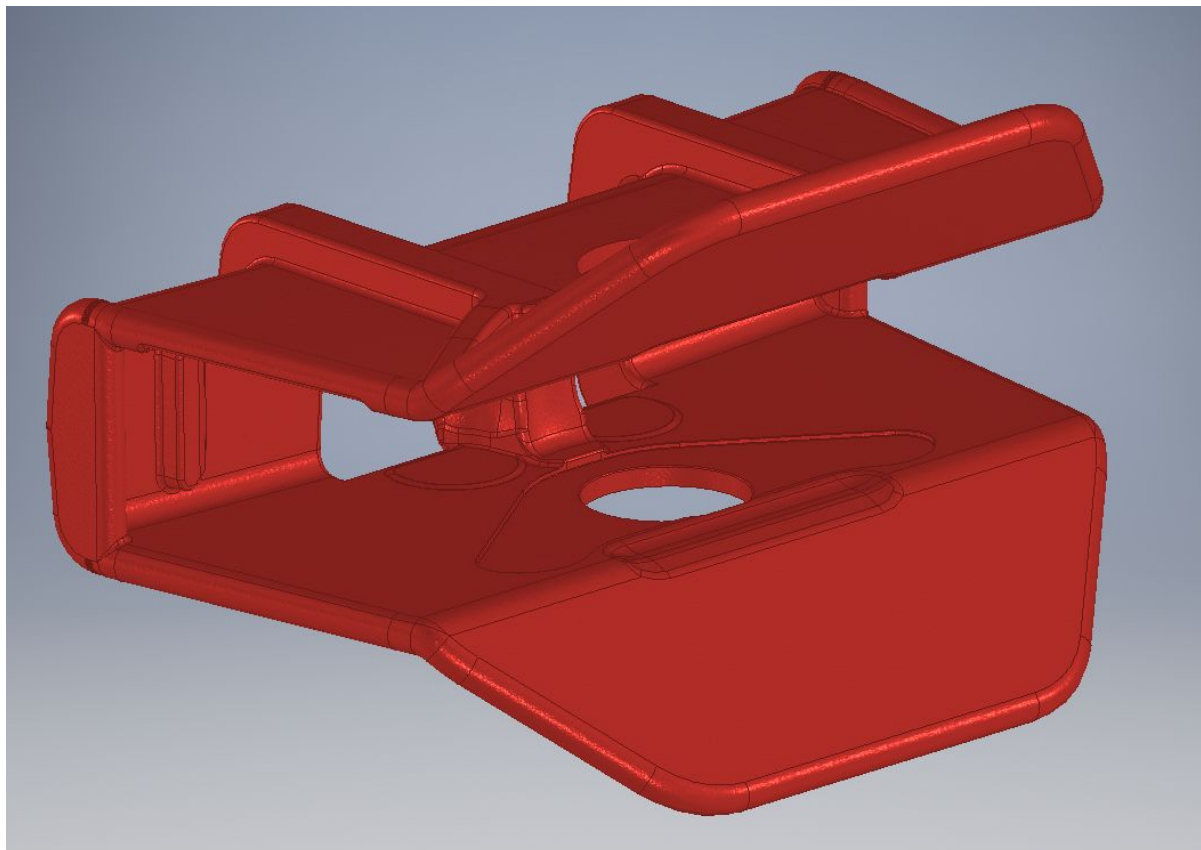




CHALMERS



Icke-linjära beräkningar av fångmun hos lastbilskoppling

Nonlinear calculations of coupling mouth to truck coupling

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

DANIEL GREN

NIKLAS JOHANSSON

Institutionen för tillämpad mekanik

Avdelningen för dynamik

Chalmers Tekniska Högskola

Göteborg, Sverige 2017

EXAMENSARBETE 2017:01

Icke-linjära beräkningar av fångmun hos lastbilskoppling
Nonlinear calculations of coupling mouth to truck coupling

DANIEL GREN
NIKLAS JOHANSSON

Institutionen för tillämpad mekanik
Avdelningen för dynamik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2017

Icke-linjära beräkningar av fångmun hos lastbilskoppling
Nonlinear calculations of coupling mouth to truck coupling

© DANIEL GREN, NIKLAS JOHANSSON.

Handledare: Anders Thorén, VBG Group Truck Equipment AB.

Examinator: Peter Bövik, institutionen för tillämpad mekanik

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik, 2017:01

Institutionen för tillämpad mekanik

Avdelningen för dynamik

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: +46 (0)31-772 1000

Sammanfattning

Examensarbetet har utförts i samarbete med uppdragsgivaren i syfte att ta fram ett förslag på en ny fångmun med förlängda instyrningsläppar till en specifik lastbilskoppling. Uppdraget är resultatet av ett behov som uppkommit i samband med svårigheter vid tillkoppling mellan släp och fordon i kuperad terräng.

Arbetet består huvudsakligen av CAD-modellering i Autodesk Inventor 2017 och icke-linjära beräkningar med FEM i programmet Ansys 17.1. CAD-modelleringen har använts för att skapa nya lösningsförslag och beräkningarna har utförts för att verifiera om de framtagna modellerna uppfyller kraven som angivits.

Projektet har avgränsats till att endast dimensionera instyrningsläpparna utifrån ett enda statiskt belastningsfall. Beräkningarna utgår från att materialen är isotropiska och följer en multilinjär spännings-töjningskurva för att definiera att materialen har idealplastiska egenskaper.

Tre lösningsförslag för fångmunnen blev framtagna varav två var giltiga enligt kravspecifikationen. Resultaten diskuteras för att validera att resultatet är pålitligt och förbättringar föreslås utifrån eventuella brister i beräkningsmodellen. Slutgiltiga val diskuteras, men valet lämnas till uppdragsgivaren.

Abstract

This Bachelor's thesis has been done in cooperation with the client who offered the thesis, in order to propose a new solution for a guiding funnel to a truck coupling. The assignment was introduced with the issue of having difficulties when connecting the truck to the trailer on hilly terrain.

The work consists mainly of CAD-modeling in Autodesk Inventor 2017 and nonlinear calculations with FEA in Ansys 17.1. The CAD-modeling was used for designing new guiding funnels and the calculations were done to verify that the new guiding funnels met the requirements that the client suggested.

The project was limited by only designing the guiding funnels to withstand a single situation of a static load. The calculations assumed that the materials were isotropic and was following a multilinear stress curve in order to define the material as ideal plastic.

Three guiding funnels were made whereas only two were valid according to the requirements. The reliability of the results are discussed and improvements are suggested by potential errors that might have been evident in the calculations. The final decisions are discussed but the responsibility of choosing was given back to the client.

Innehållsförteckning

1. Inledning	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Syfte och mål	9
1.2.1 Syfte	9
1.2.2 Mål	9
1.3 Frågeställningar	9
1.4 Avgränsningar	9
2. Teoretisk referensram	10
2.1 Komponenter	10
2.1.1 Bygel	10
2.1.2 Fångmun	10
2.1.3 Bussningar	11
2.2 Kravspecifikation	11
2.3 Belastningsfall	11
2.4 Förlängning av fångmun	11
2.5 Icke-linjära beräkningar i Ansys 17.1	11
2.6 Kriterium för kollaps	12
3. Metod	13
3.1 Referensmodeller	13
3.1.1 Referensmodell ett	13
3.1.2 Referensmodell två	13
3.2 Beräkningsmetoden som användes i Ansys 17.1	14
3.2.1 Metodverifiering	14
3.2.2 Den slutliga beräkningsmetoden	14
3.2.2.1 Mesh	14
3.2.2.2 Randvillkor	15
3.2.2.3 Last	15
3.2.2.4 Large deflections	15
3.3 Iterativ lösningsprocess med Inventor professional 2017	16
3.3.1 Inventor professional 2017	16
3.3.2 Iterativ lösningsprocess	16
4. Materialdata	17
4.1 Materialmodellen	17
4.2 Material för bygeln	18
4.3 Material för fångmun	18
4.4 Material för bussning	18
5. Resultat	19
5.1 Mesh	19

5.2 Resultat av metodverifiering	19
5.2.1 Spänningsbild	19
5.2.2 Genomplasticering	20
5.3 Lösningsförslag	20
5.4 Beräkningsresultat för fångmunnarna	23
5.4.1 Spänningsbild	23
5.4.1.1 Lösning 1	23
5.4.1.2 Lösning 2	23
5.4.1.3 Lösning 3	23
5.4.2 Genomplasticering	23
5.4.2.1 Lösning 1	23
5.4.2.2 Lösning 2	24
5.4.2.3 Lösning 3	24
6. Diskussion	25
6.1 Varför tro på referensmodellen?	25
6.2 Tolkning av resultat	26
6.2.1 Spänningar över sträckgräns	26
6.2.2 Säkerhetsfaktorn och verkligheten	27
6.3 Jämförelse av fångmunnarna	27
6.4 Förbättringar	28
7. Slutsats	30
Källor	31
Bilagor	32

1. Inledning

Genom att tidigt strukturera projektet blir lösningsgången följsam och lättare att förstå. Inledningsvis skapas en förståelse för hur behovet uppkommit för att därefter kunna fastställa vad som behöver utföras. Vidare definieras konkreta mål för att slutligen fastställa definitiva frågeställningar för hur målet kan uppnås. Specifika avgränsningar diskuteras för att ge projektet en god översikt av dess begränsningar.

1.1 Bakgrund

Vissa fordonskombinationer, timmeråkare, i Finland har ett behov av en längre fångmun för att underlätta tillkoppling mellan släp och fordon. Man efterfrågar därför en längre fångmun för att underlätta inkopplingen, utan att riskera hållfastheten och funktionaliteten. Ett tvärsnitt över hela kopplingen finns i figur 1, avsnitt 2.1.

1.2 Syfte och mål

1.2.1 Syfte

Uppdragsgivaren har blivit underrättad om ett starkt önskemål från en kund som har ett behov av en större instyrningshjälp för dragöglan till kopplingen vid kuperad terräng. Syftet med projektet är att finna en lösning som gör det lättare att koppla på med släp i kuperad terräng.

1.2.2 Mål

Att omkonstruera den befintliga fångmunnen som kunden använder för att göra instyrningsläpparna längre vilket skall underlätta inkopplingen, samtidigt som önskad hållfasthet uppnås från uppdragsgivare.

1.3 Frågeställningar

- Hur skall förstärkningsribborna på fångmunnen dimensioneras för att uppfylla hållfasthetskraven på den förlängda modellen?
- Hur skall beräkningarna verifieras för att efterlikna verkligheten?

1.4 Avgränsningar

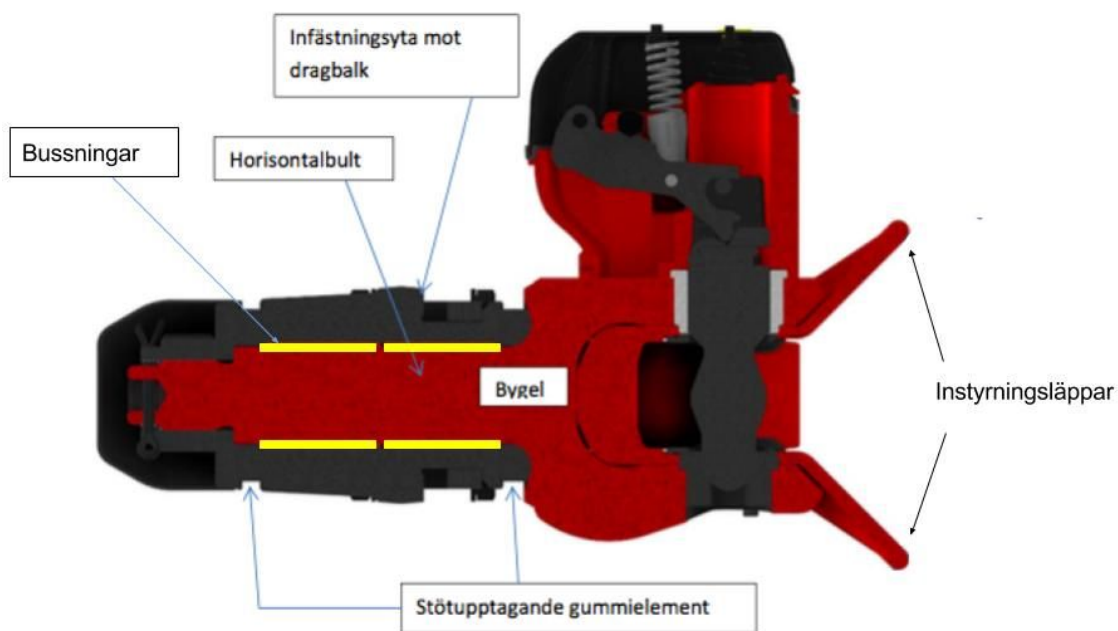
Projektet avgränsas till att dimensionera instyrningsläpparna utifrån givna geometriska krav och att en säkerhetsfaktor på 1.2-1.5 mot plasticering av kopplingens lastbärande bygel uppnås, se kravspecifikation. Vidare avgränsas dimensioneringen till att baseras på icke-linjära beräkningsresultat utifrån ett statiskt belastningsfall, se belastningsfall 1 avsnitt 2.3.

