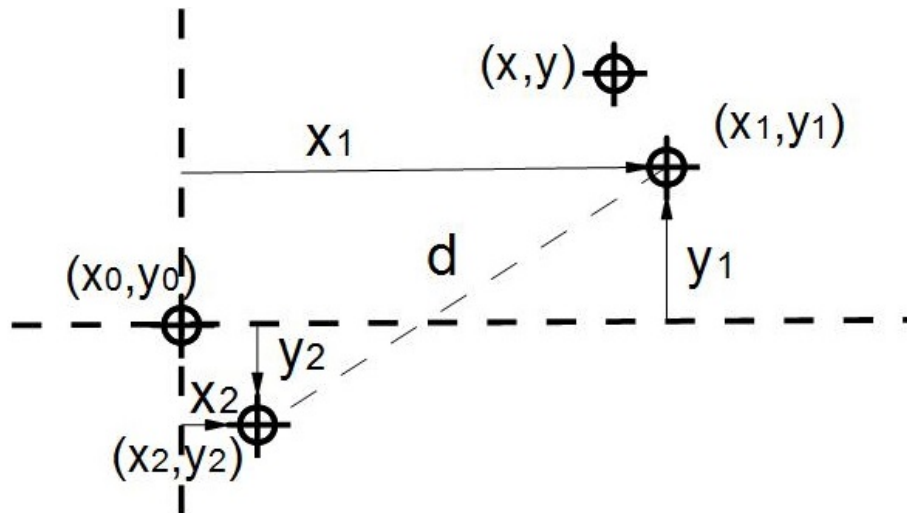
Parametern  $d$  beräknas sedan med hjälp av avståndsformeln,

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (3.12)$$

Insättning av (3.11) i (3.5) ger då den minsta kraft som måste ansättas bakluckan via gasfjädrarna för att bakluckan ska hållas i öppet läge.

Kraften,  $F$ , bör även tilldelas en säkerhetsfaktor,  $f_s$ . Dels för att ta hänsyn till alla komponenter som inte anges i modellen, elkablar, lampor och liknande. Dels för att mindre yttre påverkan som vind och nederbörd inte ska kunna stänga bakluckan på egen hand.



Figur 3.6: Parametern  $d$ .

Kraftstegring i gasfjädersystem kommer uttryckas som en faktor,  $f_f$ , som kommer skala upp den kraft,  $F$ , som bestäms av ekvation (3.5).

Med dessa riktlinjer blir den slutliga gasfjäderskraften, per gasfjäder, för två givna gasfjädrar,

$$F_f = \frac{F f_f f_s}{2} \quad (3.13)$$

$$= \frac{x}{x_1 \sin\theta - y_1 \cos\theta} \frac{m g f_f f_s}{2} \quad (3.14)$$

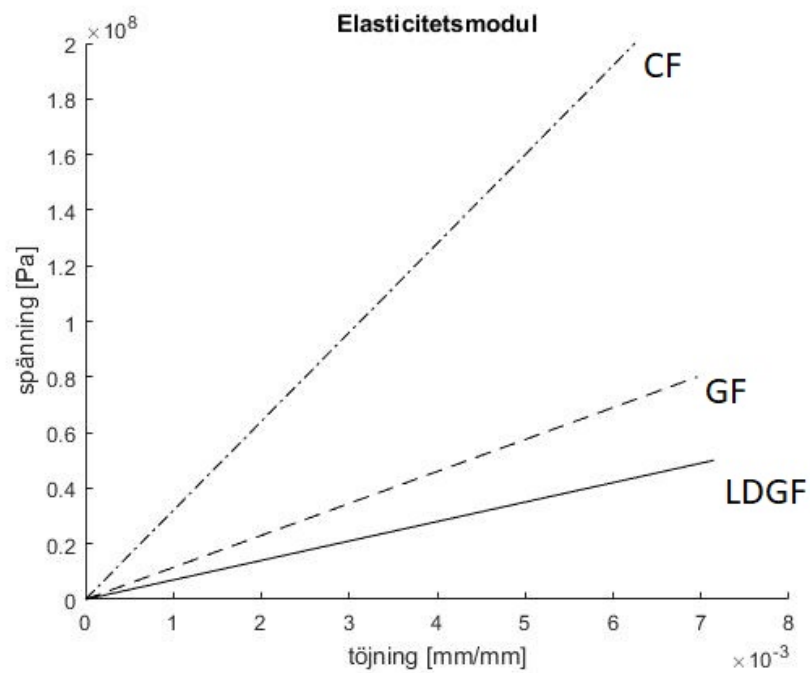
### 3.4 Materialdata

Kompositmaterialen som kommer användas i simuleringarna är glasfiberarmerad (GF), lågdensitets glasfiberarmerad (LDGF) samt kolfiberarmerad (CF) plast. Kompositmaterialdatan har hämtats från *Design for Success* [3] och presenteras i tabell 3.2.

De mekaniska egenskaperna, av intresse för detta arbete presenteras i tabell 3.2. Materialen kommer även anges ett linjärelastiskt och isotropt beteende i simuleringarna. Detta innebär att spänningar och töjningar i materialet kommer förhålla sig proportionella upp till och med materialets brottgräns. Därefter uppstår sprickbildning i materialet. En grafisk presentation av de här presenterade materialens spänning-töjnings-kurvor kan ses i figur 3.7. Eftersom det i nuläget är okänt om belastning sker i drag eller tryck antas brott uppstå i materialen vid belastningar som överskrider brottgränsen för dragande belastning, tills annat kan bevisas föreligga.

Tabell 3.2: Materialdata som kom att användas i simuleringarna.

Material	Densitet [ $\frac{kg}{m^3}$ ]	E-modul [GPa]	Drag- brott- gräns [MPa]	Tryck- brott- gräns [MPa]
LDGF	1400	7	50	120
GF	1900	11.5	80	150
CF	1600	32	200	200



Figur 3.7: Spänning-töjning-kurva för GF, LDGF och CF.

## 4 — Genomförande

*Detta kapitlet beskriver hur metoden och teorin utnyttjades för att erhålla rapportens resultat.*

### 4.1 Analytisk metod

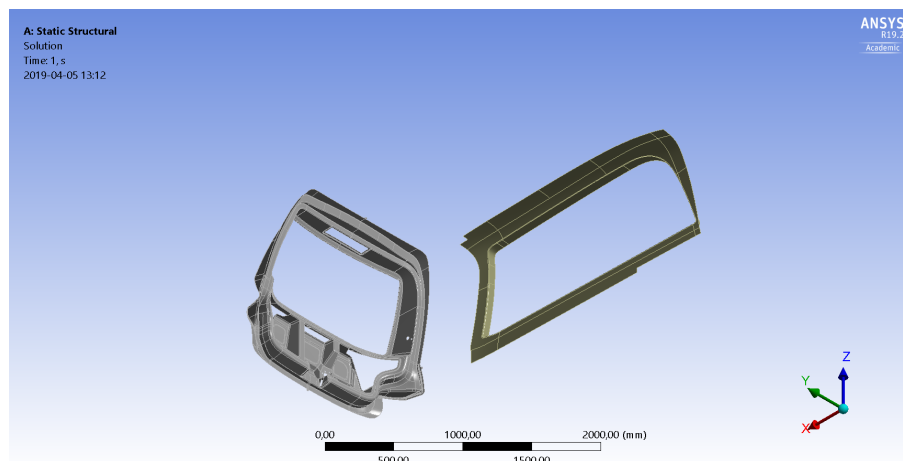
Den kraft som erhålls från ekvationerna (3.5) är beroende på val av material och skiktjocklekar vilket påverkar totala massan, samt infästningspunkternas placering, vilket i sin tur påverkar hävarmen. Materialen presenterade i tabell 3.2 testas i båda materialskikten. Undantag görs för LDGF som inte kommer testas i något av bakluckans skikt. För dessa materialsammansättningar testas även att förflytta infästningspunkterna,  $(x_1, y_1)$  och  $(x_2, y_2)$  till kaross och baklucka,  $\pm 50$  mm i vardera riktning. Det beräkningstekniska förfarandet presenteras i Appendix B i form av ett MATLAB-script.

### 4.2 Datorstödd metod

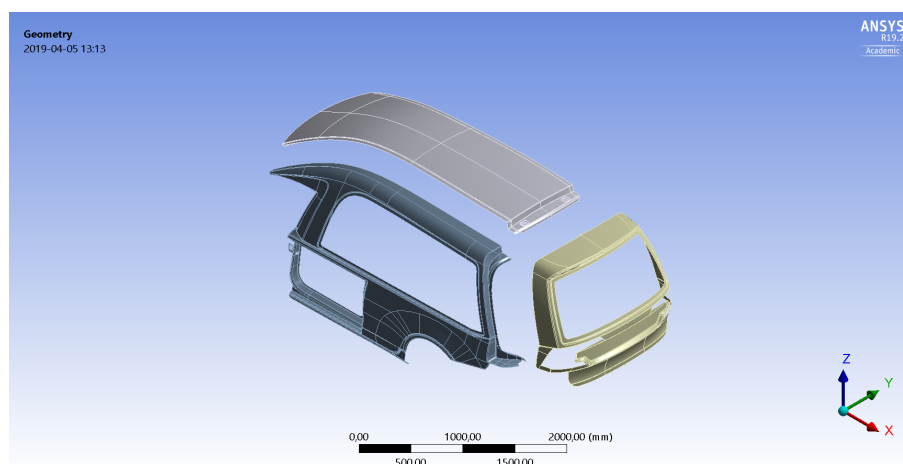
En virtuell modell av fordonet förbereds i *Catia*. *Adiga AB* har samtliga detaljer så som de levererades till *NSV* enligt originalavtalet. De ändringar som utförts av *NSV* vid senare tillfällen är inte dokumenterade i någon virtuell modell. Modellerna måste då prepareras manuellt, där sådan information finns tillgänglig.

För att snabba upp simuleringar kommer stora delar av bakpartiet på fordonet att tas bort ur modellen. Dessa delar innefattar bl. a. innergolvet i bakpartiet samt kåpor till baklampor, då inga av dessa delar anses ha betydande strukturell funktion för fordonet. Detta kommer påverka resultatet då krafter nu inte har möjligheten att flöda in i dessa delar av fordonet. Men i enighet med det tidigare argumentet är det inte dessa delar som ska bära konstruktionen. Vidare kommer en stor del av chassigolvet avlägsnas ur modellen. Detta p.g.a. att denna delen av fordonet inte är synlig och inga problem har rapporterats angående dessa delar. Panelerna som utgör inner- och ytterväggar, vilka definieras av figurer 4.1 och 4.2, kommer kapas omkring halvvägs, även detta endast för att minimera modellen.

Panelerna i fordonet, se figurer 4.1 och 4.2, enligt utsago från *Adiga*, består av en kombination av antingen: 2 mm CF + 3 mm GF, med 2 mm limspalt, eller 2 + 3 mm GF med mellanliggande 2 mm limspalt, utifrån och in. För simuleringarna antas sammansättningen 2 mm CF + 3 mm GF eftersom detta överensstämmer med referenssammansättningen beskriven i 1.4. Dessa material är inte fördefinierade



Figur 4.1: Interiöra paneler.



Figur 4.2: Exteriöra paneler.

i *Ansys workbench* utan hämtas istället ifrån tabell 3.2.

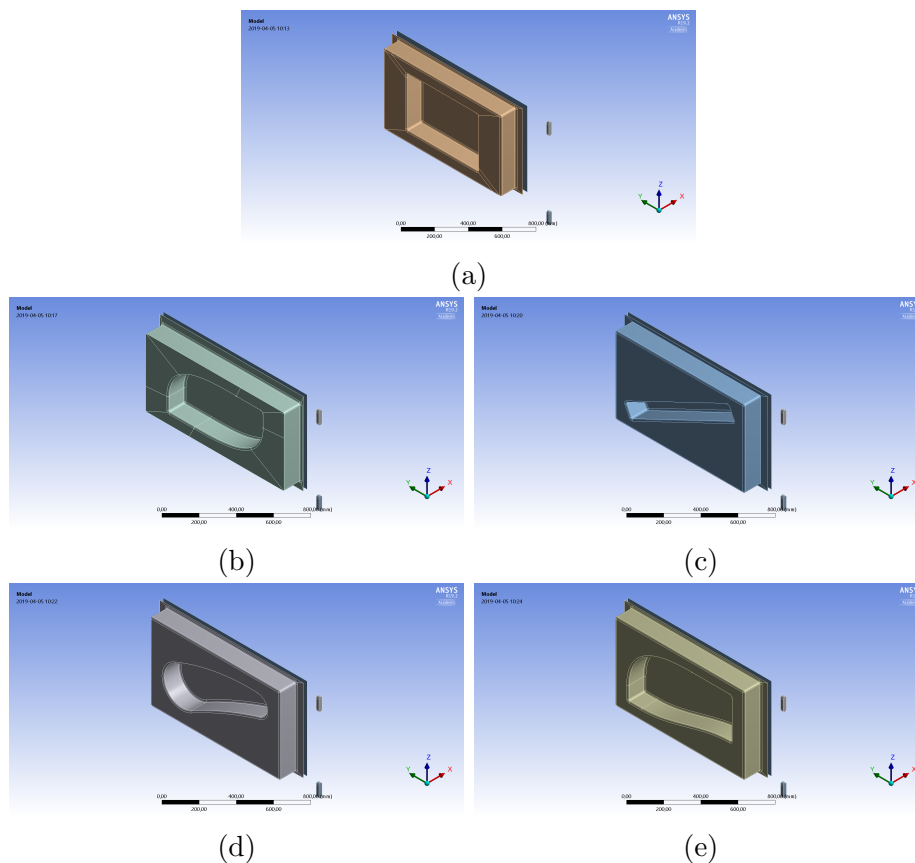
Utöver referenssammansättningen kommer andra materialval och godstjocklekar testas för både sidodörren och bakluckan. Dessa test kommer begränsas till att se hur konstruktionen påverkas om godstjocklekarna ökar eller minskar med en milimeter i vardera skikt, oberoende av varandra, samt påverkan av att använda LDGF, GF och CF i vardera skikt, även detta oberoende av varandra. För bakluckan kommer inte LDGF att testas i något skikt. Istället kommer inverkan av en stödbåge testas samt hur tjockleken på stödbågen påverkar resultatet.

Eftersom varje enskilt test genererar flertalet bilder och antalet test är så pass många som de är kommer inte samtliga resultat kunna presenteras i bild i denna rapport. Ett urval av intressanta bilder görs av författaren och presenteras i arbetets resultatdel.

### 4.2.1 Sidodörren

För att utvärdera om olika utformningar av sidodörrens interiöra profil påverkar dess hållfasthet prepareras några utföranden av olika konstruktion. Den specifika ut-

formningen av dessa profiler är enbart kvalificerade gissningar över hur kraftflödet i sidodörren kan tänkas optimeras, de är inte framtagna på någon vetenskaplig grund. För en grov jämförelse prepareras väldigt enkla modeller av de tänkta konstruktionerna. De enkla modellerna kan ses i figur 4.3. Syftet med de enkla modellerna är att snabbt kunna påvisa om det föreligger några hållfasthetsmässiga fördelar i dörrprofilens utformning. De enkla modellerna är endast till för inbördes jämförelse.



Figur 4.3: Enkla modeller.

De enkla modellerna analyseras sedan i *Ansys workbench* med en relativt grov mesh. En grövre mesh är bra för att få ut snabba resultat från analyserna. Att eventuella spänningkoncentrationer inte kommer kunna upptäckas är för dessa modeller inte lika viktigt som vid en slutgiltig analys. Detta för att dessa modeller saknar många av de små detaljer som den slutliga konstruktionen måste innehålla. Om någon av dessa alternativa utformningar visar sig kunna prestera bättre än originalet kan denna senare modelleras upp med fler detaljer och en förfinad mesh för att kunna jämföras med den ursprungliga modellen.

Arbetshypotesen är att dörrens profil kommer ha marginell inverkan på de krafter som verkar inom dörren och i gångjärnen och att en betydande förbättring inte kommer kunna uppnås på enbart detta sätt. Då svar på denna arbetshypotes fås testas inverkan av olika materialsammansättningar.

För ökad jämförbarhet mellan utföranden skapas en fördefinierad skala, legend, som löper mellan noll och det högsta uppmätta värdet, med lite marginal. I annat fall hade samtliga utföranden framstått som lika belastade då *Ansys* färgindelning

av resultatet sker automatiskt. För spännings- och töjningsfallen kommer resultaten kompletteras med s.k. *capped surface*-presentation, alltså att endast de delar av simuleringen som erhållit spänning eller töjning över visst värde visas. Förhoppningen är att detta ska ge en bild av hur urbredd den mekaniska belastningen i modellen är.

Efter kontakt med NSV framkommer att en del av deras lösning innebar att limfogen som höll samman interiör och exteriör togs bort. Endast den yttre limytan användes och detta gav exteriören rörelseutrymme nog att motverka uppkomsten av veckningen. Detta kommer också testas i detta arbetet. Hur hänsyn till limspalterna tas beskrivs mer ingående nedan, i kapitel 4.2.3.

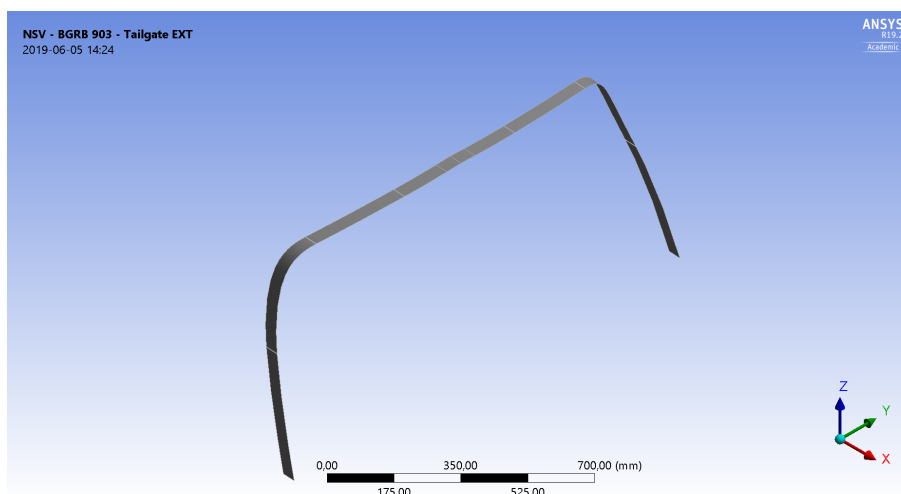
## 4.2.2 Bakluckan

Simuleringen av bakluckan skulle idealt innefatta hela fordonet i analyserna då krafterna som verkar i bakpartiet, enligt utsago från företagshandledare Kenneth Magnusson, påverkar bl.a. taket på fordonet.

