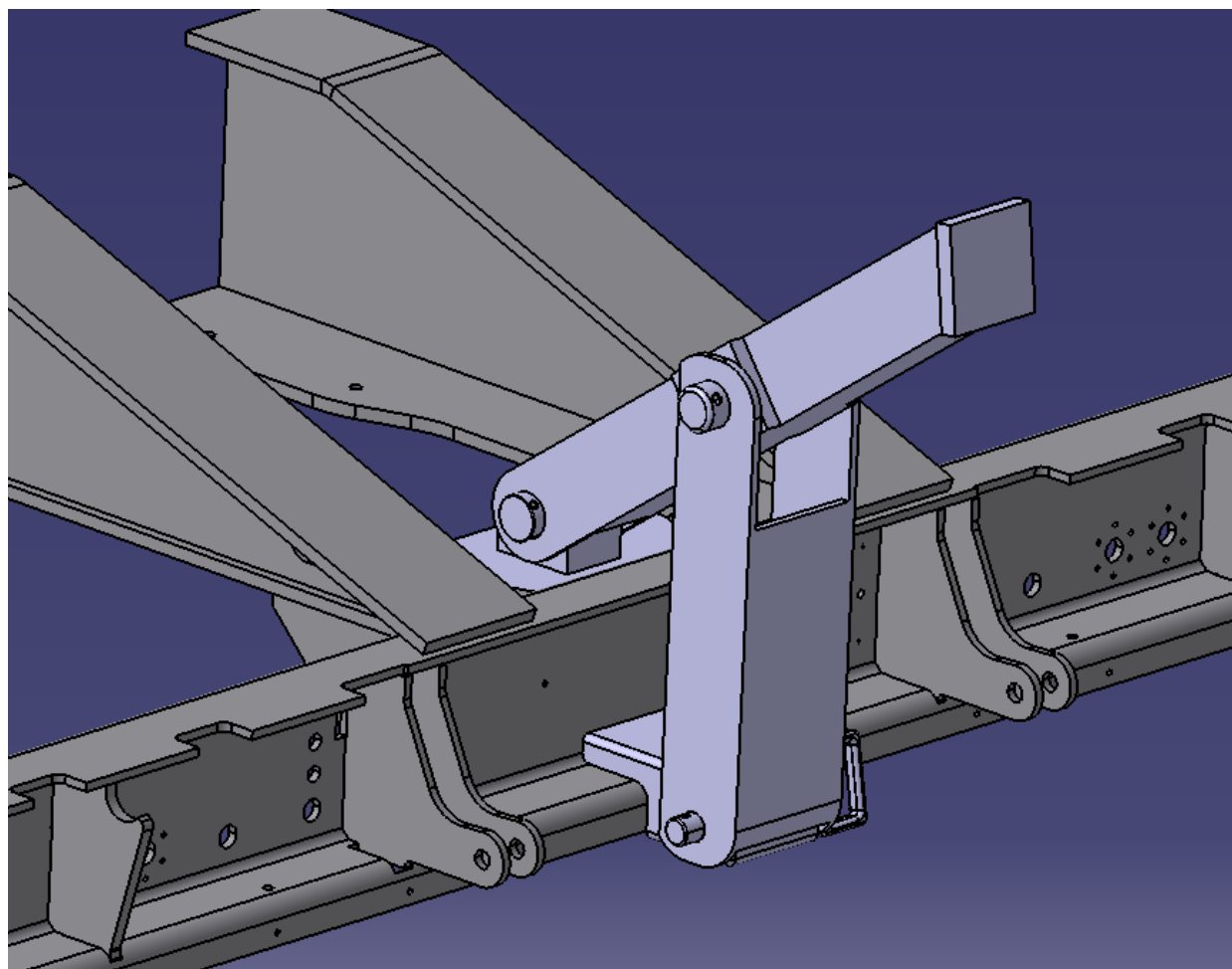




CHALMERS



Nykonstruktion av kopplingsmontage

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Axel Strandborg
Fredrik Nilsson

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

Nykonstruktion av kopplingsmontage

Axel I. Strandborg
Fredrik M. Nilsson

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2020

Nykonstruktion av kopplingsmontage

Axel I. Strandborg

Fredrik M. Nilsson

© Axel I. Strandborg, 2020.

© Fredrik M. Nilsson, 2020.

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

Chalmers Tekniska Högskola

SE-41269 Göteborg

Sverige

Telefon: +46 (0)31-772 1000

Framsida:

Vy över slutgiltigt koncept, från sida 17.

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

Göteborg, Sverige 2020

Nykonstruktion av kopplingsmontage
Axel I. Strandborg
Fredrik M. Nilsson
Institutionen för industri- och materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola

SAMMANFATTNING

Företaget VM Trailer tillverkar och levererar trailers, släp, kärror, dragbilspåbyggnationer samt diverse specialpåbyggnationer för lastbilar. På deras trailer avsedd för transport av skogsmaskiner finns en utfällbar draganordning längst bak ifall användaren vill dra en till trailer. Den tänkta extra trailern skall ha en max vikt på åtta ton med en säkerhetsfaktor tre, vanligtvis handlar det om personalvagnar eller liknande.

Enligt kund satt kopplingspunkten på denna draganordning för nära trailern och för lågt vilket var lite av en akilleshäl för hela släpet. Denna rapport beskriver utvecklingsprocessen av en nykonstruktion på draganordningen med tillhörande hållfasthetsberäkningar, CAD-modeller, FEM-beräkningar samt ritningar. Projektet omfattade inga ekonomiska aspekter, tillverkning, materialval, kundundersökningar eller prototypframtagning.

Frågorna som ställdes var: hur skall kopplingsanordningen konstrueras för att uppfylla kundernas önskan, hur ska den fästas i trailern, hur skall den döljas då den inte behövs och hur ska den konstrueras för att dra åtta ton?

Idégenereringsfasen resulterade i fem olika koncept varav två gick vidare efter en första urvalsprocess. Dessa två koncept förtydligades i CAD-modeller varvid beräkningar genomfördes i FEM för att kontrollera spänningar och deformationer.

Genom att studera krav, spänningar, deformationer och användarvänlighet så kunde slutligen ett vinnande koncept väljas ut. Resultatet är en draganordning med en kopplingspunkt högre upp och längre ut än föregående lösning. Den sitter ledat monterad i trailern med två fästen och går enkelt att dölja då den inte används. Konstruktionen kan dra en trailer på åtta ton med en säkerhetsfaktor tre utan att närma sig sträckgränsen.

ABSTRACT

VM-Trailer manufactures and delivers trailers, wheelers, tractor trailer bodyworks and various specialized bodyworks for trucks. On their trailers intended for carrying forestry machines, there is a folded pulling device at the back, in case the driver wants to pull another trailer. The pulling device has the capacity to pull a maximum weight of eight tons with a safety factor of three, the extra trailer is often a personal wagon or something similar.

According to the customer, the positioning of the pulling device doesn't allow for easy usage and coupling. This thesis describes the process of redesigning off the pulling device, with associated strength calculation, CAD-models, FEM-calculations and drawings. The project didn't include any economic aspects, manufacturing processes, choice of material, customer surveys or prototyping.

The questions to be answered: How should the pulling device be designed to satisfy the costumers needs? How do we fasten it to the trailer? How can it be hidden when it's not in use? How can it be built to pull eight tons?

The idea generation resulted in five concepts, where two passed the first selection process. To develop the selected concepts, CAD software was used, where different correlations and iterations of the concept were facilitated using FEM analysis.

A final concept was selected taking in consideration the client requirements, tension and deformation studies and usability of the device. The result was a different placement of the connection point, which allowed for a design that facilitated hiding of the structure, that had the capacity to pull eight tons with a safety factor of three without approaching the yield point.

FÖRORD

Vi är två Chalmérister från programmet maskinteknik högskoleingenjörsinriktning med inriktning mot konstruktion, 180 högskolepoäng. Vi går nu sista terminen i trean och detta är vårt examensarbete. Omfattningen på arbetet är 15 högskolepoäng vilket ungefärligt är beräknat till 400 timmar per person.

Vi sökte efter ett examensarbete som innefattade ren mekanisk konstruktion och produktutveckling. Vi hittade företaget VM Trailer och valde att kontakta dem. De hade ingen annons ute men eftersom vi tyckte att företaget lät intressant och aktuellt valde vi att fråga om de eventuellt hade något uppdrag åt oss. Det visade sig att de hade det och vi besökte deras anläggning i Landvetter för att diskutera detta vidare. Uppdraget lät intressant och vi valde att gå vidare med detta examensarbete.

Vi vill tacka våra handledare Olle Thalín och Peter Lindström från VM Trailer och vår handledare Lars Lindkvist från Chalmers. Vi vill även tacka Peter Bövik för hjälpen med friläggningar och hållfasthetsberäkningar.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Precisering av frågeställningen	2
2. Metod	3
2.1 Undersökning	3
2.2 Kravspecifikation	3
2.3 Idégenerering/konceptframtagning	3
2.4 Hållfasthetsberäkning	3
2.5 Beräkning av massor	3
2.6 Val av koncept, del 1	3
2.7 CATIA V5	4
2.8 FEM-analys	4
2.9 Val av koncept, del 2	4
3. Undersökning av problemet	5
3.1 Kundbehovslista	5
3.2 Kravspecifikation	5
4. Framtagning av alternativa koncept	7
4.1 Idégenerering kopplingsmontage	7
4.2 Idégenerering av fäste till kopplingsmontagets huvudbalk	7
4.3 Konceptkatalog	8
4.3.1 Koncept A	8
4.2.2 Koncept B	9
4.2.3 Koncept C	10
4.2.4 Koncept D	12
4.2.5 Koncept E	13
4.3 Material	13
5. Analys och utvärdering av alternativa koncept	14
5.1 Hållfasthetsberäkning	14
5.1.1 Stångkrafter och spänningar	14
5.2 Massor	15
5.2.1 VÄRDEN	15
5.3 Elimineringsmatris	15
5.4 Kesselring Matris	16
6. Vidareutveckling av koncept	17
6.1 Koncept A	17
6.1.1 CAD	17

6.1.2 FEM.....	20
6.2 Koncept E	25
6.2.1 CAD	25
6.2.2 FEM.....	28
7. Slutgiltigt Koncept.....	32
7.1 Val av Koncept	32
7.2 Ritningar	33
8. Slutsatser	34
8.1 Slutsatser och erfarenheter.....	34
8.2 Diskussion	35
Referenser	36
Bilagor	
Bilaga 1.....	
Bilaga 2.....	
Bilaga 3.....	
Bilaga 4.....	
Bilaga 5.....	

1. INLEDNING

Detta kapitel beskriver bakgrunden av projektet samt syftet, avgränsningarna och frågeställningarna.

1.1 Bakgrund

VM Trailer är ett företag i Landvetter som konstruerar, tillverkar och levererar trailers, släp, kärror, dragbilspåbyggnationer samt diverse special påbyggnationer för lastbilar. Företaget levererar cirka 200 transportfordon per år och är idag en av Europas ledande tillverkare inom branschen. VM Trailer i Landvetter har cirka 40 anställda och hanterar både konstruktionen och tillverkningen av produkterna.

Trailers avsedda för transport skogsmaskiner har en kopplingsanordning i den bakre änden där man kan koppla ytterligare ett släp. Kopplingen går att fälla ut vid användning och döljas när man inte använder den t.ex. vid lastning. In- och utfällning sker manuellt med användarens muskelkraft.

