

CHALMERS



Förstudie till omkonstruktion av dragbalkssystem

Pilot study to redesign of drawbeam system

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom Maskinteknik 180HP

Anders Sandegård

Howan Chau

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik

Avdelning för Avancerad oförstörande provning

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sweden, 2016

Examinator: Gert Persson Examensarbete No. 151/2016

FÖRORD

Detta examensarbete som omfattar 15 högskolepoäng är utfärdat vid Chalmers Tekniska Högskola på det treåriga programmet maskinteknik av totalt 180 högskolepoäng. Arbetet har utförts i form av en studie tillsammans med VBG Group AB i Vänersborg. Utöver VBG Group har även Altair Engineering bistått med stöd i form av licens till användbar programvara.

Ett stort tack vill vi tillägna handledare Miso Kalliokorpi på VBG Group för sitt industritekniska kunnande och sitt goda stöd under arbetets gång.

Vi vill även rikta ett tack till Gert Persson på institutionen för Material- och Tillverkningsteknik som varit en mycket stöttande och bra handledare genom hela projektet.

I övrigt vill vi tacka Jonas Rhenström på VBG Group och Joakim Lindholm på Altair Engineering.

Göteborg Maj 2016

The image shows two handwritten signatures in black ink. The signature on the left is 'Howan Chau' and the signature on the right is 'Anders Sandegård'. Both signatures are written in a cursive, flowing style.

Howan Chau och Anders Sandegård

SAMMANFATTNING

VBG Group AB är ett världsledande företag inom utveckling och tillverkning av säkra och innovativa kopplingssystem för att koppla ihop lastbilar med släp. Från kopplingen via det så kallade dragbalksystemet överförs laster till rambalkarna på lastbilen.

Vid tillverkning av dragbalksystemen skär man med laser ut bitar av stål från större stålplåtar. Dessa bitar kall- och varmbearbetas för att tillslut bli färdiga delar som sedan ihopmonteras till färdig produkt redo att fästas mellan rambalkarna på lastbilen.

Vid laserskärning ur stålplåt blir det mycket spillmaterial som skickas till återvinning vilket leder till en del onödiga kostnader för företaget. För att undvika dessa kostnader är man nu intresserad av att undersöka om det finns alternativa konstruktionsmetoder än dagens befintliga.

För att studera alternativa konstruktionsmetoder har Howan Chau och Anders Sandegård under våren 2016 analyserat och utvärderat möjligheterna till omkonstruktion av dagens dragbalkssystem, gärna genom att använda någon form av kontinuerlig materialprofil.

VBG Group är lokaliserat i Vänersborg men största delen av arbetet har utförts på Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg. Arbetet omfattar en förstudie av omkonstruktion till dragbalk för att uppnå minimering av tillverkningskostnader.

Vid studierna kom man fram till att massiva cirkulära stänger är den materialprofil som i dagsläget skulle vara lättast att använda. Detta vid omkonstruktion där kontinuerlig materialprofil kan användas.

Resultaten ger indikation på framtida svårigheter vid omkonstruktion. T.ex. finns det svårigheter att lösa de spänningsförhöjningar som alltid uppstår kring knutpunkter.

Vidareutveckling av resultaten skulle kunna öppna upp för viktminimering. Till följd av det väntas minskning av bränsleförbrukning samt minskad mängd stålspill vid tillverkning. Detta skulle alltså kunna generera lägre tillverkningskostnader.

ABSTRACT

VBG Group AB is a world leading company developing and manufacturing reliable and innovative coupling systems that connects the truck to its trailer. The analyzed component of the coupling system is called draw-beam system. A research about using some continuous material profile will be made.

Trucks are subjected to different kinds of loads alone from driving, thus today's coupling systems are designed to manage the loads with extra consideration to brittle failure and fatigue failure. Reduction in price and weight are two variables that prioritize highly in order to maintain their competitiveness in the industry. In order to lightening the weight, unnecessary parts that do not carry significant loads are removed, leaving us with unused waste material.

The laser cutting process is the main technique used for today's design, unless a new design is introduced. Inspired by the frame of cars and bamboo scaffolding used in the construction industry, this report strives to investigate whether or not an implementation of this combination of lightweight and high strength ideas to a draw-beam system is possible. The main idea was to replace some or all material with tubes.

For further investigations, Howan Chau and Anders Sandegård have during the fall of 2016 analyzed and evaluated the possibilities in a redesign of today's draw-beam system using tubes. Emphasis have been put into a redesign, restricted by what is obtainable with current techniques used in the manufacturing process.

Hypothetically a successful redesign would lower both the manufacturing price and weight, preferably providing a higher strength. To verify whether or not the realization of this idea is possible, studies were conducted covering several areas, including analyzing the rigidity and tensile stiffness to confirm that the tube offers the best combination of both weight and strength. We concluded that relative its mass, beams with massive circular cross sectional areas had the best combination of high strength and low weight, thus it is chosen

Throughout the project we noticed some major problems in our concept including the connecting points mentioned earlier but also around the attachments to the vehicle. Our suggestion for future studies is to look deeper into how to solve the problem of where the beams connect and the problem surrounding the attachments to the vehicle

Innehållsförteckning

BETECKNINGAR	1
1. INLEDNING	2
1.1 Bakgrund	3
1.2 Syfte	4
1.3 Avgränsningar	4
1.4 Precisering av frågeställningen	4
2. METOD	6
2.1 Informationssökning	6
2.2 Konkurrentanalys (Benchmark)	6
2.3 Kravspecificering	6
2.4 Konceptgenerering	6
2.4.1 Topologioptimering	6
2.4.2 Reverse engineering (RE)	7
2.4.3 Brainstorm	7
2.4.4 Beräkningar av profil	7
2.4.5 Materialprofileliminering	7
2.4.6 Frihandsskissning	7
2.4.7 Konceptmodellering i CATIA V5	8
3. RESULTAT	9
3.1 Informationssökning	9
3.2 Konkurrentanalys (Benchmark)	13
3.3 Kravspecificering	14
3.4 Konceptutveckling	15
3.4.1 Topologioptimering	15
3.4.2 Reverse engineering (RE)	15
3.4.3 Brainstorm	16
3.4.4 Beräkningar av profil	16
3.4.5 Materialprofileliminering	18
3.4.6 Frihandsskissning	18
3.4.7 Konceptmodellering i CATIA V5	19
4. SLUTSATS	24
5. DISKUSSION	25
6. REFERENSLISTA	27

BETECKNINGAR

CAD	Computer Aided Design, verktyg för 3D-modellering
RE	Reverse engineering
MATLAB	Programvara för matematiska och tekniska beräkningar
K_v	Vridstyvheten [m^4]
K_{1c}	Materialkonstant för sprödheten
EI	Böjstyvhet [Nm^2]
σ	Spänning [Pa]
τ	Skjuvspänning [Pa]

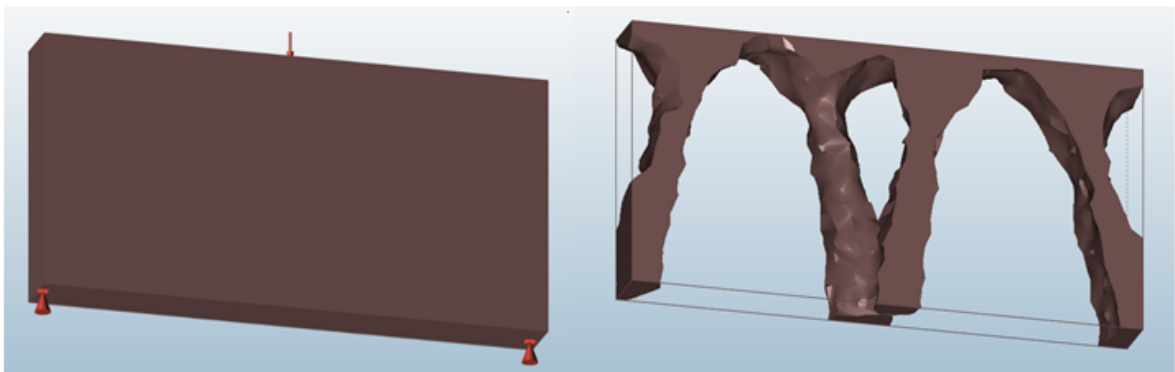
1. INLEDNING

VBG Group är intresserade av att se om man kan optimera dagens dragbalkskonstruktioner och tillverkningsmetoder. I dagsläget blir det mycket stålspill vid tillverkning. Idag fraktas stålplåt från tillverkare till VBG Group där de sedan laserskärs. Efter laserskärningen tar man vara på nödvändigt material och skrotar överskottet. Vid tillverkning blir kostnaderna för detta onödigt stora då det blir mycket spillmaterial [1].

Sedan ett antal år har programvaror för topologioptimering funnits, vars uppgift är att ur en lastutsatt konstruktion plocka bort opåverkat material som inte fyller någon väsentlig funktion [2].

Verktyget genererar modeller som är teoretiskt ideala och ger användaren inblick i hur en konstruktion kan se ut, *se figur 1.1*. I detta generella fall har konstruktionen stödpunkter i de två nedra hörnen och en last på mitten av ovansidan. Opåverkat material elimineras och kvar blir de viktigaste delarna för att konstruktionen ska hålla.

Dessa modeller får man sedan bearbeta till koncept som är möjliga att tillverka. Verktyget är relativt nytt men idén har funnits länge. Man kan tänka sig det forntida hjulet av hel skiva där man senare upptäckte att ekrar istället kunde användas och att man på så sätt kunde ta bort onödigt material och minimera vikt [3].



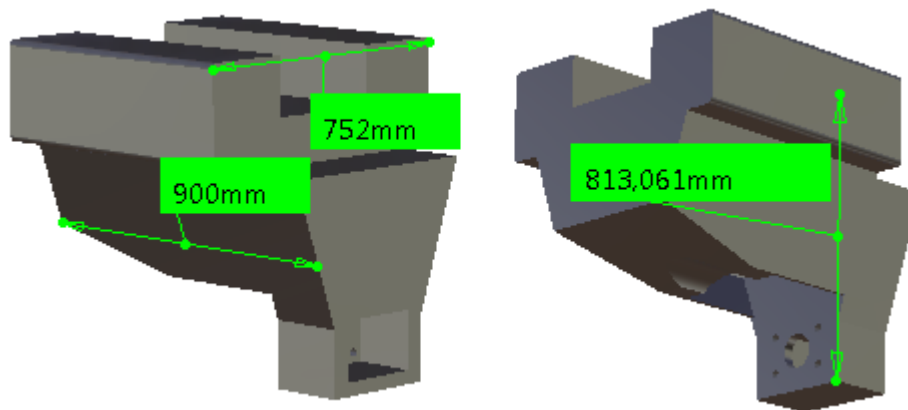
Figur 1.1: En lastutsatt konstruktion som är topologioptimerad för viktminimering.

VBG Group är även intresserad av hur olika typer av kontinuerliga profiler hade lämpat sig vid tillverkning av dragbalksystem, så som olika slags rörprofiler eller balkar. Detta för att minimera vikt och underlätta vid tillverkning men även för att minimera mängden spillmaterial som sedan får skrotas.

I samråd med handledaren Miso Kalliokorpi på VBG Group har vissa avgränsningar av projektet bestämts för att inte analysen ska bli för bred. Det har bestämts att:

- Endast dragbalksystem monterade på insidan rambalkar behandlas.
- Konstruktionsmaterialet är bundet till att vara stål.
- Eventuella knutpunkter behandlas ej.

- Spänningsnivåer ska hamna under den nivå som gör att materialet utmattas vid utmattningsprovning. Enligt en gammal tumregel brukar en konstruktion kunna motstå utmattning vid rent växlande laster om den utsätts för spänningar mindre än en tredjedel av brottgränsen [4]. En specifik stålsort bland SSAB:s sortiment har en brottgräns på $570\text{-}760\text{MPa}$ [5]. En tredjedel av den spänningen ger ett intervall på $190\text{-}250\text{MPa}$. Konstruktionen dimensioneras mot att understiga dessa spänningsnivåer. Målsättning blev att hamna under 190MPa från de laster konstruktionen utsätts för
- Önskemål om att konstruktionen ska vara praktiskt tillverkningsbar och anpassad för serietillverkning.
- Spänningar från dragbalkssystemets ihopsättning med fästplatta för koppling analyseras ej
- Hålla nykonstruktion inom given konstruktionsvolym för ett innermonterat dragbalkssystem enligt figur 1.2. I figuren illustreras de viktigaste måtten som begränsar konstruktionen i längd, bredd och höjd.



Figur 1.2 Två vyer av samma konstruktionsvolym

1.1 Bakgrund

Då VBG Group är ett världsledande företag inom utveckling och tillverkning av säkra och innovativa kopplingsystem vill man ligga i framkant när det gäller studier och analyser av nya konstruktioner [6]. Konkurrenter arbetar ständigt med egen utveckling för att lyckas ta marknadsandelar av VBG Group. Man ser därför denna undersökning som en liten del i ett långsiktigt projekt i att behålla sin position som världsledande inom sin bransch.

Eftersom VBG Group ständigt är intresserade av att stärka sin produktion, har man uttryckt intresse i att se över om man kan minimera den mängd stålspill som idag uppstår vid serietillverkning. Överblivet skrot från tillverkning av dragbalkssystem anser man idag blir en onödigt stor kostnad.

Det dragbalkssystem som sitter mellan lastbil och släp utsätts för vridmoment och spänningar i olika riktningar vid körning. Vid optimering strävar man efter att nå en konstruktion som klarar lastkrav och är så hållfast som möjligt i förhållande till dess vikt. Detta förhållande kan påverkas av material men även av konstruktion och design.

Eftersom VBG Group inte är efterfrågar en materialutvärdering så är det optimering av dess konstruktion som kommer att studeras ytterligare.

Man kan i ett topologiprogram läsa in en solid CAD-modell som fyller ut precis de måttramar konstruktionen måste hålla sig inom. Med hjälp av programvaran kan man därefter låta överflödigt material elimineras från konstruktionen samtidigt som kopplingen kan förbli hållfast nog att klara av de laster kopplingen utsätts för. Denna optimering görs oftast med någon given säkerhetsfaktor för att lägga sig lite över gränsen för hur mycket material konstruktionen enligt topologin behöver ha kvar.

Topologioptimeringsmodellen är oftast inte tillämpad för tillverkning då en konstruktion måste följa den optimerade modellen exakt för att klara av de lasterna den är utsatt för. Istället används topologioptimering som ett verktyg för att få inblick i hur en optimerad konstruktion skulle kunna se ut. Den används alltså vidare som inspiration.

1.2 Syfte

Uppdraget går ut på att undersöka om det med någon kontinuerlig konstruktionsprofil är möjligt att göra en omkonstruktion, för att skapa ett dragbalksystem som inte får lika höga mängder onödigt spill i form av skrot. Omkonstruktionen önskas behålla eller optimera egenskaper i form av styrka, styvhet, utmattningsresistens och eventuellt vikt. En undersökning görs för att se ifall konstruktion av någon kontinuerlig stålprofil är möjlig och vilka eventuella åtgärder som behöver tilltas för att lyckas. Studien öppnar upp för vidare problem som en omkonstruktion för med sig, där studier och analyser i framtiden hoppas kunna leda till nya prototyper.

1.3 Avgränsningar

Projektet avser att endast analysera innermonterade dragbalkssystem och inte lastbilsrambalkar eller själva kopplingen. Mått för infästning av koppling mot dragbalksystem skall vara standardiserade. Enligt lagkrav ska stål användas och någon materialvalsutvärdering kommer inte att göras. För att underlätta för VBG Group ska material i möjligaste mån vara enligt grossisters standardsortiment. För att inte överskrida måttgränser är det bestämt att VBG Groups befintliga generella CAD-modell ska användas som måttreferens för att inte överskriva några mått. Vid problem kring den nya konstruktionen, t.ex. möjlighet att förbinda rör med varandra har en fördjupad studie inom det inte genomförts. Konstruktionen är avgränsad till att vara praktiskt genomförbar med etablerade tillverkningsmetoder som samtidigt är lämpade för serietillverkning, så som bockning, skärning svetsning etc. Inte heller har några ekonomiska hänsynstaganden gjorts.

1.4 Precisering av frågeställning

Hypotes: Det är fullt möjligt att genomföra en omkonstruktion där rör tillämpas och minskning i tillverkningskostnad kommer vara ett faktum. Eftersom rören är ihåliga antas viktreducering också vara ett resultat av omkonstruktionen.