2. Teoretisk referensram

I avsnittet beskrivs den teoretiska bakgrunden som krävs för att förstå projektets innehåll. Nedan redovisas intressanta komponenter i kopplingen, kravspecifikationen, belastningsfallet, förlängningen samt tillämpningen av finita elementmetoden med Ansys 17.1.

2.1 Komponenter

I figur 1 nedan visas ett tvärsnitt av kopplingen vilken beskriver hur kopplingen ser ut invändigt och benämningen på dess nyckelkomponenter. Det är en helhetsbild avsedd för att få förståelse för hur kopplingen ser ut och dess grundprincip gällande funktionalitet. Bilden på rapportens framsida visar en tredimensionell bild av fångmunnen, vilket kan tydliggöra hur geometrin för fångmunnen är.



Figur 1. Originalkopplingen och dess beståndsdelar i ett tvärsnitt.

2.1.1 Bygel

Bygeln är stommen i kopplingen. Dess uppgift är att överföra kraften från dragöglan till dragbalken.

2.1.2 Fångmun

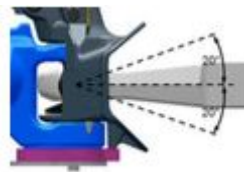
Fångmunnens instyrningsläppar är till för att styra in dragöglan vid tillkoppling, se bild på rapportens framsida.

2.1.3 Bussningar

Bussningarna används för att minska slitaget i horisontalbulten när kopplingen belastas.

2.2 Kravspecifikation

Fångmunnens instyrningsläppar skall dimensioneras så starka som möjligt dock utan att kvarstående deformation uppstår i bygeln med en säkerhetsfaktor 1.2-1.5. Vidare skall instyrningsläpparna förlängas med samma instyrningsvinkel som idag där lagkravet gällande vinkelutslag mellan koppling och dragögla är ± 20 grader vilket visas i figur 2 nedan. Materialen i kopplingen får inte bytas ut och slutligen tillåts ingen geometrisk förändring av bygeln och infästningsdetaljerna.



Figur 2. Illustrerar lagkravets praktiska betydelse.

2.3 Belastningsfall

Belastningsfallet är givet från uppdragsgivaren. När kärnan kopplas till uppstår höga krafter i fångmunnen på grund av kärrens stödlast och dess tröghet att rotera kring hjulaxeln. Vid fysisk provning simuleras belastningsfallet genom att en hydraulisk cylinder pressar den ena läppen tills dess att den bryts av, alltmedan kraften som åtgår registreras av en lastcell. Den asymmetriska belastningen skapar ett böjmoment kring horisontalbultens anslutning mot bygeln.

2.4 Förlängning av fångmun

Önskad förlängning var given av uppdragsgivaren för att efterlikna en annan modell och dess förlängning. Den nya fångmunnen rekommenderades därför att göras cirka 49% längre.

2.5 Icke-linjära beräkningar i Ansys 17.1

Ansys 17.1 är ett kraftfullt program för beräkningssimulering. Det används för att lösa en mängd komplexa och ingenjörsmässiga problem på ett effektivt sätt. Analysmodulen "Static structural" och verktyget "Mechanical" i programmet har använts för att lösa samtliga problem vad gäller hållfastheten i fångmunnarna.

Beräkningarna som har utförts är icke-linjära eftersom målet med beräkningarna är att undersöka när instyrningsläppen genomplasticeras och därmed är på väg att kollapsa. Detta innebär att stora och kvarstående deformationer uppkommer och att materialets egenskaper

hamnar inom det plastiska området. Det betyder att man behöver ta hänsyn till icke-linjär teori. En tydlig förklaring mellan linjär och icke-linjär analys blev funnen i ett dokument från Solidworks, 2010. Genom att utföra beräkningen icke-linjärt tar man hänsyn till icke-linjära egenskaper. Det ger ett mer trovärdigt resultat eftersom de överensstämmer bättre med verkligheten än linjära beräkningar då dessa inte tar hänsyn till de icke-linjära egenskaperna. De främsta icke-linjära egenskaperna för belastningsfallet är att styvheten är formberoende och att materialets egenskaper i det plastiska området är icke-linjära.

2.6 Kriterium för kollaps

För att bekräfta om hållfasthetskraven uppfylls måste beräkningarna exekveras fram tills dess att plastisk kollaps uppstår. Den plastiska kollapsen uppstår i detta fall då Ansys 17.1 avslutar beräkningen vid en viss last. Det som händer under simuleringen är att element i strukturen gradvis uppnår sträckgränsen och börjar plasticera. Allteftersom antalet element som plasticerar ökar kommer den lastbärande förmågan i strukturen successivt att minska. Till slut uppstår ett läge där de icke-plasticerande elementen är för få till antalet för att bära en ytterligare pålagd last och därmed kommer plastisk kollaps att uppstå. Resultatet från den avslutade beräkningen kan därmed tolkas som den last strukturen kan bära innan den kollapsar.

Analogt med förklaringen ovan kan ett dragprov användas som ett exempel för förtydligande. Allteftersom kraften i dragprovet ökar kommer spänningen i provstaven att öka och arean som kan bära lasten minskar på grund av plasticering. Till slut kommer den oplasticerade arean inte vara tillräcklig för att bära ytterligare last och därmed kommer en ökad last att resultera till plastisk kollaps.

3. Metod

Med hjälp av tidigare tester och analyser har referensmodeller skapats för att utveckla en verklighetstrogen modell i Ansys 17.1 för att verifiera hållfastheten i olika fångmunnar. Hur referensmodellerna tillämpades för att finna den nya modellen definieras och diverse inställningar som användes i programmet för analyserna förklaras.

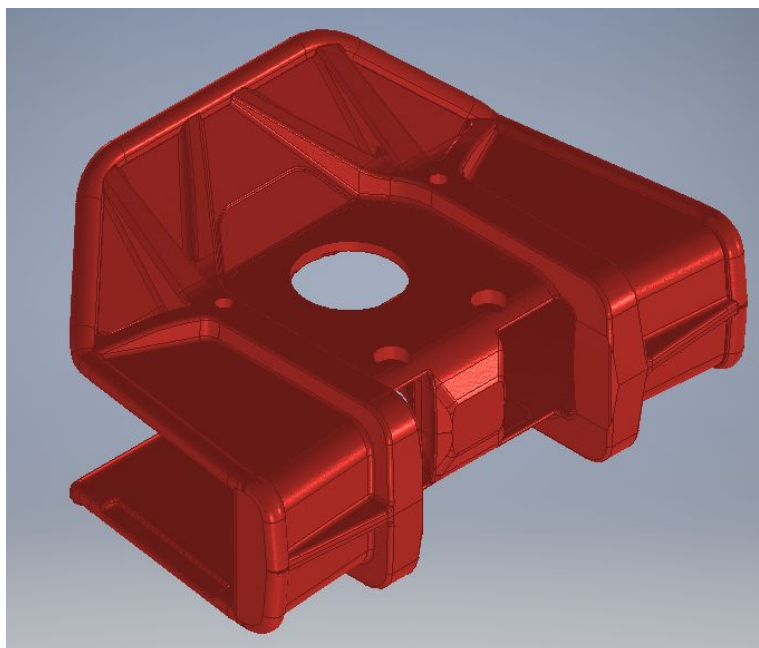
3.1 Referensmodeller

3.1.1 Referensmodell ett

Referensmodell ett är en tidigare beräkningsrapport från uppdragsgivaren på en liknande kopplingsmodell med förlängda instyrningsläppar. Resultatet från beräkningsrapporten uppnådde 95% av kopplingens verkliga belastningskapacitet innan kollaps. Verifieringen utfördes genom att resultatet från beräkningen jämfördes med ett fysiskt test på kopplingen med samma belastningsfall som tidigare beskrivits, se avsnitt 2.3.

3.1.2 Referensmodell två

Referensmodell två är ett fysiskt test av kopplingen utan förlängning, se figur 3 nedan, som efterliknar samma belastningsfall som tidigare beskrivet och verifierade hur stor last som kopplingen klarade av i verkligheten innan materialet i fångmunnen började flyta. Läpparna stod emot 100 [kN] utan märkbar kvarstående deformation, medan vid 110 [kN] började läpparna att flyta.



Figur 3. Oförlängd fångmun sedd underifrån.

3.2 Beräkningsmetoden som användes i Ansys 17.1

3.2.1 Metodverifiering

Utifrån referensmodellerna skapades riktlinjer kring hur stor last som skulle användas, hur en rimlig deformationsbild såg ut, var större spänningar uppstod, hur randvillkor användes samt ett mått på hur stor maximal last man kunde förvänta sig. Ett flertal modeller skapades för att följa samtliga riktlinjer och när en modell var inom riktlinjerna kunde man bekräfta att resultatet efterliknar verkligheten. Resultatet av den slutgiltiga modellen beskrivs i avsnitt 5.2.

3.2.2 Den slutliga beräkningsmetoden

3.2.2.1 Mesh

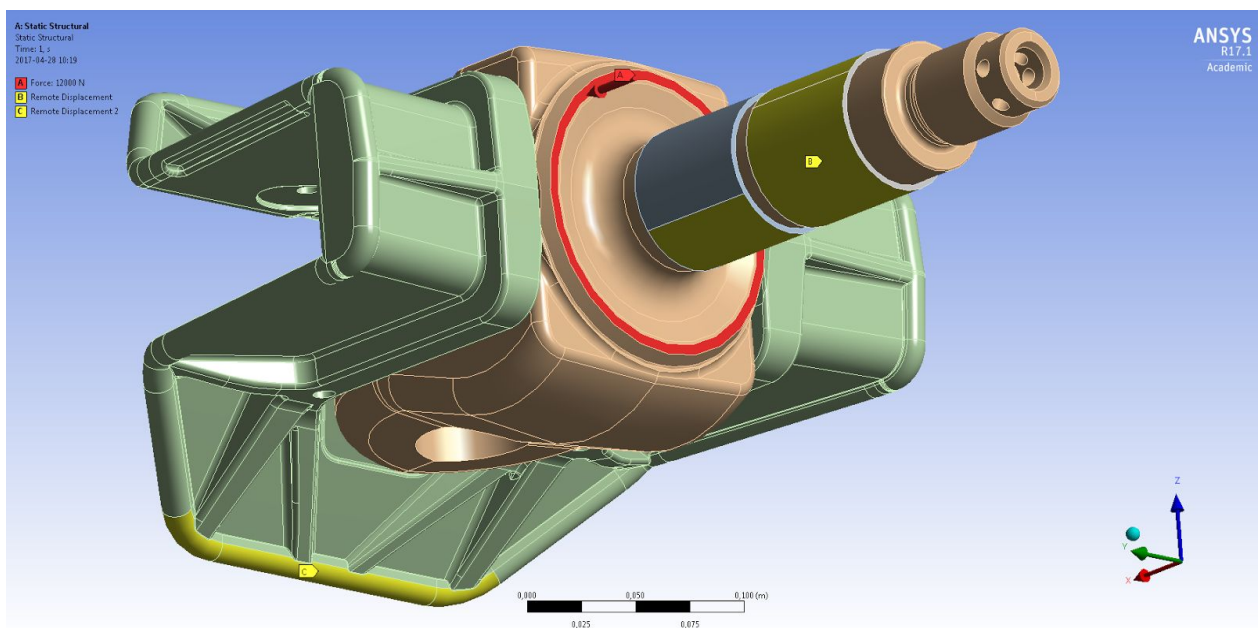
En mycket viktig del för problemet var att beräkna de relevanta spänningarna med tillräckligt hög noggrannhet. Inte alla spänningar för hela systemet är av samma signifikans, i synnerhet är kravet för noggrannheten hos spänningarna som uppkommer vid något annat ställe än instyrningsläppen, horisontalbulten och delar av bygelns lägre och behöver därför inte beräknas med fina, små element. En lösning för att ta detta i hänsyn var att använda en adaptiv mesh med minskad elementstorlek enbart kring områden där resultatet är av stort intresse. Mer specifikt förfinades elementstorleken vid områdena kring horisontalbulten, förstärkningarna, delar av bygelns och på båda sidorna av den undre instyrningsläppen. Den slutgiltiga meshen redovisas i avsnitt 5.1.

I kapitel 3 i (Ansys Inc, 1998), så är innebörden kring en adaptiv mesh att Ansys 17.1 själv bedömer ifall en mesh är bra eller inte. Om inte, så korregerar programmet meshen till dess att programmet inte längre klagar på att meshen exempelvis har orimliga element som kommer att påverka resultatet negativt.