Gasfjädern som orsakar deformationerna kommer modelleras i minsta möjliga mån. Den kommer istället ersättas av två motriktade krafter som verkar mellan gasfjäders infästningspunkter. Detta eftersom eventuella deformationer i fjädern själv inte är relevanta och dess påverkan på baklucka och kaross är mer beroende av infästningens utformning.

I arbetets inledning beskrivs problemen i bakpartiet uppstå då bakluckan stängs. I simuleringarna kommer dock inte stängningsförfarandet tas med utan bakluckan kommer analyseras i stängt läge för samtliga test.

Stödbågen för bakluckan modelleras enkelt upp genom att kopiera delar utav den befintliga bakluckan och sedan återinfoga dessa på samma plats. Då ligger där två ytor vars material och tjocklek kan bestämmas oberoende av varann. En bild på stödbågen kan ses i figur 4.4.



Figur 4.4: Stödbåge.

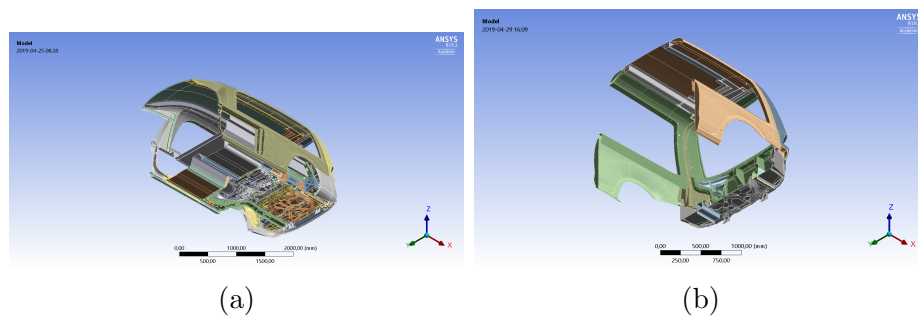
Inför simuleringen av modellerna i *Ansys* behöver de repareras. Små glapp, hål och tvillingelement som inte detekterats i *Catia* repareras i ett av *Ansys* plug-in-

program *DesignModeller* eller *SpaceClaim*. Tvillingelement avser här ytor med betydande utsträckning i en riktning, men minimal utsträckning i en annan. Eftersom *Ansys* meshning inte korsar elementgränser orsakar dessa tvillingelement ett högt antal meshelement, vilket drar ut på beräkningstider. De defekter som inte kan repareras automatiskt får repareras manuellt med operationer i *DesignModeler* eller *SpaceClaim*. De defekter som inte gick att reparera manuellt på ett tillfredställande sätt och även de defekter som inte upptäckts får förbli som de är inför analyserna. De defekter som inte upptäckts är typiskt små hål och tvillingelement. Eftersom dessa defekter typiskt är i storleksordningen av hundradels millimeter kommer de inte ha en betydande effekt på resultaten. Att eliminera dem är främst för att hålla nere beräkningstider.

Flera detaljer innehåller olika typer och former av önskvärda hål, för montering med varann eller till detaljer som tillkommer i ett senare skede. För simuleringeringmodellerna är det gynnsamt att fylla de hål som inte anses ge upphov till höga spänningar. Detta görs med *Ansys* repareringsfunktion, *Repair*. Efter repareringen, som skapar unika ytor för att fylla de påträffade hålen, används ett nytt repareringskommando, *Simplify*. Detta kommandot ser över en modellyta, analyserar om den kan återskapas med användning av färre antal ytor än tidigare och om så är fallet reducerar antalet ytor som bygger upp modellen. Kombinationen av dessa två kommandon tillåter att modellens hål fylls i och slätar ut ytan som innehöll hålet. På en modell med ett stort antal hål, som bakvagnsmodellen, kan detta bidra till att färre element krävs för att representera modellen och därmed sänka beräkningstider.

Skulle ett hål vara positionerat så att där är ett stort kraftflöde runt hålet kan det vara av intresse att inte reparera denna inför simuleringarna. En övervägande mängd av hålen, som påpekats ovan, är ämnade för montering och kommer antas vara fyllda.

Chassigolvet, som är en väldigt komplex detalj, reduceras till endast en relativt smal remsa precis under bakluckan. Taket och sidopanelerna som rapporterats påverkas av kraften i gasfjädrarna tas med i något större bitar. En övervägande mängd av alla hål och inbuktningar i modellen har också slätats ut för att erhålla en jämnare meshning. Samtliga delar i den förenklade modellen har också kopierats från vänster till höger, vilket innebär att modellen nu är helt symmetrisk över xy-planet. Skillnaden mellan ursprunglig modell och simuleringmodell kan ses i figur 4.5.

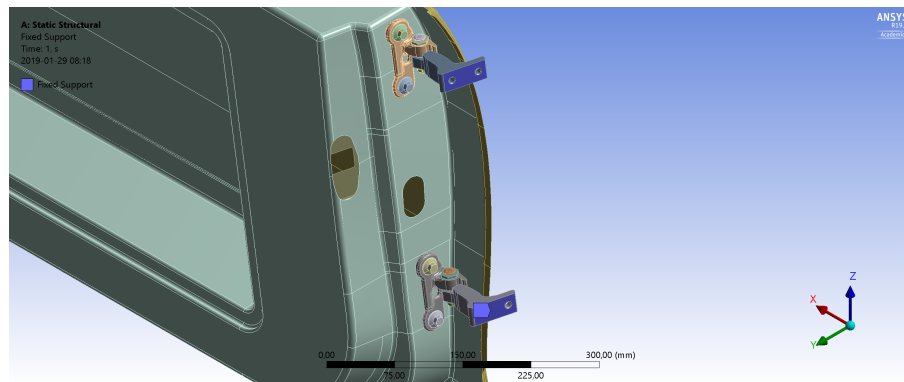


Figur 4.5: Reduktion av paneler.

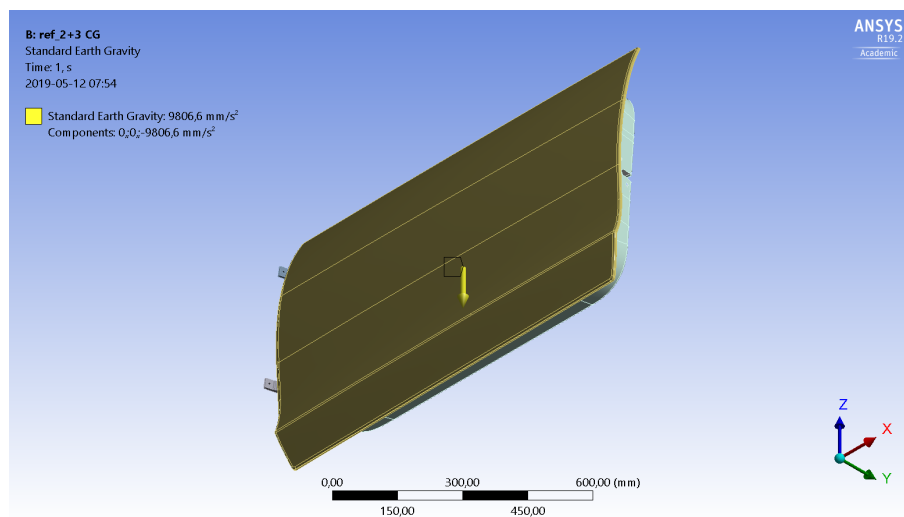
### 4.2.3 Randvillkor

Vid uppställning av simuleringar i *Ansys* krävs att modellerna på förhand tilldelas randvillkor. Randvillkor är punkter, kanter eller ytor i modellerna där något av de intressanta tillstånden redan är känt. Dessa tillstånd är bland annat, men inte begränsat till, kraft och förflyttning. Kraft och förflyttning är de tillstånd som är av högst intresse i detta arbetet.

För sidodörren är tillståndet känt i gångjärnen och tyngdpunkten. I gångjärnen är förflyttningen i den yttre ytan som ska monteras mot karossen känd och noll. I tyngdpunkten är kraften känd och lika med tyngdaccelerationen. Randvillkoren för sidodörren kan ses i figur 4.6 och 4.7.



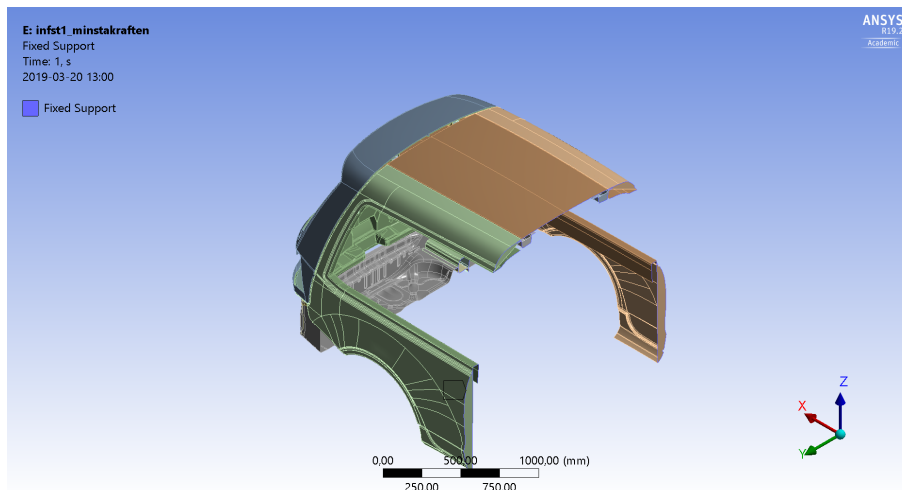
Figur 4.6: Fixerad infästning för sidodörr.



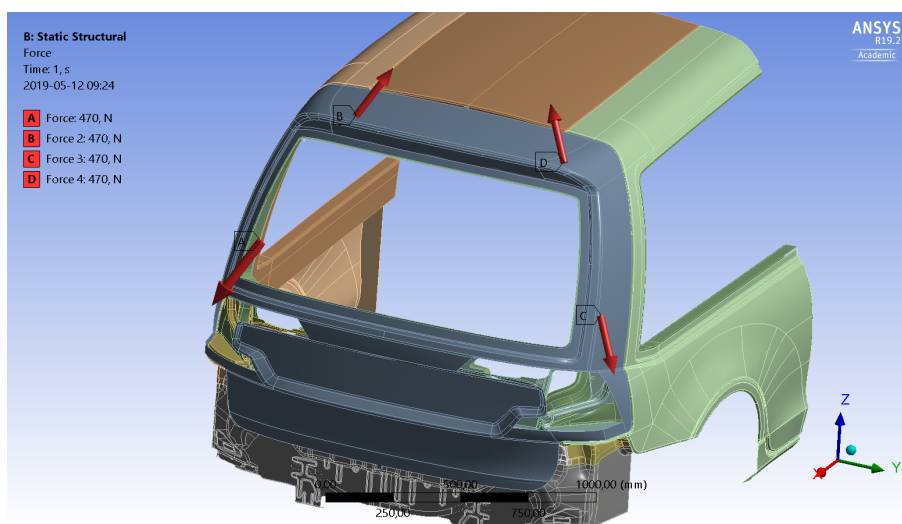
Figur 4.7: Last på sidodörr.

För bakluckan är kraften känd i varje gasfjäderinfästning. Kraften som ansätts i vardera infästning är den beräknad med hjälp av (3.13). Förflyttningen är känd och noll i kanten där panelerna och chassigolvet kapats. Randvillkoren för bakluckan kan ses i figur 4.8 och 4.9.





Figur 4.8: Fixerad infästning för bakluckan.

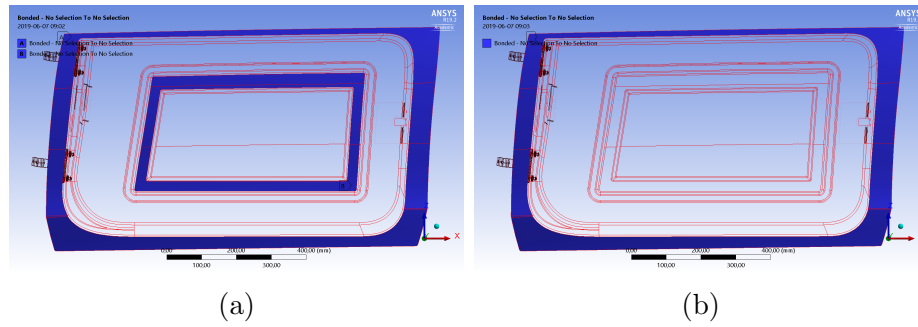


Figur 4.9: Last på bakluckan.

Båda modellerna består av flertalet ingående detaljer. Detta sätter krav på att *Ansys* även vet hur detaljer är fästa till varandra. Detta görs genom att deklarerera *connections*, eller kopplingar, i *Ansys*. För enkelhetens skull kommer alla ytor som är känt limmade till varandra tilldelats *bonded connection*. Kortfattat kan det beskrivas som att två bondade ytor beter sig som en och samma yta.

Speciellt för sidodörren utförs en jämförelse då en av dessa kopplingar deaktiveras inför ett av testen. Dessa ytor kan ses i figur 4.10.

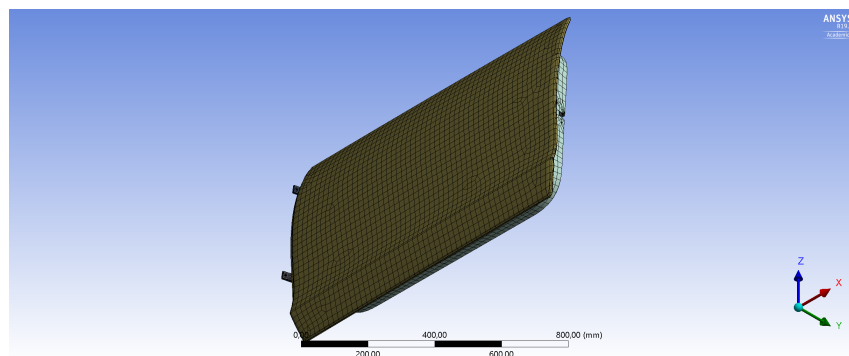
Båda modellerna har granskats för att hitta eventuella felkopplingar som uppstått då *Ansys* automatiskt föreslagit kopplade ytor. I områden som innehåller många små detaljer och små avstånd mellan detaljer upptäcktes felaktiga antaganden från *Ansys*. Alla hittade fel har åtgärdats men risken finns att några av dessa felaktigheter förblivit dolda och kan komma att påverka resultaten.



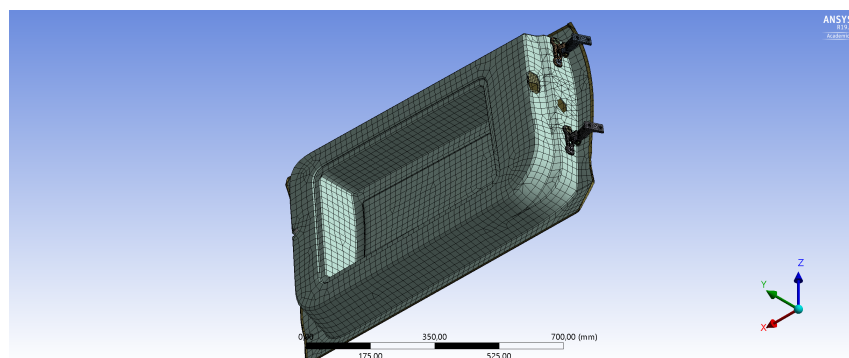
Figur 4.10: Limytorna för sidodörren. I (a) ses användningen av båda ytorna, i (b) endast den yttre.

#### 4.2.4 Mesh

Som kort diskuterades i 4.2.2 är meshningen en viktig del av simuleringsförfarandet. I detta arbetet analyseras inga specifika punkter i konstruktionen varför det kommer användas en jämn grov mesh över både simuleringen för sidodörren och bakluckan. Den använda meshningen för sidodörren kan ses i figur 4.11 och 4.12.

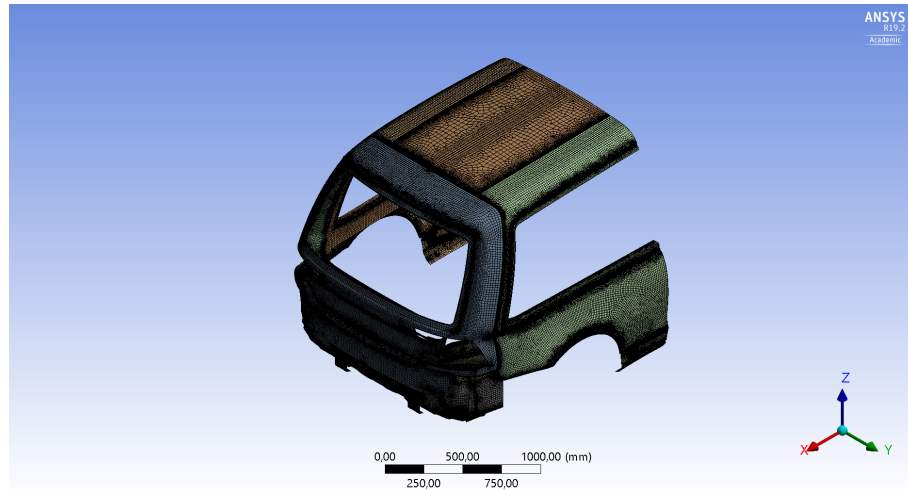


Figur 4.11: Meshning av sidodörren sett framifrån.

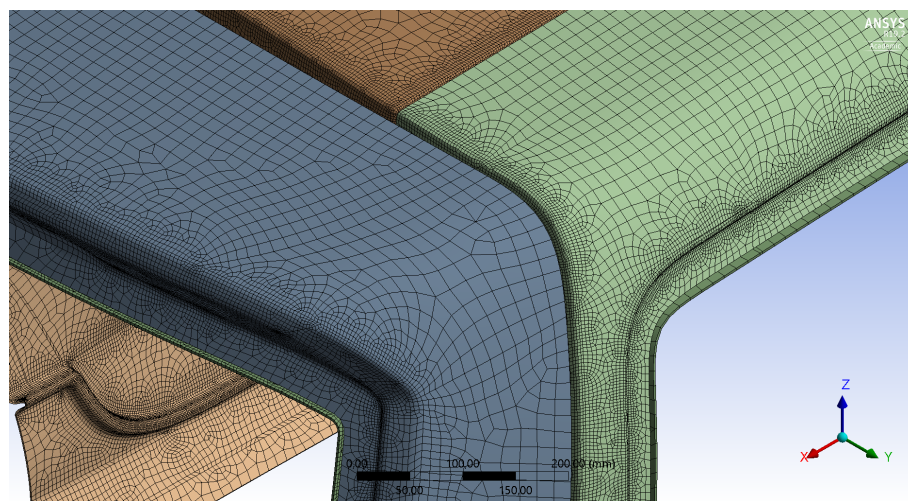


Figur 4.12: Meshning av sidodörren sett bakifrån.