Däremot kan knutpunkter där rören förgrenas bli de mest spänningsutsatta delarna av konstruktionen.

För att verifiera hypotesen kommer en utredning genomföras på huruvida rörtillämpning är möjligt och i så fall vad rören ska ha för dimensioner för att klara av lastkraven. Man bör även undersöka ifall rör är det bästa alternativet utifrån de laster dragbalkssystemet är utsatt för. Andra intressanta kontinuerliga profiler som är aktuella och som är tillgängliga på marknaden är t.ex. massiva cirkulära stänger, massiva kvadratiska stänger, kvadratiska rör mm.

2. METOD

Det har varit viktigt vid att försöka få produktutvecklingen att bli så effektiv som möjligt. För att effektivisera har olika steg av produktutvecklingen stakats ut och under detta kapitel omfattas i kronologisk ordning alla de metoder som har använts. Varje metod beskrivs mer noggrant under deras respektive delkapitel. Resultaten utav alla metoder redovisas under kapitel 4.

2.1 Informationssökning

Informationssökning med funktionsanalys tillämpades i startskedet för att se vilka behov som fanns [7]. Målet var att få en helhetsuppfattning av funktioner samt problem och utifrån det kunna spekulera vidare kring lösningar. Den direkta informationskällan var VBG Group. De har i detalj beskrivit funktionen på dagens kopplingssystem. Därefter har man försökt att så kort och koncist som möjligt formulera problem kring konstruktionen och dess tillverkningsmetoder [7]. För att få en fördjupning i hur tillverkningen fungerar, har ett antal studiebesök gjorts på företaget. Data och information kring funktioner samt tillverkningsmetoder kunde sedan erhållas för vidare studier.

2.2 Konkurrentanalys (Benchmark)

En konkurrentanalys genomförs för att få insikt om hur marknaden ser ut, vilka möjligheter man har och i vilka riktningar man kan och inte kan arbeta vidare inom [7]. Detta genomfördes genom internetsökningar och genom information från VBG Group.

2.3 Kravspecificering

En kravspecifikation sammanställdes ihop med VBG Group [7]. Detta för att tydliggöra vad konstruktionen måste klara och vad man eventuellt vill förbättra. Med hjälp av den kan eventuella konstruktioner som inte klarar kraven sorteras bort.

2.4 Konceptgenerering

Konceptgenerering är ett kapitel som är indelat i flera underkapitel. Eftersom koncepten gradvis har blivit genererade i olika steg, med hjälp av olika metoder kommer dessa steg att redogöras under varje avsnitt.

Verktyg som har använts är brainstorm, topologioptimering, frihandsskissning, 3D-modellering och FEM-analys med CATIA V5. Med dessa har koncept gradvis visualiserats och förbättrats och blivit mer och mer anpassade för en eventuell framtida tillverkning.

2.4.1 Topologioptimering

Med hjälp av de laster och spänningar som en dragbalkskonstruktion blir utsatt för och med givna måttspecifikationer hade VBG fått ett innermonterat dragbalkssystem färdigoptimerat [2]. Denna optimering skapades med avseende på viktminskning. Från denna optimeringsmodell har material reducerats och endast de mest nödvändiga delarna av komponenten bevarats.

En topologioptimering är en ideal konstruktion och är generellt inte tillverkningsvänlig då den kan få geometrier som är för komplicerade för praktisk tillverkning. Denna färdiga topologimodell användes istället som grund för vidare konceptgenerering. Till exempel vid brainstorming eller inspiration.

2.4.2 Reverse engineering (RE)

Genom att bryta ner ett kopplingssystem i små delar kunde man analysera dess funktioner och geometrier för att sedan identifiera komponenter eller geometrier som var möjliga att utveckla och vilka restriktioner som man bör hålla sig till [7]. Detta gav grund till vilka begränsningar som finns. En brainstorm med information baserat på våra analyser gjorde brainstormingen mer effektiv då många praktiskt omöjliga förslag föll bort tidigt.

2.4.3 Brainstorm

Det fanns olika varianter av brainstorm men grundtanken är att generera många olika och kreativa lösningar till befintliga problem. Målet är att kunna generera en första ansats till lösning som i slutskedet av brainstorm blir ett preliminärt koncept. Tillsammans med handledare på företaget har kompetens, erfarenhet och personligheter beblandats. Brainstorm användes redan från informationssökningsstadiet till dess att det var dags att eliminera koncept [7].

2.4.4 Beräkningar av profil

För att komma fram till vilken typ av kontinuerlig profil man skulle kunna använda gjordes handberäkningar i hållfasthet med hjälp av beräkningsprogramvaran MATLAB där böjstyvhet, vridstyvhet, och vikt jämfördes [8].

2.4.5 Materialprofileliminering

Ett urval gjordes mellan massiv cirkulär konstruktionsprofil och massiv kvadratisk profil. Man jämförde dessa med varandra med avseende på böjstyvhet EI och vridstyvheten K_v . Drag- och tryckspänningar σ , samt skjuvspänningar τ är beroende av tvärsnittsarea så för dessa spänningar gjordes ingen ytterligare jämförelse [8]. Detta eftersom det i dessa fall medför att större tvärsnitt ger lägre drag-, tryck- och skjuvspänningar.

Aktuella kandidater diskuteras utifrån hur lämpliga de är och en vinnande profil väljs.

2.4.6 Frihandsskissning

När okvalificerade profiler har eliminerats används den vinnande profilen i de första frihandsskissade konstruktionerna. Frihandsskissning användes för att kunna visualisera idéer och koncept. Tvådimensionell visualisering har underlättat vid kommunikation under tidigt stadiet av konceptgenerering. Det har mestadels används för att spara tid vid diskussion av små frågetecken. Efter en frihandsskiss har det funnits bra underlag för att

fortsätta CAD-modellera med hjälp av programvaran CATIA V5 för att skapa tredimensionella geometrier.

2.4.7 Konceptmodellering i CATIA V5

Frihandsskissning är begränsat till tecknarens skicklighet. Därför blev mer avancerade idéer eller koncept svåra att åskådliggöra. Verktuget CATIA V5 gjorde det möjligt att skapa komplicerade geometrier som samtidigt uppnådde mycket hög noggrannhet och skalenlig måttsättning.

Med hjälp av CATIA V5 kan ritningar skapas som sedan kan skapa tredimensionella modeller av. Sedan kan beräkningar, FEM-analyser, animeringar mm. framställas.

I FEM-analyserna användes *STATIC ANALYSIS* med *SIZE 10mm* och *SAG 2mm* genomgående för att få en entydig jämförelse.

Beräkningar och analyser användes under konceptutveckling och gav inblick i vad som var bra och mindre bra och kan sedan lätt justeras i CATIA V5. Optimeringar gjordes också med avseende på tillverkningsbarheten. Med hjälp av analyser elimineras olämpliga konstruktioner och en första bortsortering har skett.

3. RESULTAT

Under detta resultatkapitel redogörs resultaten av genomförda metoder.

Under studien lades det vikt vid att försöka få produktutvecklingen att bli så effektiv som möjligt. För att effektivisera har produktutvecklingen skett i olika steg och under detta kapitel omfattas i kronologisk ordning alla de metoder som har använts och deras resultat.

3.1 Informationssökning

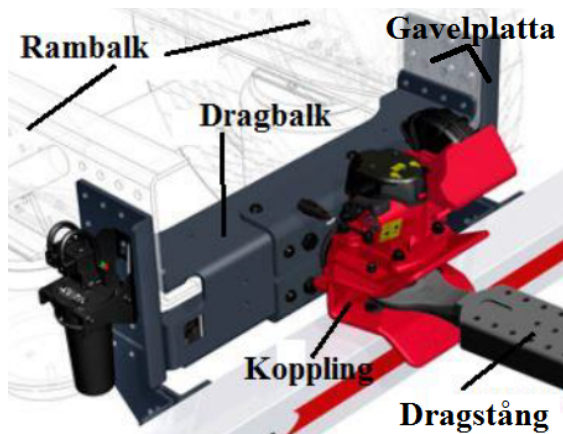
Den informationssökning som tillämpades i startskedet av projektet gick ut på att så snabbt och effektivt som möjligt sätta sig in i arbetet kring kopplingssystemen. En del egen informationssökning i form av fältstudier startades upp men mestadels bistod VBG Group med utförliga förklaringar. Fältstudierna gick ut på att titta på och studera lastbilskopplingar.

Målet med sökningen av att få en helhetsuppfattning av funktioner och problem gick relativt snabbt att uppfylla. Lastbilskopplingens funktion är att vara kopplingspunkt mellan lastbil och släp på liknande sätt som dragkrok är kopplingspunkt för släp till bil. Se släp till lastbil i *figur 3.1*. Dragstång eller dragarm som det också kan kallas är markerad i figuren.



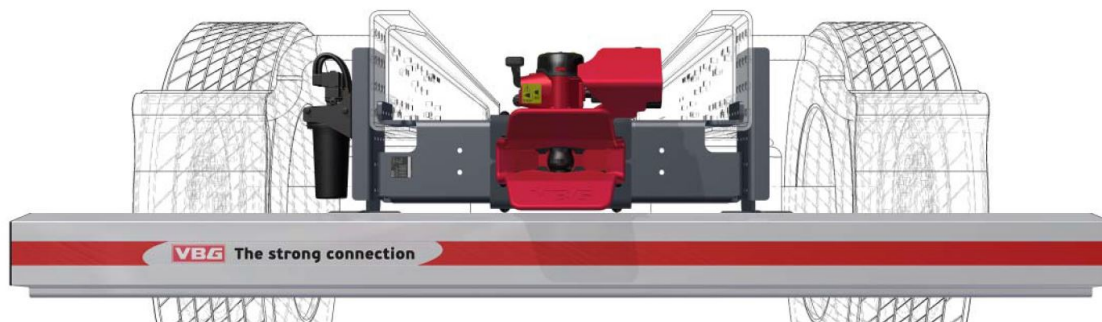
Figur 3.1 Lastbilssläp med dragstång

I *figur 3.2* syns ett kopplingssystem monterat på utsidan rambalkarna med påkopplad dragstång (dragarm) vidare till släp [6]. Kopplingssystemet på lastbilen låter laster från släpet föras över till lastbilens rambalkar. Inbromsning, svängning, samt höjdnivåskillnader från vägunderlag bidrar alla till att krafter leds vidare till lastbilens rambalkar.



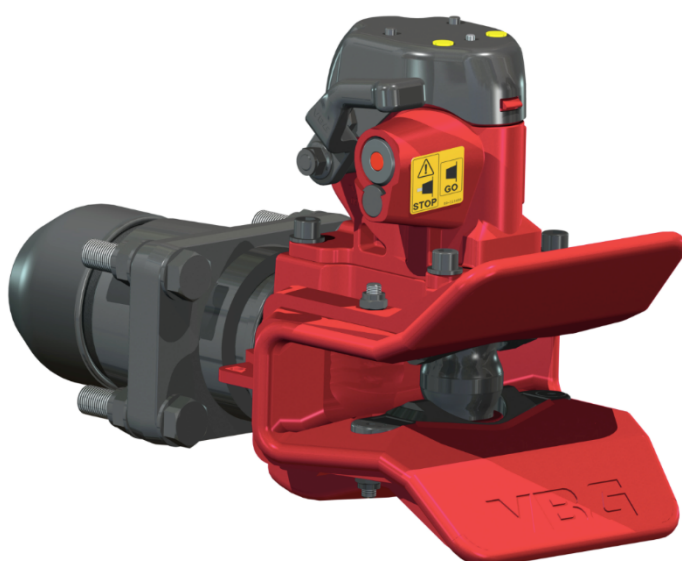
Figur 3.2 Komplet system monterat på lastbils rambalkar

Vidare i *figur 3.3* syns ett kopplingsystem rakt bakifrån utan påkopplad dragstång till släp. Även i denna figur är kopplingsystemet monterat på utsidan rambalkarna. Kopplingsystem kan monteras antingen på insidan eller på utsidan rambalkarna. I *figur 3.3* är de alltså monterade på utsidan.



Figur 3.3 Kopplingsystem sett bakifrån monterat på rambalkarna

I *figur 3.4* syns själva kopplingen med den karakteristiska "fångmunnen". Kopplingen avses inte att analyseras [9].



Figur 3.4 Koppling med karakteristisk "fångmun"

Figur 3.5 och *figur 3.6* visar två varianter av den så kallade dragbalken. Dragbalkar kan se ut på olika sätt beroende på vad man efterfrågar [10] och [11].



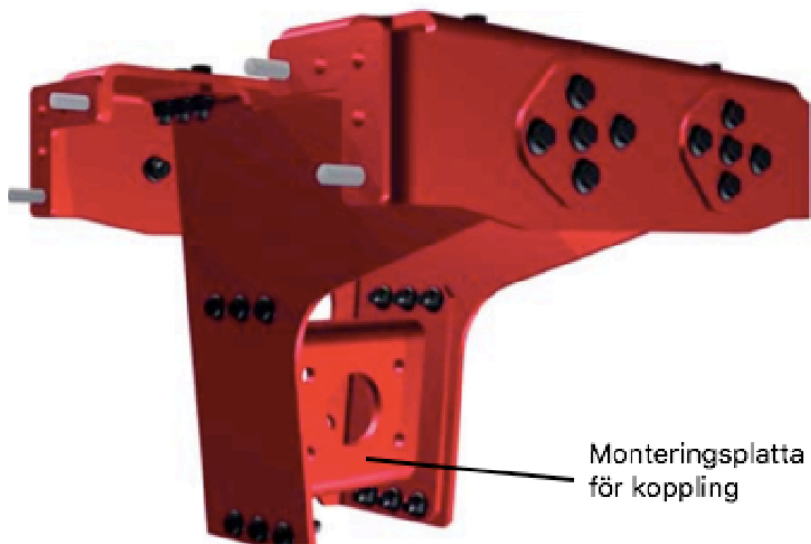
Figur 3.5 Dragbalk utan koppling anpassad för underliggande montage



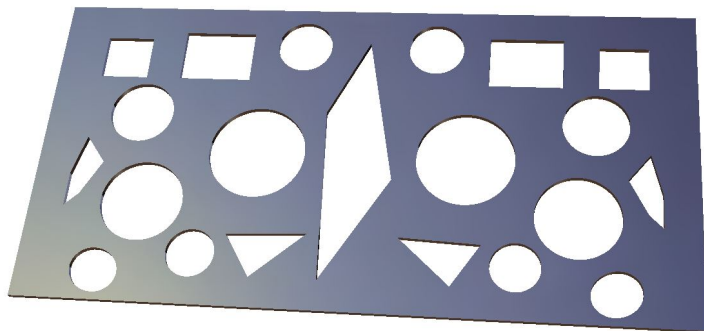
Figur 3.6 Dragbalk utan koppling för framflyttad och lågt monterad koppling

Figur 3.7 visar ett dragbalkssystem med en monteringsplatta för koppling som är både inskjuten och nedsänkt [10]. Denna typ av dragbalkssystem har fördelar med att man kan få släpet närmare lastbil utan att riskera att släpet ska ta i lastbil vid svängning men även att man kan få ner kopplingspunkten om man har en dragstång som är lågt placerad på släpet. Dragstången vill man nämligen ha horisontellt liggande för att undvika böjspänningar.

Dragbalkssystem är tillverkade av bitar som är laserskurna ur större stålplåtar. Vid denna laserskärning blir det spillmaterial likt det spill man kan se i referensbilden i *figur 3.8*. De riktiga plåtarna utnyttjas maximalt så det bli svårt att få ner mer spill genom omplacering av de utskurna bitarna. Utskuret material tas tillvara för olika typer av bearbetning innan man monterar till färdiga dragbalkssystem medan överblivet material skrotas. VBG Group har uttryckt att detta spill blir en onödigt stor kostnad vid serietillverkning.