Hur Ansys 17.1 bedömer ifall en mesh är bra eller inte är genom något som kallas "Discretization error". Enligt (Pointer, 2004) undersöker programmet som ett första steg förflyttningen på varje nod i meshen med hjälp av de randvillkor och laster som blivit ansatta. Det andra steget ger en approximativ bild över spänningarna i varje element med hjälp av nodernas förflyttning. Discretization error ger ett mått på hur diskontinuerlig spänningsfördelningen är mellan elementen. Ifall skillnaden är för stor anses meshen vara otillräcklig och görs därför om med ett fler antal element i områden där det blev stora hopp hos spänningarna mellan olika element. Detta görs för att få spänningsfördelningen mer kontinuerlig. Processen är iterativ och fortgår till dess att mesh discretization error är tillräckligt lågt enligt programmet eller enligt användaren om man valt att ställa in denna parameter själv.

3.2.2.2 Randvillkor

I figur 4 nedan illustreras de randvillkor som användes för den slutliga modellen. Lasten, som i figur 4 appliceras på en röd cirkel på baksidan av bygel, beskrivs i nästkommande avsnitt. Randvillkoren B och C är remote displacements vilket innebär att man kan manipulera hur delarna av kopplingen ska låsas eller hur mycket de får förskjutas och/eller roteras i rummet. Randvillkoret B låser de gulmarkerade ytorna på bussningarna från att röra sig i Z-led och Y-led (radiellt) samt förhindrar rotation kring Y-axeln. Randvillkoret C vid toppen av den undre instyrningsläppen låser dessa gulmarkerade ytorna i X-led och i Y-led. Toppen av den undre instyrningsläppen låses i Y-led eftersom mjukvaran inte kan skapa rätt deformationsbild utan det villkoret.



Figur 4. Randvillkoren som applicerades.

3.2.2.3 Last

Lasten som applicerades läggs på i steg från 12 [kN] och ökar linjärt till 120 [kN]. Observera att lasten appliceras som en utbredd last på det röda området i figur 4 ovan och att figuren visar lasten i det första laststeget.

3.2.2.4 Large deflections

Ett alternativ som fanns tillgängligt i Ansys 17.1 var möjligheten att aktivera “Large deflections”. Detta innebär att programmet tar hänsyn till att styvheten förändras vid formförändring (Barret, 2016) vilket behövs vid analyser där stora deformationer uppstår. Därför har detta alternativ blivit använt vid analyserna av fångmunnarna då instyrningsläpparna utsätts för stora deformationer.

3.3 Iterativ lösningsprocess med Inventor professional 2017

3.3.1 Inventor professional 2017

CAD-programmet Inventor professional 2017 har använts för att skapa nya lösningsförslag av fångmunnar genom att förlänga instyrningsläpparna och skapa nya förstärkningar till dessa. När en ny version av en fångmun modellerats skapades en assembly för att sätta samman denna med bygeln och dess bussningar. Den nya assemblyn konverterades till en STEP-fil för att kunna beräkna hållfastheten i Ansys 17.1.

3.3.2 Iterativ lösningsprocess

Framtagandet av lösningsförslag till en förlängd fångmun var en iterativ process.

Utgångspunkten för den iterativa lösningsprocessen var att förlänga instyrningsläpparna på den oförlängda fångmunnen till den önskade längden, se avsnitt 2.4. Modellen analyserades därefter i Ansys 17.1 för att erhålla deformations- och spänningsresultat. Spänningar vid intressanta områden undersöktes noggrant för att få en förståelse för dess storlek och utbredning. Deformationsbilden användes för att se hur instyrningsläpparna deformerades och med hjälp av den informationen tillsammans med spänningsbilden gavs en förståelse om var fångmunnen behövdes förstärkas. Processens förfaringssätt upprepades till dess att ett lösningsförslag till en förlängd fångmun uppnådde önskat resultat vad gäller spänningsbilden och spänningens magnitud vid intressanta områden.

4. Materialdata

Ansys 17.1 använde sig av “density”, “isotropic elasticity” samt “multilinear isotropic hardening” för att definiera ett icke-linjärt material i programmet. Dessa tre moduler behövde data om materialets densitet, E-modul, Poissons tal samt sträckgräns för att definiera materialet fullständigt. Dessa moduler var de som användes för den icke-linjära modellen för det fördefinierade materialet konstruktionsstål i Ansys 17.1. Materialen har vidare betraktas som isotropiska.

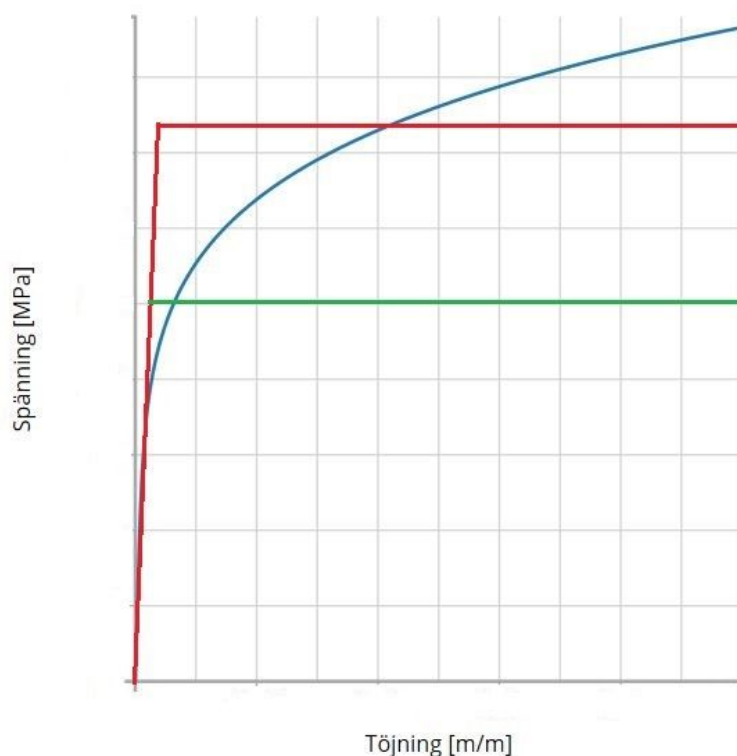
4.1 Materialmodellen

Tidigare beräkningar av en liknande kopplings hållfasthet från uppdragsgivaren gav ett resultat som motsvarade omkring 95% av ett fysiskt test, se referensmodell 1.

Beräkningsmodellen erhöles genom att anpassa materialdatan för att komma så nära verkligheten som möjligt. En approximation som gjordes var att beskriva materialen som elastiskt idealplastiska utan töjningsgräns istället för att införa deformationshårdnande.

Anpassningen som gjordes av materialdatan låg i att välja rätt nivå av maximal spänning som materialet kunde ge. En verklig töjningskurva representeras av den blå linjen i figur 5 nedan.

Approximationen av töjningskurvan som tillämpades i beräkningarna var istället enligt den röda kurvan. Den gröna linjen representerar en elastiskt idealplastiskt materialmodell för den verkliga sträckgränsen.



Figur 5. Spänning -och töjningskurvor för materialet i fångmunnen.

Gällande materialet i bygel­n så betraktades det som icke-linjärt samt elastiskt idealplastiskt. Inga plastiska deformationer förväntas dock uppstå i denna komponent, eftersom fångmunnen skall dimensioneras på sådant sätt att plastiska deformationer inte uppkommer i bygel­n. Egenskaper hos dess plastiska karaktär har därför inte blivit undersökt och dess sträckgräns är därför enligt den riktiga utan modifikationer.

4.2 Material för bygel­n

Materialet som har använts för bygel­n är en metall. Materialdata­n som behövdes för att utföra beräkningen redovisas nedan i tabell 1.

Tabell 1. Materialdata för bygel­n.

Densitet	x [kg/m ³]
E-modul	x [GPa]
Poissons tal	x
Sträckgräns	x [MPa]

4.3 Material för fångmun

Materialet som har använts för bygel­n är en metall. Materialdata­n som behövdes för att utföra beräkningen redovisas nedan i tabell 2.

Tabell 2. Materialdata för fångmun.

Densitet	x [kg/m ³]
E-modul	x [GPa]
Poissons tal	x
Sträckgräns	x [MPa]

4.4 Material för bussning

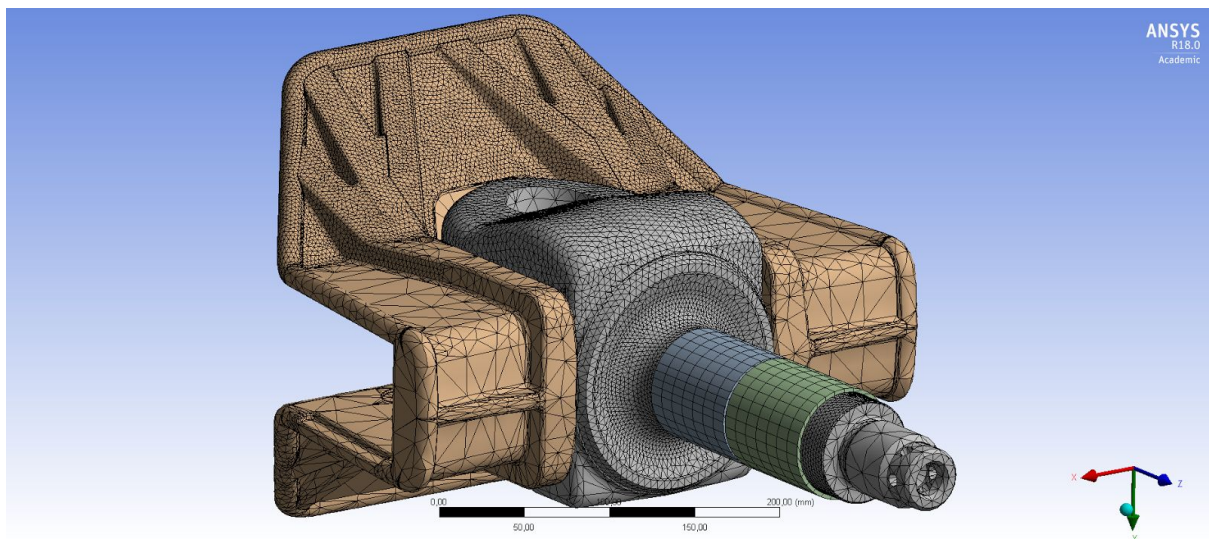
Materialet som användes för bussningarna var en plastkvalitet, som blivit hämtat från materialbiblioteket i Ansys 17.1.

5. Resultat

Tillsammans med meshen som samtliga beräkningar utgår ifrån har den oförlängda fångmunnen beräknats och verifierats likna det fysiska testet från referensmodell två. De nya lösningsförslagen till förlängda instyrningsläppar beräknades på samma sätt..

5.1 Mesh

I figur 6 nedan illustreras meshen som har använts för samtliga modeller i Ansys 17.1. Den större elementstorleken valdes av programmet och applicerades över hela modellen. Den mindre elementstorleken på ytan infördes manuellt på intressanta områden. Dessa områden var fram och baksida av den belastade instyrningsläppen, kring hela horisontalbulten och området på bygeln som sitter på samma sida som den finare meshen på instyrningsläppen. Meshen valdes att förfinas på dessa områden eftersom det är viktigt att spänningarna som uppstår vid horisontalbulten och instyrningsläppen blir så korrekta som möjligt då spänningarna här användes för att dimensionera fångmunnen. Den förfinade meshens elementstorlek var 3 [mm] kring horisontalbulten respektive instyrningsläppen och 5 [mm] på ena sidan av bygeln.



Figur 6. Meshen som användes för samtliga beräkningar.