I figur 4.13 ses den använda meshningen för bakluckan. Eftersom meshen blir otydlig då den studeras på håll syns även en närbild där tak och sidopanel möter bakluckan i figur 4.14.

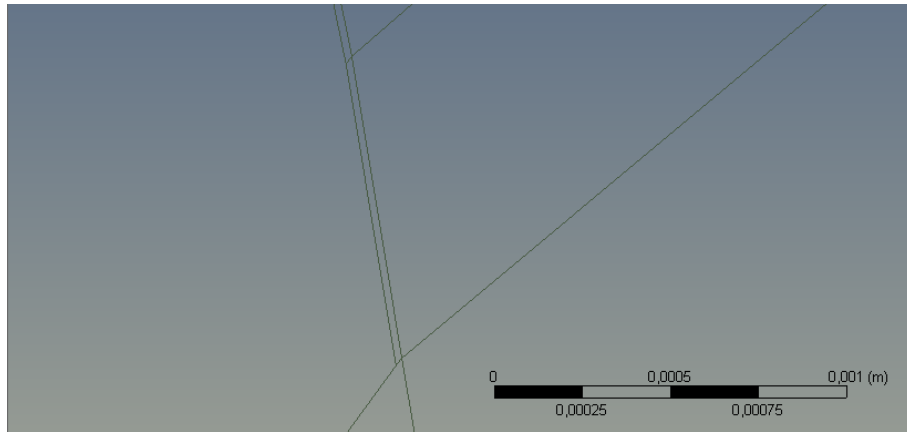


Figur 4.13: Meshning av bakluckan.

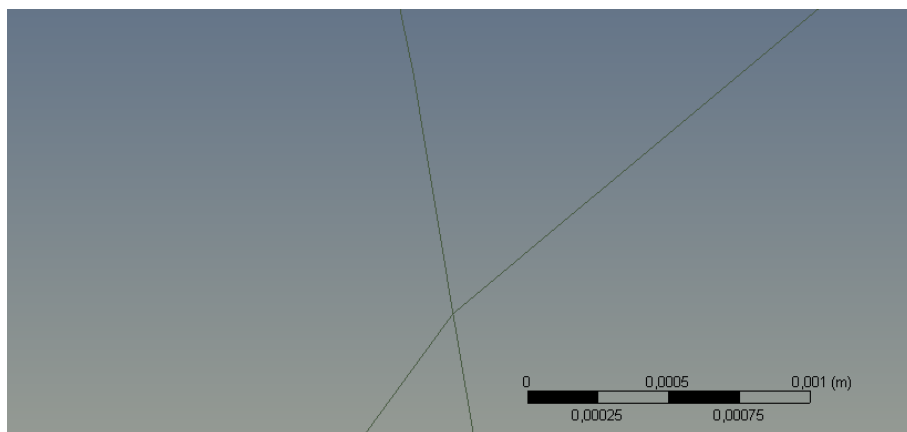


Figur 4.14: Närbild av bakluckans meshning.

I 4.2.2 påtalades även uppkomsten av tvillingelement i modellen och finns också att studera i figur 4.15. I figur 4.16 syns sedan resultatet efter reparering av modellen. Notera skalan i underkant på dessa bilder.



Figur 4.15: Tvillingelement.



Figur 4.16: Reparerade tvillingelement.

## 5 — Resultat

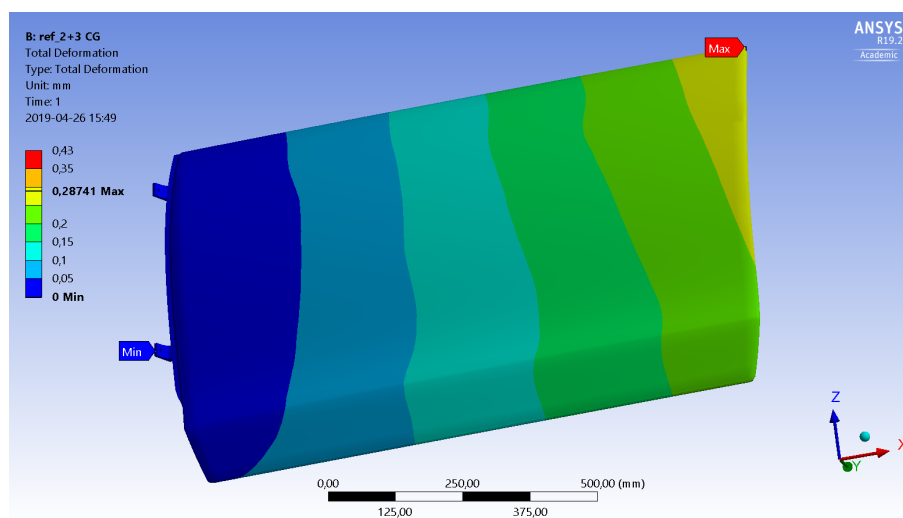
Resultaten nedan är utfallet från det ovan beskrivna genomförandet.

### 5.1 Sidodörren

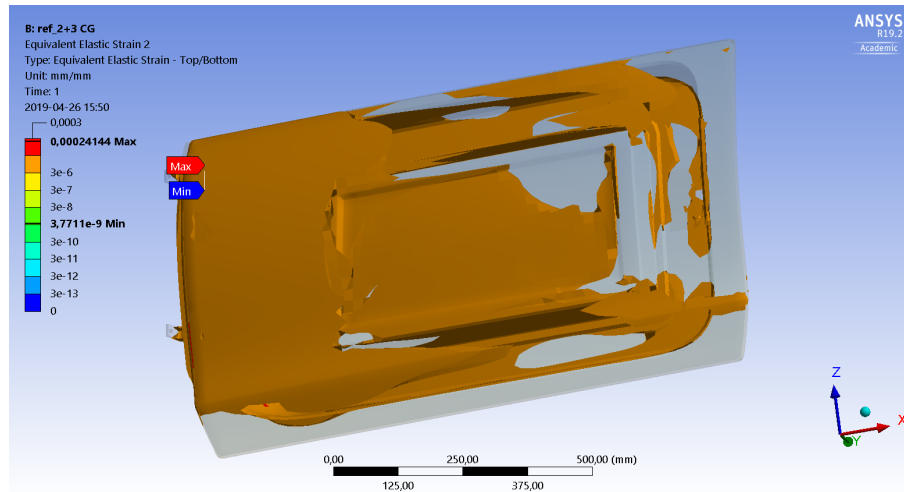
Nedanstående tabeller och figurer presenterar inverkan av materialval och godstjocklek för den befintliga utformningen av sidodörren. För varje utförande presenteras det högsta uppmätta värdet samt ett medelvärde (inom parentes) för konstruktionen.

Utvalda grafiska resultat från simuleringarna presenteras för att illustrera effekten av konstruktionen. Tabellresultat presenteras för samtliga test.

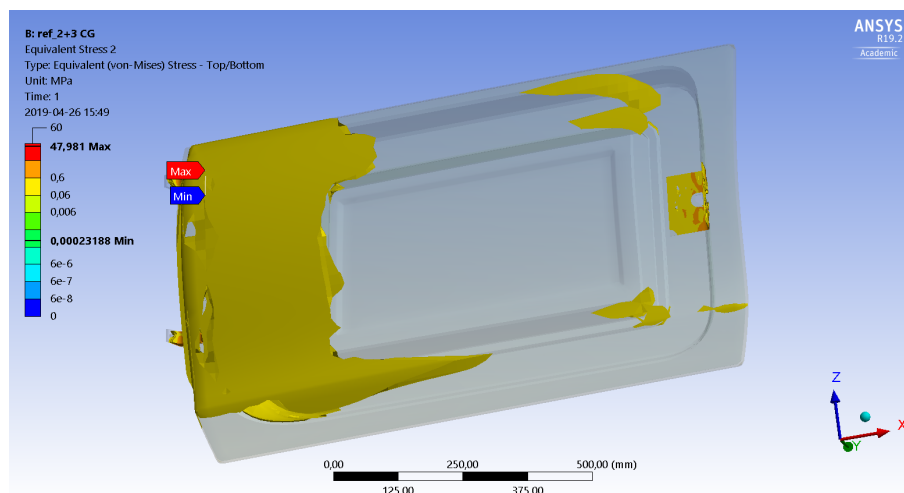
I figurerna 5.1-5.3 syns deformationer, töjningar och spänningar för referensmodellen, 2 mm CF + 3 mm GF.



Figur 5.1: Deformation av referensmodellen.

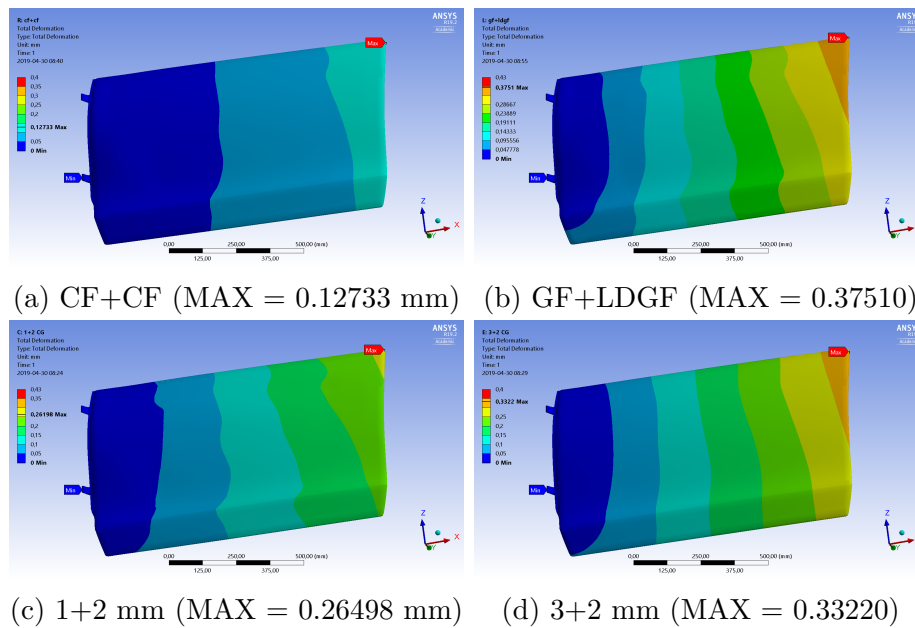


Figur 5.2: Töjningar i referensmodellen.

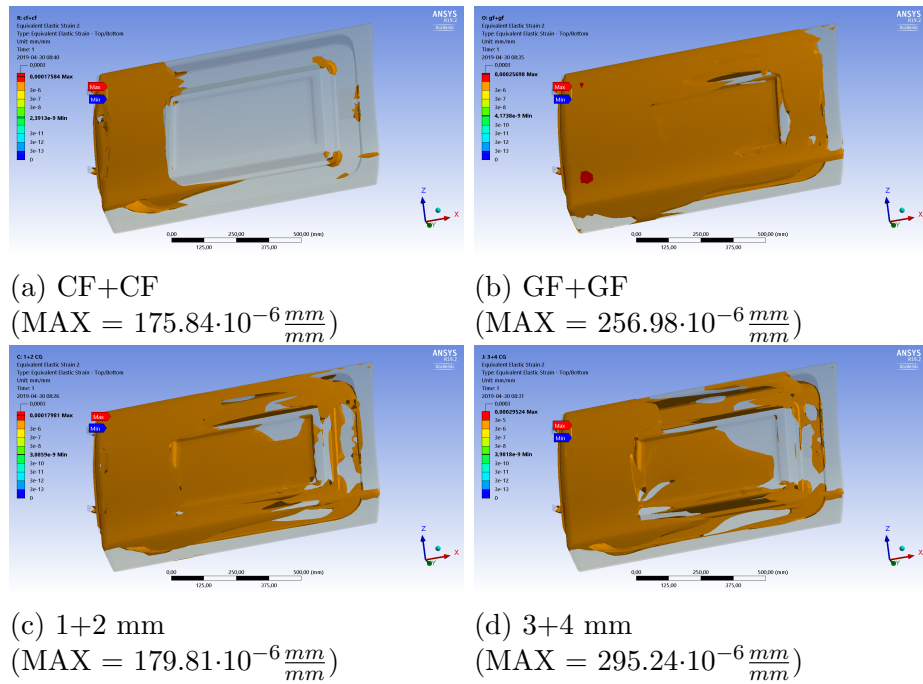


Figur 5.3: Spänningar i referensmodellen.

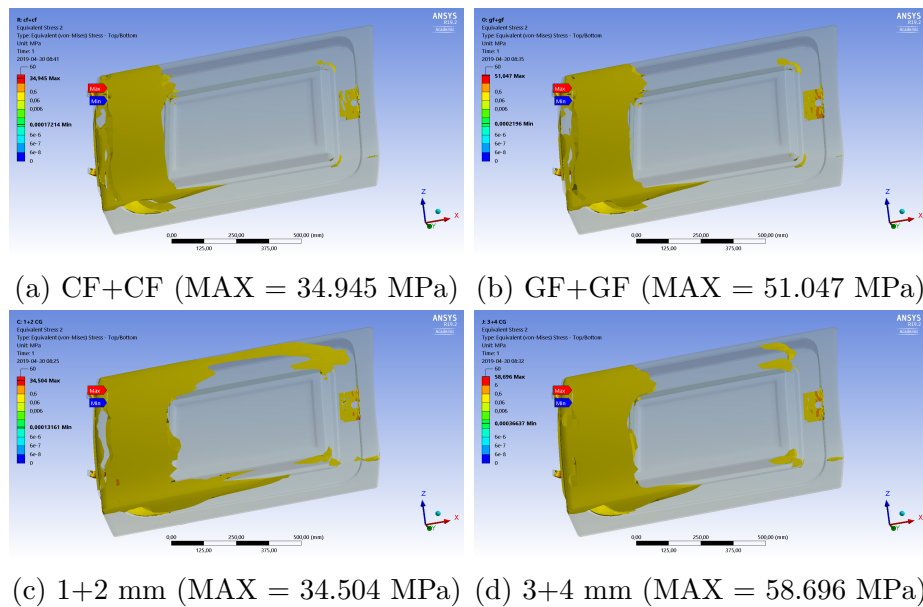
Figurerna 5.4-5.6 visar jämförelsen mellan de bäst presterande (lägst erhållt värde) och sämst presterande (högst erhållt värde) utförandena vid alternativa materialval och godstjocklekar.



Figur 5.4: Deformationer. Övre raden jämför materialtest. Undre raden jämför godstjocklekstest.



Figur 5.5: Töjningar. Övre raden jämför materialtest. Undre raden jämför godtjocklekstest.



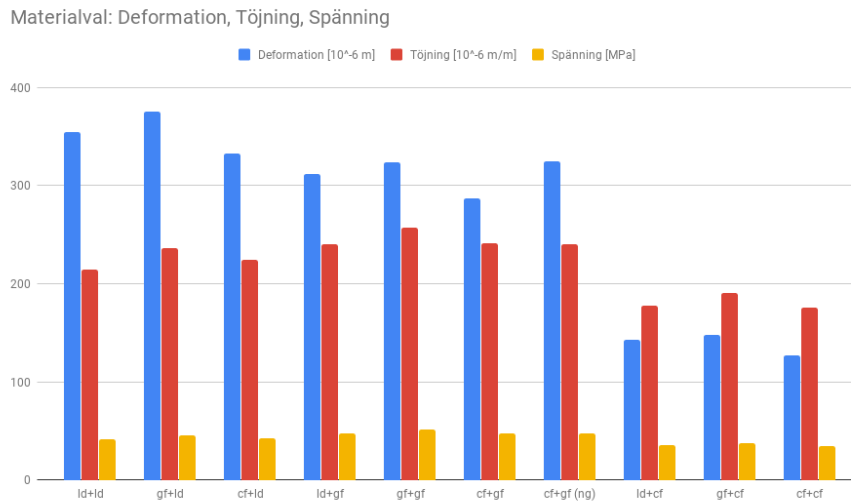
Figur 5.6: Spänningar. Övre raden jämför materialtest. Undre raden jämför godtjocklekstest.



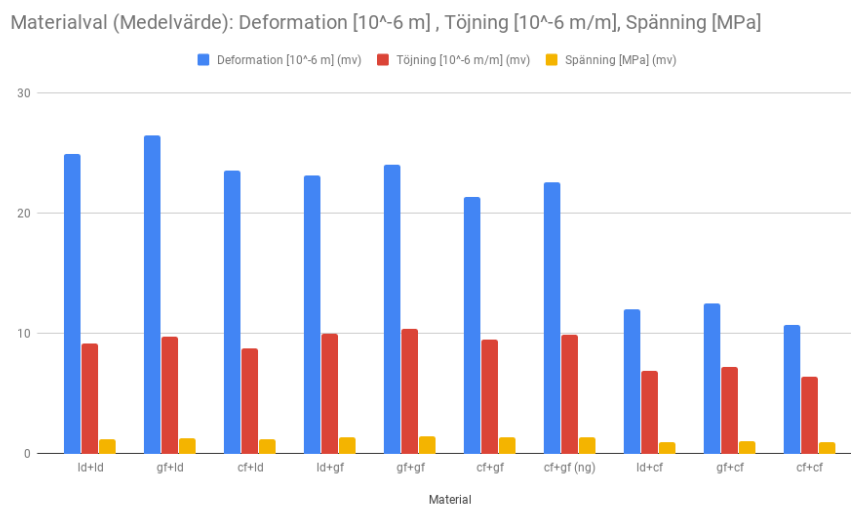
Tabell 5.1 och tillhörande figurer 5.7 och 5.8 visar en sammanställning av materialvalets påverkan på deformation, töjning, spänning och massa.

Tabell 5.1: Resultat av materialtest. Stjärnorna representerar det lägsta (\*) respektive det högsta (\*\*) erhållna värdena. Värden inom parentes betecknar medelvärden.

2 [mm] exteriör + 3 [mm] interiör	Maximal deformation [ $\mu m$ ]	Maximal töjning $\frac{[mm]}{[mm]} \times 10^{-6}$	Största spänning [MPa]	Massa [kg]	Anm.
LDGF +LDGF	354.17 (24.893)	214.28 (9.1478)	41.695 (1.1930)	8.5922*	
GF +LDGF	375.10** (26.460)	236.52 (9.7062)	45.359 (1.2974)	9.326	
CF +LDGF	332.41 (23.493)	224.79 (8.7649)	42.304 (1.2096)	8.8858	
LDGF +GF	311.93 (23.085)	240.52 (9.9881)	47.772 (1.3446)	10.36	
GF +GF	323.55 (24.009)	256.98** (10.416)	51.047** (1.4329)	11.094**	
CF +GF	287.41 (21.308)	241.44 (9.4888)	47.981 (1.3432)	10.654	ref.
CF +GF	324.78 (22.549)	240.05 (9.8576)	47.705 (1.3667)	10.654	Ingen inre limspalt
LDGF +CF	142.61 (12.040)	177.55 (6.9030)	35.262 (0.97436)	9.2994	
GF +CF	148.01 (12.447)	190.13 (7.2152)	37.767 (1.0351)	10.033	
CF +CF	127.33* (10.688)	175.84* (6.4181)	34.945* (0.94344)	9.5929	



Figur 5.7: Grafisk representation av resultaten i tabell 5.1.