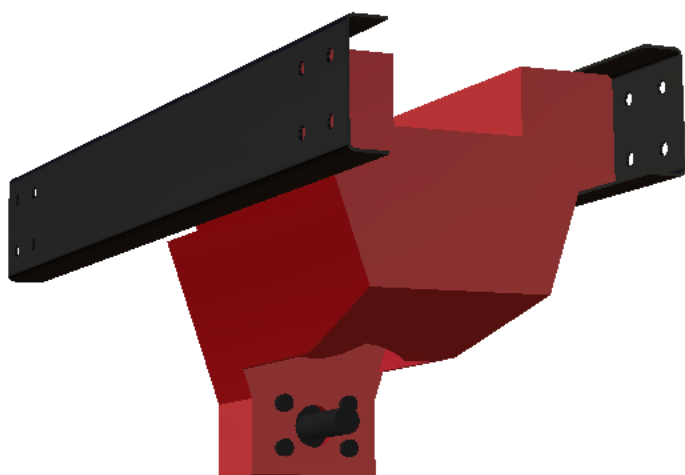


Figur 3.7 En variant av framflyttad och lågt monterat dragbalkssystem



Figur 3.8 Illustration av hur spillmaterial kan se ut efter laserskärning

VBG Group hade möjlighet att dela med sig av en generell solidmodell av ett innermonterat dragbalkssystem. Detta för att ungefär visa vilka måttgränser som man skulle hålla sig inom, se figur 3.9. Axeltappen nere i figuren motsvarar kopplingen.



Figur 3.9 Solidmodell av dragbalkssystem innermonterat på rambalkar

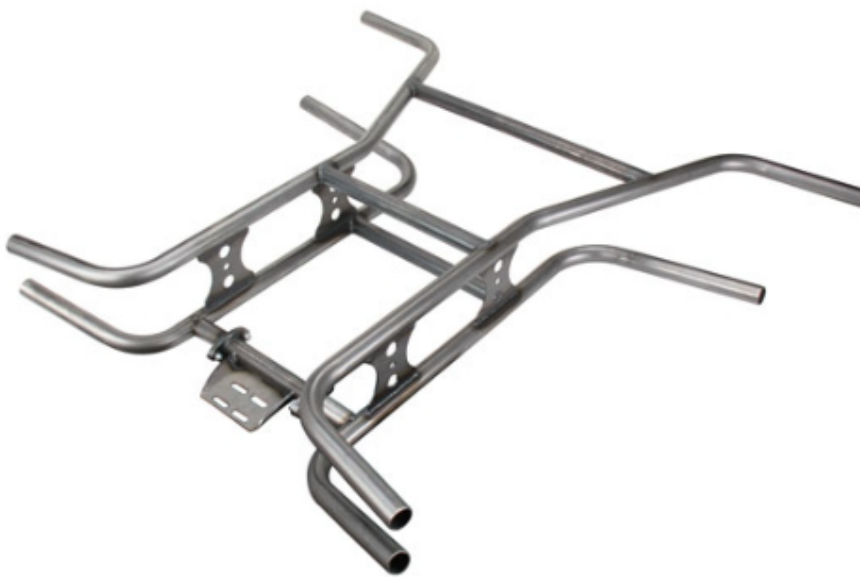
VBG Group hade med hjälp av programvaran *SolidThinking Inspire 2016* för topologioptimering gjort en optimering av den solida modellen. Av sekretesskäl visas

istället en generell topologioptimerad modell i *figur 1.1*. Den optimerade dragbalksmodellen är anpassad för att klara lastkraven, se lastkrav i *kapitel 3.3*.

Med hjälp av informationen ovan från VBG Group fanns en bra grund att jobba vidare på. Den direkta informationskällan var hela tiden VBG Group. De har i detalj beskrivit funktionen på dagens kopplingsystem.

3.2 Konkurrentanalys (Benchmark)

Det söktes runt på internet efter produkter liknande VBG Groups dragbalkar. Konkurrenter har i stort sett likadana dragbalksystem när det kommer till hur konstruktionerna ser ut. Istället gick det att finna inspiration i olika typer av rörkonstruktioner likt tvärbalksystemen från Speedway Motors Incorporation, USA i *figur 3.10* [12]. Men även i Progressive Automotive Incorporation, USA i *figur 4.11* som är till för att förstärka upp ramen på bilar [13].



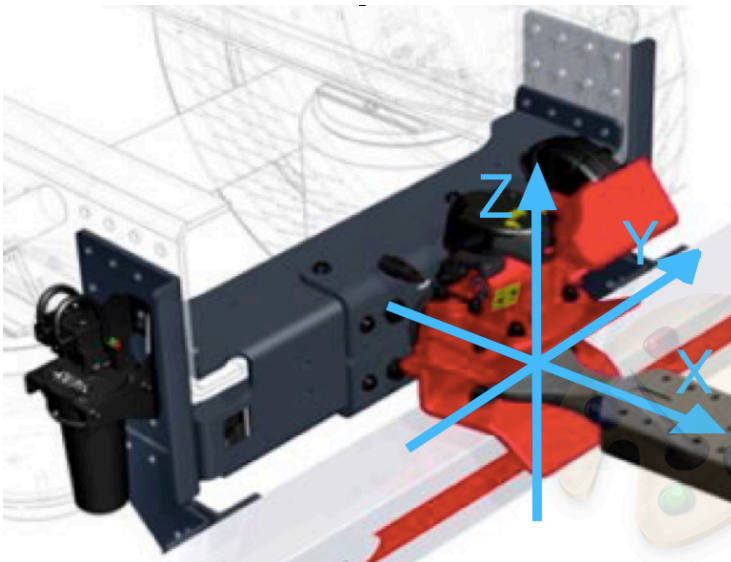
Figur 3.10 "Tubular X-beam from Speedway Motors Incorporation"



Figur 3.11 Tubiskt tvärbalksystem från Progressive Automotive Incorporation

3.3 Kravspecificering

En kravspecifikation sattes samman ihop med VBG Group. Detta för att tydliggöra vad konstruktionen måste klara och vad man eventuellt vill förbättra. Det bestämdes att: Konstruktionsmaterial ska vara stål, då det är ett lagkrav [14]. Att materialet är stål medför automatiskt flera goda konstruktionsegenskaper så som exemplet att materialkrypningar inte uppstår över tid men även att man får ett material som är kall- och varmbearbetbart. Dock kommer alltid materialkvaliteten påverkas av olika efterbehandlingar så som svets, bock och laserskärning.



Figur 3.12 Illustrerar lasternas riktningar

Det är även lagkrav på att konstruktionen ska klara laster från utmattningsprovning för minst 2.000.000 cykler. Laster går in i kopplingspunkten mellan dragstång och

koppling. Origo i koordinatsystem är placerat i kopplingspunkten *se figur 3.12*. Det är fyra olika lastfall i kopplingspunkten som produkten ska klara av, *se tabell 1*:

Lastfall:	Kraft i X-riktning [N]	Kraft i Y-riktning [N]	Kraft i Z-riktning [N]
1	81000	-	35000
2	81000	-	-55000
3	-81000	-	35000
4	-81000	-	-55000

Tabell 1. Lastfall enligt lagkrav

Det blir växlande last vilket är det värsta ur utmattningssynpunkt [4]. För att materialet ska klara utmattningskraven kan det alltså inte vara för sprött utan måste vara segt nog.

Sprödbrott får inte inträffa, hög brottseghet K_{IC} efterfrågas. Stål brukar ha ett K_{IC} inom intervallet $50-150 Nm^{-3/2}$ [7]. Stålsorten har alltså relativt stor betydelse.

Materialet ska även gå att ytbehandla för att förlänga livslängden genom att minska korrosion och småskador från eventuella stenskott och liknande. Men eftersom VBG Group i dagsläget inte är intresserade av materialbyte så är detta för studien mindre intressant.

3.4 Konceptutveckling

Koncept har börjat tas fram och utvecklas efter olika steg. Resultat redogörs var för sig under sitt respektive kapitel. De verktyg som använts är brainstorming, topologioptimering, frihandsskissning, CATIA V5 och slutligen FEM-analys.

3.4.1 Topologioptimering

VBG Group hade med hjälp av programvaran *SolidThinking Inspire 2016* för topologioptimering gjort en optimering av den solida innermonterade dragbalkssmodellen.

Topologioptimeringen skapades med hjälp av de lastfall som dragbalkssystemet utsätts för, *se tabell 1*. Ytterligare sekretessbelagda randvillkor låg också till grund för hur topologimodellen skapades. Vid viktminskning hade material eliminerats och endast de mest nödvändiga delarna av komponenten bevarats. Av sekretesskäl visas endast en generell figur på hur en topologioptimerad modell kan se ut *se figur 1.1*.

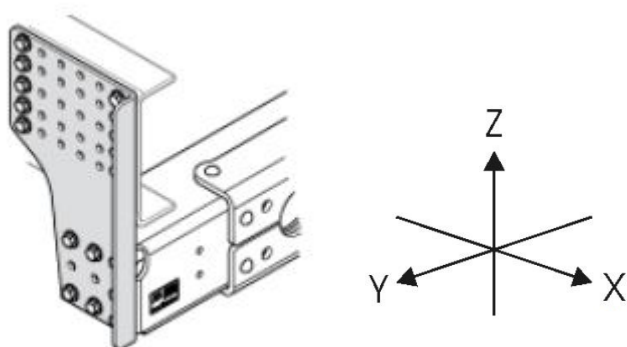
Den modell man fick ta del av är inte så tillverkningsvänlig då den har en geometri som är aningen komplicerad för att enkelt tillverkas. Detta eftersom denna modell har relativt många knutpunkter. Modellen används istället som inspiration för vidare konceptgenerering.

3.4.2 Reverse engineering (RE)

Efter att ha studerat de ingående komponenterna i kopplingssystemet, och i detalj ha studerat dragbalkssystemet har man kunnat analysera dess funktioner och dess geometri för att sedan identifiera vad som är möjligt att utveckla.

I konstruktionen som visas i *figur 3.13* utnyttjas skruvförband för montering. Förbandet är mer flexibelt och gör det mer resistent mot utmattning.

Fastsättningen är även väl förstärkt i X-riktningen vilket ger konstruktionen styvheten i det ledet. Gavelplattorna är alltså av sin form bra på att ta upp moment som uppstår av krafter i X- och Z-led, men mindre bra i Y-led.



Figur 3.13 Illustration över skruvförband samt illustration över riktning på materialförstärkning.

3.4.3 Brainstorm

Vid försök att generera många olika och kreativa lösningar har det poppat upp blandade idéer. Många har förkastats efter insikt om att de inte kommer klara kraven. Eftersom VBG Group har uttryckt ett intresse i att se om man kan omkonstruera för att minimera mängden stålpill från laserskurna stålplåtar har man vidare i arbetet haft i åtanke att försöka undvika den konstruktionsmetoden. Detta för att ge VBG Group så mycket nyttigt information som möjligt om alternativa metoder.

Eftersom VBG Group även har uttryckt intresse i att studera rörkonstruktioner har brainstormingen mest kretsats kring olika former av sådana lösningar. Inspiration har tillhandahållits från *Benchmark*, *Informationssökning* och ur *Topologioptimering*. Efter inspiration från topologin har olika rörprofiler diskuterats, men även ifall materialet ska ha hålprofil eller ej. Det bestämdes att enkla handberäkningar görs för att komma fram till vilken profil som är mest lämplig att använda, se *kapitel 3.4.4*. Vid diskussion bestämdes att FEM-analyser i CATIA V5 får påverka en slutlig rekommendation av konstruktion.

Dessa idéer följde sedan med till nästa process där beräkningar avgör hur realistiska de olika materialprofilerna är.

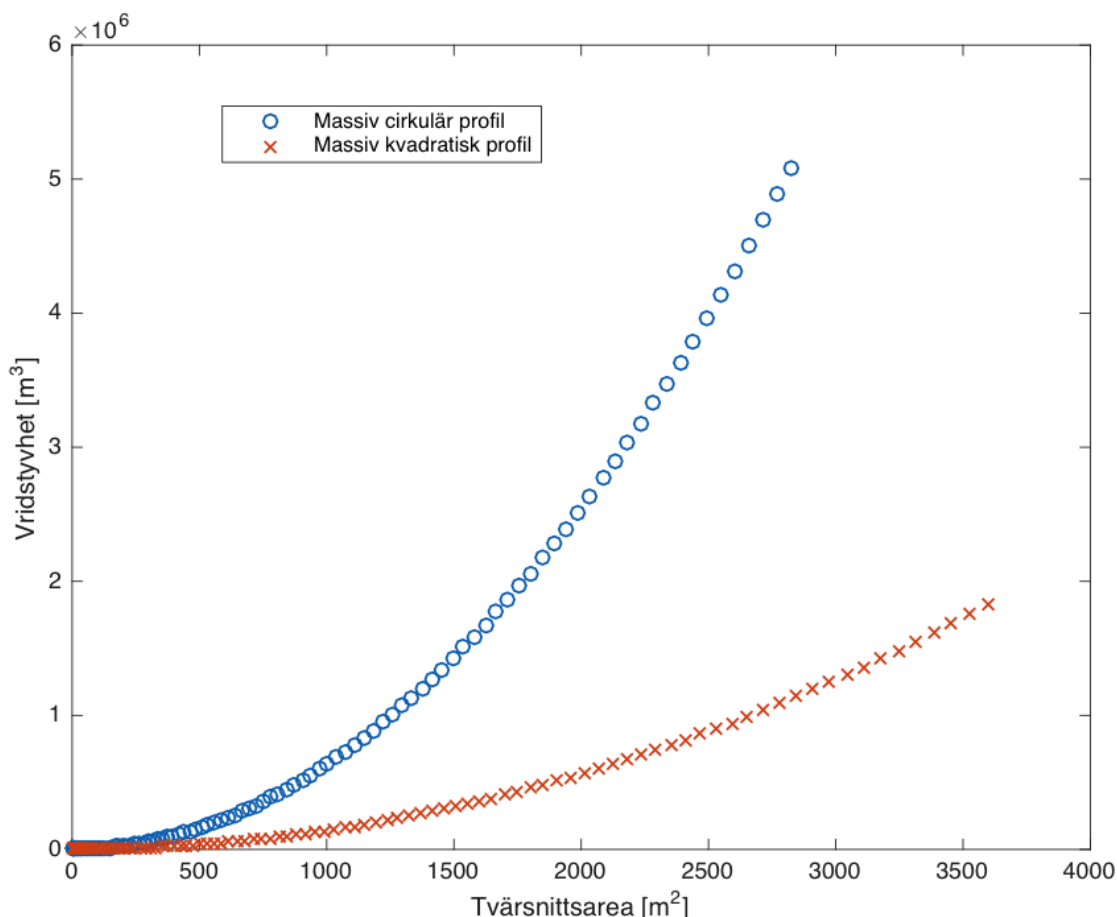
3.4.4 Beräkningar av profil

Eftersom drag-, tryck-, och skjuvspänningar är helt beroende av tvärsnittsarean medför det att profiler med en stor tvärsnittsarea t.ex massiva profiler kan få ner dessa typer av spänningar. Målet var att skapa en konstruktion som klarar lastkraven och i detta skede gjordes därför endast en jämförelse mellan massiva profiler. Hålprofiler är mer av viktoptimeringsproblem eftersom de har större resistans mot olika typer av spänningar i förhållande till dess densitet. Detta tas detta upp mer under diskussionskapitlet. För att avgöra vilken massiv profil som var bäst lämpad gjordes beräkningar i MATLAB, se grafer i *figur 3.14* och *figur 3.15*, samt *bilaga 1* med MATLAB-kod. Här beräknas

vridstyvhet och böjstyvhet på cirkulär och kvadratisk massiv profil eftersom det utöver drag-, tryck-, och skjuvspänningar även utsätts för dessa.

Först valdes att studera vridstyvhet i förhållande till tvärsnittsarea där massa sedan är direkt beroende av tvärsnittsarea, längd och densitet. Ökad tvärsnittsarea ger alltså ökad massa.