5.2 Resultat av metodverifiering

5.2.1 Spänningsbild

I bilaga 1 och 2 finns spänningsbilden för kopplingen med den oförlängda fångmunnen. Intressanta spänningar har markerats ut tillsammans med dess magnitud. Spänningarna på horisontalbulten var maximalt 640.55 [MPa] på trycksidan och 555.32 [MPa] på dragsidan se bilaga 1 eller 2. Den största spänningen kring hålet på bygeln har noterats att bli maximalt

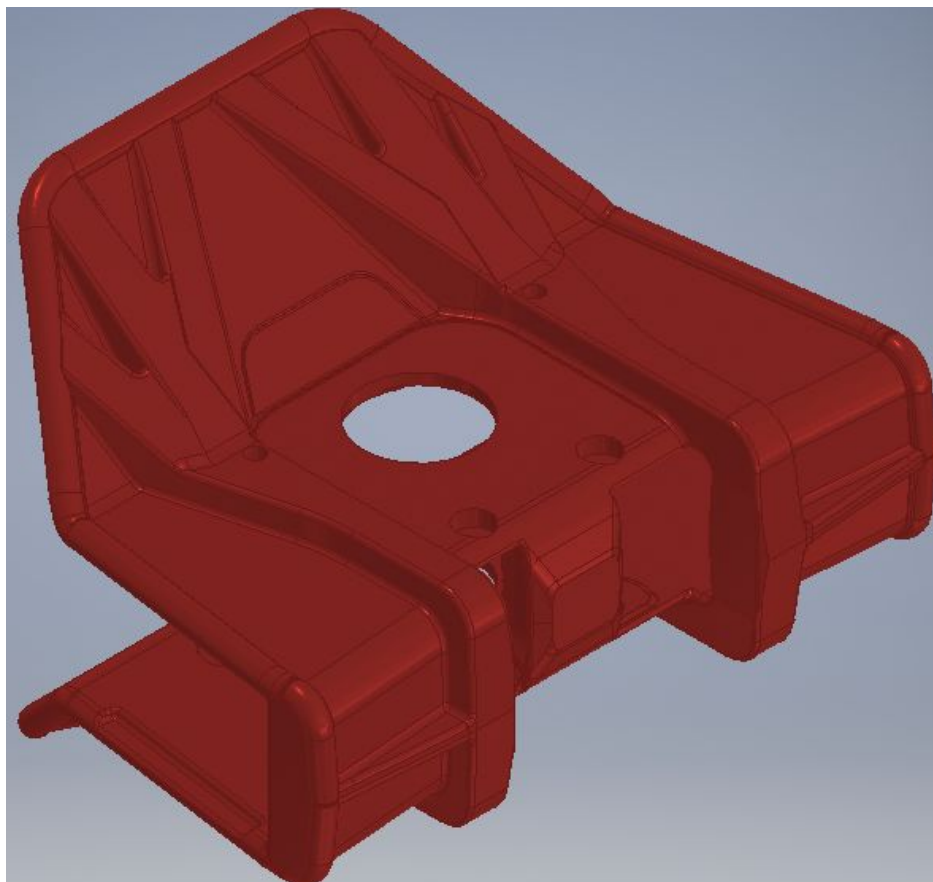
565.54 [MPa], se bilaga 2. Observera att säkerhetsfaktorn som tidigare nämnts inte gäller för denna modell. Kraften som gav upphov till dessa spänningar var 99.6 [kN] vilket motsvarade 90% av vad det fysiska testet gav, se referensmodell två.

5.2.2 Genomplasticering

Bilaga 3 visar en förstoring av den belastade instyrningsläppen tillhörande den oförlängda fångmunnen. En röd cirkel är utmarkerad vilken beskriver det område där genomplasticering först kommer att ske. Detta bekräftades vid animering av deformationsförloppet genom att strukturen till synes gav vika i detta område först.

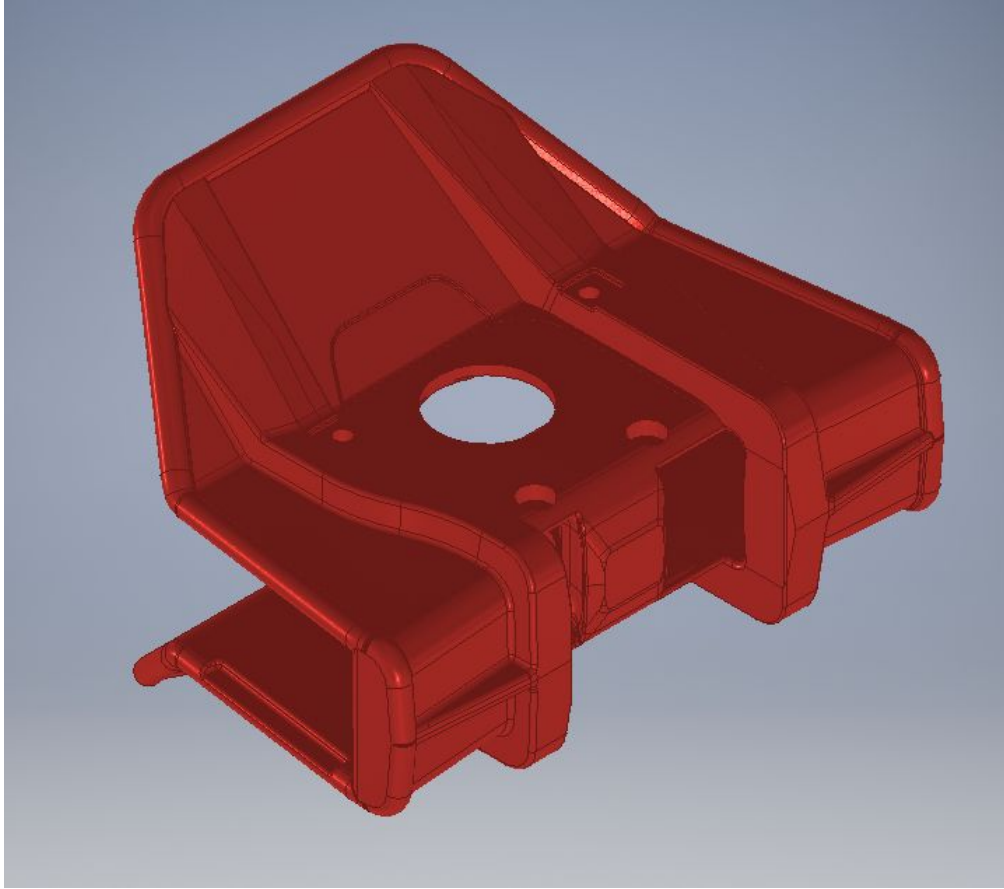
5.3 Lösningförslag

I figur 7 nedan visas lösning 1 som är starkt influerad av den oförlängda fångmunnen. Förstärkningsribborna är tjockare, bredare samt riktade mer upp längs instyrningsläppen för att få mer material på läppen. Tanken var att läpparna skulle bli märkbart starkare med så mycket mer material på instyrningsläppen.



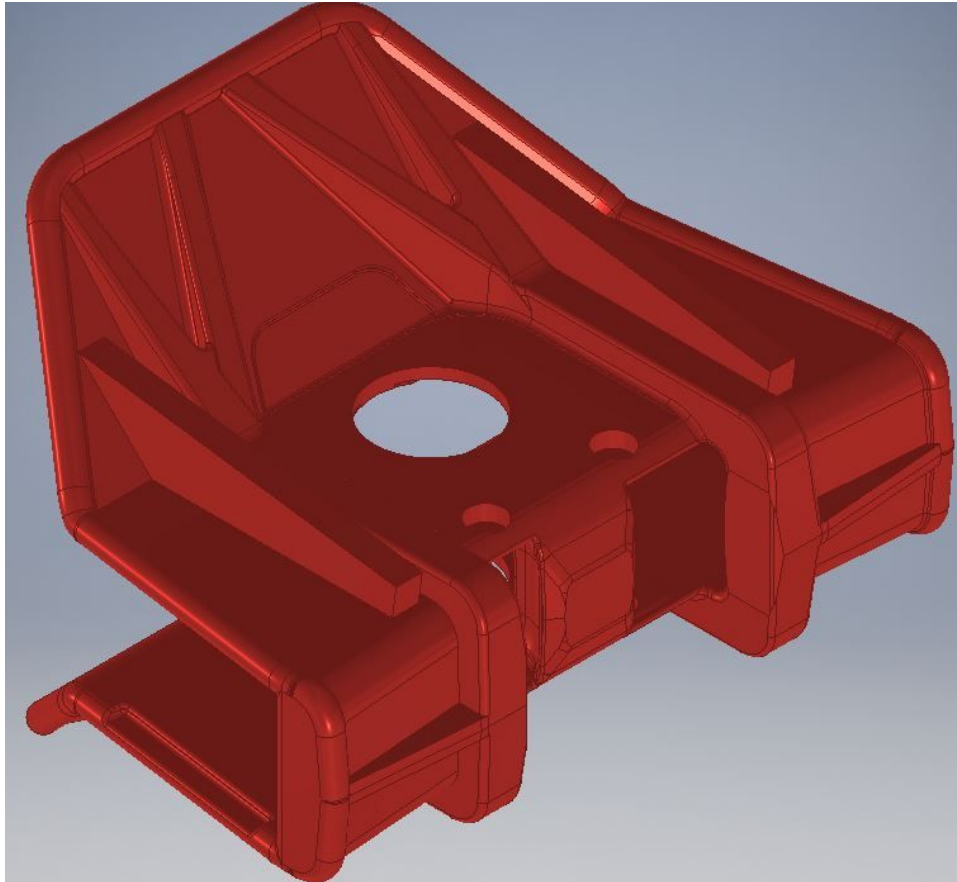
Figur 7. Lösningförslag 1.

I figur 8 nedan visas lösning 2 vilken är en variant av en fångmun där man har två större förstärkningsribbor istället för flera små. Idén bakom detta var att två grövre ribbor skulle vara starkare än flera små och vara mer estetiskt tilltalande än lösning 1.



Figur 8. Lösningsförslag 2.

I figuren 9 nedan visas lösning 3. Modellen är en omarbetad version av den oförlängda fångmunnens förstärkningsribbor. Det som skiljer förstärkningsribborna åt gentemot originalmunnen, se figur 3, är att de är längre och att de korta förstärkningsribborna har ersatts med två höga och lutande ribbor vilka är illustrerade som de yttersta ribborna i figur 9. Idén med modellen var att skapa förstärkningsribbor med enkel geometri för att underlätta tillverkningen av fångmunnen.



Figur 9. Lösningförslag 3.

5.4 Beräkningsresultat för fångmunnarna

5.4.1 Spänningsbild

5.4.1.1 Lösning 1

I bilaga 4 och 5 finns två bilder på spänningsbilden hos kopplingen med fångmunnen från lösning 1. Intressanta spänningar har markerats ut tillsammans med dess magnitud. Spänningarna på horisontalbulten var maximalt 803.48 [MPa] på trycksidan och 736.99 [MPa] på dragsidan, se bilaga 4 eller 5. Den största spänningen kring hålet på bygelns har noterats att bli maximalt 1039.5 [MPa], se bilaga 4. Säkerhetsfaktorn i bygelns är därför 1.14 och kraften som gav upphov till dessa spänningar var 94.5 [kN].

5.4.1.2 Lösning 2

I bilaga 7 och 8 finns två bilder på spänningsbilden hos kopplingen med fångmunnen från lösning 2. Intressanta spänningar har markerats ut tillsammans med dess magnitud. Spänningarna på horisontalbulten var maximalt 850.35 [MPa] på trycksidan och 749.37 [MPa] på dragsidan, se bilaga 7 eller 8. Den största spänningen kring hålet på bygelns har noterats att bli maximalt 776.6 [MPa], se bilaga 7. Säkerhetsfaktorn i bygelns är därför 1.40 och kraften som gav upphov till dessa spänningar var 103.5 [kN].

5.4.1.3 Lösning 3

I bilaga 10 och 11 finns två bilder på spänningsbilden hos kopplingen med fångmunnen från lösning 3. Intressanta spänningar har markerats ut tillsammans med dess magnitud. Spänningarna på horisontalbulten var maximalt 840.39 [MPa] på trycksidan och 720.13 [MPa] på dragsidan, se bilaga 10 eller 11. Den största spänningen kring hålet på bygelns har noterats att bli maximalt 614.66 [MPa], se bilaga 10. Säkerhetsfaktorn i bygelns är därför 1.42 och kraften som gav upphov till dessa spänningar var 102 [kN].

5.4.2 Genomplasticering

5.4.2.1 Lösning 1

Bilaga 6 visar en förstoring av den belastade instyrningsläppen tillhörande kopplingen med fångmunnen från lösningsförslag 1. En röd cirkel är utmarkerad vilken beskriver det område där genomplasticering först kommer att ske. Man kan notera i bilaga 5 att instyrningsläppen förfogar över märkbart lägre spänningar i en större andel av tvärsnittet än hos de andra lösningarna. Genomplastiseringen har dock uppstått på samma plats som för den oförlängda fångmunnen. Detta bekräftades vid animering av deformationsförloppet där det syntes att strukturen gav vika i detta område först.

5.4.2.2 Lösning 2

Bilaga 9 visar en förstoring av den belastade instyrningsläppen tillhörande kopplingen med fångmunnen från lösningsförslag 2. En röd cirkel är utmarkerad vilken beskriver det område där genomplasticering först kommer att ske. Spänningsbilden i instyrningsläppen, se bilaga 8, är väldigt lik den hos den oförlängda fångmunnen och genomplasticeringen uppkom kring böjningen högre upp på läppen också. Detta bekräftades vid animering av deformationsförloppet där det syntes att strukturen gav vika i detta område först.

5.4.2.3 Lösning 3

Bilaga 12 visar en förstoring av den belastade instyrningsläppen tillhörande kopplingen med fångmunnen från lösningsförslag 3. En röd cirkel är utmarkerad vilken beskriver det område där genomplasticering först kommer att ske. Deformationsförloppet har gått till väldigt annorlunda i jämförelse med de tidigare fångmunnarna och genomplasticeringen uppstod inte i böjningen högre upp på läppen, utan den uppstod längre ned mot mitten av läppen. Detta bekräftades vid en animering av deformationsförloppet där det syntes att strukturen gav vika i detta område först.