Enligt kund är kopplingspunkten i bakre änden för låg och sitter för nära trailern, detta medför komplikationer då ett extra släp används. Höjdproblemet uppstår eftersom dessa extra släp oftast har en dragögla som sitter högre upp än nuvarande kopplingspunkt. Är det stor höjdskillnad mellan dessa medför det att extrasläpet hamnar i en vinklad position, detta scenario vill helst undvikas. Problemet som uppstår då kopplingspunkten sitter för nära trailern är att släpen kan ta i varandra vid en kraftig sväng, detta kan självklart skada både trailern och extratrailern.

Någonting som är väldigt viktigt utöver kopplingspunktens position är möjligheten att kunna dölja hela kopplingsanordningen då den inte används. Vid lastning av skogsmaskinen är det viktigt att kopplingsanordningen inte sticker upp för mycket ovanför "översulorna", det som kan hända är att maskinen och kopplingsanordningen skrapar i varandra och skadas, se bild 3.

Kopplingsmontaget måste vara konstruerat för att dra åtta ton med en säkerhetsfaktor på tre.

För VM Trailer är kopplingspunkten en "Akilleshäls" och därför vill de nu utveckla en nykonstruktion, detta kommer medföra en bättre och mer kundanpassad trailer.

Bild 1 visar hur ett av VM Trailers släp kan se ut bakifrån och bild 2 visar baksidan av den aktuella trailern i CATIA V5. Bild 3 beskriver de olika namnen på trailerns komponenter, dessa namn används senare i rapporten.



Bild 1: Bakre änden av en VM-Trailer

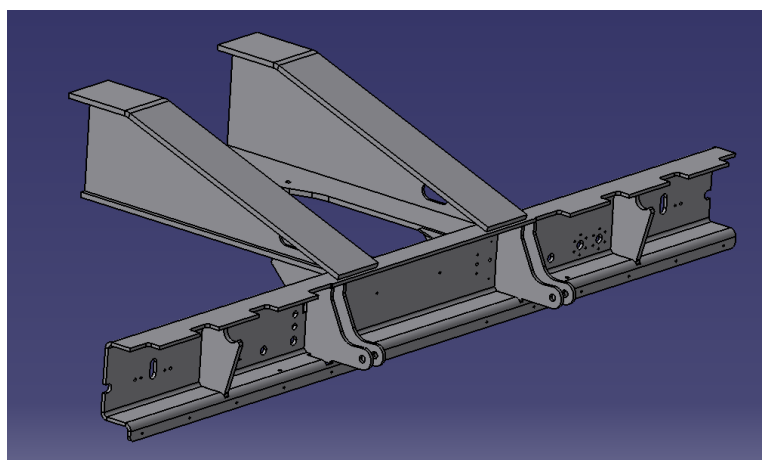


Bild 2: Bild från CATIA V5 på trailerns baksida

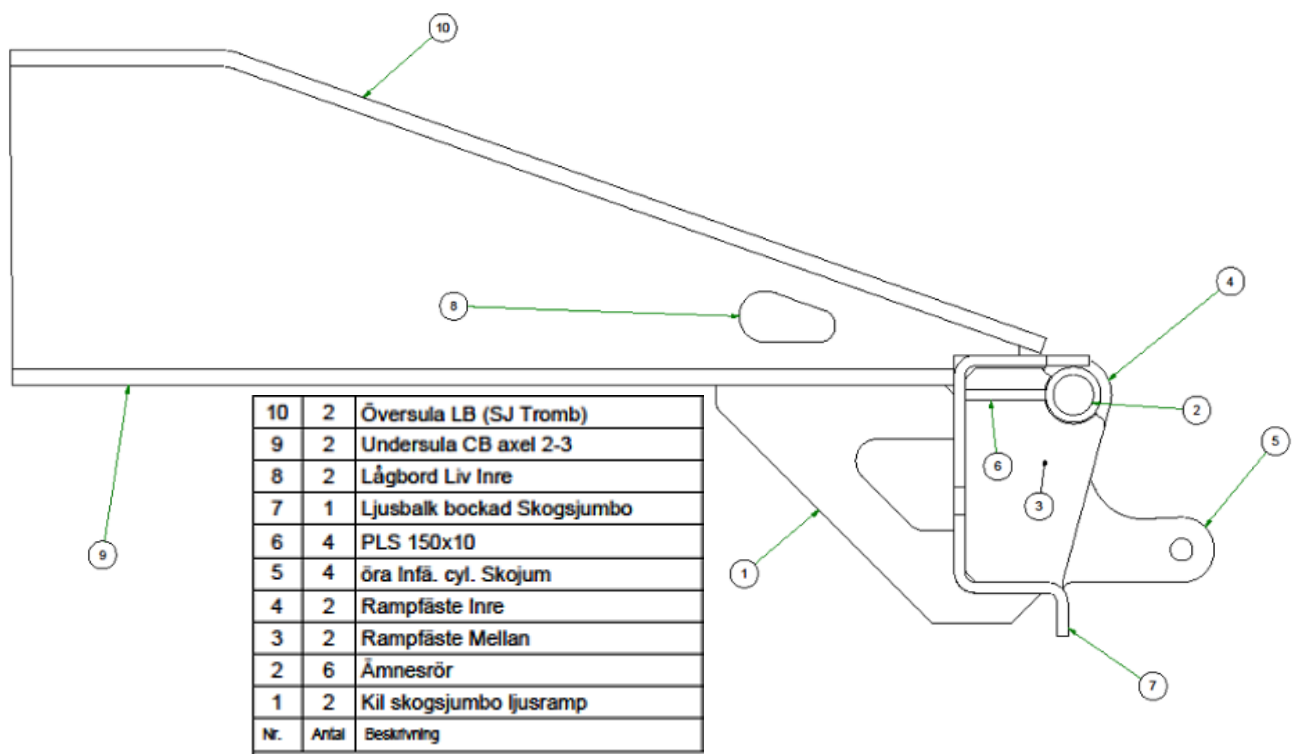


Bild 3: Produktlista på trailern som används i projektet

1.2 Syfte

Uppdraget omfattar en nykonstruktion av kopplingsmontaget med tillhörande hållfasthetsberäkningar, CAD-modeller, FEM-beräkningar samt ritningar. Nykonstruktionen skall leda till ett kopplingsmontage som är mer kundanpassat, alltså med en kopplingspunkt högre upp och längre ut än tidigare.

1.3 Avgränsningar

Uppdraget omfattar inte ekonomiska aspekter, tillverkning, materialval, kundundersökningar samt prototypframtagning.

1.4 Precisering av frågeställningen

Hur skall kopplingsmontaget fästas i trailern?

Hur skall kopplingsmontaget döljas då kopplingen inte används?

Hur skall kopplingsmontaget konstrueras för att klara hållfasthetskraven?

Hur skall kopplingsmontaget konstrueras för att uppfylla kundernas önskan?

2. METOD

Detta kapitel beskriver de metoder som använts för att ta fram en nykonstruktion.

2.1 Undersökning

För att få en överblick över situationen/problemet så studeras nuvarande kopplingsmontage samt trailerns utformning på VM Trailers anläggning i Landvetter.

2.2 Kravspecifikation

Genom diskussion med kunden framställs krav och önskemål som därefter ställs upp i en lista, även kallat kravspecifikation. Önskemålen viktas från ett till fem för att visa att vissa önskemål betyder mer för kunden, där fem är viktigt och ett är mindre viktigt. Önskemålets vikt används senare i urvalsprocessen av koncept, detta för att lättare kunna se vilket koncept som verkligen är det bästa. Detta är en metod som på ett tydligt sätt visar vad som är viktigt för kunden och därför också viktigt för det fortsatta arbetet.

Kravspecifikationens uppbyggnad hämtas ur boken Produktutveckling: Effektiva metoder för konstruktion och design (Johannesson, Persson, & Petterson, 2013).

2.3 Idégenerering/konceptframtagning

Brainstorming används som idégenereringsprocess där projektets deltagare sitter tillsammans med varsitt ritblock och genererar lösningar. Under brainstorming är det viktigt att ha ett öppet sinne för olika lösningar och att inte döma idéer i förväg.

Idégenereringsprocessen hämtades ur boken Produktutveckling: Effektiva metoder för konstruktion och design (Johannesson, Persson, & Petterson, 2013).

2.4 Hållfasthetsberäkning

För att kunna genomföra en urvalsprocess med de framtagna koncepten så behöver kraven och önskemålen kunna kontrolleras på något sätt. De olika konceptens hållfasthet undersöks med beräkningar på förenklade modeller av konstruktionerna. I detta examensarbete kommer koncepten vara uppbyggda som någon typ av balkliknande konstruktioner. Genom friläggning av modellerna erhålls krafterna som uppstår i dessa balkar, krafterna divideras sedan med tvärsnittsarean för respektive balk vilket resulterar i spänningarna. De spänningar som beräknats kan sedan jämföras med materialets sträckgräns för att eliminera de svagaste koncepten. Dessa beräkningar har gjorts med hjälp av boken Teknisk Hållfasthetslära (Dahlberg 2001).

2.5 Beräkning av massor

För att uppskatta hur stora de olika konceptens massor blir approximeras massorna på varje komponent till respektive koncept, dessa adderas därefter till en total massa för konceptet. Även snittet för massa per individuell del beräknas. Dessa värden används sedan i elimineringen av koncepten. Beräkningarna genomförs med volymen på detaljerna multiplicerat med densiteten för stål.

2.6 Val av koncept, del 1

Det första urvalet görs med en elimineringsmatris där de genererade idéerna utvärderas utifrån kraven från kravspecifikationen. De koncept som inte uppfyller kraven utesluts och går därför inte vidare till Kesselringsmatrisen.

För att vidare utvärdera lösningarna används en Kesselringsmatris där de kvarstående koncepten jämförs med ett ideal. Önskemålen på alla koncept jämförs mot varandra och får poäng mellan ett till fem. Detta poäng multipliceras därefter med önskemålets vikt för att tilldela ett viktat poäng till konceptet. För att rangordna koncepten adderas de viktade poängen från de olika önskemålen och

divideras med idealets poäng. Detta ger en kvot som beskriver hur bra konceptet är jämfört med idealet där 1 är lika bra. Från Kesselringsmatris kommer de två bästa koncepten att väljas ut för vidare utveckling.

Matriserna hämtades ur boken Produktutveckling: Effektiva metoder för konstruktion och design (Johannesson, Persson, & Petterson, 2013).

2.7 CATIA V5

De koncept som klarar eliminering- och Kesselringsmatris modelleras sedan i datorprogrammet CATIA-V5. I denna fas av projektet är tanken att koncepten skall vidareutvecklas och förtydligas. Koncepten konstrueras i full storlek för att de sedan skall användas i FEM-analysen och möjliggöra skapandet av en ritning.

2.8 FEM-analys

Efter att koncepten ritats upp i CAD skall de undersökas i FEM beräkningar, dessa genomförs i CATIA-V5. Beräkningarna avser att simulera olika situationer konstruktionen kan komma att utsättas för. De olika koncepten som konstruerats i CATIA-V5 monteras på bakdelen av den befintliga trailern. Intressanta parametrar att studera vid en simulering är de spänningar och utböjningar som uppstår i konstruktionen och trailern vid dragning av ett släp. För att kunna genomföra simuleringen placeras de på konstruktionen påverkande krafterna ut, i detta fallet är detta kraften från släpet på kopplingspunkten. Delar som inte skall röra på sig t.ex. fasta balkar i trailern, låser man i rotation eller x,y,z-led.