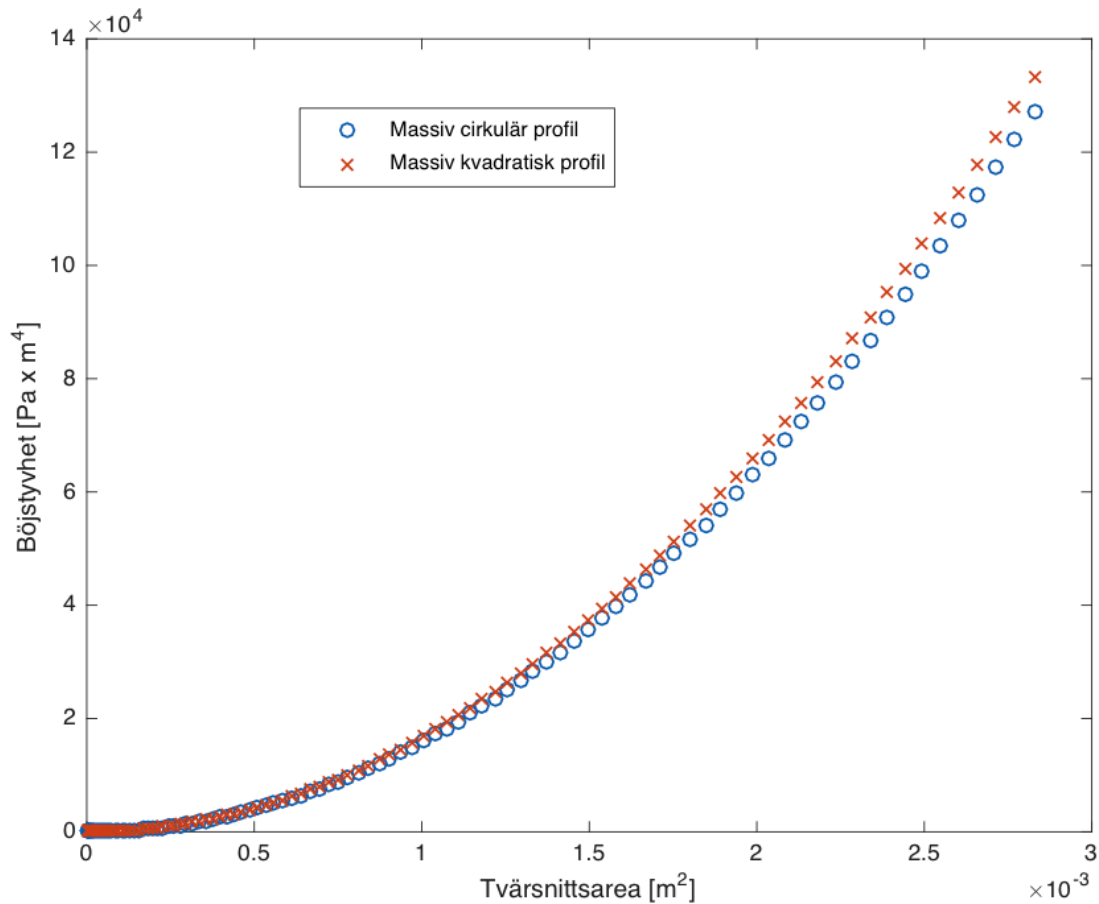
Enligt *figur 3.14* har vridstyvhet i förhållande till tvärsnittsarea plottats. Man kan alltså se vilken av de två profilerna som har högst vridstyvhet i förhållande till dess vikt. Man vill alltså ha en profil långt upp till vänster i diagrammet. Detta motsvaras alltså bäst av de runda profilerna.



Figur 3.14 Graf över vridstyvhet i förhållande till tvärsnittsarea på materialprofiler

I *figur 3.15* jämförs böjstyvhet i förhållande till tvärsnittsarea mellan massiv cirkulär profil och massiv kvadratisk profil. För att jämföra förhållandet gjordes en graf. Vid lika tvärsnittsarea, har ju även här profilerna lika stor massa per längdenhet. Vid jämförelsen syns att profilerna i stort sett har identisk böjstyvhet.

Ur de gemensamma beräkningarna framkommer det alltså att cirkulär profil totalt sett har bättre hållfasthet. Dock skulle kvadratisk profil kunna vara bättre ur konstruktionshänseende så länge de inte utsätts för vridningar. Detta eftersom en kvadratisk profil endast har plana ytor till skillnad från cirkulär profil.



Figur 3.15 Graf över böjstyvhet i förhållande till tvärsnittsarea på materialprofiler

3.4.5 Materialprofileliminering

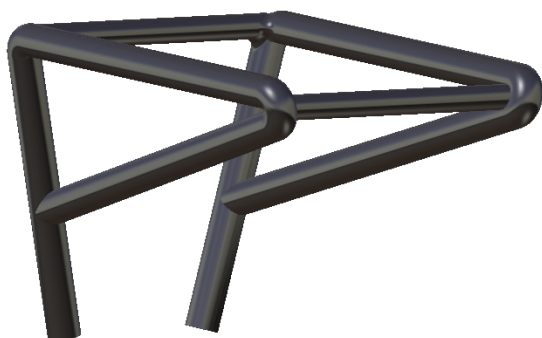
Kvadratisk och cirkulär profil jämfördes med varandra med avseende på böjstyvhet EI och vridstyvheten K_v . De har olika geometriska för- och nackdelar. Den cirkulära profilen motstod vridspänningar bäst medan den kvadratiske skulle kunna vara lättare att använda ur konstruktionssynpunkt på grund av sina plana ytor. Dock var ett första mål att lyckas göra en konstruktion som klarar spänningsnivåer under $190MPa$ vid FEM-analyser [4]. Eftersom cirkulär profil totalt sett hade högre resistans mot olika typer av spänningar så valdes den för att tillsviare arbeta vidare med. Vid optimering skulle det åter kunna vara intressant att studera kvadratisk profil.

3.4.6 Frihandsskissning

Efter att ha kommit fram till att cirkulära profiler i detta stadie var det bästa alternativet, applicerades dessa stänger i de första frihandsskissade konstruktionerna. Frihandsskissning har mestadels använts för att visualisera idéer och koncept. 2D-visualisering har underlättat vid kommunikation under konceptgenerering. Det har mestadels används för att spara tid vid diskussion av små frågetecken och som stöd vid 3D-modellering. Denna metod har använts under olika stadier i arbetet och har varit enkel att använda. Dock är det inget som har dokumenterats eftersom det inte har genererat till något resultat.

3.4.7 Konceptmodellering i CATIA V5

Den allra första versionen av modellen hade ett utseende enligt *figur 3.16*. Tanken med konstruktionen var att få den att vara styv. Den var även inspirerad av topologioptimeringsmodellen. Många tankar ägnades åt huruvida den var tillverkningsvänlig. Modellen var symmetrisk och varje halva av konstruktionen är bockad till en enhet. Dessa förgrenas sedan med två tvärgående stänger som även ska funka som förstärkning. Problemet med denna version var att få till en bra fästytta vidare mot kopplingen.



Figur 3.16 En första tredimensionell CAD-modell utan fästytta

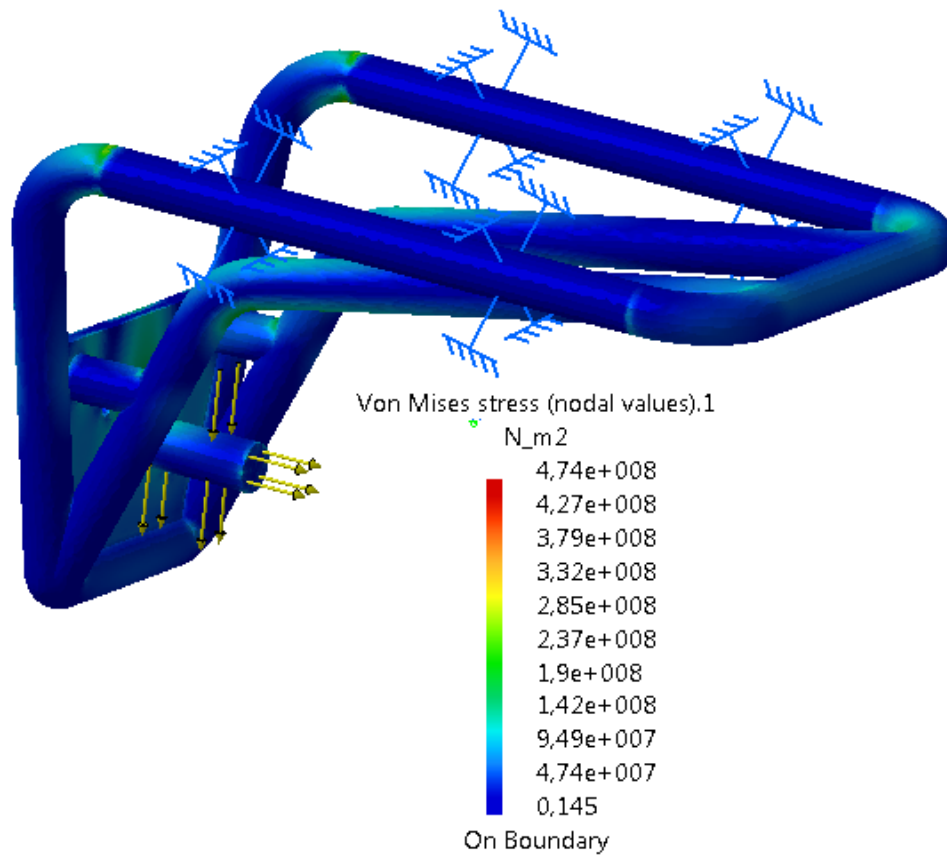
Modellen utvecklades successivt med genom modifikationer i CATIA V5, se *figur 3.17*. Stag drogs om och denna nya konstruktion gav möjlighet att få dit en fästplatta med axeltapp som var behövt för att kunna göra verklighetstroga FEM-analyser. Axeltappen motsvarar kopplingen. I denna nya konstruktion kunde bockningsradierna på stängerna minskas för att inte behöva ha så skarpa krökar.



Figur 3.17 En vidareutveckling av modellen, nu med fästytta och axeltapp

I CATIA V5 har det varit möjligt att göra FEM-analyser. *Figur 3.18* illustrerar en FEM-analys på modellen. I analysen kunde man se att spänningarna helt klart var för höga för att det ska kunna hålla mot utmattning. Målsättningen på 190MPa var helt klart överskriden på flera ställen där man hamnar på en bra bit över 190MPa . Med hjälp av animeringar av hur konstruktionen rör sig vid de olika lastfallen har svagheter kunnat identifieras.

I FEM-analyserna användes *STATIC ANALYSIS* med *SIZE 10mm* och *SAG 2mm* genomgående för att få en entydig jämförelse.



Figur 3.18 Förenklad FEM-analys av tidigt koncept enligt lastfall 2

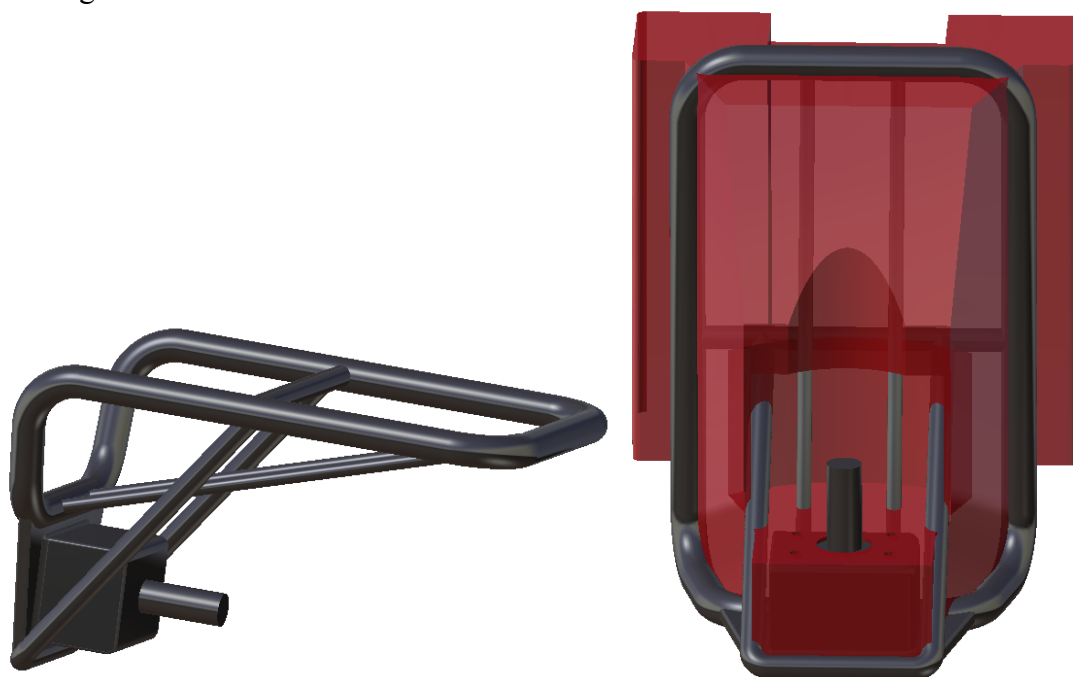
För att få ner spänningsnivåer i rörkrökarna gjordes tester där man prövade att förstärka upp dessa områden med stag, se *figur 3.19*. Stagen har satts ut med avseende på att få ner de höga spänningar som uppvisades i krökarna i föregående konstruktion. Spänningar gick ner men nya analyser och ny animering bekräftade att det fortfarande var kritiska områden som behövde förstärkas upp, t.ex plattan för fastsättning.



Figur 3.19 En förstärkt modell med stag

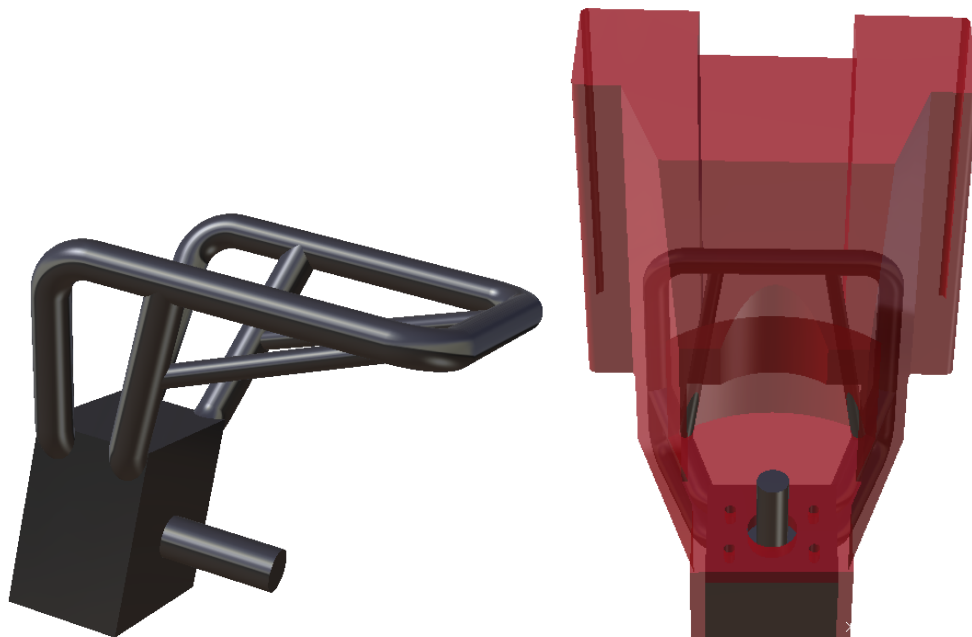
På grund av fortsatta problem med för höga spänningar i föregående konstruktion enligt *figur 3.19* så modifierades denna modell. En relativt stor förändring skedde eftersom

modellen som var förstärkt med stag upplevdes vara komplex i sin utformning och antogs inte bli så tillverkningsvänlig. En ny konstruktion skapades där önskad spänningsnivå uppnåddes. Men eftersom modifieringar gjordes utan hänsyn till volymrestriktionen resulterade det till att den hamnade utanför sina måttbegränsningar se *figur 3.20*. Till vänster i figuren är konstruktionen för sig självt och till höger är konstruktionen sammansatt med den aningen transparenta volymbegränsningen. Man kan se att konstruktionen har överskridit måtten och hamnat utanför volymbegränsningen. Vidare var det därför viktigt att ha även det i åtanke vid justeringar i konstruktionen.