6. Diskussion

Intressanta resultat och annan data under projektets gång har noterats och analyserats för att besvara diverse frågeställningar som uppkommit vad gäller validering av beräkningsmodellen. Intressanta skillnader och likheter hos lösningsförslagen diskuteras och eventuella förbättringar föreslås.

6.1 Varför tro på referensmodellen?

Grundläggande för att spänningsbilden skall bli korrekt är att deformationsbilden överensstämmer med verkligheten. För att deformationsbilden skall bli korrekt behöver randvillkor ansättas vilka beskriver hur modellen får deformeras när den utsätts för en belastning. En jämförelse mellan deformationsbilden för kopplingen i beräkningsrapporten från referensmodell ett och den slutgiltiga beräkningsmodellen, som skapades i Ansys 17.1 bekräftade att deformationen verkade rimlig. Därmed ansågs randvillkoren trovärdiga och arbetet med att fastställa en beräkningsmodell som ger en god approximativ lösning kunde fortgå.

Fortsättningsvis behövdes en bra materialmodell för komponenterna eftersom en felaktig materialmodell skulle ge spänningar som avviker från verkligheten och därmed blir deformationen eventuellt missvisande. Eftersom beräkningen skulle ta hänsyn till plastisk deformation behövde materialen tilldelas korrekta plastiska egenskaper. En materialmodell testades på kopplingen med den oförlängda fångmunnen som utgick från liknande materials sanna spännings-töjningskurvor. Dock blev resultatet otillräckligt då kraften som kopplingen då kunde uppta innan genomplastisering var märkbart lägre än önskat. Därför tillämpades materialmodellen som var given i beräkningsrapporten från uppdragsgivaren, då denna efterliknade det fysiska testet bättre.

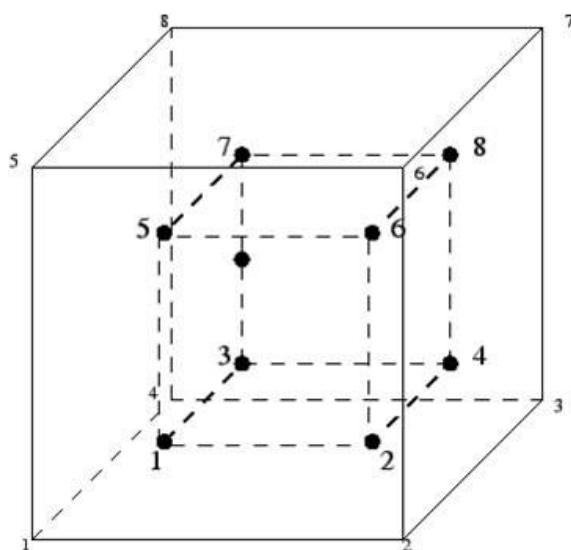
Meshen som användes var ett val som uppkom efter flera försök och varianter av meshtyper för att göra den så bra som möjligt. Det som eftersträvades var att skapa en mesh som resulterade i att det erhållna resultatet från beräkningssimuleringen liknade resultatet av det fysiska testet från referensmodell två. Enligt (Hale, 2014) har en bra mesh åstadkommit när resultatet som erhålls från beräkningssimuleringen efterliknar ett verkligt test och inte nödvändigtvis när man har så små element som möjligt överallt.

Ett problem var att om ett element blev för deformerat gjorde det att programvaran inte kunde fullfölja beräkningen, vilket kunde avsluta beräkningen för tidigt. Efter ett antal försök skapades en mesh som gjorde att beräkningen kunde fullföljas och eftersom resultatet motsvarade 90% av lasten från det fysiska testet ansågs det vara tillräckligt enligt uppdragsgivare.

6.2 Tolkning av resultat

6.2.1 Spänningar över sträckgräns

Vid noggrannare undersökning av spänningarna i fångmunnen noterades det att några noder hos vissa element på ytan av den belastade instyrningsläppen översteg sträckgränsen. Detta är orimligt eftersom spänningarna i teorin inte kan överstiga sträckgränsen för ett material som är elastiskt idealplastiskt. Vad programmet gör enligt (Echobio, 2009) är att skapa "integration points" i element för att sedan extrapolera spänningsvärden från integrationspunkterna till noderna. Noder delas av flera element, där de extrapolerade värdena beräknas till ett medelvärde i noden för att göra spänningsbilden mer kontinuerlig. Vad som då kan hända när man har ett elastiskt idealplastiskt material i ett element som upplever spänningar som är precis under sträckgränsen i dess integrationspunkter, är att extrapoleringen medför spänningar som är större än sträckgränsens till noderna enligt (Stevens, 2016). Hur detta skulle kunna korrigeras diskuteras i nästa avsnitt. Figur 10 nedan illustrerar en integrationspunkt extrapolerar värden till noderna.



Figur 10. Illustration av integrationspunkterna inuti ett element.

Även om spänningarna överstiger sträckgränsen är resultatet fortfarande trovärdigt. Dels eftersom att modellen blev bekräftat korrekt enligt referensmodellerna men också för att elementen är korrekta, bara att nodernas spänningsvärden är missvisande. Det kommer diskuteras i nästa avsnitt, som tidigare nämnt, men en lösning till att noderna visar för stora värden är att få programmet att inte extrapolera värden till noderna som är högre än sträckgränsen. Detta innebär att de värden på noderna som överstiger sträckgränsen egentligen skulle vara samma värde som sträckgränsen.

6.2.2 Säkerhetsfaktorn och verkligheten

Resultatet från metodverifieringen, avsnitt 5.2.1, visade att originalkopplingen klarade en last motsvarande 90% av den verkliga lasten, se referensmodell två. Därmed borde lasten som lösningsförslagen i verkligheten klarar av att bli högre än vad beräkningarna visar. Detta innebär att spänningarna i det verkliga fallet kan komma att bli högre än de beräknade spänningarna. Säkerhetsfaktorn kan därför i verkligheten komma att minska. Huruvida säkerhetsfaktorerna fortfarande kommer att ligga inom intervallet 1.2-1.5 är svårt att uppskatta då spänningarna i horisontalbulten inte nödvändigtvis ökar linjärt med lasten. Ett verkligt test är nödvändigt för att definitivt finna den korrekta hållfastheten som kopplingen innehar.

Från resultatet i avsnitt 5.4.1.1 för lösning 1 framgår det att säkerhetsfaktorn i bygelns är 1.14 och därmed uppfyller inte lösningen hållfasthetskravet för säkerhetsfaktorn. Det finns dessutom en risk att området på bygelns vid det stora hålet kommer att plasticera vid ett fysiskt test enligt diskussionen ovan, då spänningarna låg nära sträckgränsen för bygelns.

6.3 Jämförelse av fångmunnarna

Sett från resultatet i avsnitt 5 är fångmunnarna unika på många vis. Vad som kan noteras i lösning 1 är att spänningarna som uppstår kring det stora hålet vid bygelns är markant högre än hos de andra lösningarna. De är till och med högre än spänningarna i horisontalbulten, vilket antyder att denna typ av fångmun belastar bygelns annorlunda i jämförelse med andra lösningarna inklusive den oförlängda fångmunnen. Detta är inte önskvärt eftersom spänningarna i horisontalbulten är de som önskas vara dimensionerande och inte de som uppkommer vid hålet på bygelns. Varför lösning 1 belastar bygelns mer beror på att instyrningsläpparna är alldeles för starka.

Resultatet ovan noterades innan lösning 2 och 3 skapades och därför anpassades dessa till att låta instyrningsläpparna böja ut sig mer samt förebygga fångmunnen från att belasta bygelns mer än horisontalbulten genom att förstärka böjningen vid instyrningsläppen. Lösning 2 skapades med en inte lika styv instyrningsläpp men med en grövre förstärkning vid böjningen hos instyrningsläppen. Detta resulterade till att spänningarna blev bättre fördelade mellan bygelns och horisontalbulten, då spänningarna vid bygelns blev märkbart lägre än hos lösning 1. Genomplasticeringen gick till på samma sätt som den oförlängda fångmunnen.

Lösning 3 är en väldigt enkel fångmun eftersom minimal geometriförändring av förstärkningsribborna krävdes. De två nya förstärkningsribborna gör att hela fångmunnen klarar av mer moment från lasten istället för att bygelns tar upp allting i jämförelse med lösning 1, samtidigt som att läpparna böjer ut sig betydligt mer innan genomplasticering. En märkbar skillnad mot de andra fångmunnarna är att genomplasticeringen sker längre ned på

läppen istället för i instyrningsläppens början likt de andra lösningarna. Dessutom blev spänningarna kring hålet på bygeln lägre än båda de andra lösningarna.

Värt att notera är att den enkla geometrin hos de två nya förstärkningsribborna gör det enkelt att justera hur man vill att fångmunnen skall bemöta belastningen. Man kan i teorin justera var man vill att instyrningsläppen skall plasticera genom att ändra hur högt eller lågt de större förstärkningsribborna når på läppen. Ju högre upp mot kanten de når, desto närmare sker genomplasticeringen toppen av läppen och tvärtom ifall de når lägre. Om man istället vill att fångmunnen skall klara ett större moment kan man exempelvis göra förstärkningsribborna bredare och därmed styvare. Denna lösning är därför i teorin den bästa för att enkelt justera hur spänningarna skall fördelas hos bygeln och horisontalbulten.

6.4 Förbättringar

I verkligheten skulle materialet hos fångmunnen deformationshårdna. Detta är en egenskap som är viktig att ta hänsyn till vid beräkningar av spänningar vid plastiska deformationer, då det är en plastisk egenskap. Materialmodellen som har använts istället är ett knep man kan testa istället för att införa deformationshårdnande.

Eftersom den nuvarande materialmodellen är elastisk idealplastisk med en sträckgräns som är cirka $\frac{2}{3}$ högre än den verkliga kan man tänka sig att materialet beter sig likartat. En förbättring som kan göras är att införa det verkliga deformationshårdnandet som materialet får vid det plastiska området. Flera försök utfördes med den verkliga plastiska karaktären som materialet hade, dock utan framgång. I teorin borde verkliga materialegenskaper ge en modell som är mer lik verkligheten än en förenkling. Det som behöver undersökas är på vilket vis det verkliga deformationshårdnandet bör införas för att programvaran skall kunna beräkna en rimlig lösning som är bättre än förenklingen.

Det har tidigare nämnts att den oförlängda fångmunnens lastkapacitet innan genomplasticering uppnådde 90% av den verkliga lasten för projektets beräkningsmodell. För att ytterligare närma sig den verkliga lasten borde man testa att göra en bättre mesh och noggrant undersöka och korrigera de brister som noterats i denna rapport. Meshen är fundamental för resultatet och det är därför viktigt att den blir bra. Viktigt att tänka på är att beräkningsresultaten alltid kommer att ge en approximativ lösning. Målet är dock att optimera beräkningsmodellen att hamna så nära verkligheten som möjligt, vilket det finns utrymme för i detta projekt.

Något som blev noterat, men som inte undersöktes var "boundary conditions". Vad detta innebär är hur programmet tolkar hur olika delar sitter ihop med varandra. Det finns en mängd olika alternativ som kan ställas in i programmet för hur dessa skall behandlas, men eftersom att resultatet blev validerat att stämma tillräckligt bra så utvecklades inte detta

vidare. Det kan finnas andra boundry conditions som gör resultatet bättre, men detta har alltså inte undersökts på grund av tidsbrist.

När arbetet med att utveckla lösningsförslag till en förlängd fångmun var avklarat noterades ett fel vid ansättningen av randvillkoret på instyrningsläppens kant. Randvillkoret låser en yta som är större än den i det fysiska testet vilket leder till att fångmunnens kant låses för hårt och kan därmed påverka resultaten. Nya beräkningar på lösningsförslagen med ett randvillkor som endast låser den raka delen av läppen rekommenderas för att få ett resultat som efterliknar verkligheten bättre.