Information om FEM-analyser av assembly hämtades från Catiadoc.free.fr (catiadoc, 2020).

2.9 Val av koncept, del 2

För att avgöra vilket koncept som är mest lämpligt jämförs spänningar och deformationer från FEM-analysen, hur de klarar kraven samt användarvänligheten. Detta resulterar i ett vinnande koncept.

3. UNDERSÖKNING AV PROBLEMET

Detta kapitel beskriver vad kunden vill att lösningen skall innefatta och vad den skall klara av. För att visa detta på ett enkelt sätt skapades en kravspecifikation med krav och viktade önskemål.

3.1 Kundbehovslista

De som skulle använda en nykonstruktion av kopplingsmontaget är yrkesförare som transporterar skogsmaskiner och som har ett behov av en extratrailer. De skulle kunna använda kopplingsmontaget när de exempelvis vill dra en personalvagn eller liknande ut till den aktuella arbetsplatsen. Dessa platser kan vara svårtillgängliga med långa avstånd och dåliga vägar m.m.

En nykonstruktion av kopplingsmontaget sådant att kopplingspunkten sitter högre upp och längre ut skulle innebära en mer användarvänlig trailer med mer möjligheter. Den kopplade extratrailern skulle kunna stå mer horisontellt vilket alltid är att föredra då en trailer dras. Kopplingspunkten skulle även sitta längre ut vilket skulle innebära en minimering av risken att extratrailern tar i huvudtrailern vid en kraftig sväng.

3.2 Kravspecifikation

En kravspecifikation skapades genom diskussion med VM Trailers konstruktörer. Vid viktningen av önskemålen prioriterades hållfastheten följt av ergonomi och säkerhet. Önskemål kring miljö fick komma i efterhand då dessa konstruktioner behöver vara väldigt robusta och pålitliga, ingenting får äventyra hållfastheten. Se tabell 1 nedan. Förtydligande av krav 2.2 och 2.3 finns i bild 4 som visar baksidan av trailern i profil.

Tabell 1: Kravspecifikation

Chalmers	Dokumenttyp	Kravspecifikation				
	Examensarbete	Kopplingsmontage				
Utfördare:	Fredrik Nilsson	Skapad: 2020-02-10				
	Axel Strandborg	Modifierad:				
Kriterier	Målvärde	K/O	Vikt	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)	
Funktion(er)						
	Dra ett släp med säkerhetsfaktor: 3	8 ton (24 ton)	K		Koncept ritning	
	Infällbar	-	K		Koncept ritning	
1 Prestanda						
1.1	Kopplingspunkt höjd från mark	1050 mm	K		Koncept ritning	
1.2	Kopplingspunkt höjd från centrum rampaxel	460 mm	K		Koncept ritning	
1.3	Kopplingspunkt bakom centrum rampaxel	400 mm	K		Koncept ritning	
1.4	Kopplingspunkt sidled	Centrerat	K		Koncept ritning	
1.5	Låg spänning i balkarna	Så låg som möjligt	Ö	5	Handberäkning	
2 Storlek						
2.1	Bredd konstruktion	max 464 mm	K		Koncept ritning	
2.2	Höjd infälld konstruktion över översula LB (område 1) (bild 4)	max 75 mm	K		Koncept ritning	
2.3	Höjd infälld konstruktion över översula LB (område 2) (bild 4)	0 mm	K		Koncept ritning	
3 Ergonomi						
3.1	Greppvänlig	t.ex. handtag	Ö	3	Koncept ritning	
3.2	Genomsnittlig massa per komponent	Så låg som möjligt	Ö	4	Handberäkning	
3.3	Massa total	max 50 kg	K		Handberäkning	
3.4	Enkel montering	< 5 monterings moment	Ö	4	Koncept ritning	
3.5	God ergonomi	-	Ö	4	Koncept ritning	
4 Säkerhet						
4.1	Låg klämrisk	-	Ö	5	Koncept ritning	
5 Miljö						
5.1	Återvinningsbart material	-	Ö	2	stål	
5.2	Liten materialåtgång	så låg massa som möjligt inte äventyra hållfastheten	Ö	2	koncept ritning	

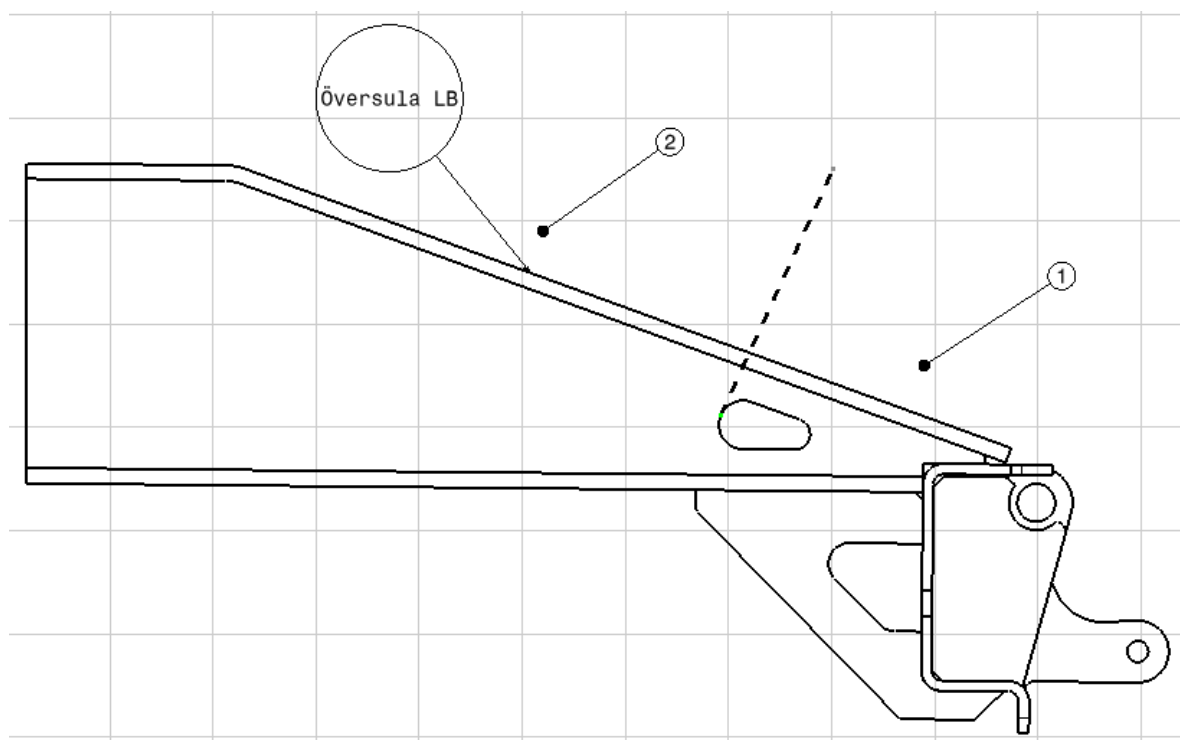


Bild 4: Förtydligande av krav 2.2 och 2.3

4. FRAMTAGNING AV ALTERNATIVA KONCEPT

Detta kapitel beskriver hur gruppen arbetat med idégenerering för att skapa olika koncept som sedan i detalj förklaras i en konceptkatalog.

4.1 Idégenerering kopplingsmontage

En brainstorming genomfördes för att generera idéer på alternativa konstruktioner. Var och en av gruppmedlemmarna ritade sina idéer på papper vilka därefter utvecklades i CATIA med punkter och streck, detta för att undersöka vilka mått som var lämpligast. Genom att lägga ut punkter och streck i 3D modellen på trailern var det även lätt att se hur de olika idéerna kunde se ut och hur de kunde realisera kravet att vikas undan. På bilden nedan syns punkt A där kopplingspunkten för det nya kopplingsmontaget skall sitta. Längderna som tillhandahållits för projektet utgår ifrån punkten C, centrum av rampaxel i kravspecifikationen, se bild 3 och 5. Då dessa koncept visualiserats uppstod nya idéer hos gruppmedlemmarna och nya koncept skapades i form av varianter på de ursprungliga.

Bilder på hur varje koncept visualiserats i CATIA V5 finns i bilaga 1.

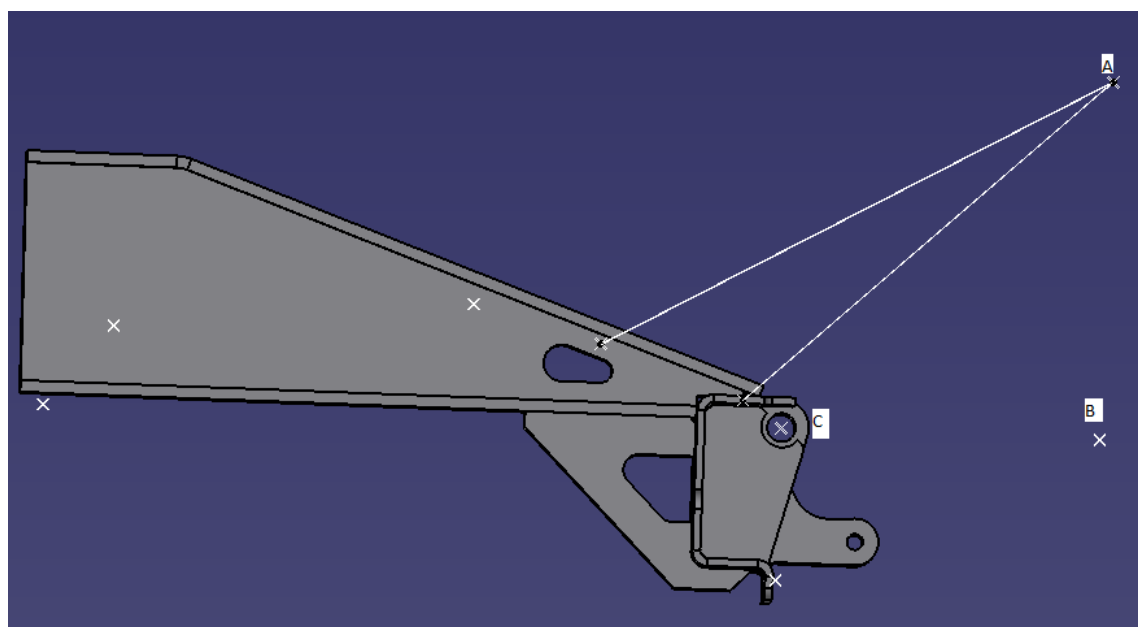


Bild 5: Konceptskiss i CATIA V5

4.2 Idégenerering av fäste till kopplingsmontagets huvudbalk

En brainstorming genomfördes även på hur kopplingsmontaget skulle fästas i trailern. Det centrala i detta var att kopplingsmontaget skulle gå att "vikas in". Gruppen kom fram till två koncept med hjälp av brainstorming, varianter av dessa skulle vara möjliga att använda för alla draganordningar.

4.3 Konceptkatalog

Nedan förklaras de idégenererade koncepten.

4.3.1 Koncept A

Koncept A är uppbyggt av två balkar, en övre balk där kopplingspunkten är monterad och en nedre balk. Den övre består av en fyrkantsbalk som är fast monterad och ledad i område 1, det är alltså här konstruktionen är fäst i själva trailern, bild 6 och 7. Detta fäste består av ett block med ett genomgående hål i vilket den övre balken, som också har ett genomgående hål, fästs med en genomgående axel. Blocket är fastsvetsad på en platta mellan de två undersulorna på trailern. För att den övre balken skall vara rörlig i detta fäste måste antingen delar av två sidor avlägsnas eller två plattor fästas på balkens sidor. Då övre balken är infälld vilar den mot en tvärgående axel mellan trailerns lågbord.