Figur 5.8: Grafisk representation av medelvärdena i tabell 5.1.

Det ska poängteras att kombinationen LDGF-CF erhåller relativt hög deformation och spänning. Detta trots att kombinationen är den lättaste av samtliga.

Kombinationen GF-GF erhåller lägsta värdena på alla punkter utom massa. Med enbart tabell 5.1 som grund hade detta varit den föredragna kombinationen. Dock ska observeras att kombinationen CF-GF har närliggande värden och en viktbesparing på omkring ett halvt kilo. Något som kan uppfattas gynnsamt inom automobilindustrin då lägre vikt medför lägre driftkostnad för fordonet.

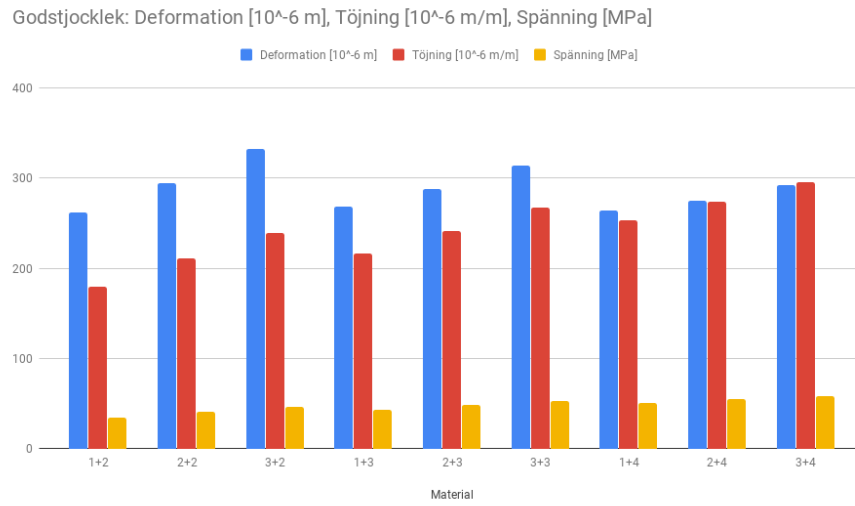
Dessa värden bör också jämföras med de presenterade i tabell 3.2. Att döma av modellerna sker belastningen främst i drag. Konstruktionerna får då inte överstiga en dragspänning á 50, 80, 200 MPa för LDGF, GF och CF respektive. Samtliga konstruktioner uppfyller lyckligtvis detta.

Tabell 5.2 och tillhörande figurer 5.9 och 5.10 visar en sammställning av godstjocklekens påverkan på deformation, töjning, spänning och massa.

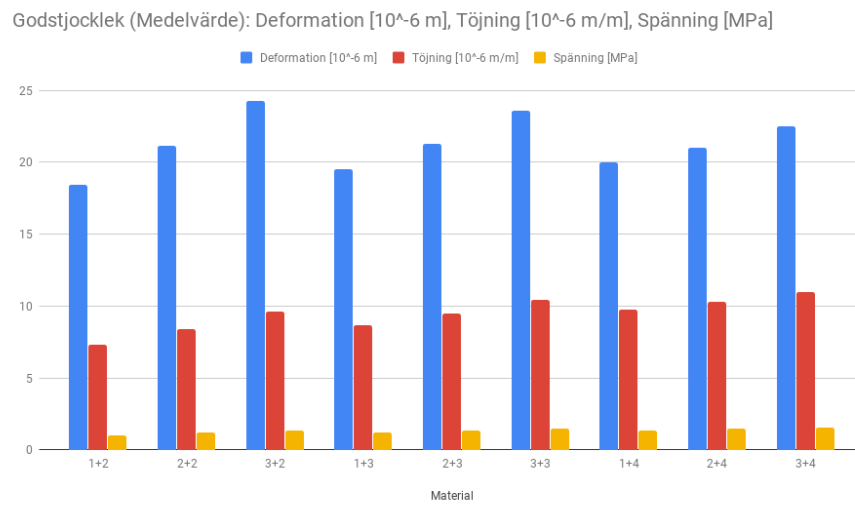
Tabell 5.2 visar på att massan och därmed även spänning och töjning ökar linjärt för produkten då materialskikten ökar. Att hålla skikten så tunna som möjligt blir därför en prioritet.

Tabell 5.2: Resultat av tjocklekstest. Stjärnorna representerar det lägsta (\*) respektive det högsta (\*\*) erhållna värdena. Värden inom parentes betecknar medelvärden.

Ext: CF + Int: GF [mm]	Maximal deformation [ $\mu m$ ]	Maximal töjning $\left[\frac{mm}{mm}\right] \times 10^{-6}$	Största spänning [MPa]	Massa [kg]	Anm.
1 + 2	261.98* (18.425)	179.81* (7.3207)	34.504* (1.0010)	7.2403*	
2 + 2	294.50 (21.173)	210.73 (8.4215)	40.636 (1.1768)	8.4143	
3 + 2	332.20** (24.297)	239.12 (9.5903)	46.739 (1.3532)	9.5884	
1 + 3	267.86 (19.522)	216.08 (8.6907)	42.933 (1.2067)	9.4796	
2 + 3	287.41 (21.308)	241.44 (9.4888)	47.981 (1.3432)	10.654	ref.
3 + 3	313.59 (23.561)	267.15 (10.414)	53.095 (1.4868)	11.828	
1 + 4	264.29 (20.009)	252.89 (9.7806)	50.256 (1.3700)	11.719	
2 + 4	274.95 (21.000)	273.97 (10.309)	54.460 (1.4691)	12.893	
3 + 4	291.72 (22.502)	295.24** (10.990)	58.696** (1.5793)	14.067**	



Figur 5.9: Grafisk representation av resultaten i tabell 5.2.



Figur 5.10: Grafisk representation av resultaten i tabell 5.2.

Det intressanta händer i kolumnen för deformation. Att öka materialskiktet i interiören har en positiv effekt på produktens deformation, d.v.s. det blir lägre än referensvärdet. En ökning av exteriören bidrar negativt.

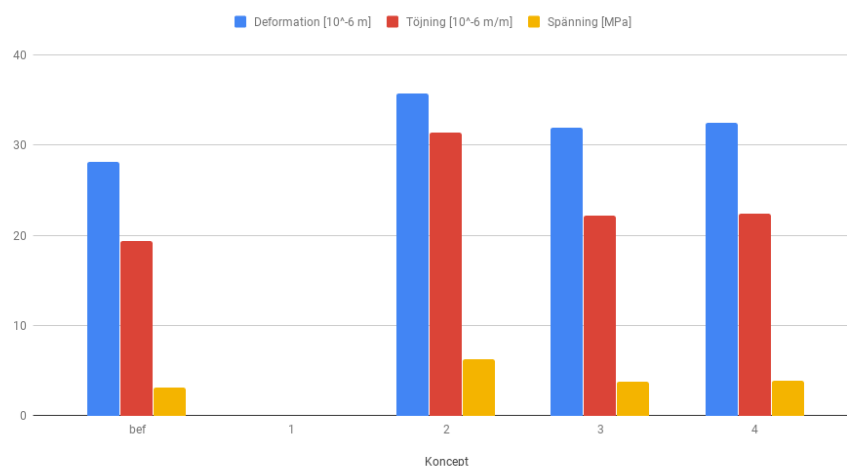
Tabell 5.3 och tillhörande figur 5.11 visar en sammaställning av utförandets påverkan på deformation, töjning, spänning och massa. Som tidigare påpekats är värdena i tabell 5.3 enbart är till för inbördes jämförelse. Utförandena är de som presenterades i figur 4.3.

De enkla modellerna i tabell 5.3 visar på att den befintliga modellen är mest motståndskraftig mot deformation och töjning i detta fallet. Endast konstruktion 3 är lättare och på samtliga andra punkter är den befintliga konstruktionen bäst. Det är således inte lönt att försöka modellera upp en alternativ konstruktion för sidodörrens innerstruktur.

Tabell 5.3: Inbördes jämförbar tabell för enkla modeller av ev. designutvecklingar. Stjärnorna representerar det lägsta (\*) respektive det högsta (\*\*) erhållna värdena.

Koncept	Maximal deformation [ $\mu m$ ]	Maximal töjning $\left[\frac{mm}{mm}\right] \times 10^{-6}$	Största spänning [MPa]	Massa [kg]	Anm.
bef.	28.174*	19.318*	3.096*	10.236	
1	N/A	N/A	N/A		beräkningsfel
2	35.658**	31.392**	6.2785**	10.259	
3	31.947	22.219	3.7257	10.156*	
4	32.430	22.421	3.874	10.340**	

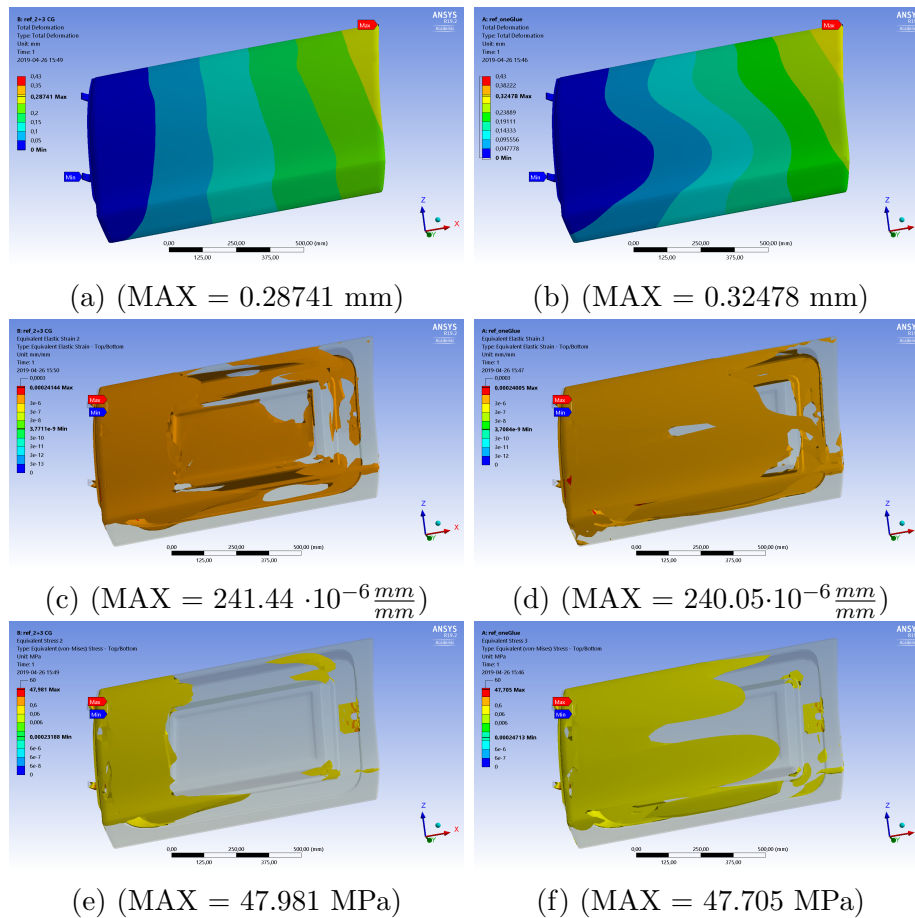
Koncepttest: Deformation [ $10^{-6}$  m], Töjning [ $10^{-6}$  m/m] and Spänning [MPa]



Figur 5.11: Grafisk representation av resultaten i tabell 5.3.

På grund av återkommande beräkningsfel kunde inga resultat fås ut från simuleringen av konstruktion 1. Det finns möjlighet att denna hade presterat bättre än den befintliga. Utan resultat är det dock inte lönt att spekulera. Eftersom den utsprungliga utformningen visade sig prestera bäst i denna jämförelsen kommer inga grafiska resultat presenteras för utförandetestet.

I figur 5.12 ses en jämförelse mellan hur deformation, töjning och spänning uppträder mellan referensutförande och då den inre limspalten tas bort. I den vänstra kolumnen är referensmodellen med användning av båda limspalterna. I den högra kolumnen har den inre limspalten avlägsnats.



Figur 5.12: Simuleringsresultat.

Veckningen som rapporterades av *NSV* framstår inte tydligt från simuleringsresultaten. Dock syns att spänningar och töjningar koncentreras till den vänstra delen av sidodörren innan den inre limspalten avlägsnas. Detta är en trolig anledning till veckningens uppkomst.

## 5.2 Bakluckan

### 5.2.1 Analytisk metod

Det fullständiga resultatet från den analytiska metoden återfinns i Appendix A. Ett sammanfattat resultat presenteras i tabell 5.4. I tabell 5.4 avser kolumnerna respektive: utförande, nödvändig total gasfjäderkraft enligt (3.5), reduktion av total gasfjäderkraft jämfört med beräknad referens, kraftstegringsfaktor för ihoptryckt gasfjäderkraft vid kort slaglängd, kraftstegringsfaktor för ihoptryckt gasfjäderkraft vid lång slaglängd, kraft efter säkerhetspåslag, kraft per infästning, använd kraft i simuleringar.

Raderna är respektive: Referens, det ursprungliga utförandet. Beräknad referens, den kraft som krävs enligt beräkningarna beskrivna i detta arbetet. Förflyttning av infästningspunkter. Alternativt materialval, 2 + 2 mm CF då detta är både lättare och starkare än referensen. Kombination, ett kombinerat test som utnyttjar ny infästningspunkt, alternativt material och användning av stödbåge simultant. Termen "Kombination" kommer även användas i efterföljande tabeller för att benämna den just nämnda konstruktionen.

Punkterna  $(x_1, x_2, y_1)$  kan ses i figur 3.2 och parametern  $f_f$  avser kraftstegringsfaktorn för en gasfjäder som trycks samman.

Tabell 5.4: inverkan på den nödvändiga kraften vid förflyttning av infästningspunkter och materialval.

		F [N]		reduktion	
Referens		-		-	
Beräknad Referens		1328		0%	
$(x_1, x_2, y_1) +$ $(50, 50, -50)$		808		39.2%	
2CF- 2CF		1019		23.3%	
Kombination		621		53.2%	

$f_f =$ 1.17	$f_f =$ 1.30	$f_s = 1.20$		$F_f$ , enl. ekv. (3.13)		$F_{\text{sim}}$
-	-	800	-	400	-	-
1554	1726	(1865,	2072)	(932.6,	1162)	940
945.4	1050	(1134,	1261)	(567.0,	630.6)	580
1192	1325	(1431,	1590)	(715.6,	795.0)	720
726.6	807.3	(871.9,	968.8)	(436.0,	484.4)	440

Från dessa värden ska uppmärksammas att den gasfjäderkraft angiven för referenskonstruktionen av *Adiga*, 400 N, understiger samtliga av de beräknade värdena. Varför detta uppstått kan bero på misskommunikation mellan författaren och *Adiga*. Alternativt har *Adiga* beräknat sin kraft utifrån förutsättningar som inte kunnat

delges författaren. Fortsättningsvis antas den s.k. beräknade referensen vara giltig och alla fortsatta jämförelser till "referens" görs mot denna.

Det påvisas tydligt i tabell 5.4 att alternativ placering av infästningspunkterna samt ett alternativt materialval kan ha stor inverkan på den nödvändiga kraften,  $F$ . Tabell 5.4 visar också på vikten av att minimera slaglängden. En kort slaglängd innebär minskad kraftstegring och att det slutgiltiga värdet kommer vara närmare värdena presenterade i den första kolumnen i den undre tabellen, det vill säga motsvara en kraftstegring á 17%. Ökad slaglängd för kraftens slutliga värde närmare värdena presenterade i den andra kolumnen i den undre tabellen, det vill säga en kraftstegring á 30%. Ett kombinerat utnyttjande av lösningsförslagen ger en markant skillnad i konstruktionens styrka och nödvändig belastning, något som kommer påvisas väldigt positivt i följande kapitel.

Efter en kort korrespondens med gasfjäderleverantör *Araton* uppskattades kraftstegringen, faktorn  $f_f$ , till cirka 17% varför kraften till simuleringarna väljs i underkant från kolumn  $F_f$ . Faktorn  $f_s$  är inte lika enkelt uppskattad. Syftet med  $f_s$  är att konstruktionen ska ta höjd dels för yttre belastningar så som vind och nederbörd som kan komma att tynga ner bakluckan. Faktorn  $f_s$  ska också kompensera för införandet av i nuläget okända detaljer som ska monteras in i bakluckan så som lampor och elkablar. Den specifika siffran 20% som använts är enbart en kvalificerad gissning. Med bättre kännedom om vilka detaljer som kan tänkas läggas till bakluckan innan slutgiltigt montage hade denna faktor eventuellt kunnat minskas och gasfjäderkraften noggrannare bestämmas.

## 5.2.2 Datorstödd metod

I tabell 5.5 och tillhörande figurer 5.13 och 5.14 syns olika konstruktionsvals inverkan på deformationer, töjningar och spänningar. Värdena som presenteras är de högst uppmätta tillsammans med ett medelvärde (inom parentes). Motsvarande simuleringsresultat från *Ansys* kan ses i figurerna 5.15-5.32.

Raden *Minsta Kraften* i tabell 5.5 utnyttjar den kraften som krävs vid en förflyttning av infästningspunkterna  $(x_1, x_2, y_2) + (50, 50, -50)$ . Varför den föreslagana infästningen inte kan implementeras direkt är på grund av att det saknas en detalj i konstruktionen som tillåtit en förflyttning av infästningen till karossen. Förflyttningen hade också medfört att nödvändiga förstärkningsplåtar på insidan av bakluckan inte kunnat förstärka infästningen till baklucka, något som troligtvis lett till stora deformationer. Att endast minska kraften är självklart inte ett korrekt sätt att representera problemet och denna felaktighet måste beaktas då resultaten i tabell 5.5 studeras.

Förstärkningsbågarna består, i de analyserade fallen, av 2 mm CF och 4 mm CF respektive. Bågen löper mellan de två infästningsplåtarna, längst bakluckans övre kant.