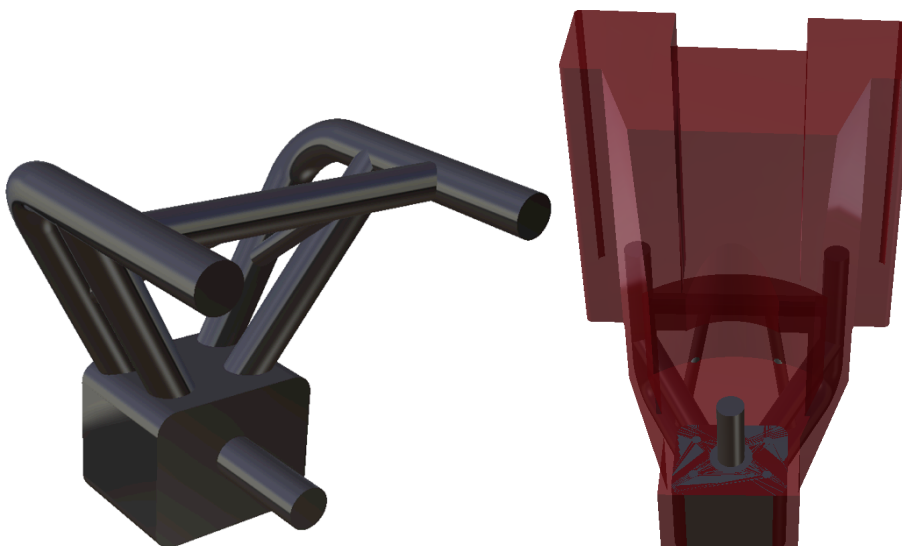
Figur 3.20 Modell efter ett antal modifieringar tillsammans med volymrestriktionen

Analyser och animeringar gav indikation på vilka förbättringar som kunde göras och efter analyser och omkonstruktioner fick vi fram en modell som nästan helt håller sig innanför de givna måttrestriktionerna och samtidigt har spänningar under 190MPa . I *figur 3.21* kan man se modellen. I figuren syns det att större delen ligger innanför, dock går de diagonalt gående momentupptagande stagen lite utanför vilket kan ses till höger i figuren.



Figur 3.21 Föregående modell efter ett antal modifikationer

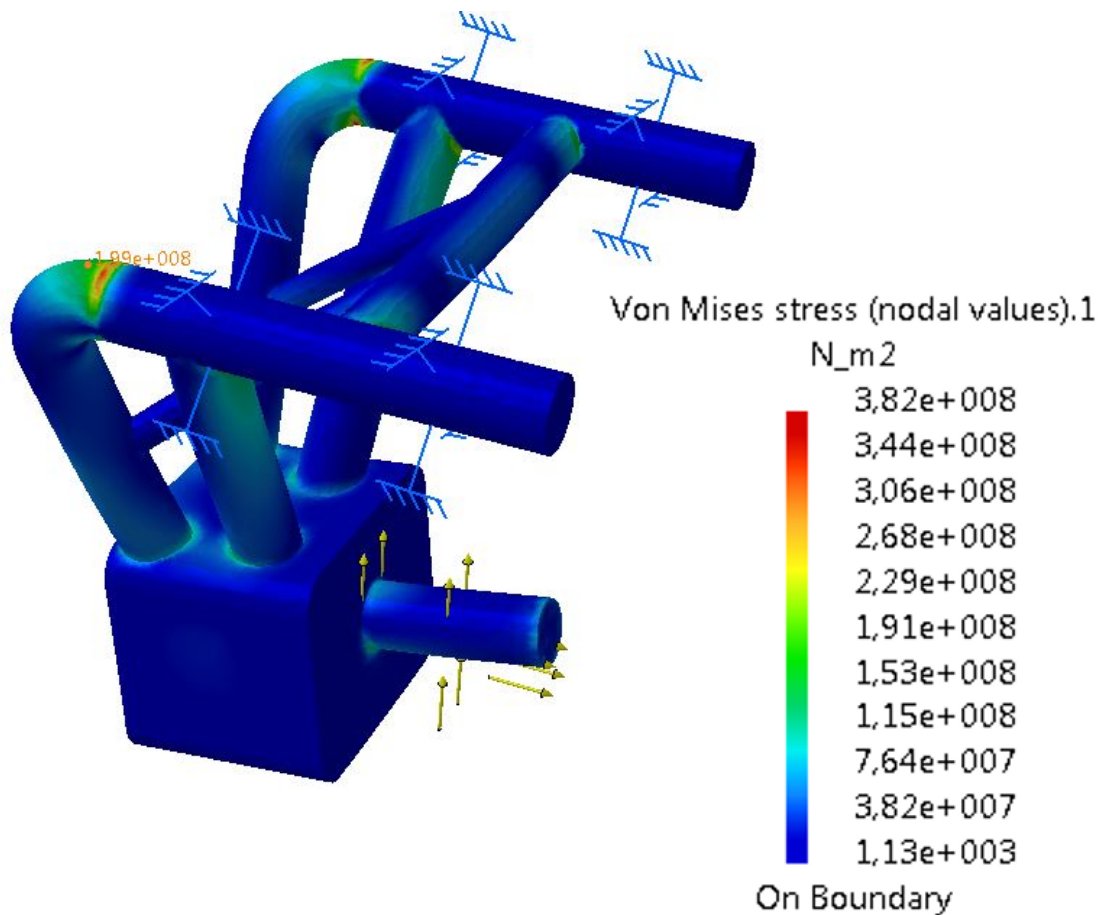
För att klara spänningsmålsättningen och samtidigt hålla måttrestriktionerna behövde ytterligare ändringar göras. Stångdiametern, stånglängder, vinklar mm fick justeras. Efter många justeringar fram och tillbaks lyckades man tillslut hamna helt innanför måttrestriktionerna samtidigt som spänningsnivåerna kunde hållas tillräckligt låga. Detta är ett förslag på en kombination av vinklar, mått och diametrar som fungerar men det finns säkert många fler kombinationer som skulle kunna fungera minst lika bra eller kanske till och med bättre. I figur 3.22 kan man se slutkonceptet där 60mm är stångdiametern och de mindre stagen har diametern 40mm.



Figur 3.22 Bild på slutkoncept och slutkoncept tillsammans med volymbegränsning

I figur 3.23 kan man se hur konstruktionen har spänningar under 190MPa undantagsvis krökarna som får förhöjningar på grund av brister i CATIA V5. Spänningsförhöjningarna som uppstår blir så pass stora då de hamnar precis intill fastsättningarna i CATIA V5. Eftersom fastsättningarna i programmet sitter oändligt

hårt fast så medför detta att de element närmast bli väldigt högt påkända. Analysen i figuren är utsatt för *lastfall 2*, som var mest kritiskt för konstruktionen. Enligt avgränsningar behandlas inte knutpunkter *se kapitel 1.3*. Det är nu alltså endast vid dessa områden som spänningar överstiger maxspänningen på 190MPa . Slutkoncept har en egenvikt på $98,5\text{kg}$ vilket kan jämföras med modellen i *figur 3.7* som har en egenvikt på 125kg . *Se bilaga 2-5* för fler analysbilder av övriga lastfall. Dock får man beakta att detta koncept inte har några färdiga fastsättningar mot rambalkar, så där kommer det att tillkomma ytterligare vikt.



Figur 3.23 FEM-analys av slutkoncept enligt lastfall 2

4. SLUTSATS

Det har visat sig att det blir svårt att skapa dragbalkssystem med endast rörprofiler. Detta eftersom en enkelt utformad rörkonstruktion inte klarar av lasterna enligt lagkrav.

Med denna omkonstruktion önskar man behålla eller få optimerade egenskaper i form av styrka, styvhet, utmattningsresistens och eventuellt minskning i vikt. Dock är slutkonceptet inte FEM-analysjämfört med befintliga dragbalkar. Utifrån det kan man dra slutsats att de befintliga konstruktionerna i dagsläget är mer rekommenderade ur hållfasthetssynpunkt just för att studien inte är färdig.

Ur ett materialspillsperspektiv skulle man kunna tänka sig att slutkonceptet har lägre mängd spill. I teorin kan man köpa in färdiga stänger som man kan kapa och bocka som man vill och överblivet spillmaterial blir mycket litet.

Slutkonceptet vi har tagit fram kan användas som inspiration för vidareutveckling där diverse parametrar kan experimenteras på nytt.

I valet av konstruktionsprofil gjordes handberäkningar på massiva profiler eftersom de oftast har bättre egenskaper så länge egenskaperna inte ställs i förhållande till massa per längdenhet. Drag- och tryckspänning är helt beroende av tvärsnittsarea och vid jämförelse mellan rör och stång med samma ytterdiameter har ett rör alltid mindre tvärsnittsarea. Av den anledningen valdes i detta skede av studien tillsvidare massiv cirkulär profil.

FEM-analys bekräftade att det i nuläget av studien kan bli svårt att tillämpa rör vid omkonstruktion enligt våra CAD-modeller. Detta eftersom rör generellt är för svaga för att det ska hålla mot de stora spänningar konstruktionen utsätts för. Detta indikerar att rörkonstruktioner inte kommer klara av det utmattningskrav som finns [4]. Om man är intresserad av andra konstruktionsprofiler rekommenderas i nuläget i så fall istället att man använder massiva cirkulära stänger. Dessa med fördel i vridstyvhet och resistens mot böj-, drag- och tryckspänningar. Det skulle kunna finnas möjlighet att använda rör på vissa ställen där spänningsnivåerna är låga men skulle man genomgående vilja ha rör bör konstruktionen behöva många förstärkningar vilket medför att antalet knutpunkter behöver ökas. Det alternativet valdes bort på grund av att man vill ha en konstruktion som är så tillverkningsvänlig som möjligt för serieproduktion.

Det har upptäckts att många olika parametrar i konstruktionen kommer att påverka hållfastheten, t.ex. stångdimensioner, bockningsradier, infästningar, knutpunkter, konstruktionens utformning med mera.

5. DISKUSSION

I förstudien undersöktes två massiva kontinuerliga profiler och man har kommit fram till att cirkulära massiva stänger var mest lämpade för vårt koncept idag. Detta på grund av dess höga vridstyvhet jämfört med fyrkantiga massiva profiler. Dock fanns det brister i undersökningen. Den kvadratiske profilen eliminerades endast på grund av den låga vridstyvheten men ingen hänsyn har tagits till att kvadratiske profiler kunde vara bättre lämpade för delar av konstruktionen där den inte utsätts för någon form av vridning. Heller har ingen tid avsatts till att vidare utreda hur kvadratiske profiler i olika dimensioner skulle kunna användas i konstruktionen. I FEM-analyserna experimenterades det endast med cirkulära rör och stänger i olika radier, detta för att hitta något som skulle klara av målsättningen för spänningarna som uppstod vid belastning enligt lastkraven.

Hur ser framtiden ut för tillämpning av olika kontinuerliga profiler i dragbalkssystem? Stark tro finns på att en kombination av rör och stång i olika profiler kan ge en låg vikt med god styvhet och tillverkningsbarhet. Det är värt att forska vidare på hur knutpunkterna ska hanteras. Löser man det finns det stor möjlighet att slutkonceptet blir bra i framtiden då de största problemen är kring knutpunkterna som i dagsläget kan antas att det löses med hjälp av svetsar. Dock finns det en stor kvalitets-spridning i svetsar, av den anledningen vill man också studera andra lösningar vidare. Förslagsvis skulle man eventuellt kunna utnyttja någon form av T-koppling i kombination med skruvförband se *figur 5.1* [15]. Tekniken används idag för statiska laster och dessutom finns inte t-kopplingarna tillgängliga i önskade mått. Det är av intresse att undersöka t-kopplingars applicerbarhet i dragbalkssystem.



Figur 5.1 T-koppling i kombination med skruvförband från Theofil Carlsson AB

För problem med knutpunkter finns det även andra tillverkningsmetoder som skulle kunna ge en lösning på detta. Gjutning är ett exempel på hur man skulle kunna hantera problemet. Skulle det gå att få ner tillverkningskostnad på gjutning hade det absolut vart intressant att studera detta vidare. Dock finns det även här problem med spridning i materialkvalité pga. inneslutna materialdefekter och ytdefekter som skulle behöva efterbehandlas. Det kan också bli problem med härdning av en gjuten detalj.

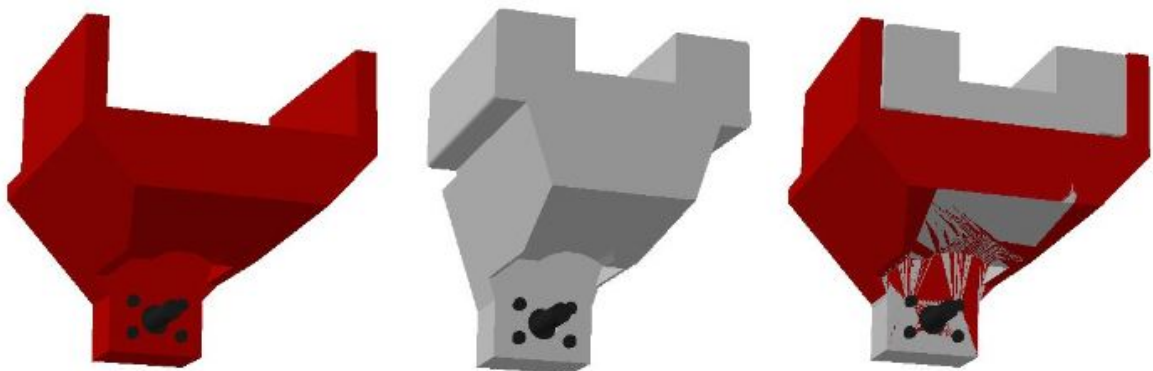
3D-printning med pulvermetallurgi skulle i framtiden eventuellt kunna bli både kostnadseffektivt och smidigt och kan därför senare vara en lämplig metod att använda. I *figur 5.2* kan man se en 3D-printad motorcykel som väger 35kg. Med hjälp av ny

teknik ser framtiden ljus ut för tillverkning av även lite större komplicerade geometrier i kombination med lättvikt [15]. Dock är säkert 10-30 år kvar innan man är där.



Figur 5.2 3D-printad motorcykel från Airbus Group

Enligt måttrestriktioner för dragbalkssystemet kan dessa delas upp i en yttermonterad och en innermonterad volym. Arbetet har endast behandlat den innermonterade modellen. Ett förslag är att behandla både den yttre och den inre modellen som en enhet för att maximera den volymen som man kan utnyttja vid framtagning av nya koncept, se *figur 5.3*.



Figur 5.3 Måttbegränsning för både inre och yttre modell

I CATIA V5 har vi märkt att minimala ändringar i geometri kan ge betydelsefulla förbättringar. Därför ses en kombination av en inner- och yttermonterad måttbegränsning som en mycket god idé då man får mer volym att arbeta med.

6. REFERENSLISTA

Referenser är uppdelade i böcker, interna källor, internetkällor, personreferenser och bildkällor.