Den nedre balken är en u-balk som fästs i den övre balken med en genomgående axel för att kunna fällas in och ut vid hantering, område 2. Anledningen till att en u-balk används är för att balken skall lägga sig över den övre balken vid infällt läge. Då konstruktionen vinklas ut för att användas fälls nedre balken ner för att fästas i ljusbalkens underkant med en avtagbar sprint, bild 6 och 8.

Kopplingspunkten skall ha ett vertikalt läge vid användning och därför är övre balken snedskuren längst ut, bild 6.

Då draget skall användas tar användaren exempelvis tag i övre balken för att vika ut den. I denna rörelse följer nedre balken med och faller tack vare gravitationen ner till vertikalt läge. Det sista momentet är att sätta i sprinten i den nedre balkens underkant. För att vika in draget lossas sprinten i underkant och användaren greppar den övre balken för att vika tillbaka denna in mot trailern. I den övre balkens rörelse in mot trailern följer nedre balken med och lägger sig över.

För att underlätta utfällningen finns möjlighet att fästa ett handtag på nedre balken.

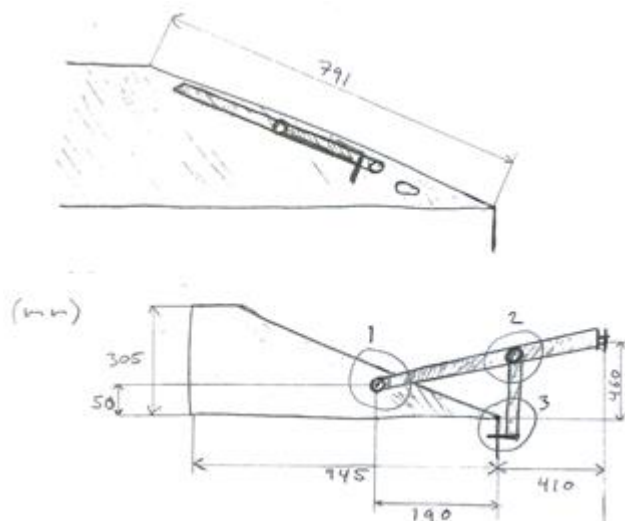


Bild 6: Koncept A infällt och utfällt läge med område 1,2 och 3

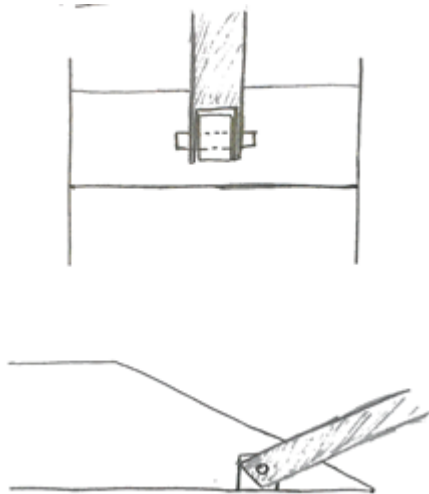


Bild 7: Närbild område 1 koncept A

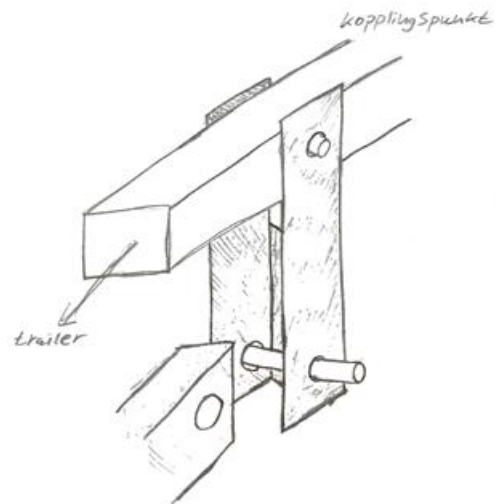


Bild 8: Närbild område 2 & 3 koncept A

4.3.2 Koncept B

Koncept B är baserat på koncept A men den nedre balken fäster i en annan punkt på övre balken, balkarna sitter fast i varandra med en genomgående axel. Den övre balken är rektangulär och den nedre är u-formad. Övre balken fästs på samma sätt och i samma punkt som koncept A, område 2 bild 9.

Nedre balken är fäst med en sprint i nedre änden som lätt går att avlägsna vid infällning, område 1 bild 9. Vid infällning lägger sig den nedre balken ovanpå den övre balken, för att underlätta infällningen kan ett handtag monteras på undersidan av den nedre balken. Vid utfällning sker samma procedur i motsatt ordning.

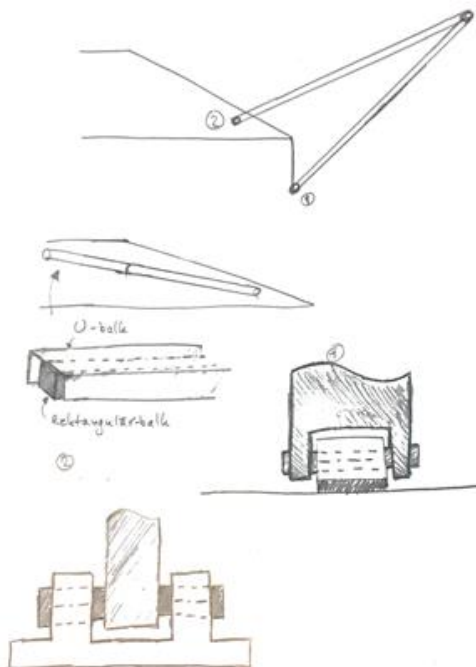


Bild 9: koncept B, infällt/utfällt läge samt fästpunkter

4.3.3 Koncept C

Koncept C är baserat på en övre- och nedre balk där båda balkar är av fyrkantsprofil. Den övre balken är fast monterad i trailern med en led i område 1, bild 10 och 11. Leden är uppbyggd av två block med genomgående hål där övre balken sitter monterad mellan dessa med en genomgående axel. Blocken är fastsvetsade på en platta som ligger mellan trailerns undersulor. Då övre balken är infälld vilar den på en tvärgående axel mellan trailerns lågbord, bild 10.

Den nedre balken är fast monterad i trailern i område 3 med en led, fästet består av ett block med ett genomgående hål i vilket balken, som också har ett genomgående hål, fästs med en genomgående axel. Detta fäste sitter monterat på ovansidan av ljusbalken. Den nedre balkens fäste i övre balken består av en avtagbar sprint som går genom de båda balkarna, bild 10 och 12 område 2. För att den nedre balken skall vara rörlig i lederna så krävs det att två av sidorna på fyrkantsbalken avlägsnas närmast lederna, alternativt att två plattor fästs på fyrkantsbalkens sidor. Då draget inte används ligger den nedre balken horisontellt och vilar mot plattan som den övre balkens fäste är monterat på, bild 10.

För att kopplingspunkten skall komma högre upp är den övre balken vinklad. Balken är även snedskuren längst ut för att kopplingspunkten skall komma i ett vertikalt läge, bild 10.

Då draget skall användas greppas ett handtag på den övre balken för att "fälla ut" den. Därefter fälls den nedre balken upp mot den övre för att till sist montera den genomgående sprinten genom balkarna. Då draget skall vikas tillbaka lossas sprinten och balkarna fälls tillbaka in mot trailern där de skall ligga.

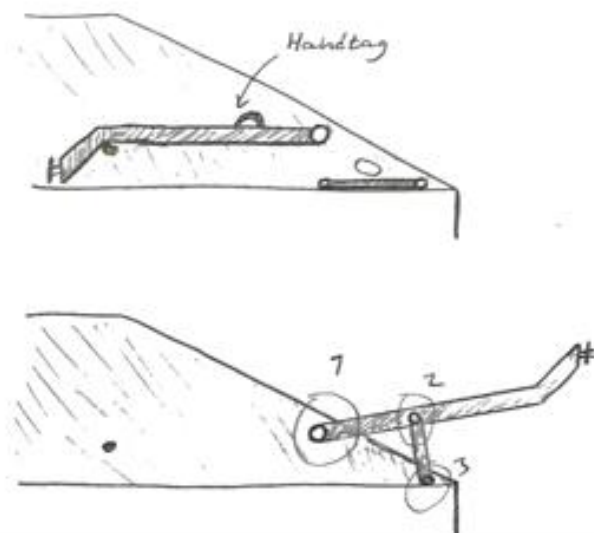


Bild 10: Koncept C infällt och utfällt läge med område 1, 2 och 3

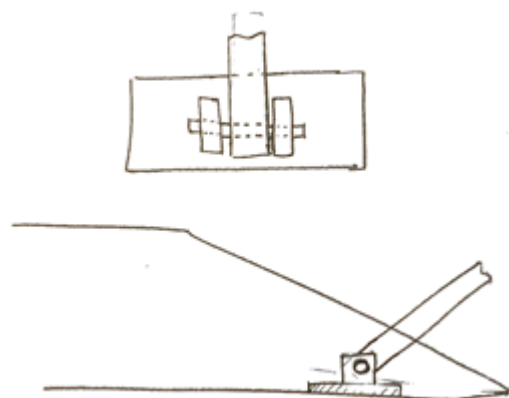


Bild 11: Närbild på område 1 koncept C

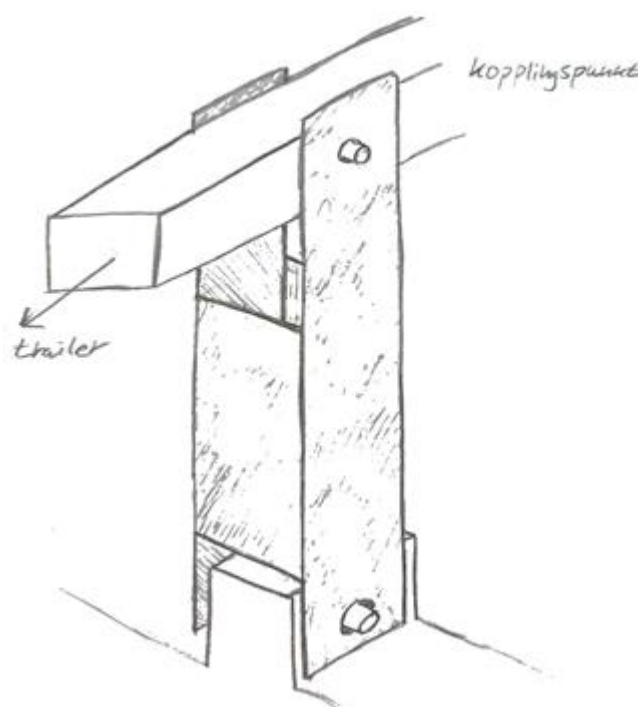


Bild 12: Närbild på område 2 och 3 koncept C

4.3.4 Koncept D

Koncept D består av tre balkar, en nedre balk där kopplingspunkten är monterad samt två övre balkar. Den nedre balken består av en fyrkantsbalk och är monterad i ljusbalkens överkant med ett ledat fäste. Fästet består utav ett block med ett genomgående hål i vilket balken, som också har ett genomgående hål, fästs med en genomgående axel. För att balken skall vara rörlig krävs det att två sidor avlägsnas ur fyrkantsbalken närmast fästet alternativt att två plattor fästs i balken, bild 8 område 1.