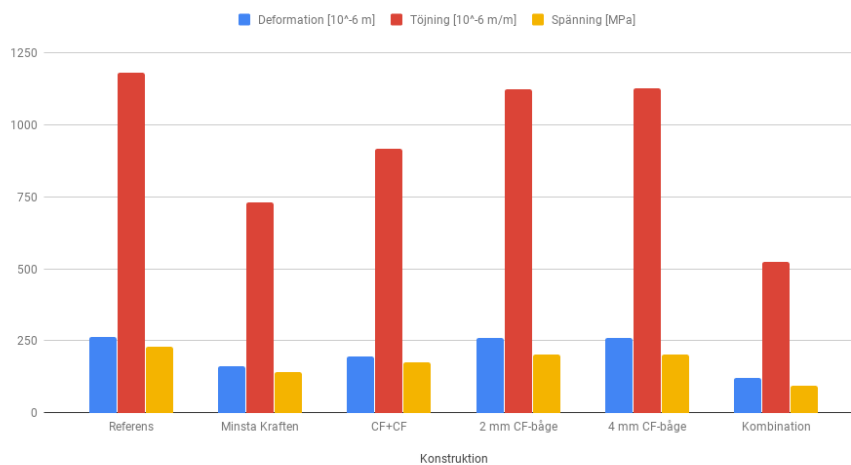
Analyseras resultaten kolumnvis framkommer det att vardera konstruktionslösning bidrar med en marginell förbättring till deformationerna. Den elastiska töjningen förbättras för alla punkter. Den högst uppmätta spänningen ser också en förbättring hos samtliga lösningar.



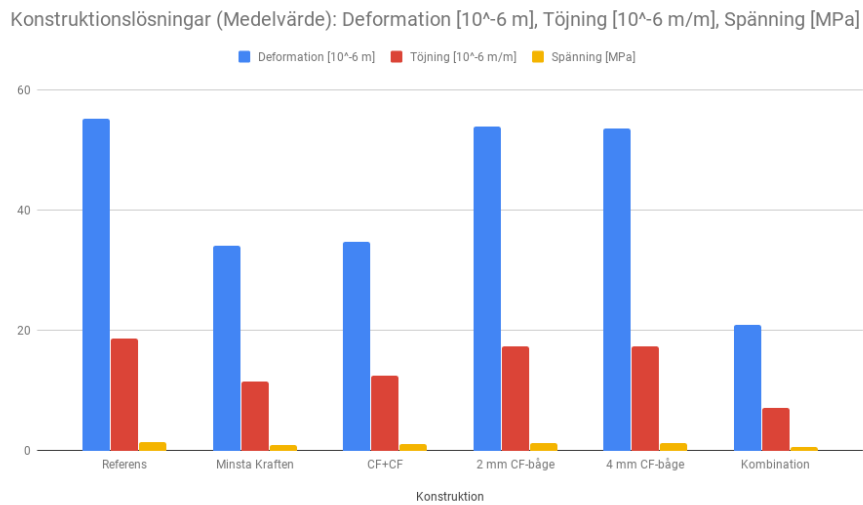
Tabell 5.5: Resultat från kraftanalys av bakluckan. Hur olika konstruktionsval påverkar deformationer, töjning och spänning.

Konstruktion	Total Deformation [ $\mu m$ ]	Elastisk Töjning [ $\frac{mm}{mm}$ ] $10^{-6}$	Spänning [MPa]
Referens	261.64 (55.221)	1181.5 (18.692)	227.75 (1.4254)
Minsta Kraften	161.44 (34.072)	729.01 (11.533)	140.53 (0.87953)
CF+CF	196.08 (34.798)	915.30 (12.500)	176.35 (1.1073)
Förstärkningsbåge (2 mm)	259.87 (53.911)	1121.0 (17.370)	200.97 (1.2342)
Förstärkningsbåge (4 mm)	259.53 (53.501)	1126.0 (17.405)	200.97 (1.2519)
Kombination	119.62 (20.919)	523.64 (7.0922)	94.056 (0.58491)

Konstruktionslösningar: Deformation [ $10^{-6}$  m], Töjning [ $10^{-6}$  m/m], Spänning [MPa]

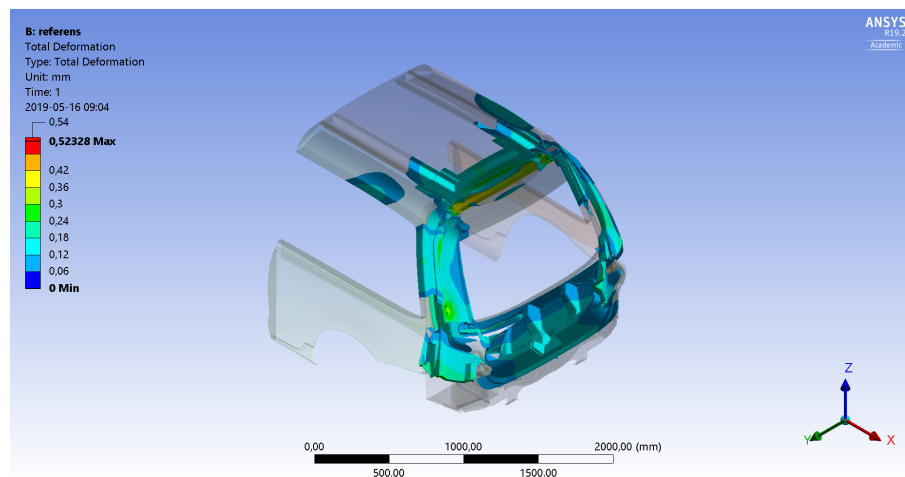


Figur 5.13: Grafisk representation av resultaten i tabell 5.5.

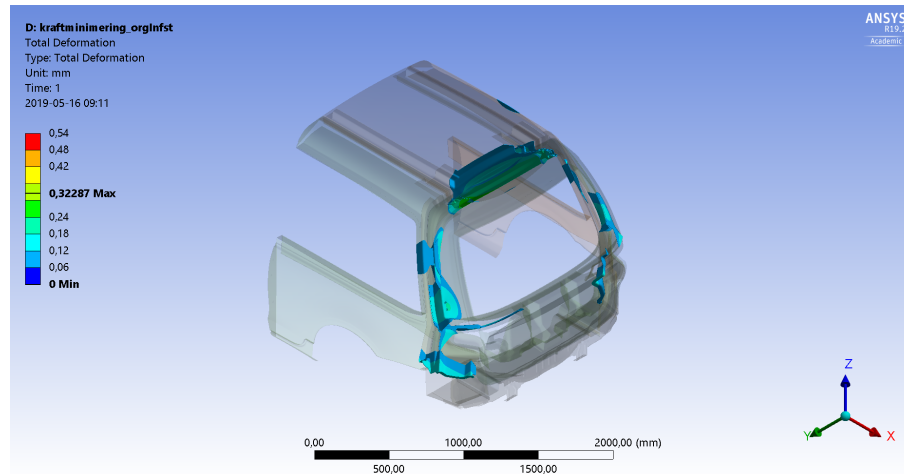


Figur 5.14: Grafisk representation av resultaten i tabell 5.5.

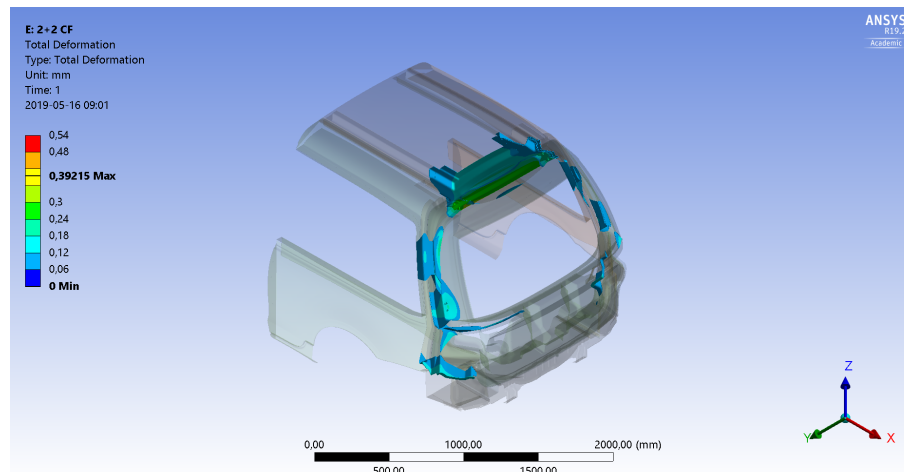
Figurerna 5.15-5.20 föreställer konstruktionernas deformationer i de olika utförandena. Liksom resultatet för sidodörrarna sker väldigt liten förändring mellan varje figur. Deformationerna är främst lokaliserade till själva bakluckan och förstyrningsbalkarna i taket. Någon distinkt deformation av takpanelerna så som de rapporterades ifrån *NSV* syns inte till. Dock syns viss deformation i taket i figurerna 5.15, 5.18 och 5.19. Det syns en distinkt reducering av deformationerna vid användning av den minsta kraften och 2 mm + 2 mm CF, se figurer 5.16, 5.17. Vid kombinationstestet, då samtliga lösningsförslag används simultant, har nästan all deformation eliminerats, se figur 5.20.



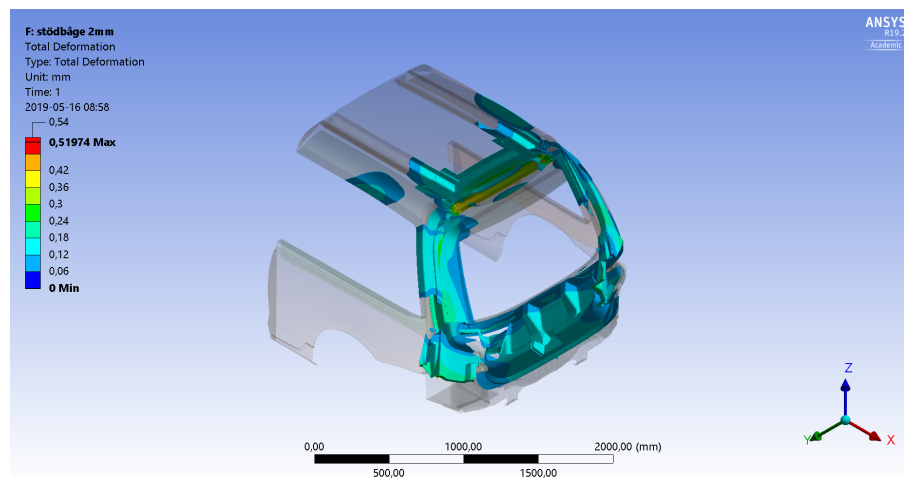
Figur 5.15: Deformationer i referensmodellen, 2+3 CF-GF sammansättning, 470 N i vardera infästningspunkt. (MAX = 261.64  $\mu$ m)



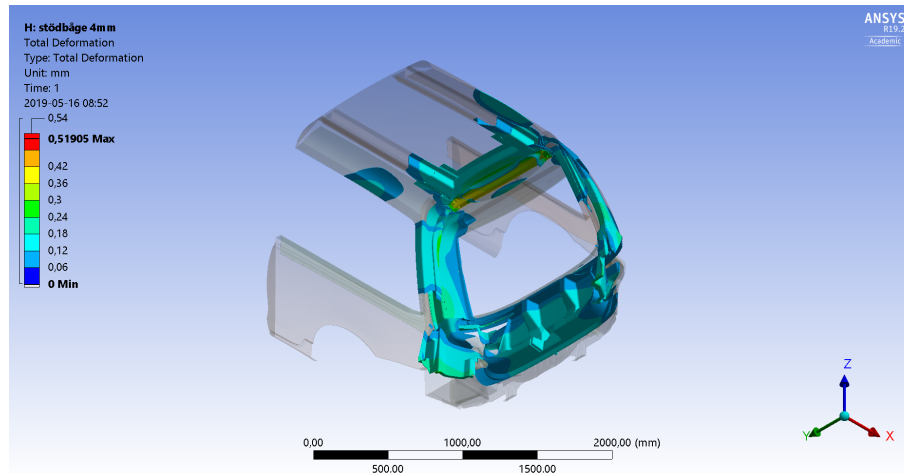
Figur 5.16: Deformationer vid användning av minsta kraften, 290 N i vardera infästningspunkt. (MAX = 161.44  $\mu\text{m}$ )



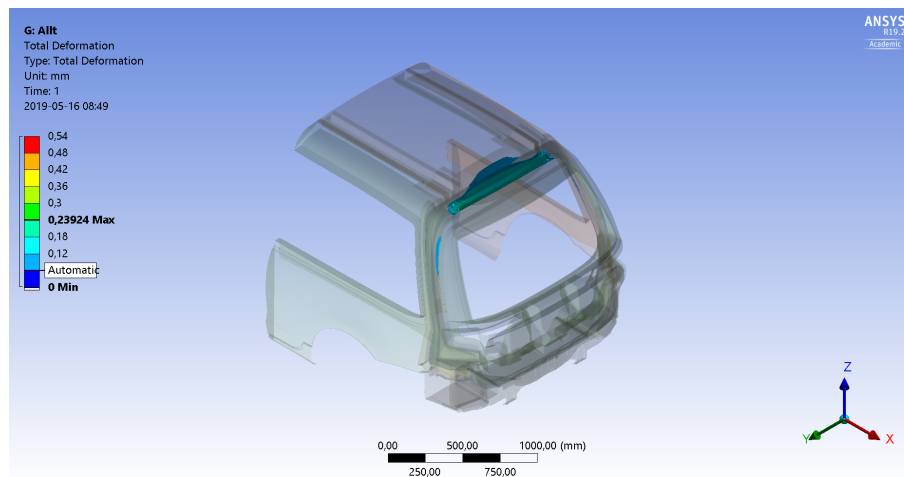
Figur 5.17: Deformationer vid användning av 2+2 CF-CF med motsvarande kraft, 360 N i vardera infästningspunkt. (MAX = 196.08  $\mu\text{m}$ )



Figur 5.18: Deformationer efter införande av förstärkande 2 mm CF-båge, 470 N i vardera infästningspunkt. (MAX = 259.87  $\mu\text{m}$ )

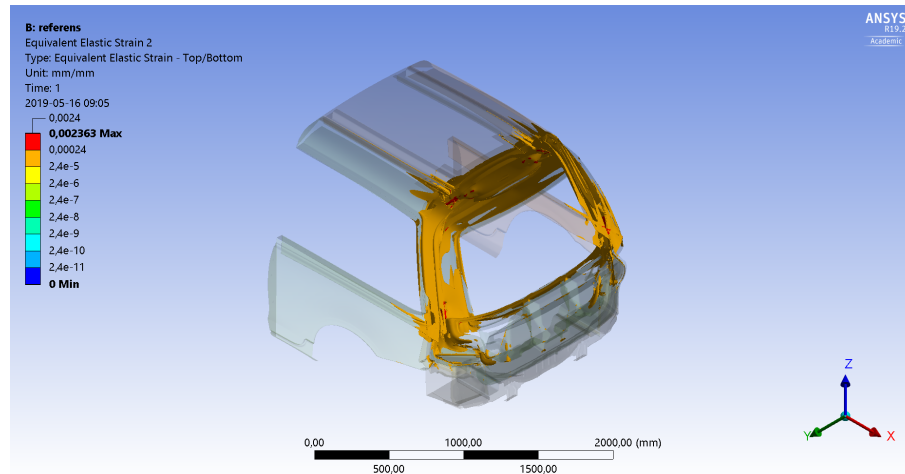


Figur 5.19: Deformationer efter införande av förstärkande 4 mm CF-båge, 470 N i vardera infästningspunkt. (MAX = 259.53  $\mu\text{m}$ )

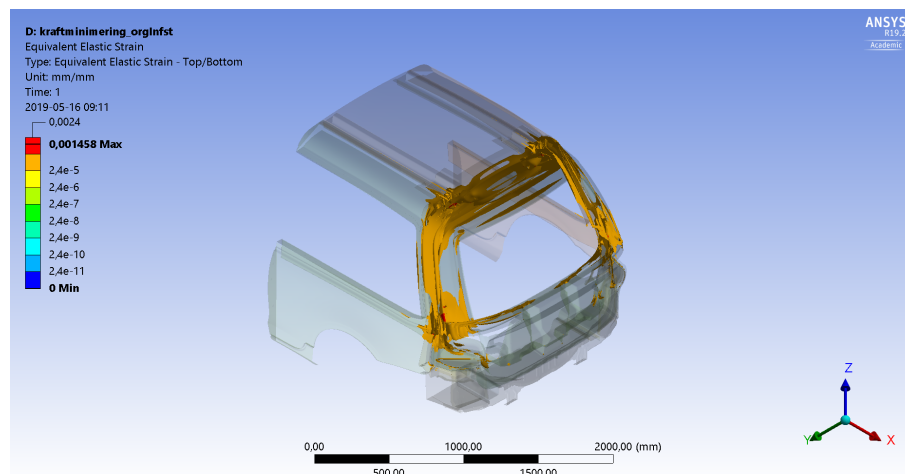


Figur 5.20: Deformationer vid ett kombinerat test, 2+2 mm CF-CF med förstärkande 2 mm CF-båge, 220 N i vardera, oförflyttade, infästningspunkt. (MAX = 119.62  $\mu\text{m}$ )

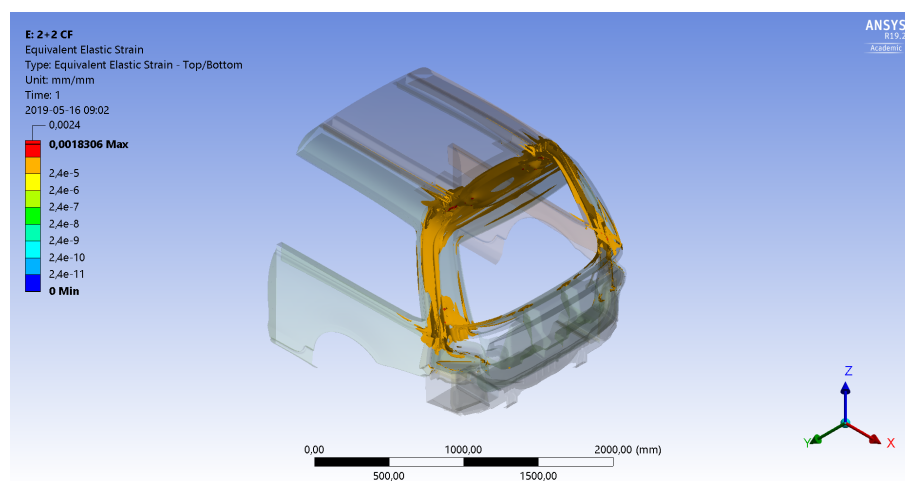
I Figurerna 5.21-5.26 syns töjningarna för vardera konstruktionslösning. Samtliga töjningar är lokaliserade omkring samma område som förstärkningsbågen placeras i. Trots detta visar inte figur 5.24 eller figur 5.25 någon betydande förbättring. Störst förbättring av enskild konstruktionslösning tycks vara den vid användandet av 2+2 mm CF, som kan ses i figur 5.23. Det sammansatta testet i figur 5.26 påvisar, igen, störst förbättring.