- [1]. Personkälla
Miso Kalliokorpi, VBG Group AB, Vänersborg, tel +46 (0)521 27 77 58
- [2]. Internetkälla
Topology, Altair University, Altair Engineering, Troy, Michigan, USA
<http://www.altairuniversity.com/optimization/topology/> (2016-04-07)
- [3]. Internetkälla
Det forntida hjulet, Allt om Vetenskaps Förlags AB, Stockholm 2009,
<http://www.alltomvetenskap.se/nyheter/nar-uppfanns-hjulet> (2016-05-17)
- [4]. Bokreferens
Mägi, M., Melkersson, K., (2014), Lärobok i Maskinelement. Göteborg, EcoDev International AB
- [5]. Internetkälla
Konstruktionsstål, SSAB, Skellefteå, Sverige
[http://www.ssab.se/Products/Brands/SSAB-Domex-structural-steel/Products/SSAB-Domex-500ML\(2016-04-25\)](http://www.ssab.se/Products/Brands/SSAB-Domex-structural-steel/Products/SSAB-Domex-500ML(2016-04-25))
- [6]. Internetkälla
Om VBG Group, VBG Group AB, Vänersborg <http://www.vbg.se/sv/about/>
(2016-05-17)
- [7]. Bokreferens
Johannesson, H., Persson, J-G. & Pettersson, D. (2013).
Produktutveckling: Effektiva metoder för konstruktion och design.
Stockholm, Liber AB, Andra upplagan, ISBN: 978-91-47-10582-3
- [8]. Bokreferens
Dahlberg, T., (2001), Teknisk Hållfasthetslära, Lund, Studentlitteratur AB,
Upplaga3:14, ISBN: 978-9-14-401920-8
- [9]. Internetkälla
Lastbilsoppling, VBG Group AB, Vänersborg
http://www.vbg.se/images/bank/795v_hr.jpg (2016-05-17)
- [10]. Internetkälla
Dragbalkssystem, VBG Group AB, Vänersborg
http://www.vbg.se/sv/news/broschyrrer/VBG-Dragbalksystem-C7_SV.pdf
(2016-05-17)
- [11]. Internetkälla
Dragbalkssystem, VBG Group AB, Vänersborg
<http://www.vbg.se/sv/products/dragbalkar-1/dragbalkargavelsatser-av-/>
(2016-05-17)

- [12]. Internetkälla
Crossmember, Speedway motors Inc. Victory Lane, Nebraska
<http://www.speedwaymotors.com/Deluxe-1932-Ford-Tubular-Crossmember-Kit,6815.html>
(2016-05-25)
- [13]. Internetkälla
Crossmember, Progressive Automotive, Baltimore, Ohio
<http://www.progressiveautomotive.com/wp-content/uploads/2013/01/1931-32-Chevy.jpg> (2016-05-25)
- [14]. Internetkälla
Lagkrav, UNECE, Geneva, Switzerland
<http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs41-60.html>
(2016-03-25)
- [15]. Internetkälla
T-koppling, Theofil Carlsson AB, Jönköping, Sverige
<http://www.theofils.se/Rorkopplingar.aspx> (2016-05-25)
- [16]. Internetkälla
3D-printad motorcykel, AirBus Group Inc., Leiden, Netherlands
http://www.airbusgroup.com/int/en/news-media/press-releases/Airbus-Group/Financial_Communication/2016/05/en_APWorks-Launch-Light-Rider.html (2016-05-25)

Bilaga 1

MATLAB

```
clc
clf
clear all

N=100;
r=linspace(0,0.030,N);
B=sqrt(pi*r.^2);
E=200*10^9;
IK=(E*(B.^4)/12);
IC=(E*(pi*(2*r).^4)/64);
AK=pi*r.^2;
AC=pi*r.^2;
plot(AK,IC,'o')

hold on

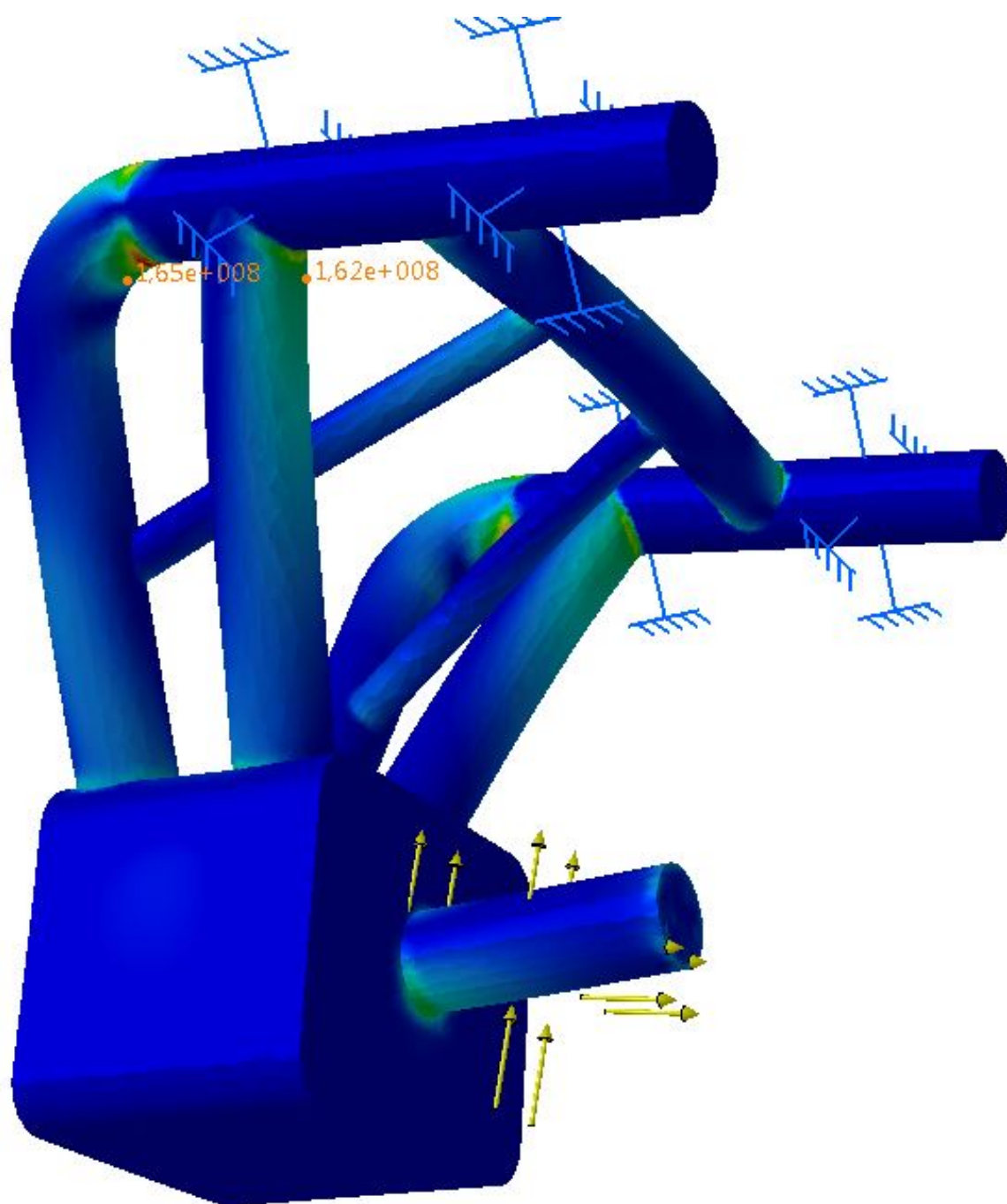
plot(AK,IK,'x')
xlabel('Tvåsnittsarea [m^2]')
ylabel('Bjstyvhet [Pa x m^4]')
shg
%%

clear all
clc
clf
%Massiv cirkulär profil
N=100;
L=1;
d=7850;
R2=linspace(0,30,N);
A2=(R2.^2)*pi;
V2=A2.*L;
m2=V2.*d;
Wv2=2*pi.*R2.^3; %Vridmotstånd
Kv2=2*pi.*R2.^4; %Vridstyvhet
plot(A2,Kv2,'o')

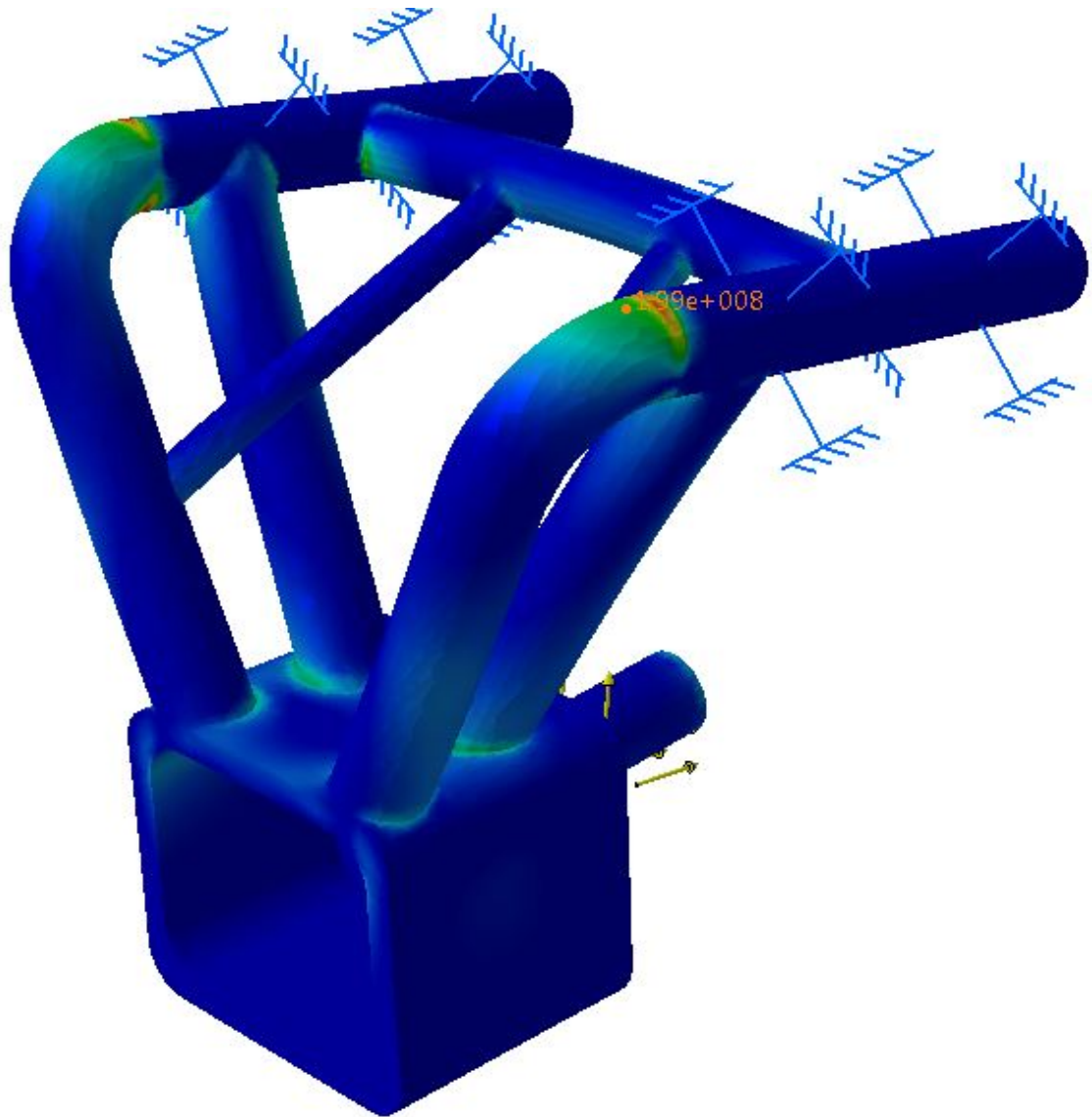
%Massiv Kvadratisk profil
b=2*R2;
A4=b.^2;
V4=A4.*L;
m4=V4.*d;
Wv4=0.208*b.^3;
Kv4=0.1406*b.^4;
hold on
plot(A4,Kv4,'x')
xlabel('Tvåsnittsarea [m^2]')
ylabel('Vridstyvhet [m^3]')

shg
```