Längst ut på den nedre balken sitter kopplingspunkten monterad, för att denna skall sitta vertikalt så är balken snedskuren. Då balken är infälld vilar den mot en tvärgående axel mellan trailerns lågbord.

De två övre balkarna, som även de är fyrkantsbalkar, är monterade i den nedre balken med en axel genom alla tre balkar, bild 13 område 2. Då draget används fästs de övre balkarna i ett fäste högt upp mellan trailerns lågbord, bild 13 område 3. Detta fäste består av ett block med ett genomgående hål i vilket balkarna, som också har genomgående hål, fästs med en genomgående avtagbar sprint. Blocket sitter fastmonterat på en platta på trailerns undersulor. Då draget inte används vilar de övre balkarna längs med den nedre balken på en tvärgående axeln mellan trailerns lågbord.

Då draget skall användas greppar användaren nedre balken för att vinkla ut denna vilket medför att de övre balkarna följer efter. Därefter monterar användaren sprinten genom de övre balkarna i område 3, bild 13.

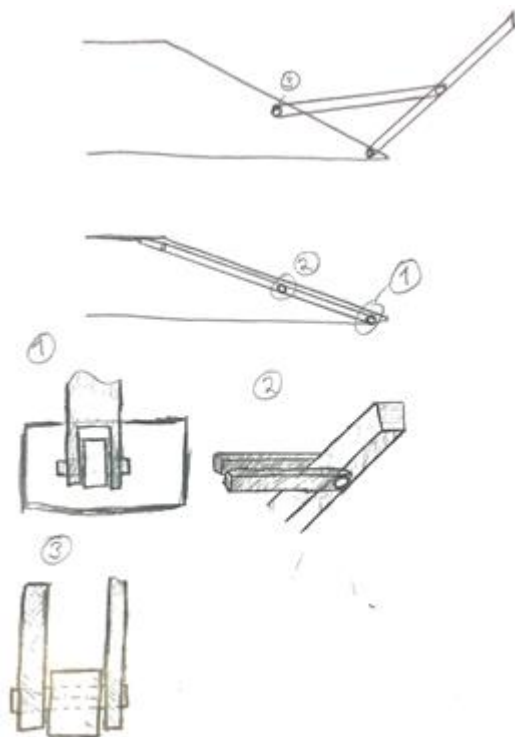


Bild 13: Koncept D infällt/utfällt samt fästpunkter

4.3.5 Koncept E

Koncept E är uppbyggd av två balkar, en övre- och en nedre balk. På den övre balken skall kopplingspunkten vara monterad. Den övre balken består av en fyrkantsbalk som är ledat monterad i trailern via ett fäste, enligt bild 14. Detta fäste består av ett block med ett genomgående hål i vilket balken, som också har ett genomgående hål, fästs med en genomgående axel. Blocket är fastsvetsad på en platta mellan de två undersulorna på trailern, se bild 14 område 1. För att den övre balken skall vara rörlig i detta fäste måste två sidor av fyrkantsbalken avlägsnas närmast leden eller två plattor fästas på dess sidor.

Den nedre balken är konstruerad av en u-balk för att göra det lätt att lägga den över den övre balken vid infällning. Nedre balken skall fästas i trailern på liknande sätt som övre balken men istället för en övergående platta sitter fästet i ovansidan av ljusbalken, balken monteras i fästet med en sprint som går att avlägsna vid infällning. Nedre balken är fäst i övre balken med en genomgående axel längst ut.

En alternativ ändring av konceptet är att använda två rektangulära nedre balkar istället för en u-balk och då fästa dessa enligt alternativ 2.

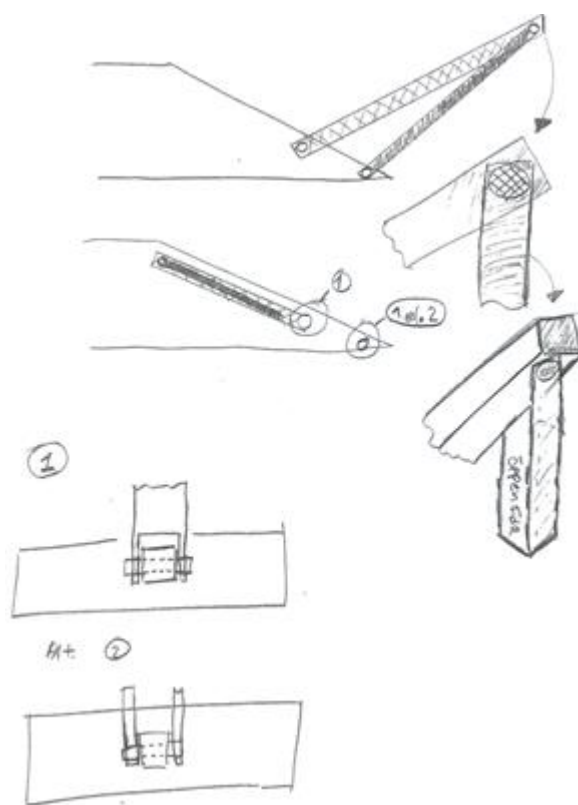


Bild 14: Koncept E infällt/utfällt samt fästpunkter

4.4 Material

Materialet som används till draganordningen är förbestämt av VM Trailer, alla delar av koncepten kommer i detta arbete bestå av detta material. Materialet som används är ett höghållfast konstruktionsstål tillverkat av SSAB som heter Strenx 700, detta har en sträckgräns på 700 MPa.

5. ANALYS AV ALTERNATIVA KONCEPT

Detta kapitel avser att utvärdera varje koncept ur hållfasthetsperspektiv. Därefter används eliminering- samt Kesselrings-matris för att avgöra vilka koncept som går vidare till nästa utvecklingsfas.

5.1 Hållfasthetsberäkning

För att trailern skulle kunna dra åtta ton med en säkerhetsfaktor tre fanns stora krav på draganordningens hållfasthet. Detta betydde att konstruktionen behövde klara en last på 24 ton utan att spänningarna i materialet närmade sig sträckgränsen, vilket var ett krav i kravspecifikationen, se tabell 1. För att avgöra om koncepten klarade kravet samt önskemålet om låg spänning behövdes beräkningar på spänningar i konstruktionerna.

Eftersom alla koncept bestod av någon form av balkkonstruktion så kom dessa beräkningar att handla om balkspänningar. Förenklade modeller av koncepten ritades och jämviktsekvationer ställdes upp för att kunna beräkna stångkrafterna. Stångkrafterna användes sedan med en uppskattad tvärsnittsarea för att beräkna spänningarna i stängerna. Balkarna i konstruktionerna antogs vara lika stora fyrkantsbalkar med yttermått 120x120 mm och med en godstjocklek på 10 mm. De ungefärliga längderna på stängerna och vinklarna i konstruktionerna hämtades från punkt-streckmodellerna i kapitel 4.1.1

5.1.1 Stångkrafter och spänningar

Koncept A

$$\begin{aligned} N_1 &= 382357,2 \text{ N} & \sigma_1 &= 86,9 \text{ MPa (drag)} \\ N_2 &= 362044,6 \text{ N} & \sigma_2 &= 82,3 \text{ MPa (tryck)} \\ N_3 &= 205730,275 \text{ N} & \sigma_3 &= 46,75 \text{ MPa (drag)} \end{aligned}$$

Koncept B

$$\begin{aligned} N_1 &= 414400 \text{ N} & \sigma_1 &= 94,2 \text{ MPa (drag)} \\ N_2 &= 238400 \text{ N} & \sigma_2 &= 54,2 \text{ MPa (tryck)} \end{aligned}$$

Koncept C

$$\begin{aligned} N_1 &= 357168,9526 \text{ N} & \sigma_1 &= 81,2 \text{ MPa (drag)} \\ N_2 &= 640988,9995 \text{ N} & \sigma_2 &= 145,7 \text{ MPa (tryck)} \\ N_3 &= 205660 \text{ N} & \sigma_3 &= 46,7 \text{ MPa (drag)} \end{aligned}$$

Koncept D

$$\begin{aligned} N_1 &= -632233,1273 \text{ N} & \sigma_1 &= 143,7 \text{ MPa (tryck)} \\ N_2 &= 1256981,812 \text{ N} & \sigma_2 &= 285,7 \text{ MPa (drag)} \\ N_3 &= 172925,4544 \text{ N} & \sigma_3 &= 39,3 \text{ MPa (drag)} \end{aligned}$$

Koncept E

$$\begin{aligned} N_1 &= 682646,5 \text{ N} & \sigma_1 &= 155,1 \text{ MPa (drag)} \\ N_2 &= 490678,2551 \text{ N} & \sigma_2 &= 111,5 \text{ MPa (tryck)} \end{aligned}$$

För detaljerade uträkningar se bilaga 2.

5.2 Massor

För att draganordningen inte skulle bli för tung sattes ett krav på att den totala massan inte fick överstiga 50 kg. Detta kompletterades med ett önskemål om att de enskilda komponenterna skulle väga så lite som möjligt för att underlätta hantering. För att kunna genomföra utvärderingen av koncepten uppskattades massorna på varje komponent till respektive koncept, dessa adderades därefter till en total massa för konceptet. Denna uppskattning genomfördes med den antagna tvärsnittsarean, längder från kapitel 4.1.1 samt densiteten för stål. För att kunna jämföra de olika koncepten beräknades en genomsnittlig massa per individuell komponent.

5.2.1 VÄRDEN

Koncept A

$$m_1 = 26,25kg \quad m_2 = 14,84kg \\ m_{tot} = 41,1kg \quad m_{snitt} = 20,55kg$$

Koncept B

$$m_1 = 24,64kg \quad m_2 = 20,65kg \\ m_{tot} = 45,29kg \quad m_{snitt} = 22,645kg$$

Koncept C

$$m_1 = 21,6kg \quad m_2 = 7,52kg \quad m_3 = 4,7kg \\ m_{tot} = 33,82kg \quad m_{snitt} = 16,91kg$$

Koncept D

$$m_1 = 21,7kg \quad m_2 = 20,8kg \\ m_{tot} = 42,5kg \quad m_{snitt} = 21,25kg$$

Koncept E

$$m_1 = 25,5kg \quad m_2 = 16,7kg \\ m_{tot} = 42,2kg \quad m_{snitt} = 21,1kg$$

För detaljerade uträkningar se bilaga 3.

5.3 Elimineringssmatris

En elimineringsmatris ställdes upp för att utvärdera vilka koncept som klarade kraven, löste huvudproblemen samt var realiserbara.

Tabell 2: Elimineringssmatris

Elimineringsmatris						Elimineringskriterier
Koncept	A	B	C	D	E	(+) Ja
Löser huvudproblemet	+	+	+	+	+	(-) Nej
Uppfyller alla krav	+	+	+	+	+	(?) Mer info krävs
Realiserbar	+	+	+	+	+	Beslut
						(+) Fullfölj lösning
Beslut	+	+	+	+	+	(-) Eliminera lösning
						(?) Sök mer info

Alla koncept uppfyllde kraven, löste huvudproblemen samt ansågs vara realiserbara. De gick därmed vidare från detta steg i utvärderingsprocessen. Se tabell 2.

5.4 Kesselring Matris

Nästa steg i utvärderingsprocessen var en Kesselringsmatris. Koncepten jämfördes mot varandra och tilldelades värden utifrån hur bra de uppfyllde önskemålen.