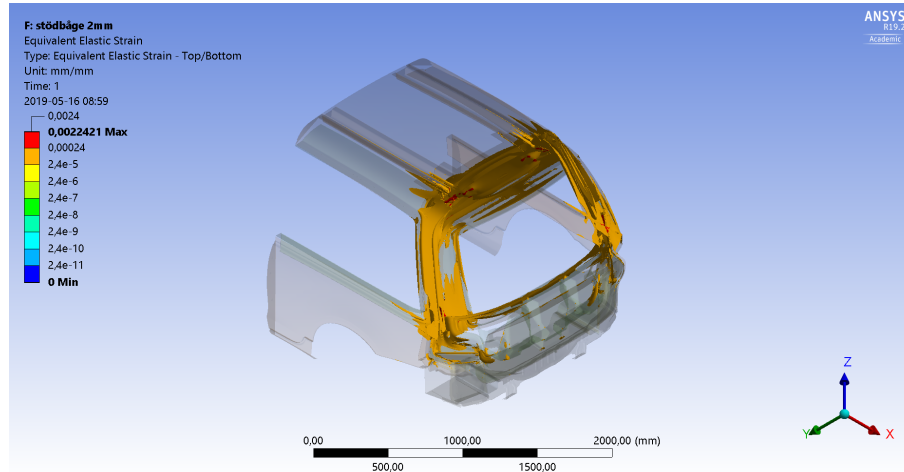
Figur 5.21: Töjningar i referensmodellen, 2+3 CF-GF sammansättning, 470 N i vardera infästningspunkt. (MAX =  $1181,5 \cdot 10^{-6} \frac{mm}{mm}$ )



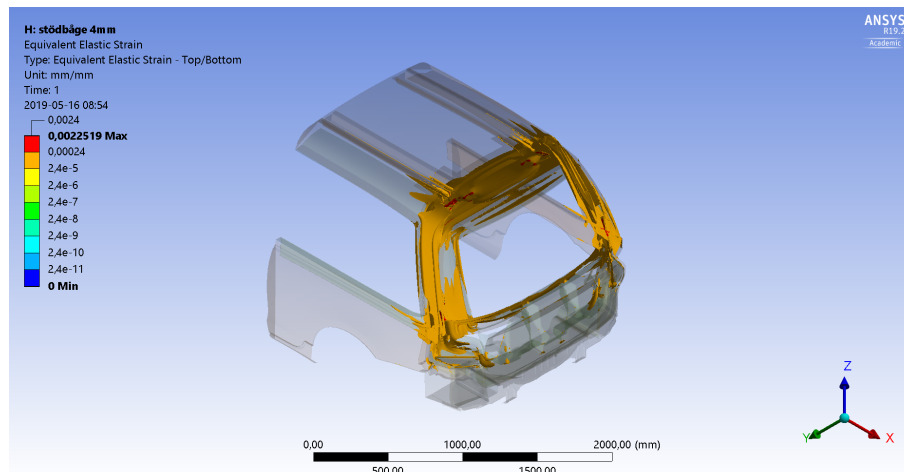
Figur 5.22: Töjningar vid användning av minsta kraften, 290 N i vardera infästningspunkt. (MAX =  $729,01 \cdot 10^{-6} \frac{mm}{mm}$ )



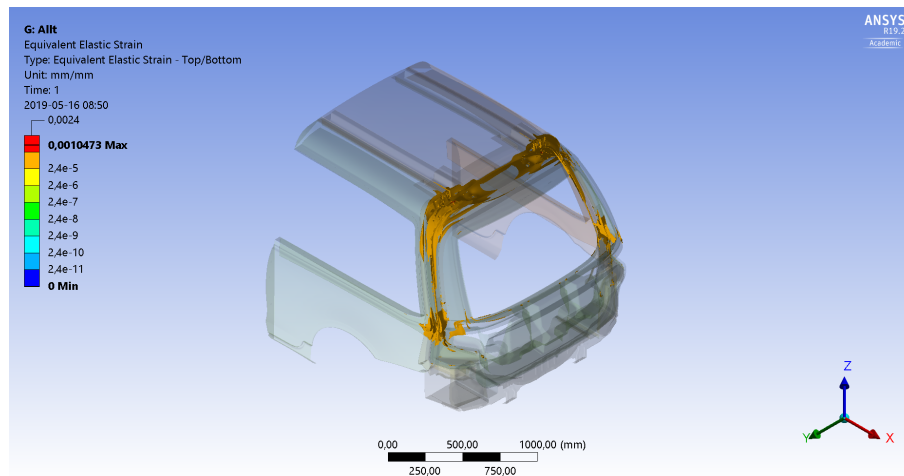
Figur 5.23: Töjningar vid användning av 2+2 mm CF-CF med motsvarande kraft, 360 N i vardera infästningspunkt. (MAX =  $915,30 \cdot 10^{-6} \frac{mm}{mm}$ )



Figur 5.24: Töjningar efter införande av förstärkande 2 mm CF-båge, 470 N i vardera infästningspunkt. (MAX =  $1121.0 \cdot 10^{-6} \frac{mm}{mm}$ )

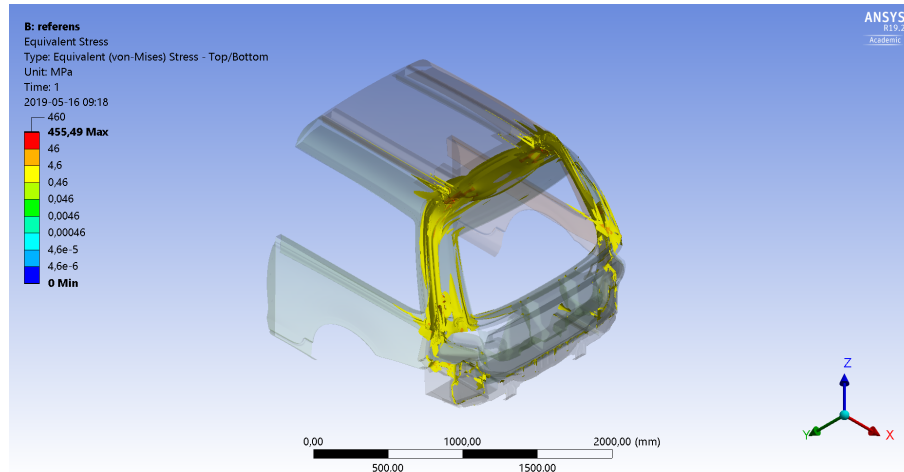


Figur 5.25: Töjningar efter införande av förstärkande 4 mm CF-båge, 470 N i vardera infästningspunkt. (MAX =  $1126.0 \cdot 10^{-6} \frac{mm}{mm}$ )

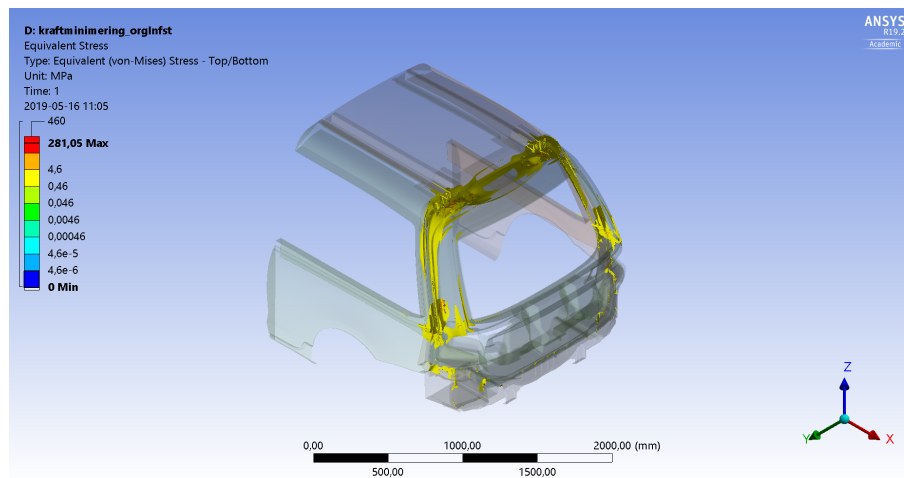


Figur 5.26: Töjningar vid ett kombinerat test, 2+2 mm CF-CF med förstärkande 2 mm CF-båge, 220 N i vardera, oflyttade, infästningspunkt. (MAX =  $523.64 \cdot 10^{-6} \frac{mm}{mm}$ )

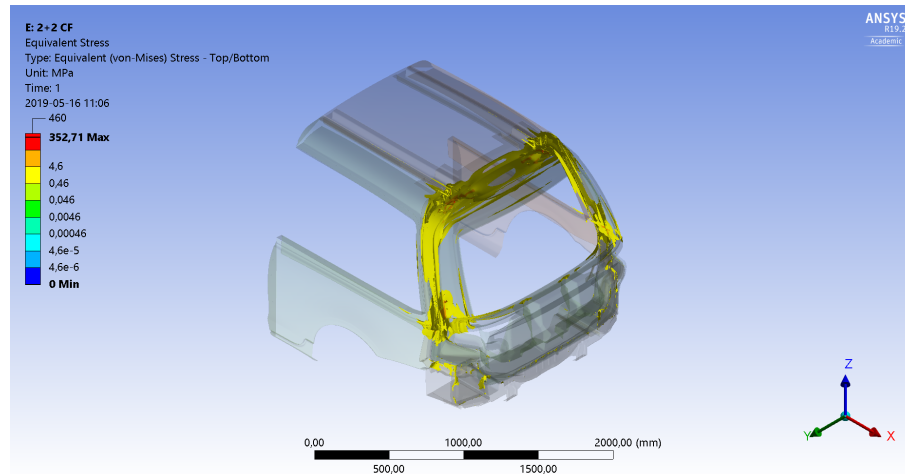
Figurerna 5.27-5.32 visar förändringen av spänningen. Även dessa är främst lokaliserade i området som ockuperas av förstärkningsbågen. Samtliga lösningsförslag påvisar viss minskning av det belastade området. Endast i det kombinerade testet, se figur 5.32, är denna minskning distinkt.



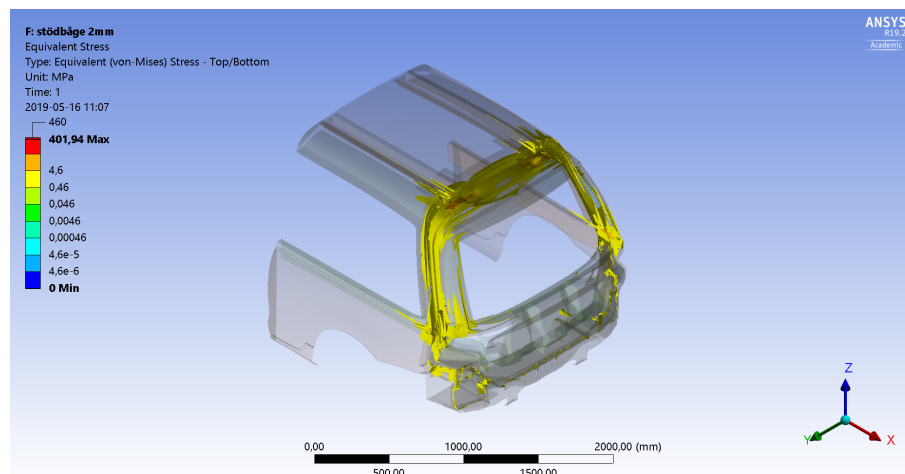
Figur 5.27: Spänningar i referensmodellen, 2+3 mm CF-GF sammansättning, 470 N i vardera infästningspunkt. (MAX = 227.75 MPa)



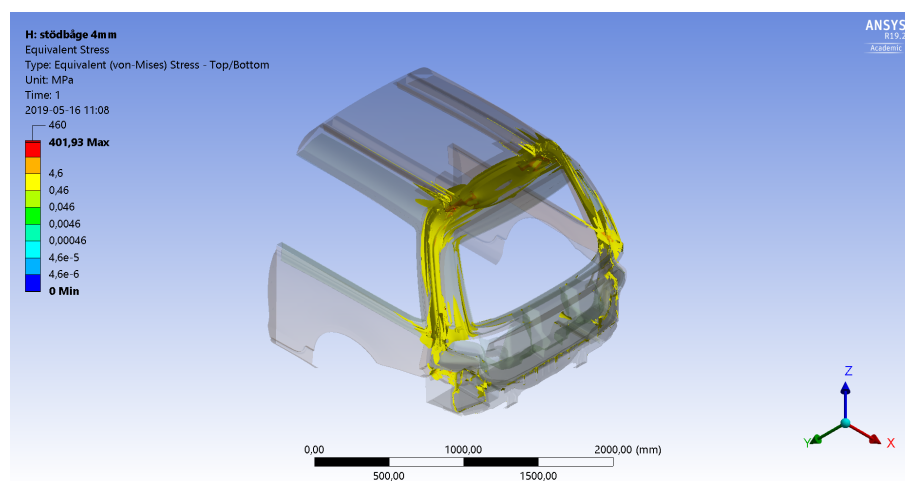
Figur 5.28: Spänningar vid användning av minsta kraften, 290 N i vardera infästningspunkt. (MAX = 140.53 MPa)



Figur 5.29: Spänningar vid användning av 2+2 mm CF-CF med motsvarande kraft, 360 N i vardera infästningspunkt. (MAX = 176.35 MPa)

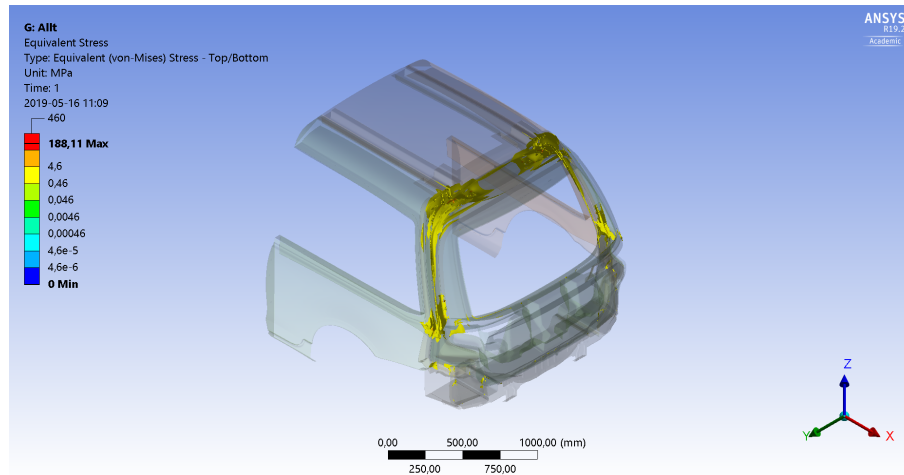


Figur 5.30: Spänningar efter införande av förstärkande 2 mm CF-båge, 470 N i vardera infästningspunkt. (MAX = 200.97 MPa)



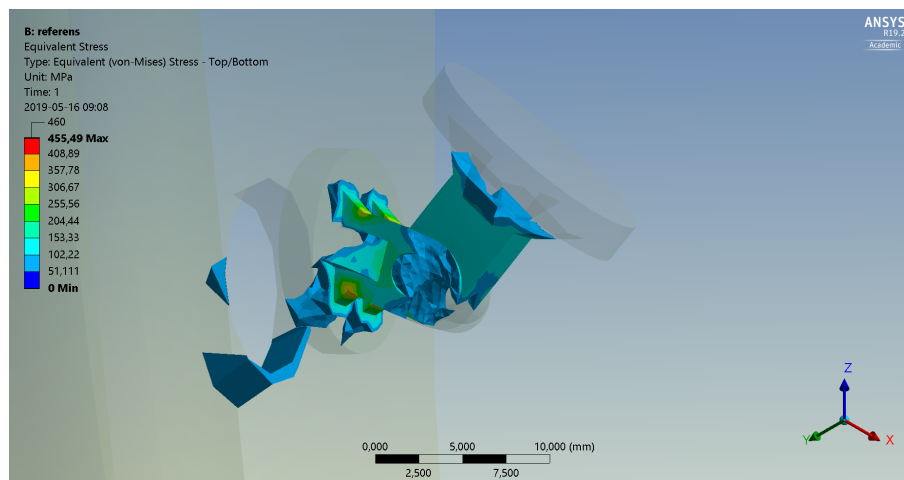
Figur 5.31: Spänningar efter införande av förstärkande 4 mm CF-båge, 470 N i vardera infästningspunkt. (MAX = 200.97 MPa)





Figur 5.32: Spänningar vid ett samlat test, 2+2 mm CF-CF med förstärkande 2 mm CF-båge, 220 N i vardera, oförflyttade, infästningspunkt. (MAX = 94.054 MPa)

Som kunnat utläsas ur tabell 5.5 samt figurerna 5.27-5.32 så överstiger den högst uppmätta spänningen oftast de ingående materialens brottgräns, så som de fastställdes i tabell 3.2. En kartläggning av vart dessa spänningar som överstiger brottgränserna är lokaliserade måste utföras. En sådan kartläggning resulterade i att majoriteten av de spänningar som överstiger brottgränserna är lokaliserade i gasfjädrarnas infästningar och illustreras i figur 5.33.

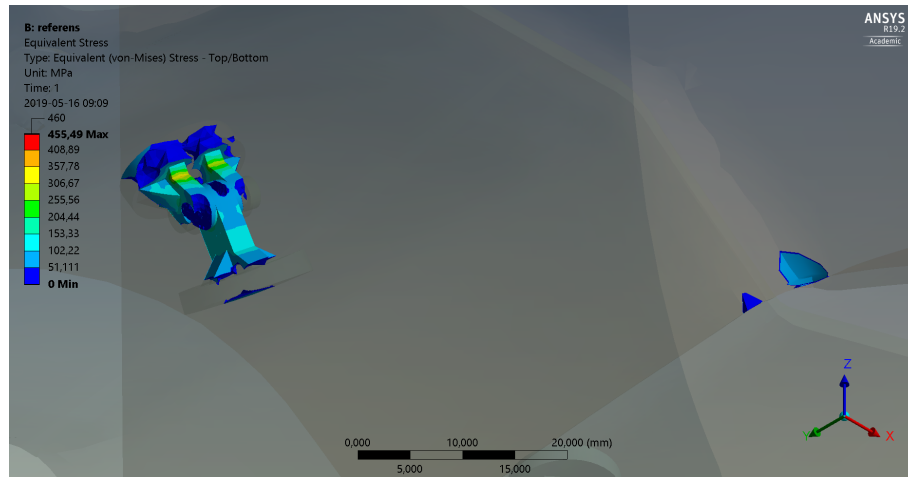


Figur 5.33: Spänningar över 80 MPa.

Om tröskelvärde för *capped surface*-presentationen sänks successivt tills spänningsresultat erhålls i någon annan punkt, för referenskonstruktionen, erhålls detta vid 50 MPa, se figur 5.34.

En identisk kartläggning görs för de övriga konstruktionerna presenterade ovan. De resultaten kommer inte presenteras men liknande förhållanden föreligger hos dessa.

Detta skadar emellertid trovärdigheten i resultaten och jämförbarheten med andra arbeten.