7. Slutsats

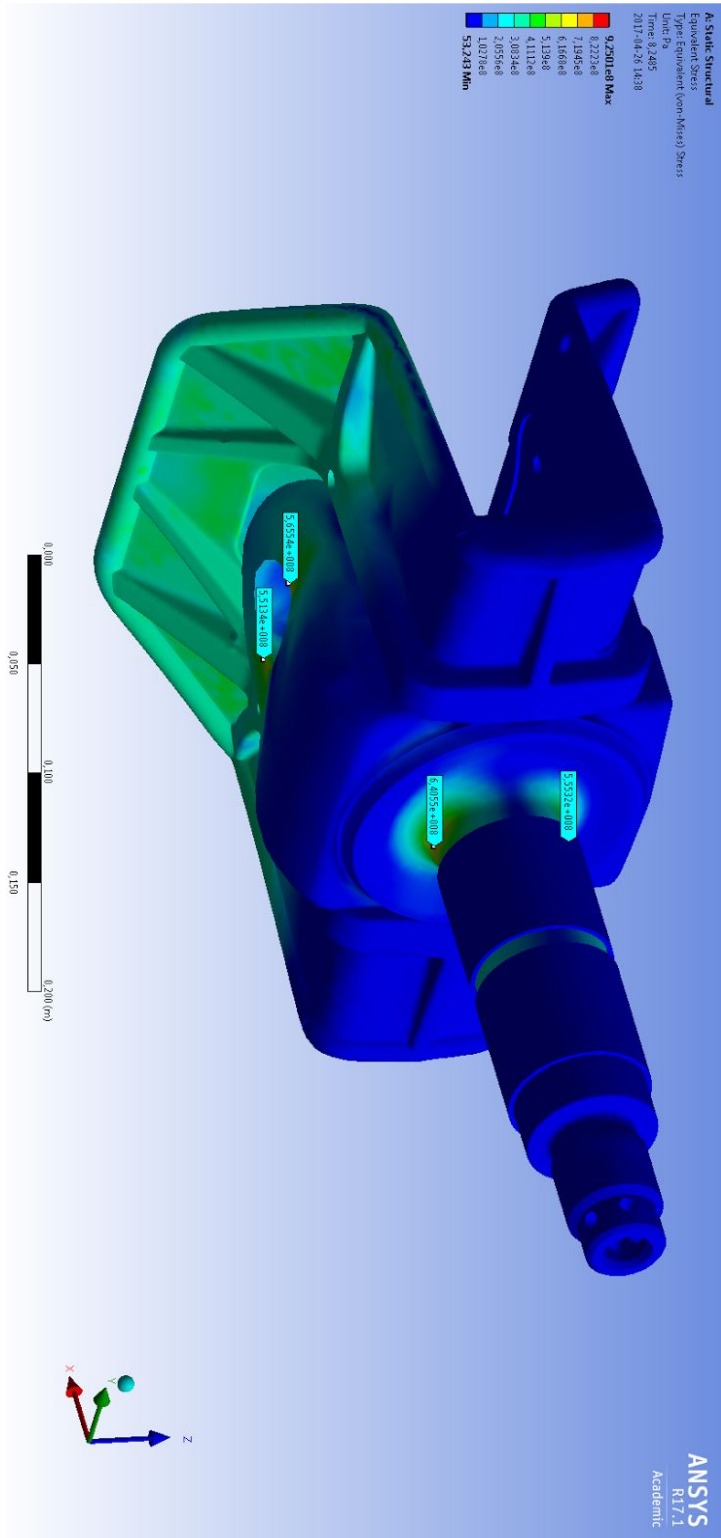
Utiifrån diskussionen vid jämförelse av fångmunnarna framgår det att lösning 1 inte är en trolig lösning då den inte uppnår kraven för säkerhetsfaktorn i bygeln. Lösning 2 och 3 uppfyller de ställda kraven och är väldigt snarlika gällande hur stor kraft de kan belastas med innan genomplasticering sker. De större skillnaderna är utseendet och var genomplasticering sker. Utseendet är en rent subjektiv fråga medan var genomplasticering sker är mer avgörande. Ett mått på vilken lösning som går sönder på det mest lämpliga sättet är något som inte blivit undersökt tidigare, så att göra ett slutgiltigt val är därför svårt. Båda lösningarna är giltiga förslag men valet går tillbaka till uppdragsgivaren för att göra en egen bedömning.

Källor

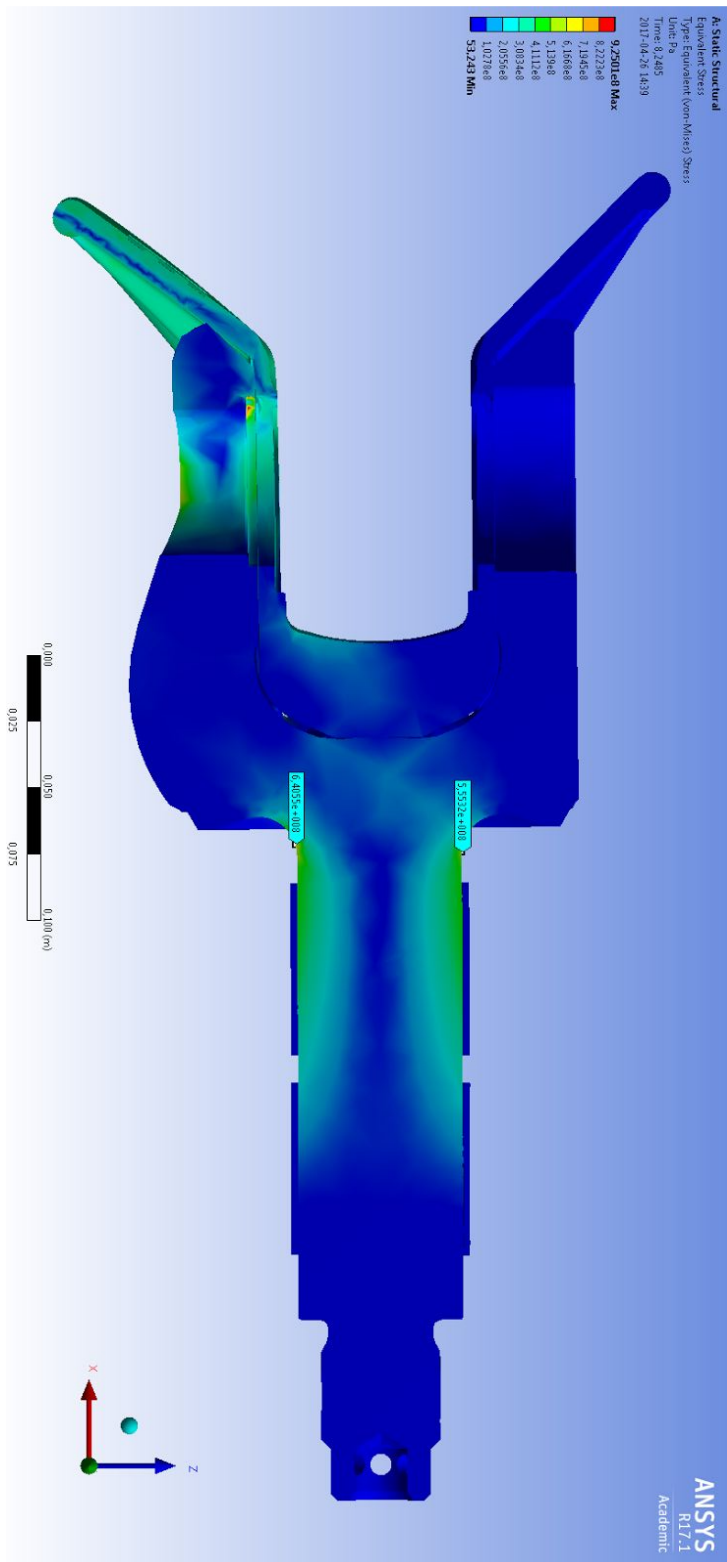
1. Solidworks. 2010. *Understanding nonlinear analysis*. Solidworks.
https://www.solidworks.com/sw/docs/Nonlinear_Analysis_2010_ENG_FINAL.pdf (hämtad 2017-05-09)
2. Ansys, Inc. 1998. *Chapter 3: Adaptive Meshing*. Ansys, Inc.
http://www.ansys.stuba.sk/html/guide_55/g-adv/GADV3.htm (hämtad 2017-05-09)
3. Pointer, Jon. 2004. *Understanding Accuracy and Discretization Error in an FEA Model*. Ansys, Inc.
<http://www.ansys.com/-/media/Ansys/corporate/resourcelibrary/conference-paper/2004-Int-A-NSYS-Conf-54.PDF> (hämtad 2017-05-09)
4. Barret, Peter. 2016. *Understanding Geometric Nonlinearities*. CAE Associates.
<https://caeai.com/blog/understanding-geometric-nonlinearities> (2017-05-09)
5. Stevens, Nick. 2016. *Elastic-Plastic Analysis in ANSYS Gives Stress Above Yield*. Tor Engineering. <http://tor-eng.com/2016/03/elastic-plastic-analysis-ansys-gives-stress-yield/> (hämtad 2017-05-09)
6. Echobio. 2009. *Interpreting FEA Results: Integration Point Data*. Echobio.
<http://echobio.com/news/interpreting-fea-results-integration-point-data/> (hämtad 2017-05-09)