Alla koncept ansågs vara greppvänliga eftersom ett handtag skulle kunna monteras på varje koncept utan några direkta modifikationer, därför fick alla fem poäng. Önskemålet "låg genomsnittlig massa per individuell del" gav poäng baserat på hur koncepten presterade gentemot varandra, alltså fick det med lägst massa fem poäng och det med högst ett poäng. Dessa massor är tagna från kapitel 5.2.1. Poängsättningen för "enkel montering" grundade sig i hur monteringsmomentet såg ut och hur många moment som behövdes göras samtidigt. Genom att studera skisserna för koncepten och deras funktion så kunde poängen bestämmas genom att jämföra dem mot varandra. Önskemålet "låg klämrisk" poängsattes på liknande grunder som föregående önskemål, fler moment och krångligare konstruktion ansågs bidra till ökad klämrisk. Poängsättningen av konceptens förmåga att erbjuda en god arbetsergonomi blev identisk med poängsättningen av önskemålet "enkel montering" då dessa gick hand i hand med varandra. Alla koncepten konstruerades av stål och därför fick de fem poäng för önskemålet "återvinningsbart material". Önskemålet "liten materialåtgång" poängsattes baserat på konceptens totala massor från kapitel 5.2.1. De konceptet med lägst total massa fick fem poäng, de med näst lägst fyra och så vidare. Poängsättning för det sista önskemålet "låg spänning i balkarna" grundades i spänningarna från kapitel 5.1.1. Konceptens högsta spänningar jämfördes med varandra där det med lägst högsta spänning fick fem poäng, de med näst lägst fyra och så vidare.

Två av dessa fem koncept skulle gå vidare i utvecklingsprocessen. Enligt Kesselringsmatrisens resultat var det koncept A och E som utvecklades vidare, se tabell 3.

Tabell 3: Kesselringsmatris

		Koncept											
		Ideal		A		B		C		D		E	
Önskemål	w	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t
Greppvänlig	3	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15
Låg genomsnittlig massa per komponent	4	5	20	4	16	1	4	5	20	2	8	3	12
Enkel montering	4	5	20	5	20	3	12	1	4	2	8	4	16
Låg klämrisk	5	5	25	4	20	4	20	2	10	2	10	4	20
God ergonomi	4	5	20	5	20	3	12	1	4	2	8	4	16
Återvinningsbart material	2	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
Liten materialåtgång	2	5	10	4	8	1	2	5	10	2	4	3	6
Låg spänning i balkarna	5	5	25	5	25	4	20	3	15	1	5	2	10
T			145		134		95		88		68		105
T/T, ideal					0.924138		0.655172		0.606897		0.468966		0.724138
Rangordning					1		3		4		5		2

6. VIDAREUTVECKLING AV KONCEPT

Detta kapitel beskriver vidareutvecklingen av Koncept A och E i form av CAD-modeller och FEM beräkningar. Det som studeras i FEM-beräkningarna är spänningar samt deformationer.

6.1 Koncept A

Nedan visas CAD-modeller och FEM beräkningar för Koncept A

6.1.1 CAD

Bild 15 illustrerar en komplett vy av koncept A då det är monterat i trailern och redo för användning. Måtten på den övre balken är 100 x 100 mm med en godstjocklek på 10 mm. Massan för denna balk uppgår till 24 kg. Den nedre balken är måttsett till 160 x 107.5 mm med godstjockleken 10 mm, att den är så bred beror på att den måste gå över axeln på det övre fästet då draganordningen fälls in. Massan på denna balk uppgår till 12.15 kg. Axeln som går genom de två balkarna har en massa på cirka 3 kg. Den totala massan på det som hanteras av användaren uppgår till cirka 40 kg och klarar därför krav 3.3, se tabell 1.

Det övre fästet består av en tvärgående platta som sitter monterad på undersidan av trailerns undersulor, på denna plattan sitter själva leden för den övre balken. Det nedre fästet sitter format kring ljusbalken. Både det övre fästet och det nedre är fastsvetsad i trailern.

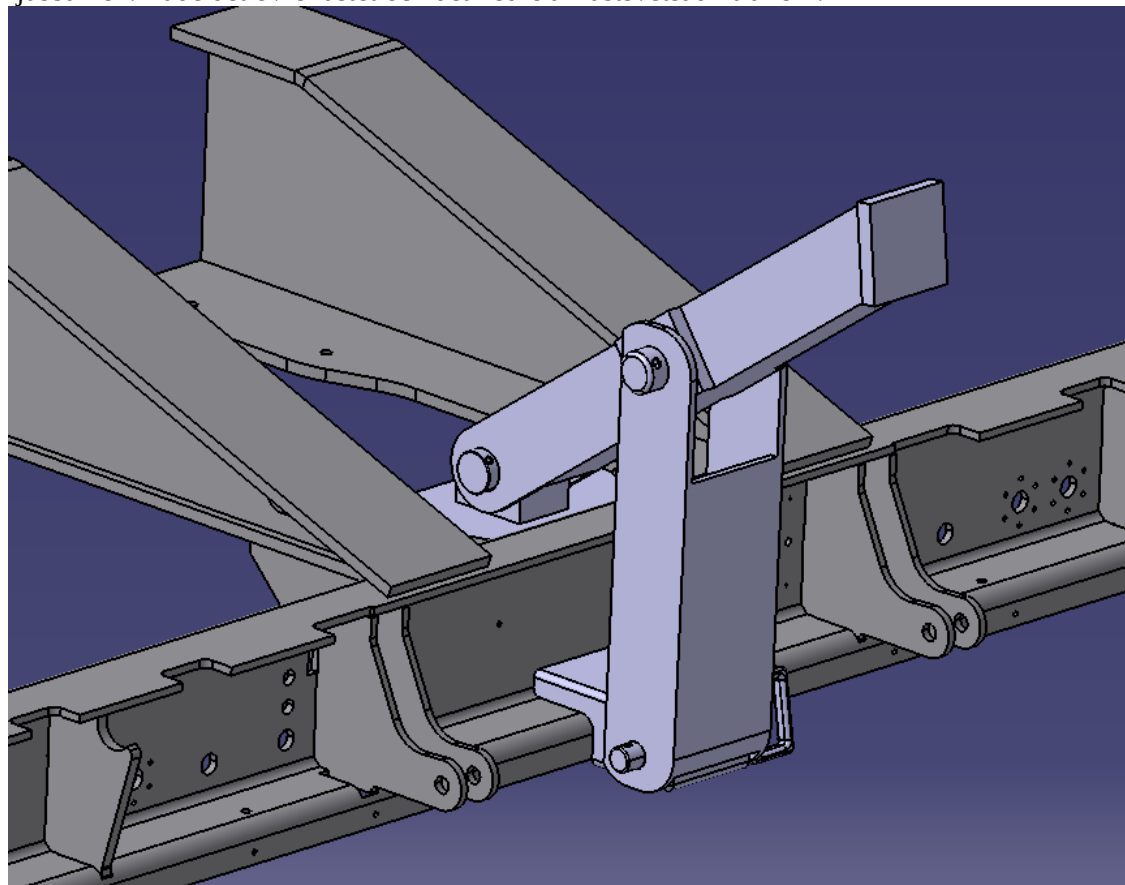


Bild 15: Komplet v y av koncept A

Bild 16 visar en komplett vy av koncept A i infällt läge. Den övre balken fälls in och den nedre balken lägger sig över. Bilden visar också hur det nedre fästet är monterat på ljusbalken.

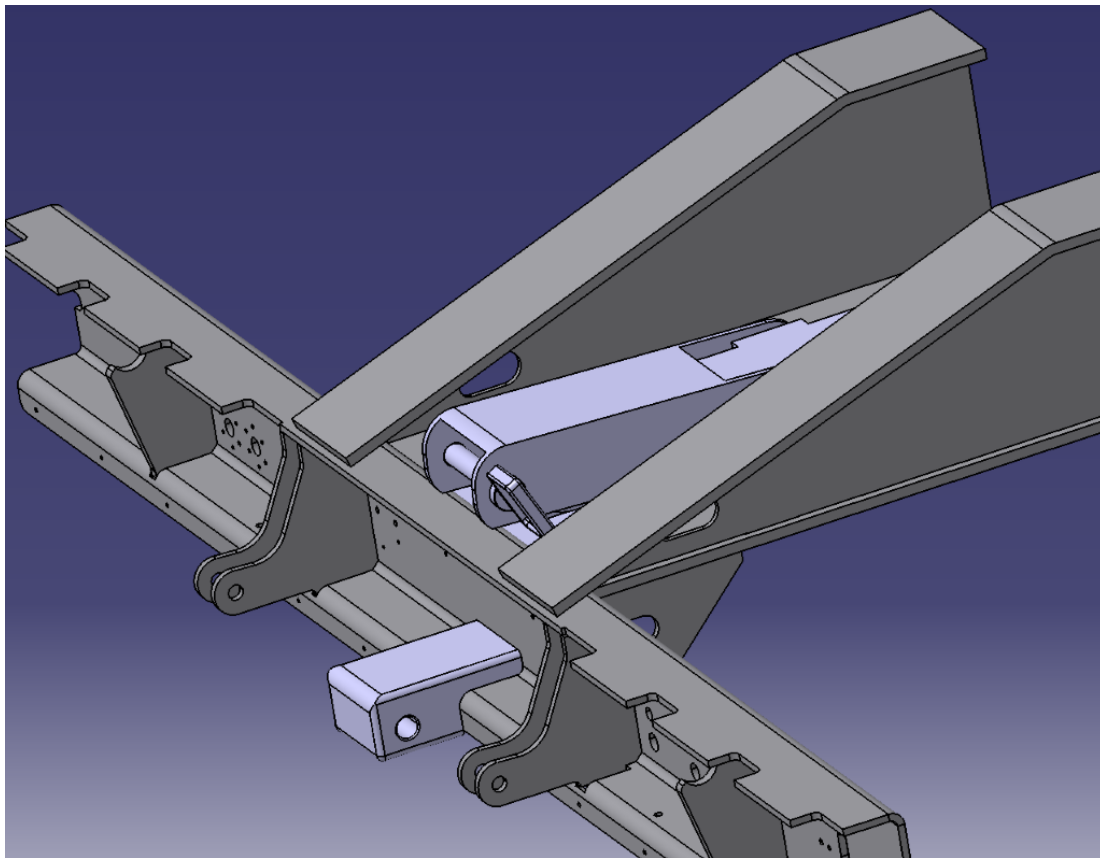


Bild 16: Komplet vvy av koncept A infällt läge

Bild 17 illustrerar ett infällt läge av koncept A och kraven 2.2, 2.3. Enligt bilden klarar konceptet båda kraven. Konstruktionen sticker inte upp någonting i område 2 och cirka 63 mm i område 1, se tabell 1.