Figur 5.34: Högst uppmätt spänning i konstruktionen.

## 6 — Diskussion

*Nedan utvärderas resultatens pålitlighet. Diskussionen ämnar att hitta förbättringspunkter av metodiken men också att lyfta fram hur resultaten kan användas och tolkas.*

Överlag har bristande kommunikation med *NSV* bidragit till att en rad antaganden har fått göras, vilka hade kunnat undvikas.

Besked på vilken materialsammansättning *NSV* slutligen valde gavs sent under arbetets gång. Detta medförde att det inte fanns möjlighet att analysera denna materialsammansättning jämsides med de andra materialen. Den slutliga sammansättningen var en kombinerad glas-kolfiber armerad polymer i 3+3 mm utförande. Detta svar gavs definitivt för sidodörren men samma antas gälla för bakluckan. Detta innebär att resultaten är utan ett yttre referensvärde och blir då främst inbördes jämförbara.

Ekonomiska förutsättningar har inte heller undersöks i detta arbetet. Alternativkostnaden mellan de olika lösningsförslagen och den befintliga konstruktionen hade varit högst intressant för *NSV*. En generell prissättning för ingående detaljer i de olika lösningsförslagen söktes hos flertalet leverantörer, men något svar gavs inte varför en sådan undersökning inte kunnat inkluderas i arbetet.

Vikten för olika utföranden togs upp för sidodörren men inte för bakluckan. Detta på grund av att bakluckan inte kunde isoleras för att få ut vikten av enbart parterna som påverkades under testerna. En annan anledning till att bakluckans vikt inte togs upp var för att det saknas ingående detaljer av okänd vikt i modellen som gjort en viktjämförelse missvisande. Att vikten påpekas över huvud taget är för att lägre totalvikt på fordonet är dokumenterat gynnsamt för dess bränsleförbrukning och därmed även dess klimatpåverkan under drift, oberoende av fordon. Det var en förhoppning att en miljöaspekt skulle tas upp i detta arbetet men kraftanalyser och belastningssimuleringar visade sig omfattande nog, varför en sådan undersökning lämnas till ett separat arbete.

### 6.1 Sidodörr

Konstruktionsförslaget som levererades av *Adiga* innehöll två limspalter. Efter kontakt med *NSV* framkom det att den inre limspalten avlägsnades som del av *NSV*:s lösning för att bli kvitt deformationerna av sidodörren. Eftersom denna information framkom sent under arbetets gång har detta inte implementerats jämsides med de andra testerna av godstjocklek och materialval. Borttagandet av limspalten utfördes

enbart på referensmodellen. En distinkt skillnad i resultaten ses för deformation, töjning och spänning respektive, jämför figur 5.12. Då limspalten avlägsnades kunde spänningarna röra sig fritt över exteriörpanelen och interiörpanelen oberoende av varann. Vid jämförelse av spänningskoncentrationerna i figur 5.12 är spänningarna lokaliserade mellan de båda limspalterna då båda används. Även om veckningen inte kan påvisas direkt är detta en trolig anledning tills dess uppkomst.

Enligt tabell 5.1 och figur 5.7 ökar den generella deformationen hos sidodörren men maximal spänning och töjning sjunker något då den inre limspalten avlägsnas. Sidodörren blir således mer belastad då limspalten avlägsnas, men de estetiska effekterna avtar. Det är också möjligt att se att materialet på sidodörrens insida har störst inverkan på de erhållna värdena. Då CF hamnar i innerskiktet sjunker samtliga värden. En liknande men inte lika distinkt reduktion kan ses inträffa då innerskiktet byts från LDGF till GF.

De största deformationerna, töjningarna och spänningarna är dock alltid lokaliserade omkring gångjärnsinfästningen, vilket medför att tabellvärdena i resultatet kan vara en aning missvisande.

Sidodörrens del i detta examensarbete har eventuellt varit överflödig. *NSV* har under arbetets gång meddelat att de löst problemet med veckningen genom avlägsnandet av den inre limspalten samt att de är nöjda med detta.

## 6.2 Baklucka

I resultatsektionen presenterades att en förflyttning av infästningen för gasfjädern kunde reducera den nödvändiga kraften. Det krävs dock en undersökning av hurvida dessa föreslagna förflyttningar är möjliga. En förflyttning av infästningen till kaross, 50 mm i positiv x-led, placerar denna infästningen väldigt nära delningen mellan bakpartiet och själva luckan. Det existerar även en liten klack i detta område, vilken troligtvis kan vara menad att dölja infästningen från utsidan för att ge fordonet ett prydligare utseende. Något som nämnda förflyttning hade motverkat. Förflyttningen av infästningen till bakluckan, 50 mm i negativ z-led, hade inte varit lika problematisk men istället bidragit till ökad slaglängd.

Infästningspunkterna som analyserats är baserade på de förslag som *Adiga* levererade tillsammans med CAD-modellen för fordonet. De tekniska lösningar som *NSV* valde att använda då problemen uppdagades är fortsatt okända. Detta lämnar möjlighet för att de effekter som *NSV* rapporterat inte överensstämmer med de effekter som visas i denna rapport. Infästningarna är också konstruerade utifrån att vara lätta att belasta i *Ansys* och tar ingen hänsyn till krav som ställs på funktionella infästningar för gasfjädrar. Importering eller konstruktion av riktiga gasfjäderinfästningar hade varit högst intressant men var inte genomförbart eftersom valet av gasfjädrar samt korrekta infästningspunkter förblev okänt under arbetets gång.

Den omfattande förenklingen av bakluckan som krävdes för att kunna genomföra analyser i *Ansys* medförde att fortplantningen av kraften genom hela fordonet inte kunde illustreras. Tillgången till beräkningsdatorn som användes vid simuleringarna blev begränsad mot slutet av arbetet, varför det valdes bort att utföra tester med hela bakpartiet i simuleringens modellen. Det var ett antal parter som av okänd anled-

ning inte kunde tas med överhuvudtaget i den slutgiltiga analysen. Detta innefattar bland annat förstyrningar i bakluckans övre del, samt små specifika element i chassit. Borttagningen av dessa element från modellen innan lastanalysen förväntas ha påverkat denna negativt och återge större deformationer än i verkligheten men kan också potentiellt dolt spänningsskorporationer i området där de monteras. Vidare påverkar förenklingen även var modellens fasta infästningar i *Ansys* kan anges. Till exempel har karrossens längd uppskattningsvis halverats och fasta infästningar ansatts i de nya ändarna. Detta ger karossen betydligt mycket mindre material som kan deformeras för att absorbera krafterna och bör medföra spänningar på platser där de inte uppstått i verkligheten.

Förflyttningen av infästningspunkterna gav positiva effekter i form av förlängd hävarm och minskad slagläng, vilket tillät en minskning av fjäderkraft. För att ytterligare minska spänningarna i bakluckan var användningen av en stödbåge framgångsrik. Dock gav lösningen med stödbågen inte lika stor positiv effekt på spänningar och deformationer som väntat och ingen förbättring kunde ses mellan fallen då stödbågens tjocklek var 2 mm eller då den fördubblades till 4 mm. Rimligtvis bör en större mängd material under samma belastning erhålla mindre av både deformationer, töjningar och spänningar. Att så inte är fallet vid analysen av stödbågen kan innebära att de högst belastade områdena inte ligger i området där stödbågen monterades och därmed inte avhjälpes av denna.

Vid användning av stödbågen sågs positiva effekter i tabell 5.5 samt figurerna 5.18, 5.19, 5.24, 5.25, 5.30 och 5.31. Dessvärre syns inga positiva effekter då stödbågens tjocklek fördubblas, från 2 mm till 4 mm. I tabell 5.5 erhåller 4 mm stödbåge marginellt mindre deformationer, större töjningar och samma spänningar, dock med ett högre medelvärde, än 2 mm bågen. Intuitivt bör alla dessa poster minska då det ökade tvärsnittet ger utrymme för mer material som ska deformeras av samma ingående kraft. Varför detta fenomenet uppstår är oklart och med dessa resultat som grund måste slutsatsen att en stödbåge med mindre tvärsnitt är att föredra.

Som kunde observeras i resultaten kunde stor effekt på deformationer, töjningar och spänningar fås för de olika valen. Men i fallet då samtliga lösningar kombinerades erhöles för samtliga fall de lägsta värdena, vilket framgår i tabell 5.5. Det tyder på att en lösning som utnyttjar så många av dessa lösningsförslag som möjligt kan förväntas prestera bättre än en lösning som bara utnyttjar en eller ett par av förslagen.

Som påtalades i samband med resultaten för spänning är de numeriska värdena presenterade i tabell 5.5 något missvisande. Eftersom infästningarna är konstruerade av författaren själv och inte efterliknar de infästningar som hade krävts vid montage av riktiga gasfjädrar är spänningen i dessa helt irrelevanta. Att den högsta spänningen i varje konstruktion uppträder i dessa är därför olyckligt eftersom resultaten därmed enbart blir inbördes jämförbara. Eftersom infästningarna är de lastbärande elementen i simuleringarna kan de inte enkelt tas bort. Om dessa elementen på något vis kan deaktiveras så att resultaten för dessa uteblivit hade det varit önskvärt.

Metodikerna i analysen av bakluckan påminner om ett Design of Experiment, DOE. *Ansys* har en inbyggd DOE-metod som möjligtvis hade kunna användas. Dessvärre hittades inget sätt att ta in samtliga parametrar, så som materialbyte, i *Ansys* varför

detta utfördes i *MATLAB* istället. En alternativ metod hade varit att låta *Ansys* hitta den plats för infästningarna som orsakat minst deformationer. Sen föra in denna förändring i *MATLAB*-beräkningarna för att hitta den nödvändiga kraften för den placeringen. Detta hade blivit en iterativ process då den nödvändiga kraften måste anges i *Ansys* innan programmet kan hitta platsen för minst deformation. Den platsen hade i sin tur haft en annan nödvändig kraft för att hålla bakluckan som måste läggas in i *Ansys* igen tills man får samma punkt tillbaka som den man stoppat in.

Hela detta arbetet har jobbat under antagandet att gasfjädern alltid belastar bakluckan. Det finns emellertid tekniska lösningar som låter gasfjädern släppa trycket när den ska hållas ihoptryckt under längre tid. Detta hade hjälpt minimera deformationer i bakpartiet eftersom belastningen hade verkat under en relativ liten del av fordonets livslängd. En annan teknisk lösning hade varit att låta bakluckan styras av elmotorer. Detta hade inte bara minimerat spänningar utan också gjort bakluckan lättare att hantera för personer som inte når bakluckan i sitt öppna läge. Varför dessa element inte tagit del i resten av rapporten beror på att detta föreslogs av *Adiga* till *NSV* redan vid det initiella projektet. *NSV* valde då att gå vidare med statiska gasfjädrar och samma förutsättningar antas föreligga nu.

Problematiken med att enbart analysera luckan som stängd är att eventuella brott som kan uppstå då luckan hålls öppen helt missas. Då luckan är stängd belastas den av en högre kraft ifrån gasfjädrarna, men den får också ett strukturellt stöd av omkringliggande konstruktion som kan hjälpa till att minimera de mekaniska effekterna. När luckan hålls öppen belastas den enbart i gångjärn och infästningspunkten och har ingen möjlighet att överföra krafter till andra delar i konstruktionen. En översikt av detta i projektets början medförde att någon sådan modell inte preparerades. Resultaten från detta hade dock varit av intresse. Ett ytterligare sätt att få bättre förståelse av konstruktionen hade varit om belastningssimuleringen hade kunnat utföras dynamiskt, genom att låta bakluckan öppnas och stängas. Detta hade även kunnat ge information om kraften stegrat ytterligare vid någon tidpunkt då luckan pendlar mellan stängt och öppet läge.

## 7 — Slutsats

*Rapportens syfte var att hitta nya konstruktionförslag. Utifrån resultaten kan förslag som förbättrar sidodörren och bakluckans prestation ges.*

### 7.1 Sidodörren

Då det i detta arbetet varit svårt att producera resultat som visar på problemen som *NSV* upplevt samt att *NSV* under arbetets gång löst problemet tillfredställande ses nu föga anledning att försöka producera förbättringspunkter för sidodörren.

### 7.2 Bakluckan

En komplett konstruktionsförbättring kan tyvärr inte ges då de nämnda förändringarnas estetiska inverkan inte är fullt kartlagd. Eftersom arbetets utgångspunkt var att avhjälpa estetiska defekter som uppstod vid belastning bör dessa självklart inte avhjälpas med lösningar som inte fått ett estetiskt godkännande från *NSV*. För framtida konstruktioner föreslås därmed följande hållpunkter,

- Förflytta gasfjädrarnas infästningspunkter på sådant sätt att hävarmen från gasfjädern förlängs. Nya gasfjädrar anpassas utifrån dessa förändringar.
- Byt ut aktuella material till lättare alternativ. Detta måste givetvis beakta produktionsvolymen och kommer inverka på kostnad för kund och *NSV*.
- Inför en stödbåge som tar upp delar av belastningen i bakluckan. Stödbågen bör passera båda gasfjädrarnas infästningspunkter till bakluckan samt bakluckans infästning till gångjärnen för att kunna förväntas ge samma effekter som påvisades i detta arbetet.
- Om ovanstående förslag inte kan ge ett tillfredställande resultat bör alternativa tekniska lösningar utforskas, så som diskuterades i kapitel 6.2

# Referenser

- [1] William D. Callister, Jr & David G. Rethwisch (2008). *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, s.617-652 (3:e uppl.)  
Asien: John Wiley & sons
- [2] HAHN Gasfedern GmbH (2010) *HAHN Gasfedern*, s.9. Hämtad 5 Juni, 2019, från  
[https://www.aratron.se/wp-content/uploads/2015/04/Aratron\\_gasfjader\\_oversikt\\_hahn-katalog-englisch-10-2013.pdf](https://www.aratron.se/wp-content/uploads/2015/04/Aratron_gasfjader_oversikt_hahn-katalog-englisch-10-2013.pdf) 050619
- [3] European Alliance for SMC/BMC (2007) *Design For Success, A Design and Technology Manual for SMC/BMC*, s.70,72



## Appendix A

*Nedanstående tabell visar resultatet av den analytiska metoden. Värdena i tabellen är den minsta kraften, enhet  $N$ , som krävs för att hålla bakluckan i  $90^\circ$  för fallen då infästningspunkterna förflyttas  $\pm 50$  mm oberoende av varann. De vita, gröna och röda fälten i tabellens marginaler motsvara ingen, positiv och negativ förflyttning av infästningspunkten respektive. Det grå fältet i tabellens botten visar resultaten för då infästningen till kaross förflyttas i positiv  $z$ -led, vilket är praktiskt omöjligt då infästningen i det fallet hamnat ovanför fordonets tak. Det gula fältet är de största respektive minsta värdena erhålla för icke-gråmarkerade värden.*