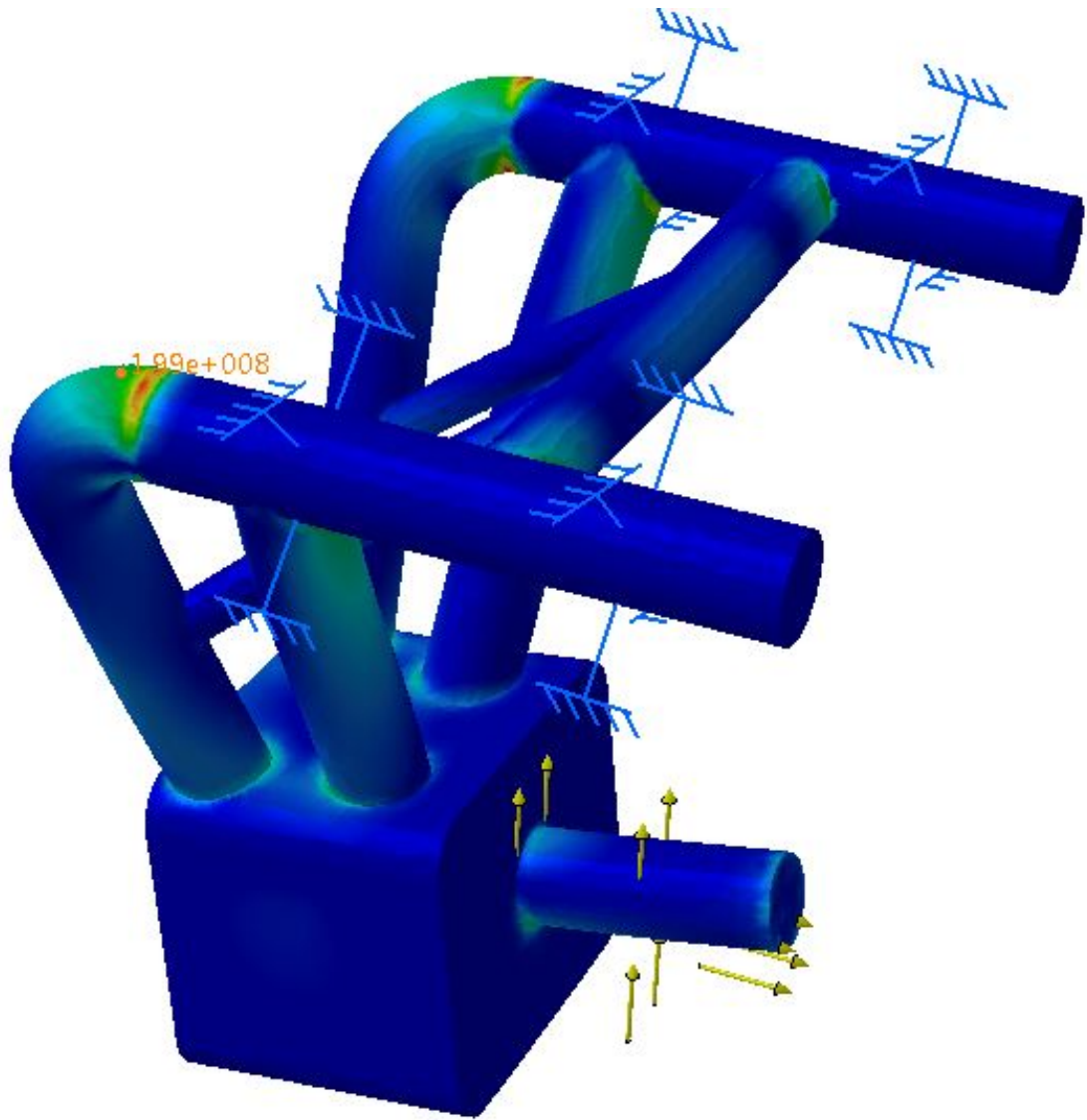
Bilaga 2, lastfall 1



Figur A, *FEM-analys av slutkoncept enligt lastfall 1*

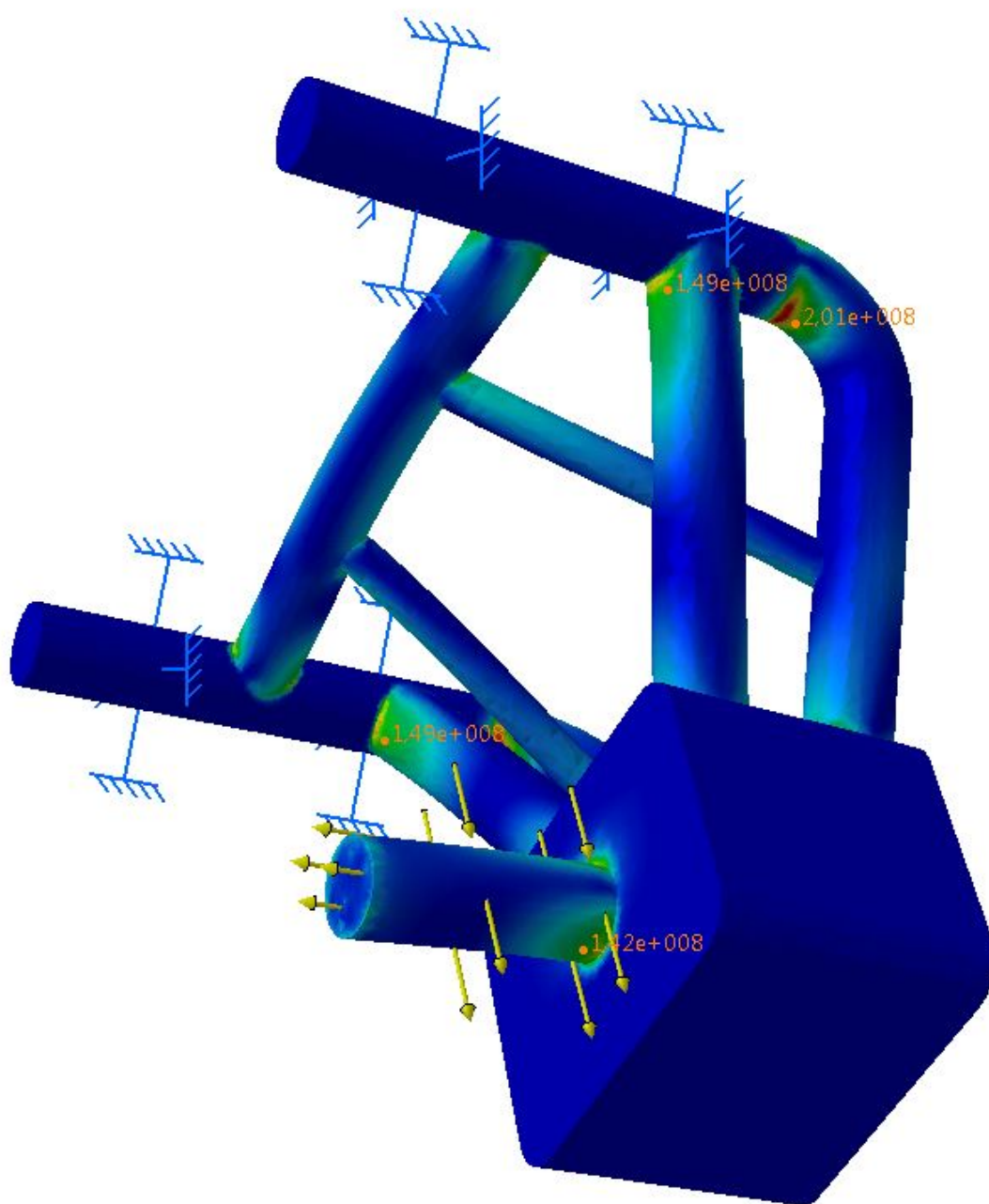


Figur B, *FEM-analys av slutkoncept enligt lastfall 1*

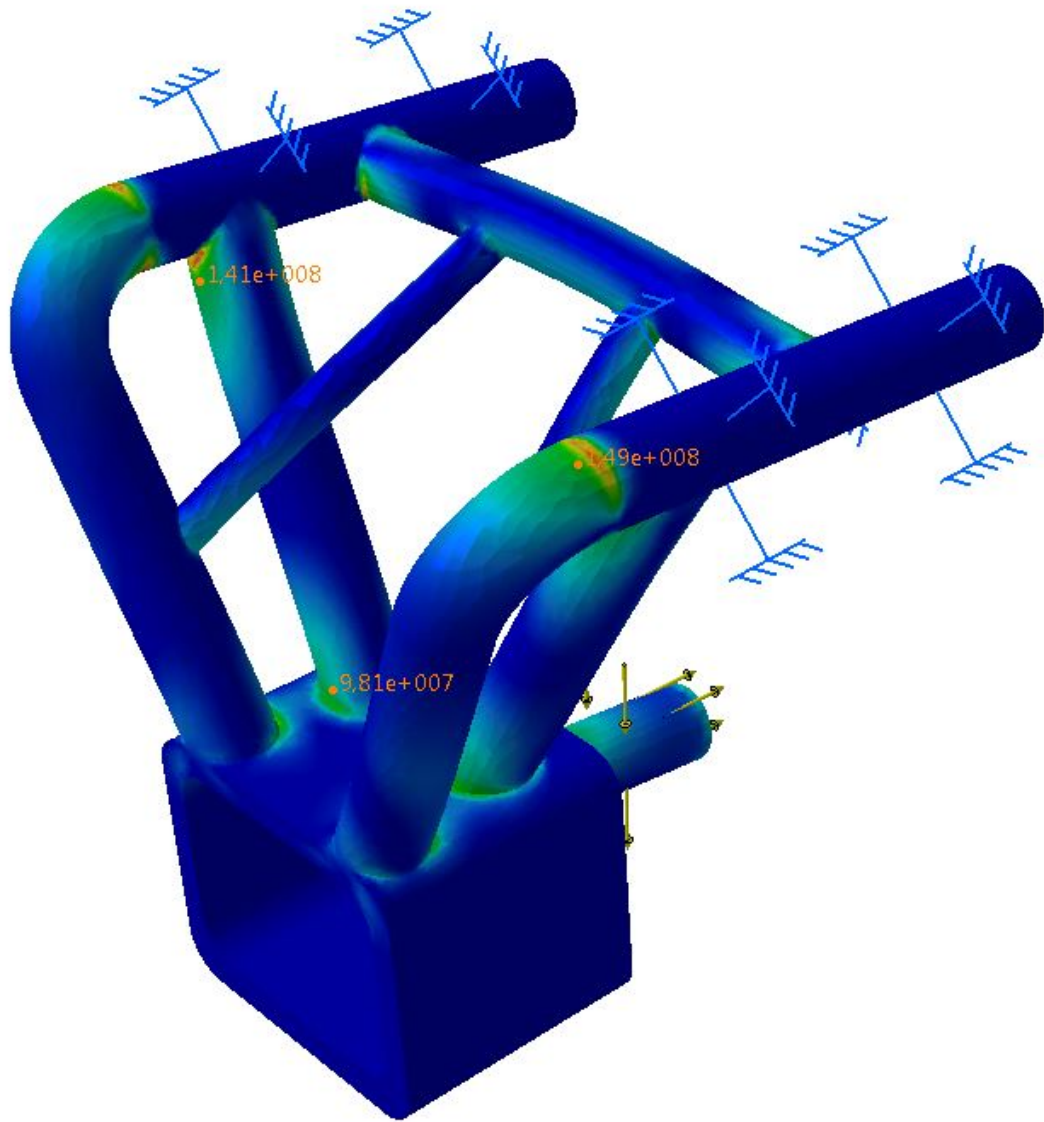


Figur C, *FEM-analys av slutkoncept enligt lastfall 1*

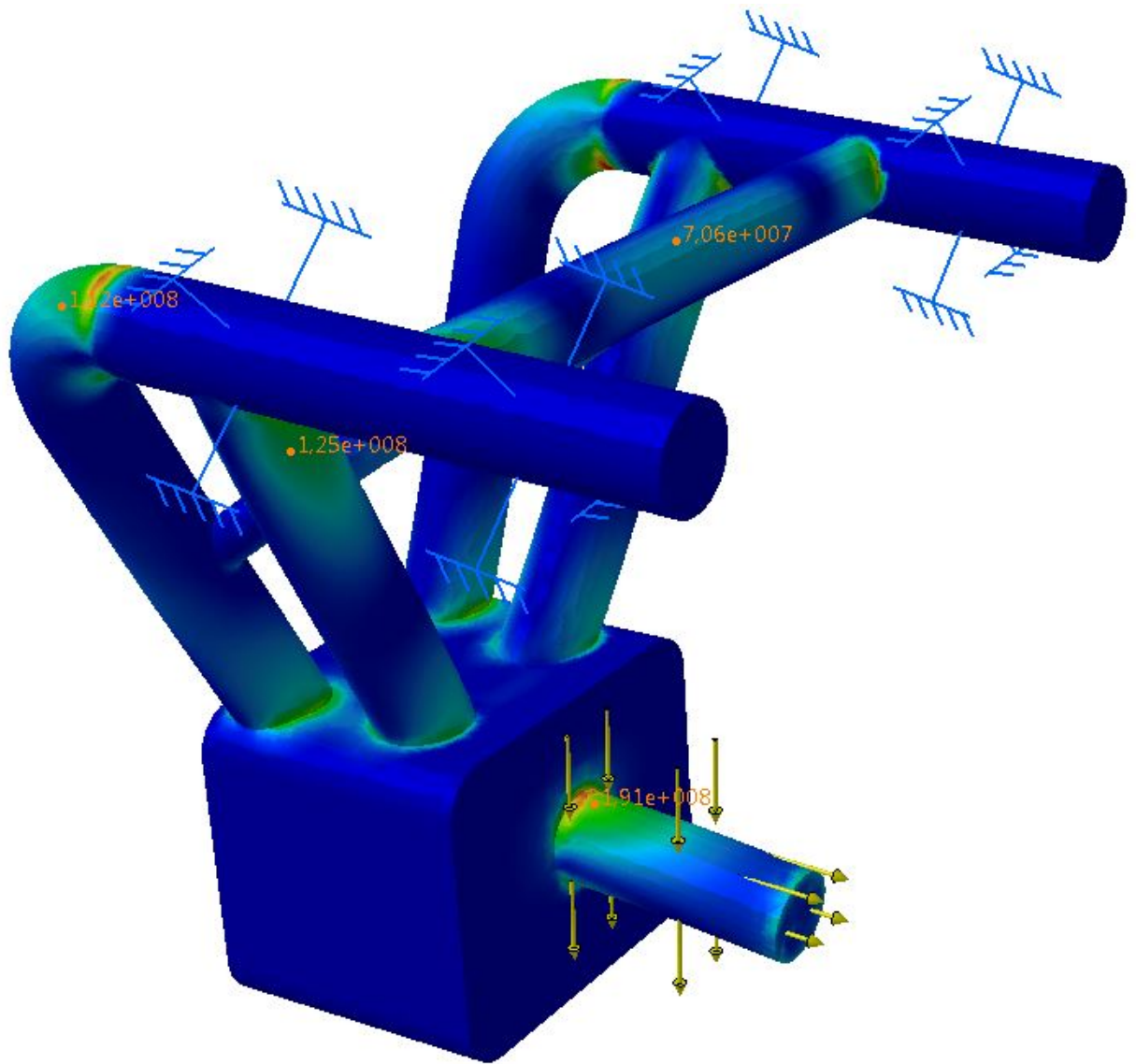
Bilaga 4, lastfall 2



Figur D, FEM-analys av slutkoncept enligt lastfall 2

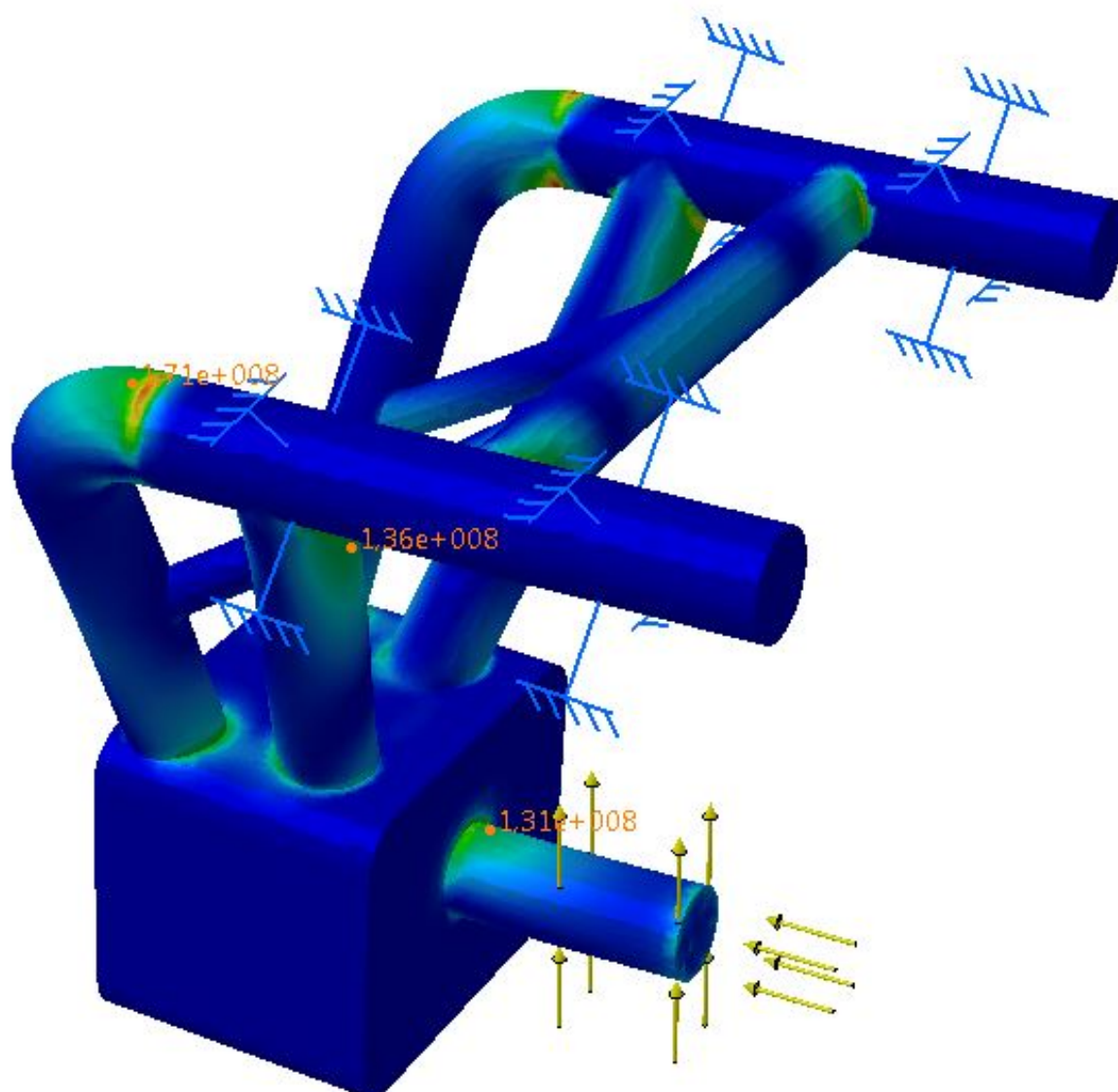


Figur E, *FEM-analys av slutkoncept enligt lastfall 2*

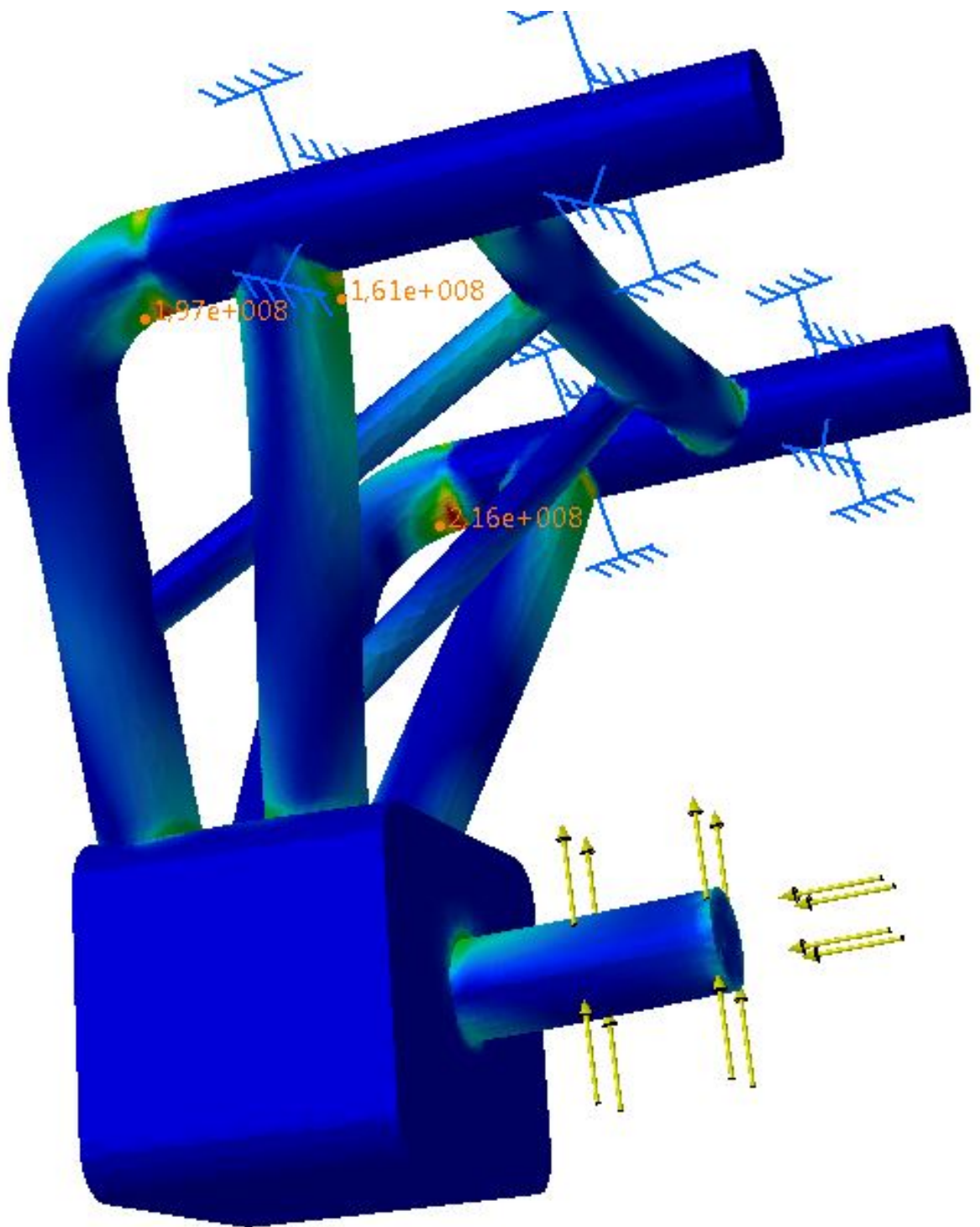