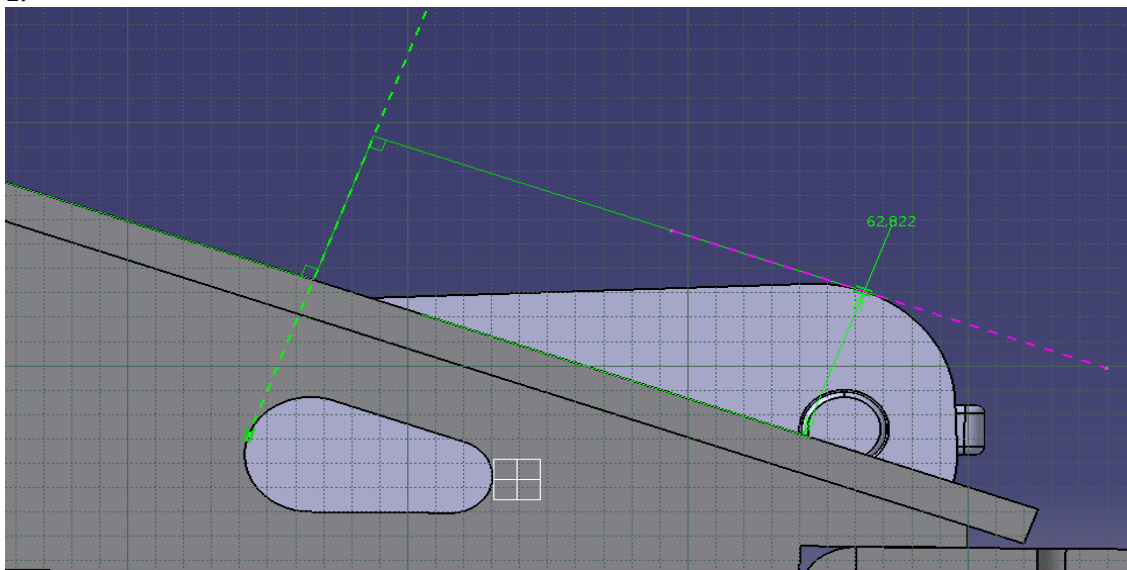


Bild 17: Infällt läge av koncept A med kraven 2.2 & 2.3

Bild 18 illustrerar koncept A i profil och kraven 1.2, 1.3 från kravspecifikationen, se tabell 1. Bilden visar tydligt att Konceptet klarar dessa krav. På fästplattan längst ut skall själva bogseröglan sitta vilket medför att den faktiska kopplingspunkten i verkligheten kommer ytterligare lite längre ut, detta diskuteras i kapitel 8.2.

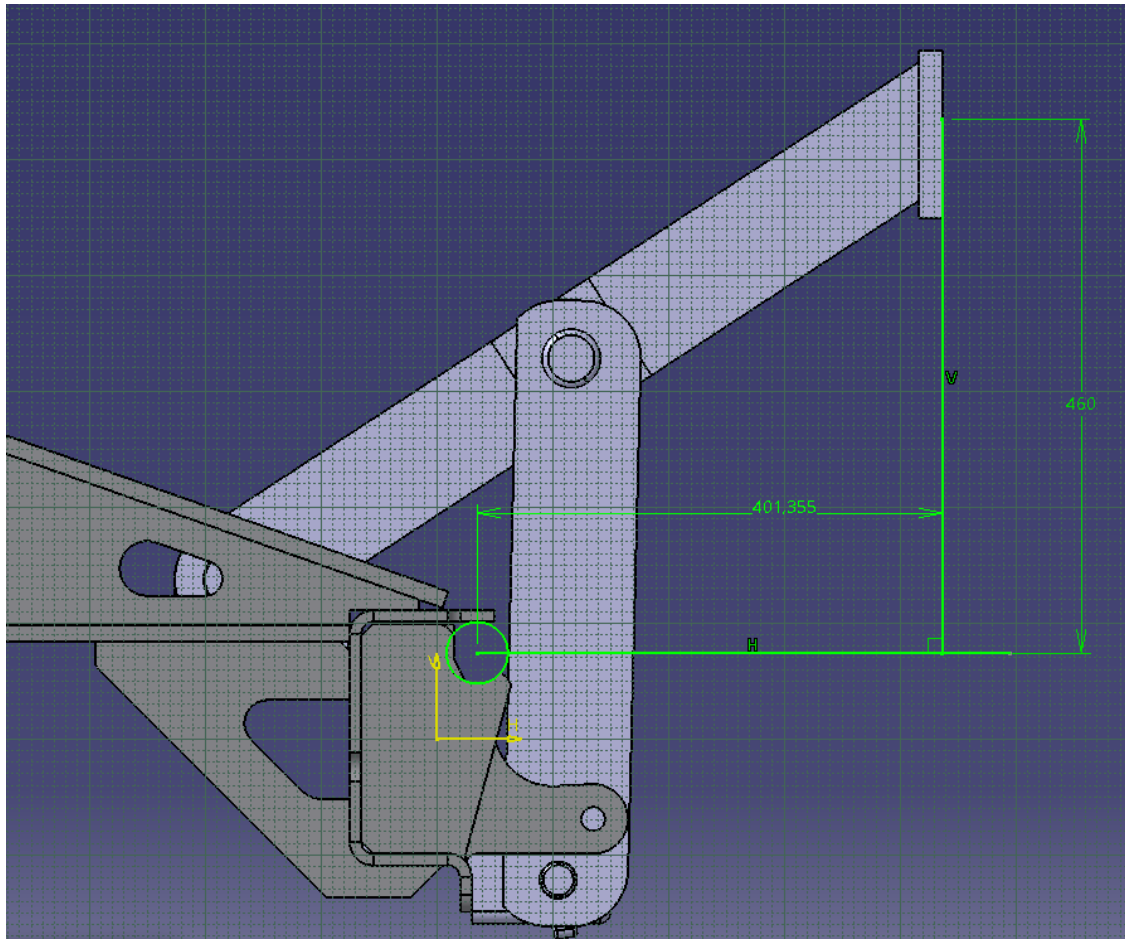


Bild 18: Koncept A i profil med kraven 1.2 & 1.3

6.1.2 FEM

Bild 19 illustrerar en helhetsvy över FEM beräkningarna på koncept A. Bilden visar spänningarna som uppstår och även konstruktionens maxspänning i det övre fästet. Beräkningen visar tydligt att spänningarna är omkring 20 – 100 MPa i balkarna och cirka 350 MPa i de värst utsatta områdena i och kring fästena. Eftersom sträckgränsen är 700 MPa på detta stål kan konstruktionen anses vara överdimensionerad. Ljusbalken som det nedre fästet är fastsvetsat i har en sträckgräns på 355 MPa. Denna balk skulle eventuellt behöva förstärkas i området kring det nedre fästet, detta diskuteras i kapitel 8.2.

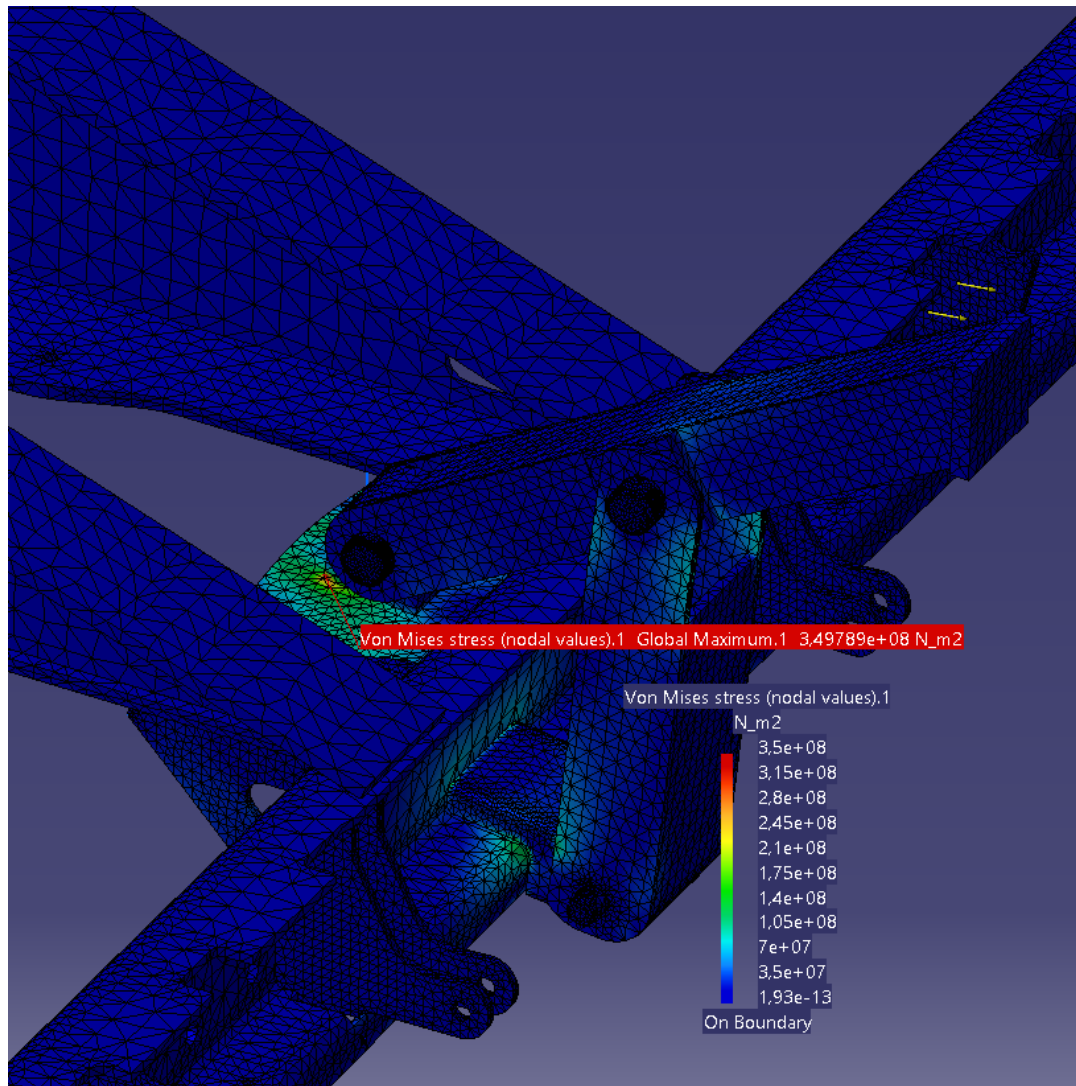


Bild 19: FEM beräkningar av koncept A med maxspänning

Bild 20 illustrerar spänningarna i det främre fästet sett ovanifrån. Bilden visar att spänningarna toppar cirka 350 MPa i hörnen mellan plattan och själva fästet som axeln går genom. Detta är spänningar som uppstår i väldigt små punkter vilket diskuteras i kapitel 8.2. I andra delar av fästet ligger spänningen kring 30 – 200 MPa. För vy underifrån se bilaga 4.

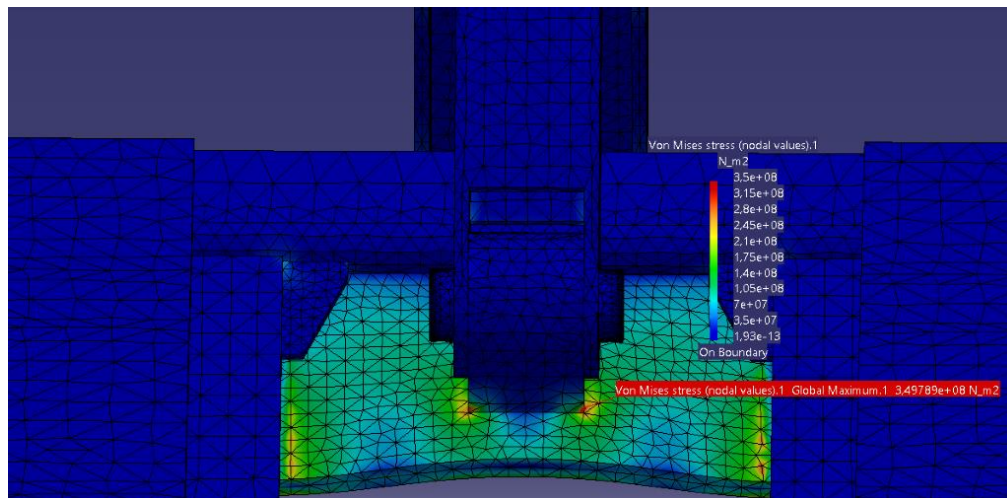


Bild 20: Spänningar i främre fäste koncept A

Bild 21 förtydligar det bakre fästet. Bilden visar att spänningarna i fästet och ljusbalken maximalt blir 250 MPa.