x1	x2	1c2f2f	2c2f2f	3c2f2f	1c3cf	2c3cf	3c3cf	1c4cf	2c4cf	3c4cf	1c2gf	2c2gf	3c2gf	1c3gf	2c3gf	3c3gf	1c4gf	2c4gf	3c4gf	1g2gf	2g2gf	3g2gf	1g3gf	2g3gf	3g3gf	1g4gf	2g4gf	3g4gf	z1	z2
		890	1,019	1,148	1,088	1,217	1,346	1,285	1,414	1,543	964	1,093	1,223	1,199	1,328	1,457	1,433	1,562	1,691	988	1,142	1,295	1,223	1,376	1,530	1,457	1,611	1,764		
		908	1,040	1,172	1,110	1,241	1,373	1,311	1,443	1,575	984	1,115	1,247	1,223	1,355	1,486	1,462	1,594	1,726	1,008	1,165	1,321	1,247	1,404	1,561	1,487	1,643	1,800		
		878	1,005	1,133	1,073	1,200	1,327	1,267	1,395	1,522	951	1,078	1,206	1,182	1,310	1,437	1,413	1,541	1,668	975	1,126	1,277	1,206	1,357	1,509	1,437	1,589	1,740		
		1,210	1,386	1,561	1,478	1,654	1,830	1,747	1,922	2,098	1,311	1,486	1,662	1,629	1,805	1,981	1,948	2,124	2,299	1,344	1,552	1,761	1,662	1,871	2,079	1,981	2,189	2,398		
		686	785	885	838	937	1,037	990	1,089	1,189	743	842	942	923	1,023	1,122	1,104	1,204	1,303	761	880	998	942	1,060	1,178	1,123	1,241	1,359		
		1,207	1,383	1,558	1,475	1,650	1,826	1,743	1,918	2,093	1,308	1,483	1,658	1,626	1,801	1,976	1,944	2,119	2,294	1,341	1,549	1,757	1,659	1,867	2,075	1,977	2,185	2,393		
		670	767	865	819	916	1,013	967	1,064	1,162	726	823	920	902	999	1,097	1,079	1,176	1,273	744	859	975	920	1,036	1,151	1,097	1,212	1,328		
		902	1,033	1,164	1,102	1,233	1,364	1,302	1,433	1,564	977	1,108	1,239	1,215	1,346	1,477	1,452	1,583	1,714	1,002	1,157	1,313	1,239	1,395	1,550	1,477	1,632	1,788		
		923	1,057	1,191	1,128	1,261	1,395	1,332	1,466	1,600	1,000	1,134	1,267	1,243	1,377	1,511	1,486	1,620	1,754	1,025	1,184	1,343	1,268	1,427	1,586	1,511	1,670	1,829		
		887	1,016	1,145	1,084	1,213	1,342	1,281	1,410	1,538	961	1,090	1,219	1,195	1,324	1,452	1,428	1,557	1,686	985	1,138	1,291	1,219	1,372	1,525	1,453	1,606	1,759		
		1,208	1,383	1,558	1,476	1,651	1,826	1,743	1,919	2,094	1,308	1,483	1,659	1,626	1,801	1,977	1,944	2,120	2,295	1,341	1,549	1,757	1,659	1,867	2,075	1,977	2,185	2,393		
		702	804	906	858	960	1,062	1,014	1,116	1,218	761	863	965	946	1,048	1,149	1,131	1,232	1,334	780	901	1,022	965	1,086	1,207	1,150	1,271	1,392		
		1,208	1,384	1,559	1,476	1,652	1,827	1,744	1,920	2,095	1,309	1,484	1,659	1,627	1,802	1,978	1,945	2,120	2,296	1,342	1,550	1,758	1,660	1,868	2,076	1,978	2,186	2,395		
		684	783	882	835	935	1,034	987	1,086	1,185	741	840	939	921	1,020	1,119	1,101	1,200	1,299	759	877	995	939	1,057	1,175	1,119	1,237	1,355		
		665	761	858	812	909	1,005	960	1,056	1,153	720	817	913	895	992	1,088	1,070	1,167	1,263	738	853	968	913	1,028	1,143	1,089	1,203	1,318		
		663	760	856	811	907	1,003	958	1,054	1,150	719	815	911	893	990	1,086	1,068	1,164	1,261	737	851	965	911	1,026	1,140	1,086	1,200	1,315		
		668	765	863	817	914	1,011	965	1,062	1,159	724	821	918	900	997	1,094	1,076	1,173	1,270	742	857	973	918	1,034	1,149	1,094	1,210	1,325		
		832	953	1,074	1,017	1,137	1,258	1,201	1,322	1,443	901	1,022	1,143	1,120	1,241	1,362	1,340	1,460	1,581	924	1,067	1,211	1,143	1,286	1,430	1,362	1,506	1,649		
		544	623	702	664	743	822	785	864	943	589	668	747	732	811	890	875	954	1,033	604	697	791	747	841	934	890	984	1,078		
		817	935	1,054	988	1,117	1,235	1,179	1,298	1,416	885	1,003	1,122	1,100	1,218	1,337	1,315	1,434	1,552	907	1,048	1,189	1,122	1,263	1,404	1,337	1,478	1,619		
		542	621	699	662	741	819	782	861	940	587	666	744	730	808	887	873	951	1,030	602	695	789	745	838	931	887	981	1,074		
		663	760	856	811	907	1,003	958	1,054	1,150	719	815	911	893	990	1,086	1,068	1,164	1,261	737	851	965	911	1,026	1,140	1,086	1,201	1,316		
		664	760	857	811	908	1,004	958	1,055	1,151	719	815	912	894	990	1,087	1,069	1,165	1,262	737	852	966	912	1,026	1,141	1,087	1,201	1,316		
		665	762	858	813	909	1,006	960	1,057	1,153	721	817	914	896	992	1,089	1,071	1,167	1,264	739	853	968	914	1,028	1,143	1,089	1,204	1,318		
		821	940	1,059	1,003	1,122	1,241	1,185	1,304	1,423	889	1,008	1,127	1,105	1,224	1,343	1,321	1,440	1,559	911	1,053	1,194	1,127	1,269	1,410	1,344	1,485	1,626		
		547	627	706	669	748	827	790	869	949	593	672	752	737	816	896	881	960	1,040	608	702	796	752	846	940	896	990	1,084		
		808	926	1,043	988	1,105	1,222	1,167	1,284	1,401	875	993	1,110	1,088	1,206	1,323	1,301	1,418	1,536	897	1,037	1,176	1,110	1,250	1,389	1,323	1,462	1,602		
		544	623	702	664	743	822	785	864	943	589	668	747	732	811	890	875	954	1,033	604	697	791	747	841	934	890	984	1,078		
		879	1,007	1,134	1,074	1,202	1,329	1,269	1,397	1,524	952	1,080	1,207	1,184	1,311	1,439	1,415	1,543	1,671	976	1,128	1,279	1,208	1,359	1,511	1,439	1,591	1,742		
		894	1,024	1,153	1,062	1,222	1,352	1,290	1,420	1,550	968	1,098	1,228	1,204	1,333	1,463	1,439	1,569	1,699	993	1,147	1,301	1,228	1,382	1,536	1,463	1,617	1,772		
		870	996	1,122	1,063	1,189	1,315	1,256	1,382	1,508	942	1,069	1,195	1,171	1,298	1,424	1,401	1,527	1,653	966	1,116	1,266	1,195	1,345	1,495	1,424	1,574	1,724		
		1,215	1,392	1,568	1,485	1,661	1,838	1,754	1,931	2,107	1,316	1,493	1,669	1,636	1,813	1,989	1,956	2,133	2,309	1,349	1,559	1,768	1,669	1,879	2,088	1,989	2,199	2,408		
		670	767	865	819	916	1,013	967	1,065	1,162	726	823	920	902	1,000	1,097	1,079	1,176	1,273	744	860	975	921	1,036	1,152	1,097	1,213	1,328		
		1,209	1,384	1,559	1,477	1,652	1,828	1,745	1,920	2,096	1,309	1,485	1,660	1,627	1,803	1,978	1,946	2,121	2,297	1,342	1,550	1,759	1,660	1,869	2,077	1,979	2,187	2,395		
		658	753	848	803	899	994	949	1,045	1,140	712	808	903	885	981	1,076	1,059	1,154	1,250	730	844	957	903	1,017	1,130	1,077	1,190	1,303		
		1,433	1,641	1,849	1,751	1,959	2,167	2,069	2,277	2,485	1,552	1,760	1,968	1,930	2,138	2,346	2,307	2,515	2,723	1,591	1,838	2,086	1,969	2,216	2,463	2,346	2,593	2,840		
		1,543	1,767	1,991	1,885	2,109	2,333	2,228	2,452	2,676	1,671	1,895	2,119	2,078	2,302	2,526	2,484	2,708	2,932	1,713	1,979	2,245	2,120	2,386	2,652	2,526	2,792	3,058		
		1,352	1,549	1,745	1,652	1,849	2,045	1,952	2,149	2,345	1,465	1,661	1,857	1,821	2,017	2,214	2,177	2,373	2,570	1,502	1,735	1,968	1,858	2,091	2,324	2,214	2,447	2,680		
		2,422	2,774	3,125	2,959	3,311	3,663	3,497	3,848	4,200	2,624	2,975	3,327	3,262	3,613	3,965	3,900	4,251	4,603	2,690	3,107	3,525	3,327	3,745	4,162	3,965	4,383	4,800		
		976	1,118	1,260	1,193	1,334	1,476	1,409	1,551	1,693	1,057	1,199	1,341	1,314	1,456	1,598	1,572	1,713	1,855	1,084	1,252	1,420	1,341	1,509	1,677	1,598	1,766	1,935		
		2,540	2,909	3,278	3,104	3,472	3,841	3,667	4,036	4,404	2,751	3,120	3,489	3,420	3,789	4,158	4,090	4,458	4,827	2,821	3,258	3,696	3,490	3,927	4,365	4,159	4,596	5,034		
		917	1,050	1,183	1,120	1,253	1,386	1,323	1,456	1,589	993	1,126	1,259	1,234	1,367	1,500	1,476	1,609	1,742	1,018	1,176	1,334	1,259	1,417	1,575	1,501	1,659	1,817		
		1,370	1,569	1,767	1,674	1,873	2,071	1,978	2,176	2,375	1,484	1,683	1,881	1,845	2,043	2,242	2,205	2,404	2,603	1,521	1,757	1,993	1,882	2,118	2,354	2,243	2,479	2,715		
		1,469	1,682	1,895	1,795	2,008	2,221	2,120	2,333	2,547	1,591	1,804	2,017	1,978	2,191	2														

## Appendix B

*Nedan presenteras MATLAB-koden som skrevs för att utföra den analytiska metoden. Först presenteras den huvudsakliga koden och därefter samtliga egendefinierade funktioner. Varje del separeras med %|sektionsnamn|–.*

```

%| Niklas Heffler | 09-04-2019 |-----
%| reqForceMatrix |-----
%-Clearing-----
clear all; clc;
%-----
res = zeros(49,27);
for n=1:27
%-Input-----
[ m, M ] = TGAutoMass( n );
[ x, z ] = avgCentroid( m, M );
[ x0, x1, x2, z0, z1, z2 ] = mntPnt();
xOrg = x0; zOrg = z0;

g = 9.82;          % gravitationskonstanten
opAng = 90;       % önskad öppningsvinkel
sf = 1.2;        % säkerhetsfaktor
spread = 50;     % testförflyttning av infästningar
%-----
[ Xini, Zini ] = makeLokOr( x, x0, x1, x2, z, z0, z1, z2 );

[Xini, Zini] = testPos(Xini, Zini, spread);

[ neoX1, neoZ1 ] = neoPos( Xini(:,3), Zini(:,3), opAng );
[ neoX, neoZ ] = neoPos( Xini(:,1), Zini(:,1), opAng );

X = [ neoX, Xini(:,2), neoX1, Xini(:,4) ];
Z = [ neoZ, Zini(:,2), neoZ1, Zini(:,4) ];

d = sqrt( ( X(:,4) - X(:,3) ).^2 + ( Z(:,4) - Z(:,3) ).^2 );
teta = acos((X(:,3) - X(:,4))./d);%+ pi/2;

[ f, F ] = forceKomp( m, g, X(:,1), X(:,3), Z(:,3), teta );
%-----
%-Output-----
resTemp = f;
res(:,n) = resTemp;
end

ff = 1.17;
res_wFactors_low = sf .* ff .* res;
ff = 1.30;
res_wFactors_high = sf .* ff .* res;

refForce = [ round(res(1,14)/2) , round(res_wFactors_low(1,14)/2)
            round(res(1,14)/2) , round(res_wFactors_high(1,14)/2);
            round(res(12,14)/2) , round(res_wFactors_low(12,14)/2);
            round(res(12,14)/2) , round(res_wFactors_high(12,14)/2);
            round(res(1,2)/2) , round(res_wFactors_low(1,2)/2);
            round(res(1,2)/2) , round(res_wFactors_high(1,2)/2) ];

l1 = sqrt( ( X(:,4) - X(:,3) ).^2 + ( Z(:,4) - Z(:,3) ).^2 );
l2 = sqrt( ( X(:,4) - Xini(:,3) ).^2 + ( Z(:,4) - Zini(:,3) ).^2 );

```

```

lDiff = l1-l2; lFrac = l1./l2;

glbCoordX = X(1,:) + xOrg;
glbCoordZ = Z(1,:) + zOrg;
X(1,:)
Z(1,:)
%-----
OrigoX=10;
OrigoZ=10;
width=700;
height=700;
set(gcf,'position',[OrigoX,OrigoZ,width,height])
xlabel(' [mm] '); ylabel(' [mm] ');
set(gca,'XLim',[-300 900])
set(gca,'XTick',(-400:100:1000))
set(gca,'YLim',[-700 500])
set(gca,'YTick',(-700:100:500))

hold on

scatter(X(:,2), Z(:,2), 100, '+', 'k');
scatter(X(:,2), Z(:,2), 50, 'o', 'k');
scatter(X(1,4), Z(1,4), 100, '+', 'b');
scatter(X(:,4), Z(:,4), 50, 'o', 'b');
scatter(X(1,1), Z(1,1), 50, 'k');
scatter(X(1,1), Z(1,1), 100, '+', 'k');
scatter(Xini(1,1), Zini(1,1), 50, 'k');
scatter(Xini(1,1), Zini(1,1), 100, '+', 'k');
scatter(X(:,3), Z(:,3), 50, 'b');
scatter(X(1,3), Z(1,3), 100, '+', 'b');
scatter(Xini(:,3), Zini(:,3), 50, 'b');
scatter(Xini(1,3), Zini(1,3), 100, '+', 'b');
scatter(Xini(36,4), Zini(36,4), 100, 'x', 'r');
scatter(Xini(46,4), Zini(46,4), 100, 'x', 'r');
scatter(Xini(47,4), Zini(47,4), 100, 'x', 'r');
xPlot = [Xini(21,3), X(21,4), X(21,3)];
zPlot = [Zini(21,3), Z(21,4), Z(21,3)];
plot(xPlot, zPlot, 'b');
xPlot = [X(21,3), Xini(21,3)]; zPlot = [Z(21,3), Zini(21,3)];
plot(xPlot, zPlot, 'k');
xPlot = [Xini(21,3), X(21,2), X(21,3)];
zPlot = [Zini(21,3), Z(21,2), Z(21,3)];
plot(xPlot, zPlot, 'k');
xPlot = [X(21,3), Xini(21,3)]; zPlot = [Z(21,3), Zini(21,3)];

hold off
%-----

%| TGAutoMass |-----

function [ m, M ] = TGAutoMass( n )

%-----
if n==1
    x = [2.9088; 7.0064]; %1cf2cf

```

```
elseif n==2
    x = [5.8177; 7.0064]; %2cf2cf
elseif n==3
    x = [8.7265; 7.0064]; %3cf2cf %
elseif n==4
    x = [2.9088; 10.51]; %1cf3cf
elseif n==5
    x = [5.8177; 10.51]; %2cf3cf
elseif n==6
    x = [8.7265; 10.51]; %3cf3cf %
elseif n==7
    x = [2.9088; 14.013]; %1cf4cf
elseif n==8
    x = [5.8177; 14.013]; %2cf4cf
elseif n==9
    x = [8.7265; 14.013]; %3cf4cf %
elseif n==10
    x = [2.9088; 8.3201]; %1cf2gf
elseif n==11
    x = [5.8177; 8.3201]; %2cf2gf
elseif n==12
    x = [8.7265; 8.3201]; %3cf2gf %
elseif n==13
    x = [2.9088; 12.48]; %1cf3gf
elseif n==14
    x = [5.8177; 12.48]; %2cf3gf %ref.
elseif n==15
    x = [8.7265; 12.48]; %3cf3gf %
elseif n==16
    x = [2.9088; 16.64]; %1cf4gf
elseif n==17
    x = [5.8177; 16.64]; %2cf4gf
elseif n==18
    x = [8.7265; 16.64]; %3cf4gf %
elseif n==19
    x = [3.4542; 8.3201]; %1gf2gf
elseif n==20
    x = [6.9085; 8.3201]; %2gf2gf
elseif n==21
    x = [10.363; 8.3201]; %3gf2gf %
elseif n==22
    x = [3.4542; 12.48]; %1gf3gf
elseif n==23
    x = [6.9085; 12.48]; %2gf3gf
elseif n==24
    x = [10.363; 12.48]; %3gf3gf %
elseif n==25
    x = [3.4542; 16.64]; %1gf4gf
elseif n==26
    x = [6.9085; 16.64]; %2gf4gf
elseif n==27
    x = [10.363; 16.64]; %3gf4gf %
end
%-----
M = [
```

```
x
0.24088
0.26153
0.99431
0.24088
0.26153
0.99431 % LH
0.0779224
0.079095
0.0779224
0.079095 % rib
0.08755
0.12116
0.1073
0.08755
0.12116
0.1073 % hinge
0.20464
0.20464 % plate
4.4445 % RW
];
```

```
%-----
```

```
m = sum(M);
end
```

```
%-----
```

```
%| avgCentroid |-----
```

```
function [ x, z ] = avgCentroid( m, M )
```

```
%-----
```

```
% centroid för bakluckan i x-led
```

```
X = [
6122.7 %TGext
6122.4 %TGint
6311.9
6158.8
6204.2
6311.9
6158.8
6204.2 %LH
5921.3
5919.5
5921.3
5919.5 %rib
5788.1
5781.0
5814.3
5788.1
5781.0
5814.3 %hinge
5964.8
```

```
5964.8 %plate
6162.6 % RW
];

% centroid för bakluckan i z-led
Z = [
1402.3 %TGext
1262.2 %TGint
1210.6
1117.1
1098.3
1210.6
1117.1
1098.3 %LH
1904.7
1894.0
1904.7
1894.0 %rib
1903.2
1888.6
1906.5
1903.2
1888.6
1906.5 %hinge
1348.4
1348.4 %plate
1556.5 %RW
];

%-----

% Viktad centroid för bakluckan i x-led
x = (1/m)*sum(X.*M);

% Viktad centroid för bakluckan i z-led
z = (1/m)*sum(Z.*M);

end

%-----

%| mntPnt |-----

function [ x0, x1, x2, z0, z1, z2 ] = mntPnt()

%-----

X = [5770.3, 6073.9 , 5864.7];    Z = [1923.3, 1348.5, 1850.9];

%-----

% Centroid för momentaxeln
x0 = X(1);    z0 = Z(1);

% Centroid för gasfjäders infästningspunkt till bakluckan
x1 = X(2);    z1 = Z(2);
```



```
% Centroid för gasfjäders infästningspunkt till karossen
x2 = X(3); z2 = Z(3);
```

```
end
```

```
%-----
```

```
%| makeLokOrg |-----
```

```
function [ X, Z ] = makeLokOr( x, x0, x1, x2, z, z0, z1, z2 )
```

```
X = [ x, x0, x1, x2 ] - x0;
```

```
Z = [ z, z0, z1, z2 ] - z0;
```

```
end
```

```
%-----
```

```
%| testPos |-----
```

```
function [ Xout, Zout ] = testPos( Xin, Zin, spread )
```

```
pos = spread*[ -1 ; 1 ];
```

```
%-X-----
```

```
X = ones(length(pos), 1)*Xin;
```

```
Xset = [
```

```
    X(1,:);
```

```
    X(:,1), X(:,2), X(:,3)+pos, X(:,4);
```

```
    X(:,1), X(:,2), X(:,3), X(:,4)+pos;
```

```
    X(:,1), X(:,2), X(:,3)+pos, X(:,4)+pos;
```

```
];
```

```
Xsupset = [
```

```
    Xset;
```

```
    Xset;
```

```
    Xset
```

```
];
```

```
%-Z-----
```

```
S = size(Xset);
```

```
Z = ones(S(1),1)*Zin;
```

```
n=1;
```

```
Z1 = [
```

```
    Z(:,1), Z(:,2), Z(:,3)+pos(n), Z(:,4);
```

```
    Z(:,1), Z(:,2), Z(:,3), Z(:,4)+pos(n);
```

```
    Z(:,1), Z(:,2), Z(:,3)+pos(n), Z(:,4)+pos(n);
```

```
];
```

```
n=2;
```

```
Z2 = [
```

```
    Z(:,1), Z(:,2), Z(:,3)+pos(n), Z(:,4);
```

```
    Z(:,1), Z(:,2), Z(:,3), Z(:,4)+pos(n);
```

```
Z(:,1), Z(:,2), Z(:,3)+pos(n), Z(:,4)+pos(n);  
];
```

```
%-Xout&Zout-----
```

```
Xout = [ Xset ; Xsupset ; Xsupset ];  
Zout = [ Z ; Z1 ; Z2 ];
```

```
end
```

```
%-----
```

```
%| neoPos |-----
```

```
function [ neox, neoz ] = neoPos( x, z, opAng )
```

```
r = dist(x, z);  
alpha = -atan(x./z);  
phi = opAng.*(pi/180);  
neox = r.*cos(phi+alpha-pi/2);  
neoz = r.*sin(phi+alpha-pi/2);
```

```
end
```

```
%-----
```

```
%| forceKomp |-----
```

```
function [ f, F ] = forceKomp( m, g, x, y, z, v )
```

```
f = (x.*m.*g)./(y.*sin(v) - z.*cos(v));
```

```
f1 = f.*cos(v);  
f2 = f.*sin(v);
```

```
F = [ f1, f2 ];
```

```
end
```

```
%-----
```

## Appendix C

*Detta appendix innehåller ett Gant-schema. Syftet är att illustrera skillnaden mellan planerad tidsåtgång och faktisk tidsåtgång.*

*Som kan ses nedan underskattades den nödvändiga tiden för att preparera den virtuella modellen av bakluckan kraftigt. Det syns även ett återkommande fält för simuleringarna av bakluckan. Simuleringarna fick återupptas efter att felaktigheter som gjorde de tidigare resultaten opålitliga upptäckts.*