Figur F, FEM-analys av slutkoncept enligt lastfall 2

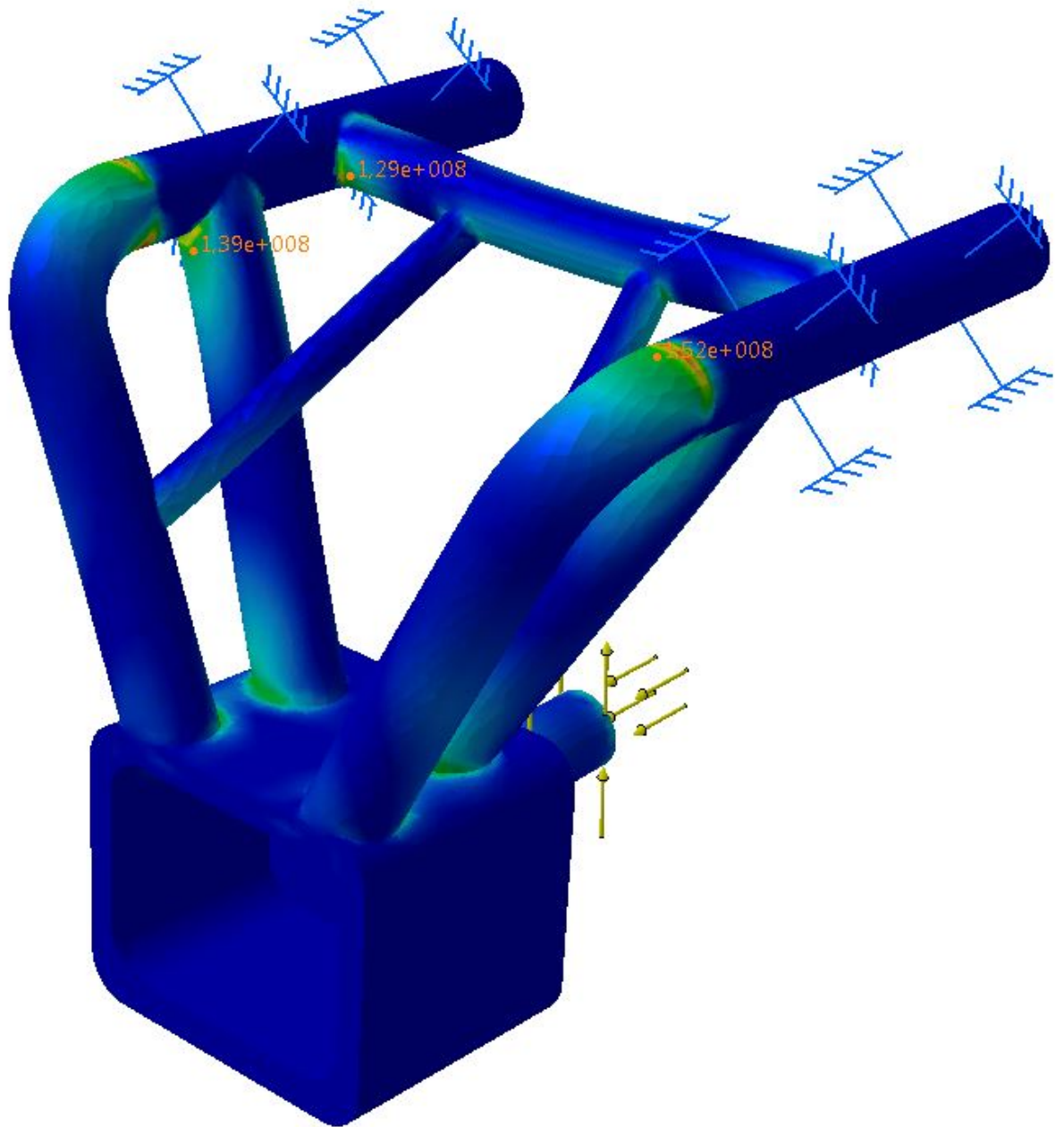
Bilaga 3, lastfall 3



Figur G, FEM-analys av slutkoncept enligt lastfall 3

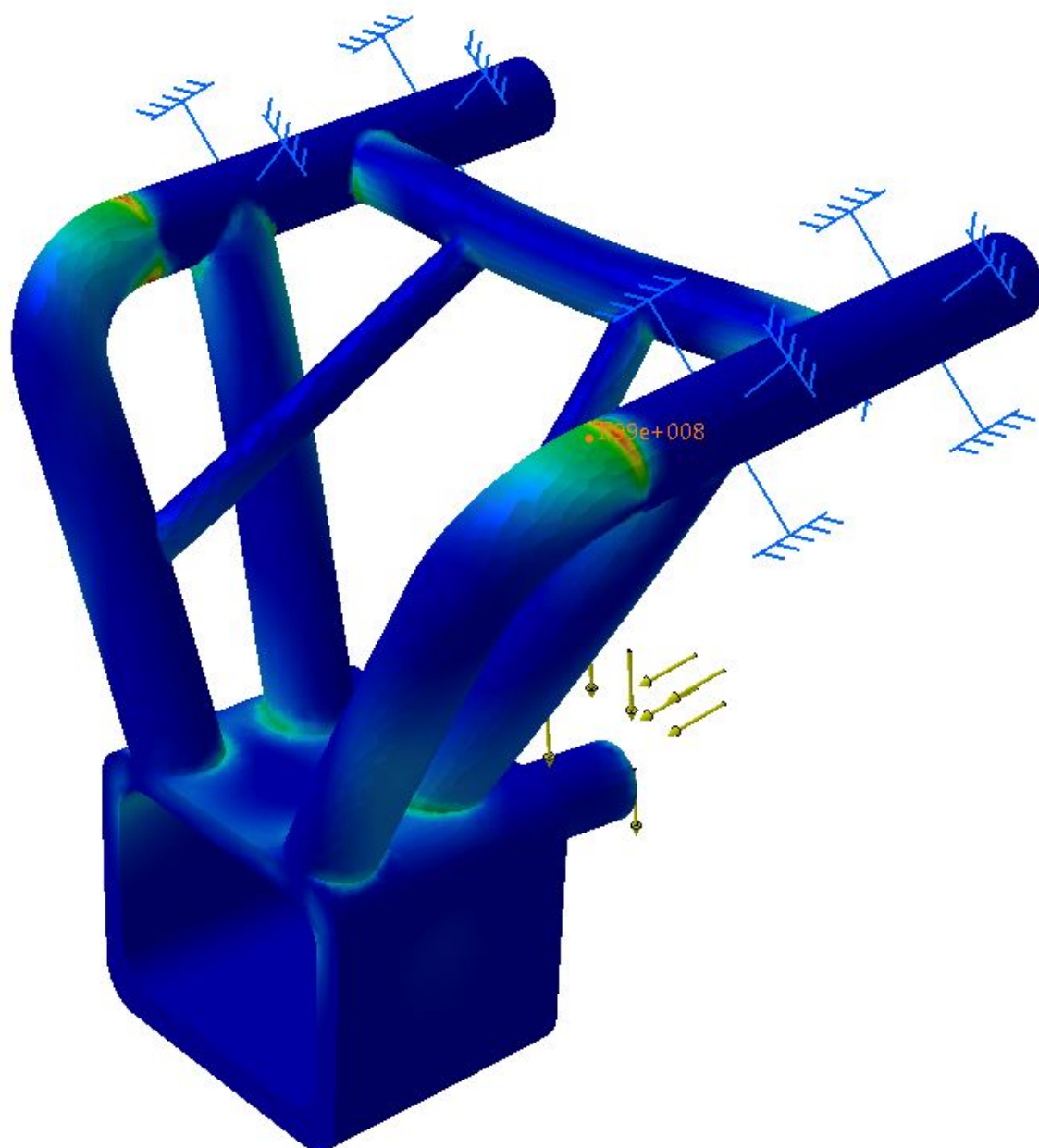


Figur H, *FEM-analys av slutkoncept enligt lastfall 3*

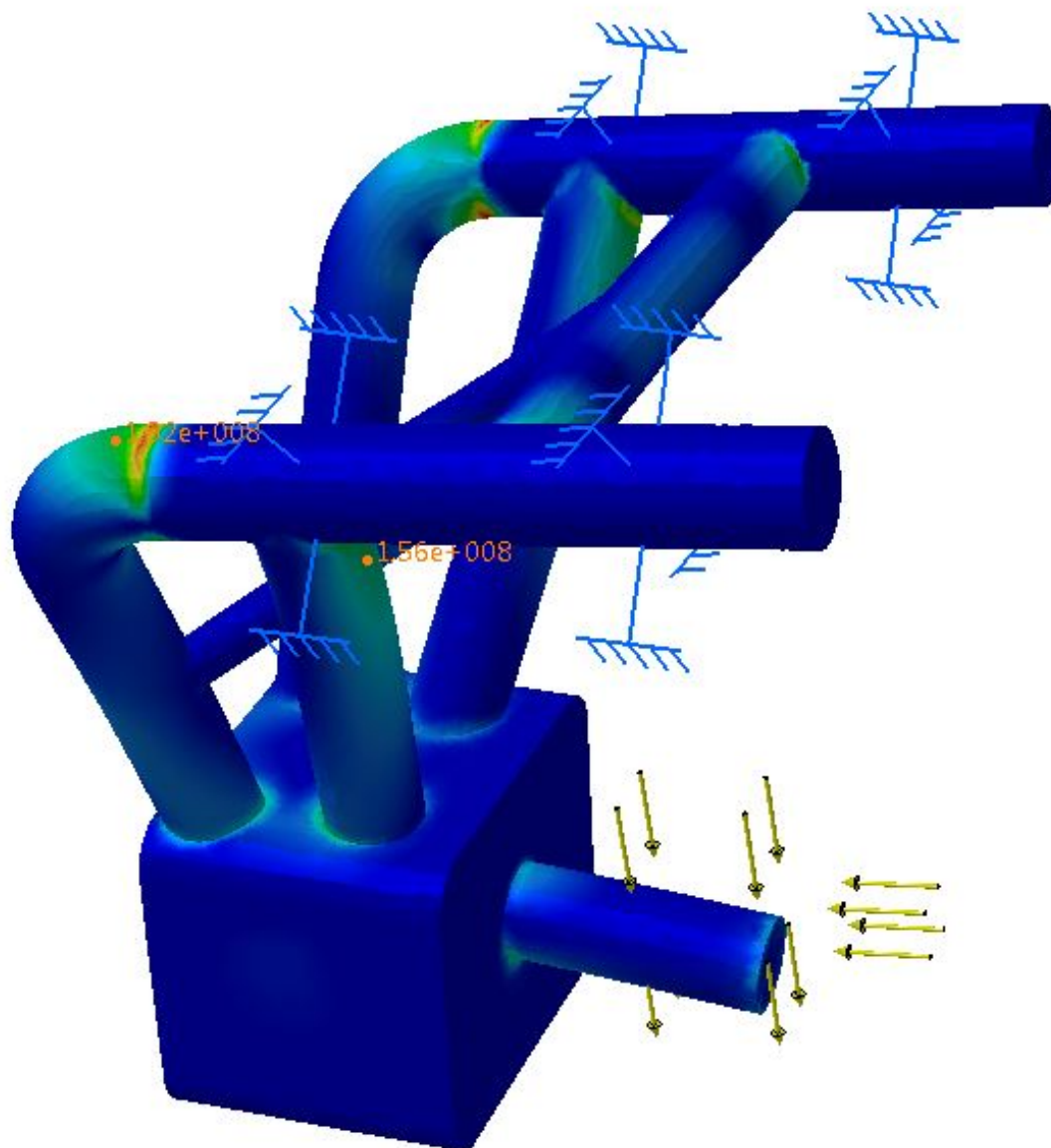


Figur 1, FEM-analys av slutkoncept enligt lastfall 3

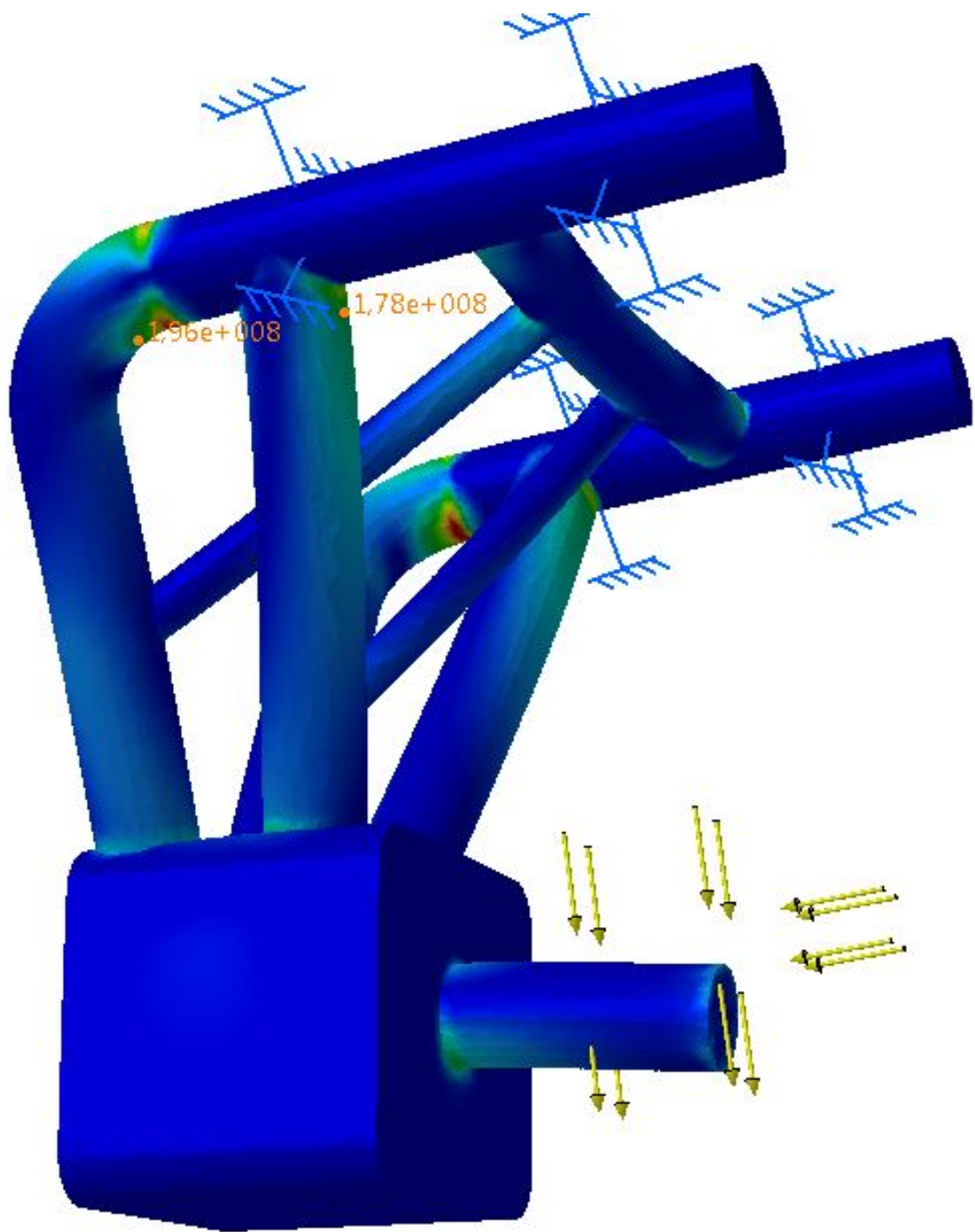
Bilaga 2, lastfall 4



Figur J, FEM-analys av slutkoncept enligt lastfall 4



Figur K, *FEM-analys av slutkoncept enligt lastfall 4*



Figur L, FEM-analys av slutkoncept enligt lastfall 4