Bilagor

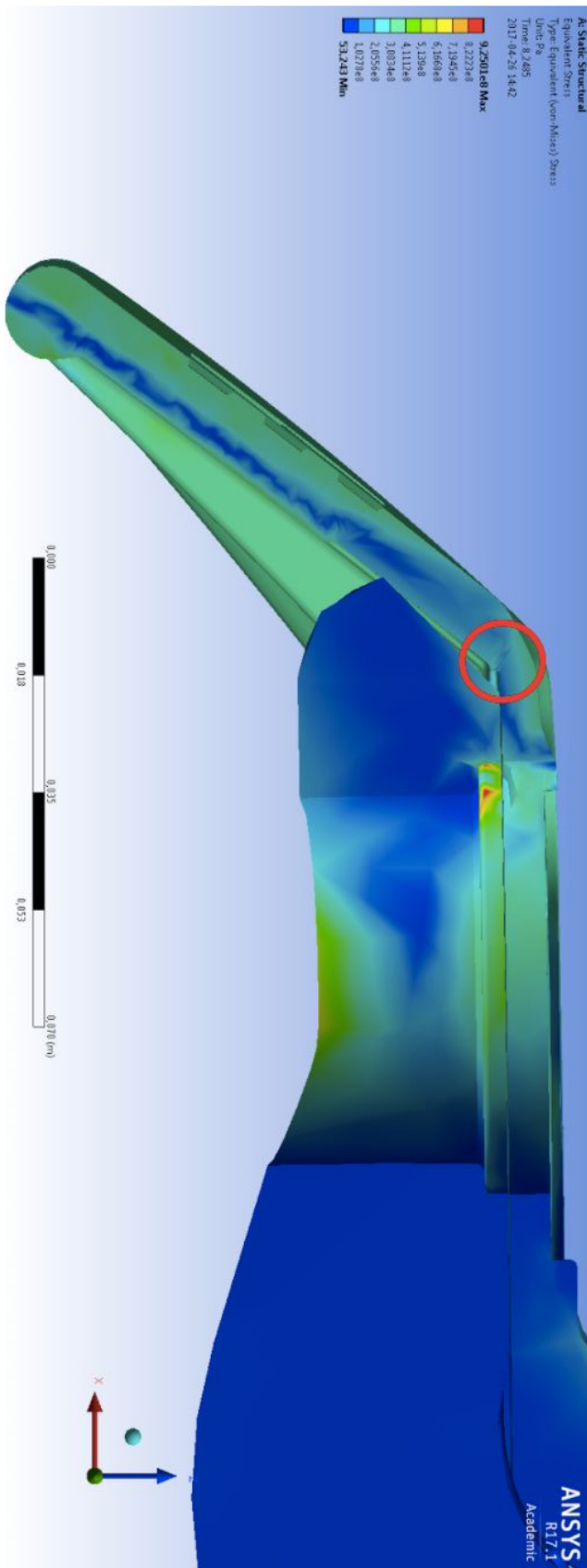
Bilaga 1



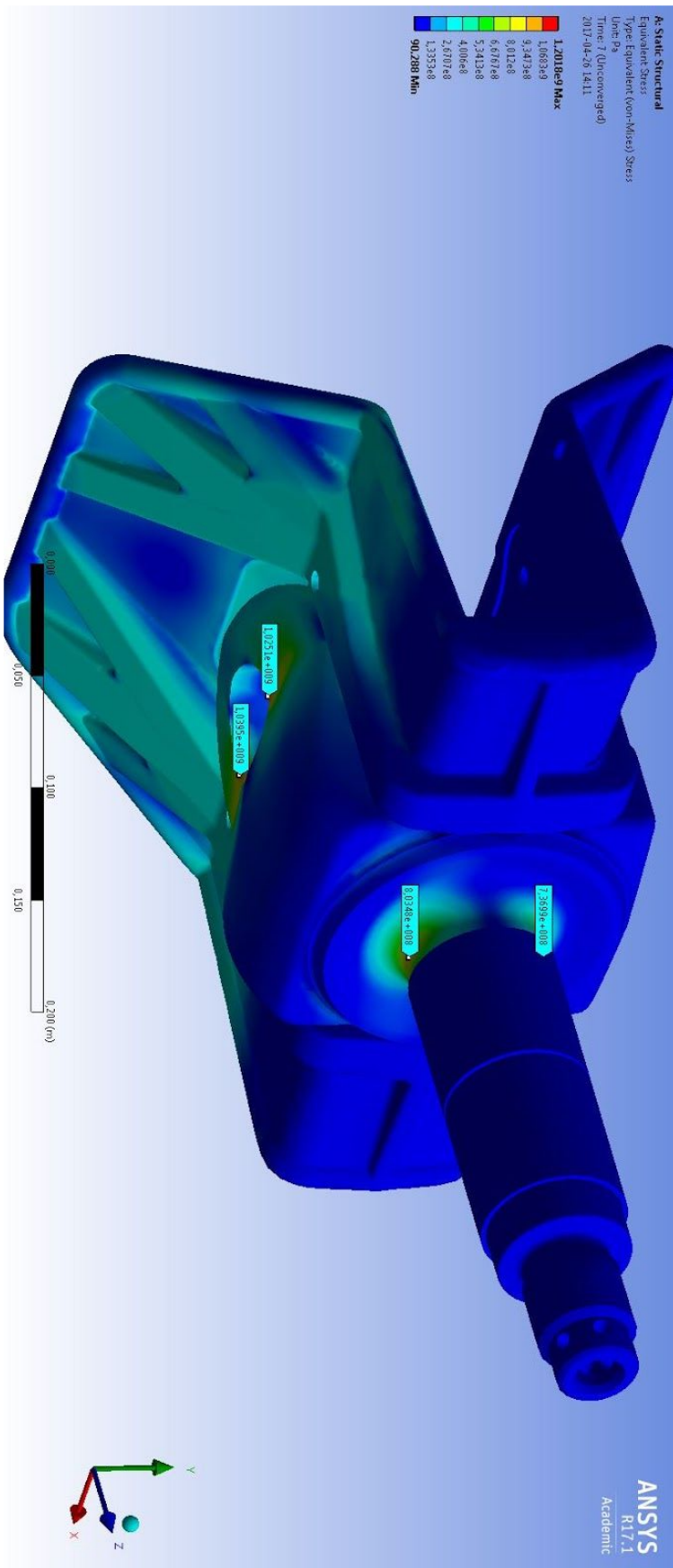
Bilaga 2



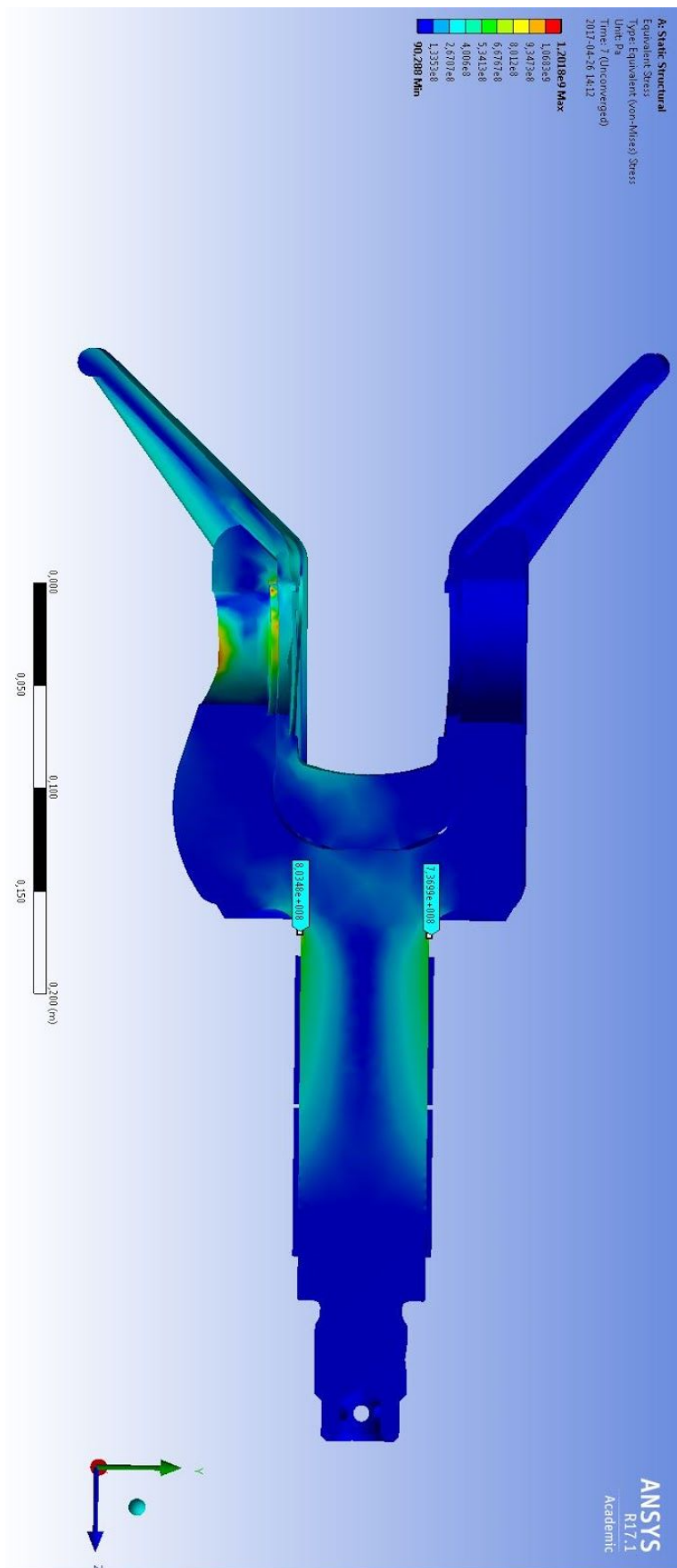
Bilaga 3



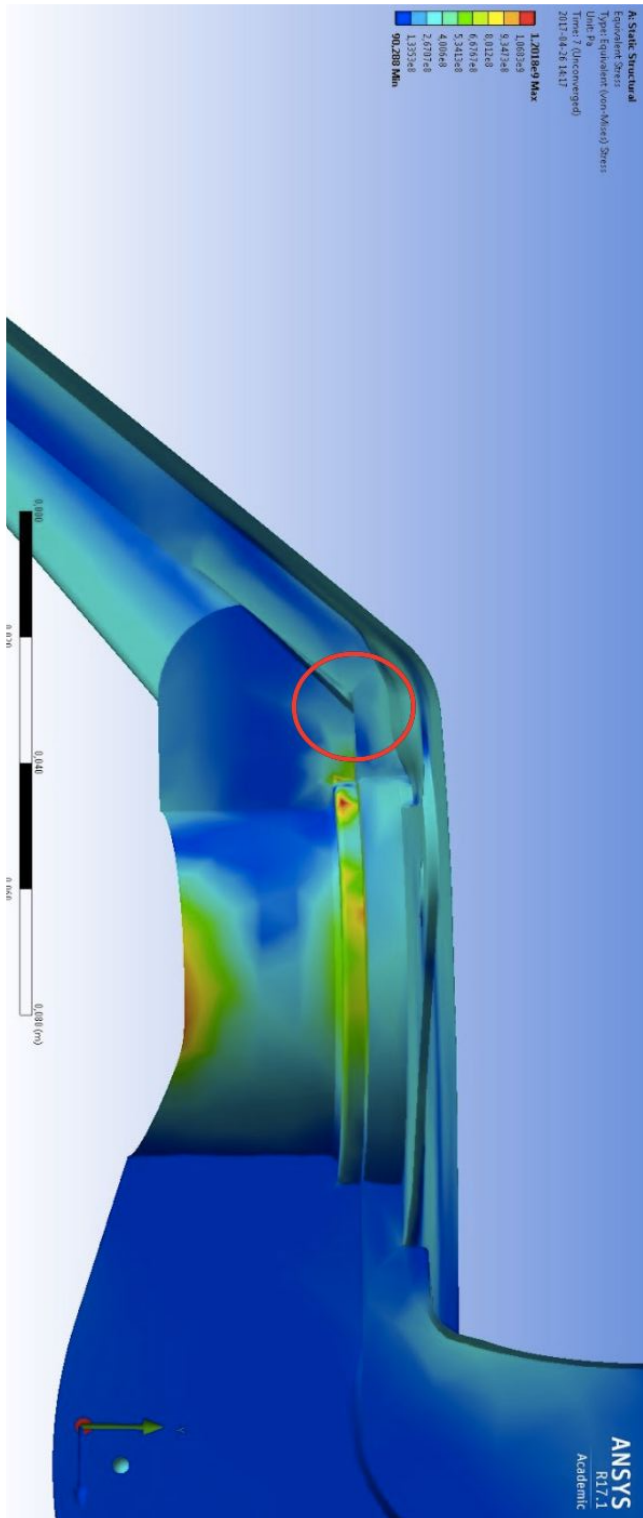
Bilaga 4



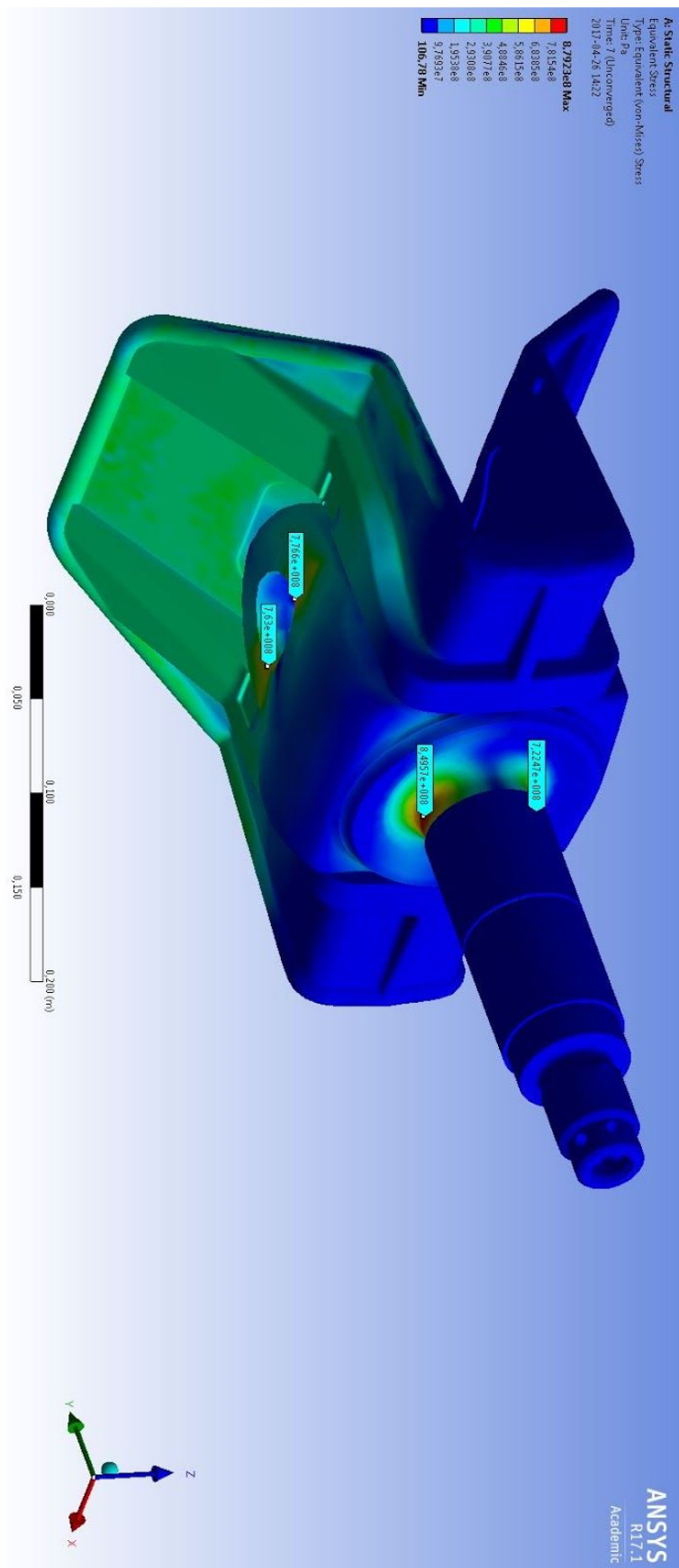
Bilaga 5



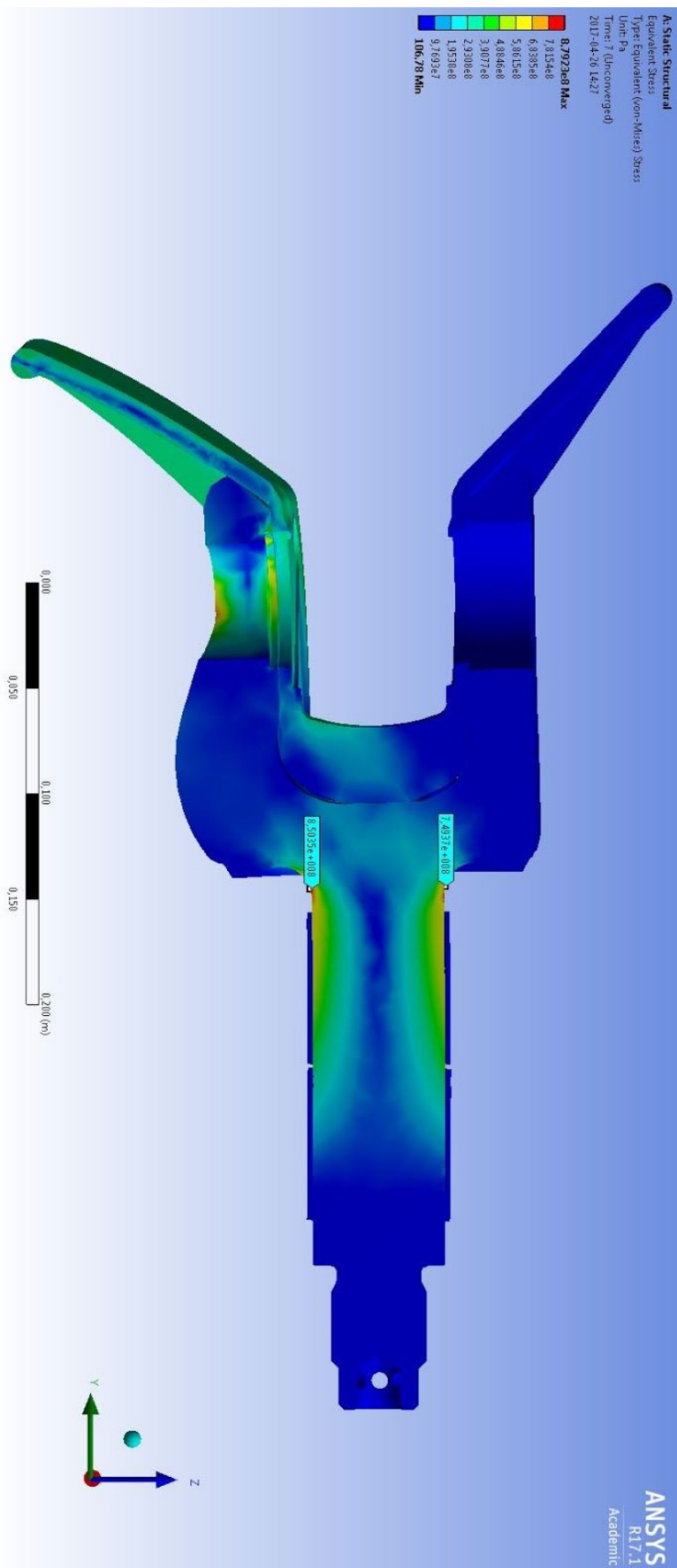
Bilaga 6



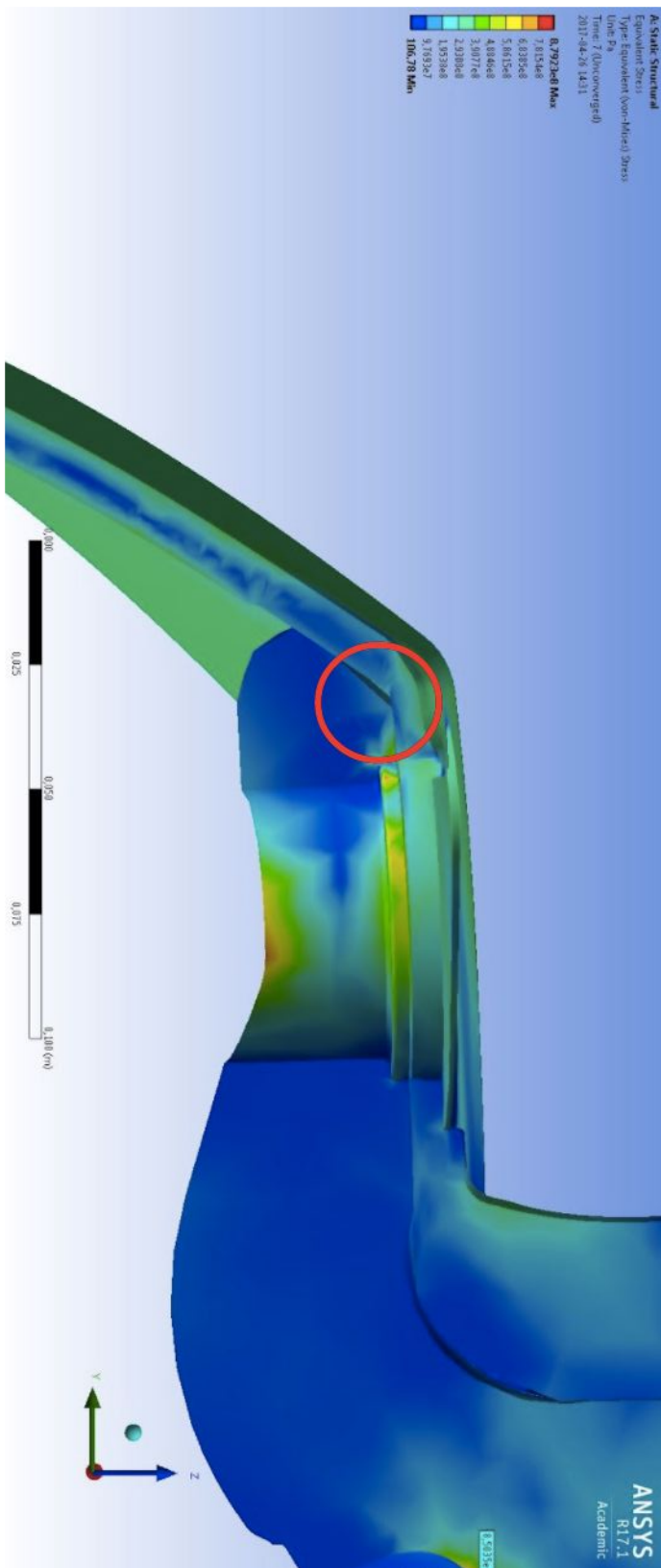
Bilaga 7



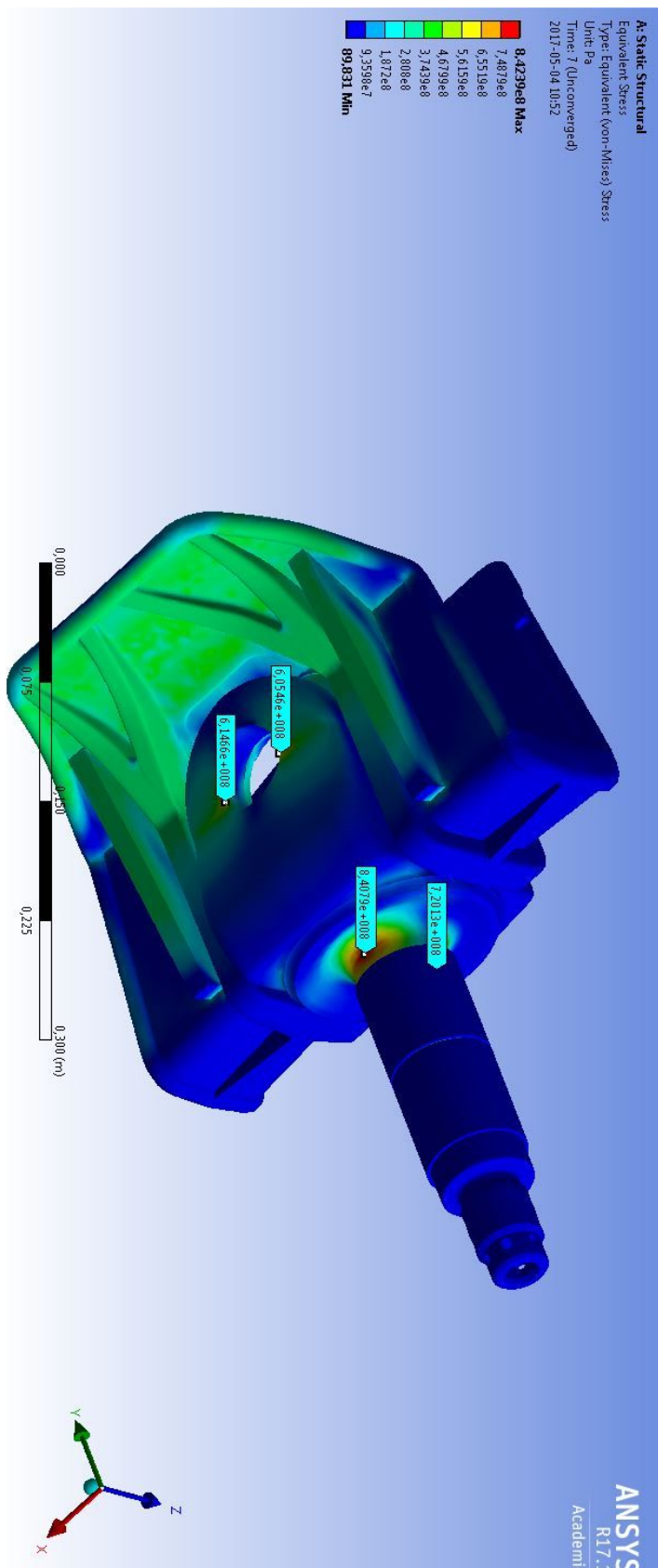
Bilaga 8



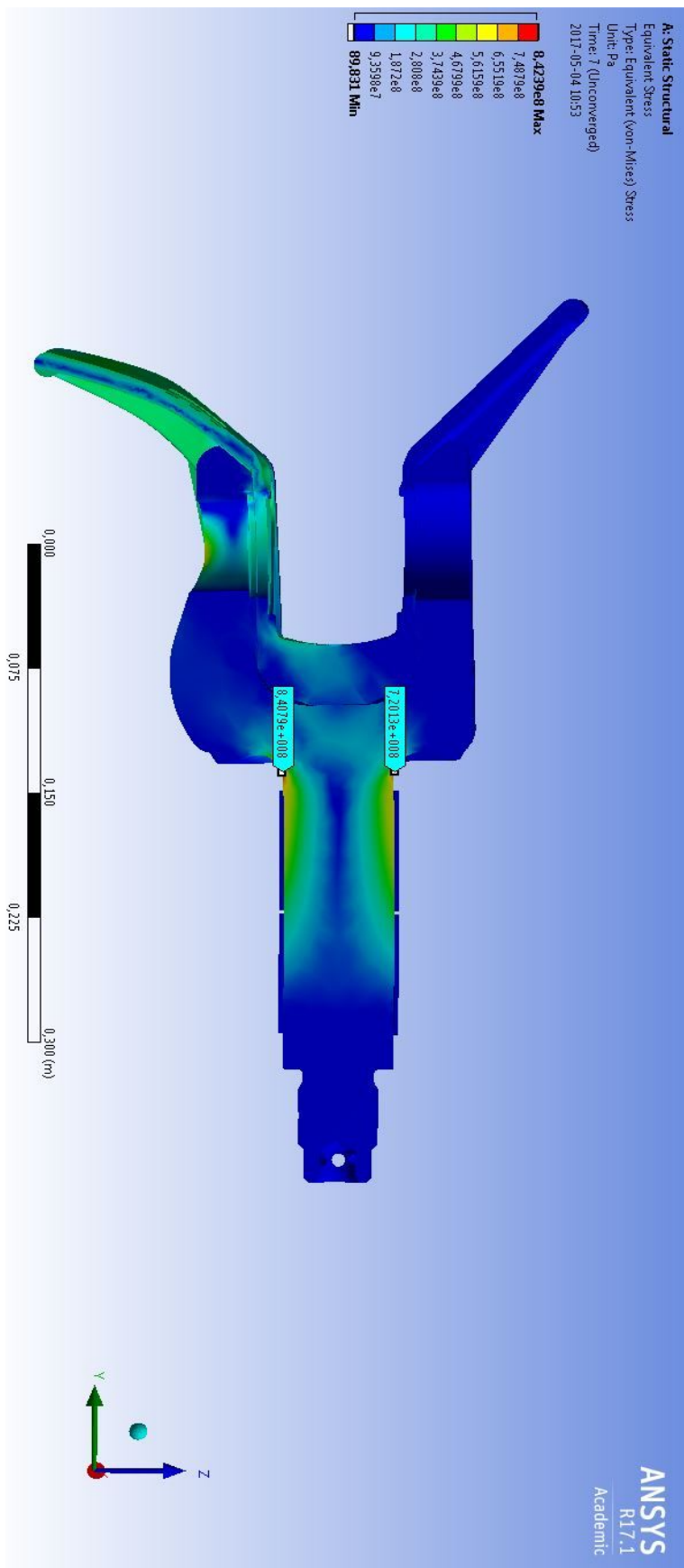
Bilaga 9



Bilaga 10



Bilaga 11



Bilaga 12