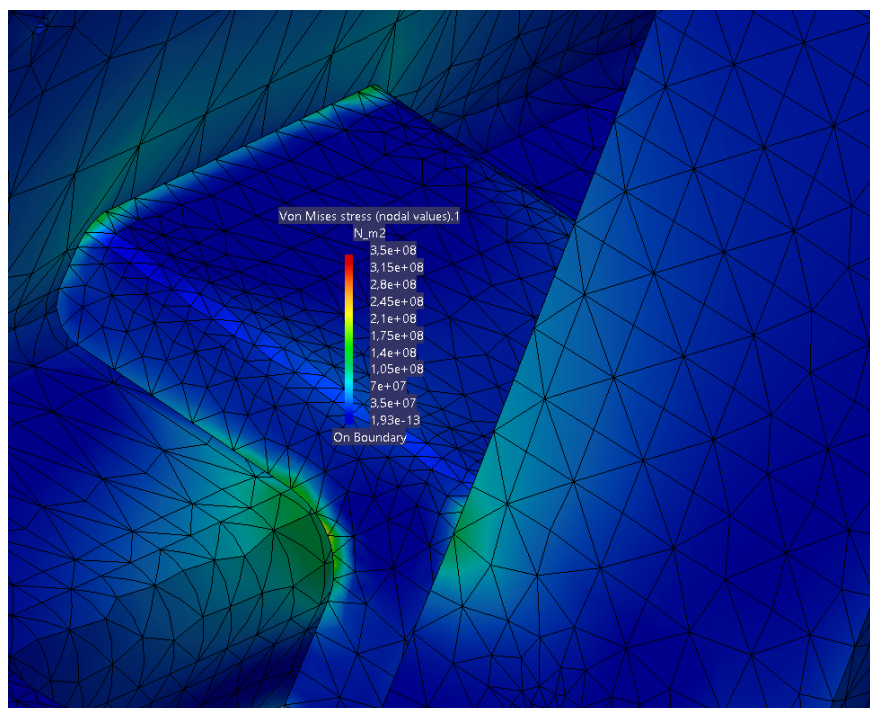


Bild 21: Närbild bakre fäste koncept A

Bild 22 beskriver hur konstruktionen deformeras vid last. Den största deformationen sker i den övre balken och är cirka 3,25 mm, eftersom balken är 760 mm lång är detta inte mycket. Andra ställen som deformeras är i de nedre kanterna ljusbalken, kring den bakre fästet samt i det främre fästet. Dessa deformationer är under 1,64 mm.

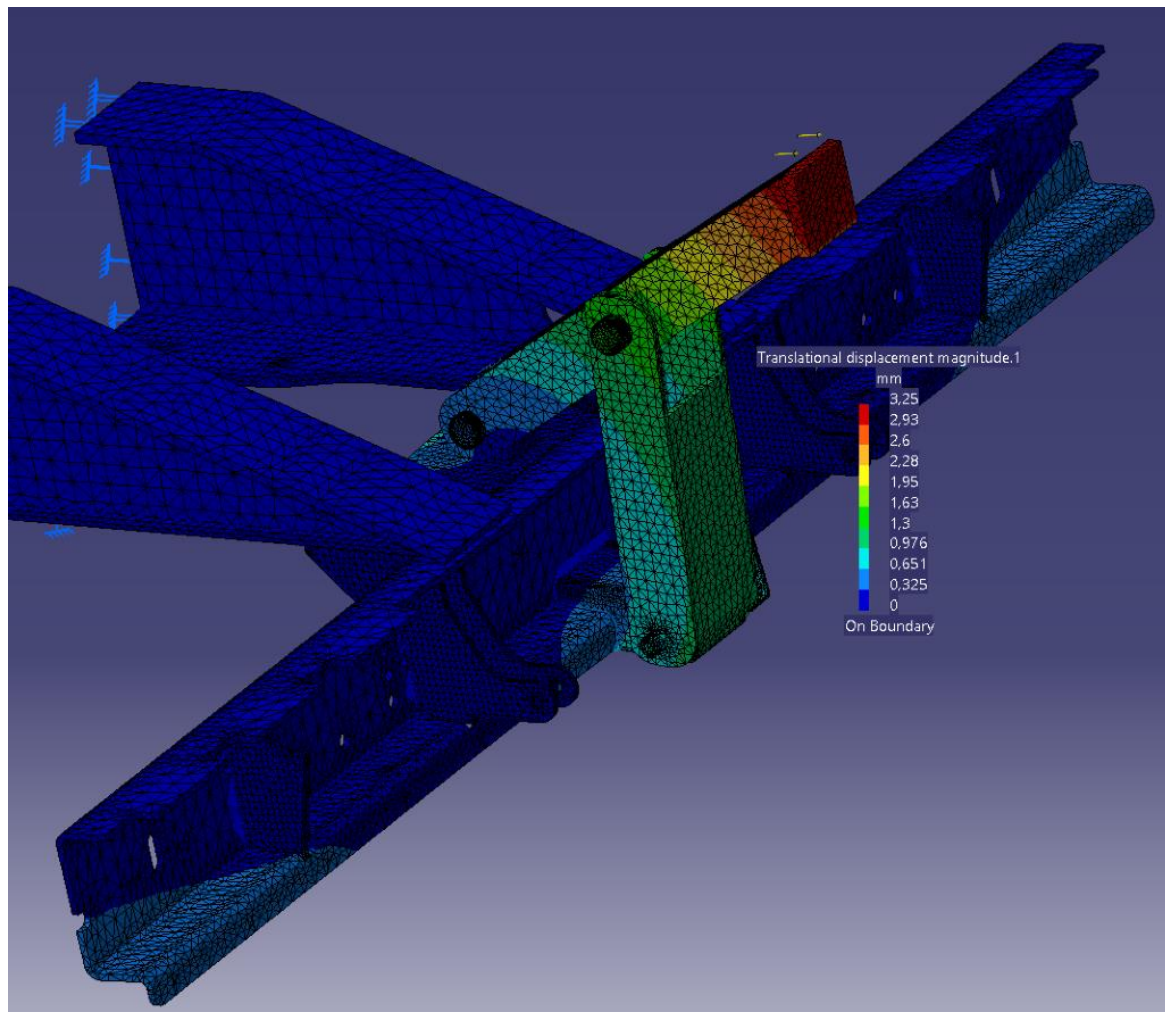


Bild 22: Helhetsvy av deformation koncept A

Bild 23 illustrerar hur ljusbalken trycks ned kring det nedre fästet vilket verkar rimligt med tanke på konstruktionen. Deformationen är cirka 1 – 1,5 mm och balken är 260 mm hög.

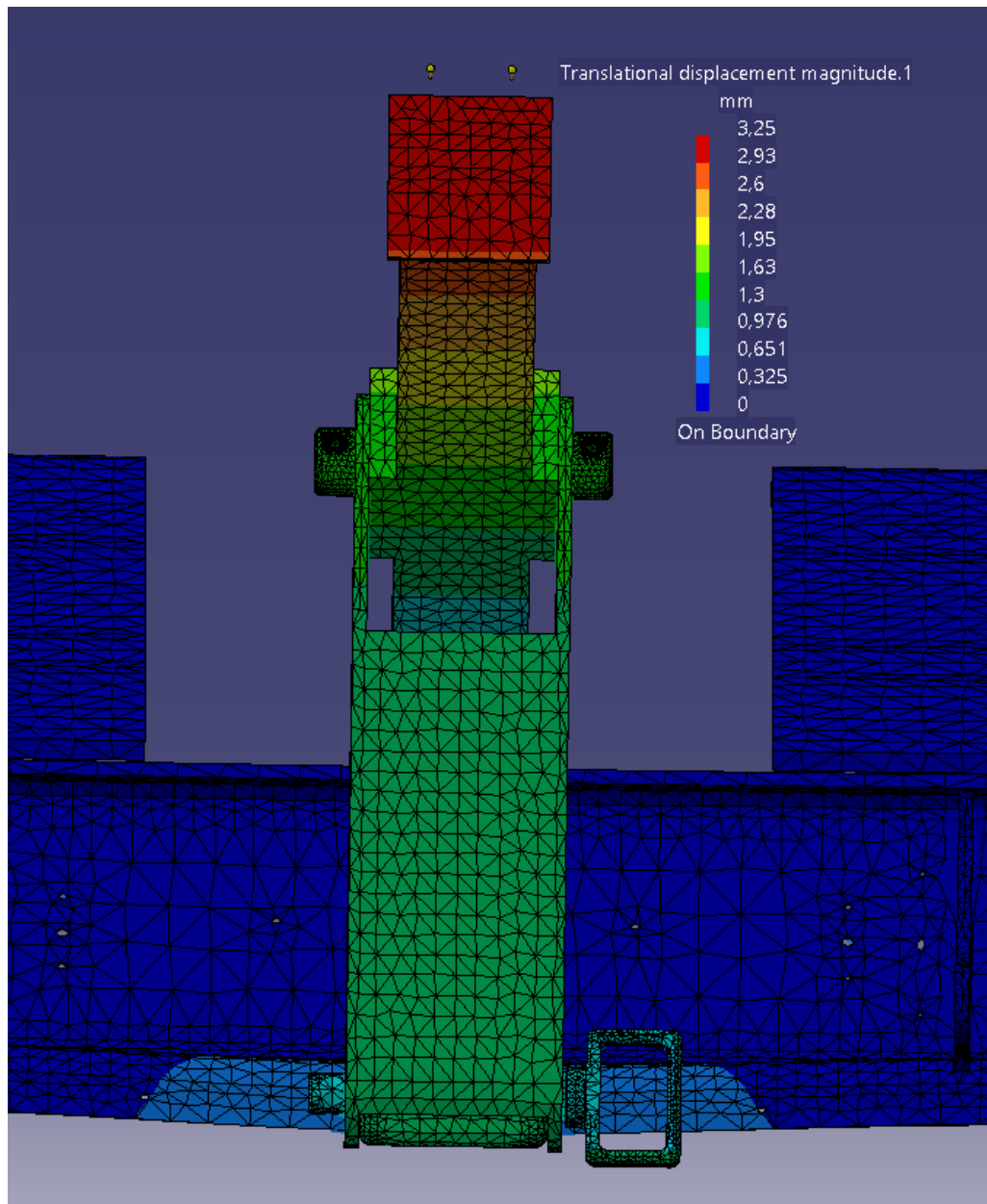


Bild 23: Deformation bakifrån koncept A

Bild 24 beskriver deformationen på konstruktionen sett framifrån. Bilden visar tydligt hur det främre fästet dras uppåt vilket även detta verkar rimligt med tanke på kraften som konstruktionen utsätts för. Fästet deformeras cirka 0 - 1 mm och den del av fästet som utgör själva "plattan" är 16 mm tjock.

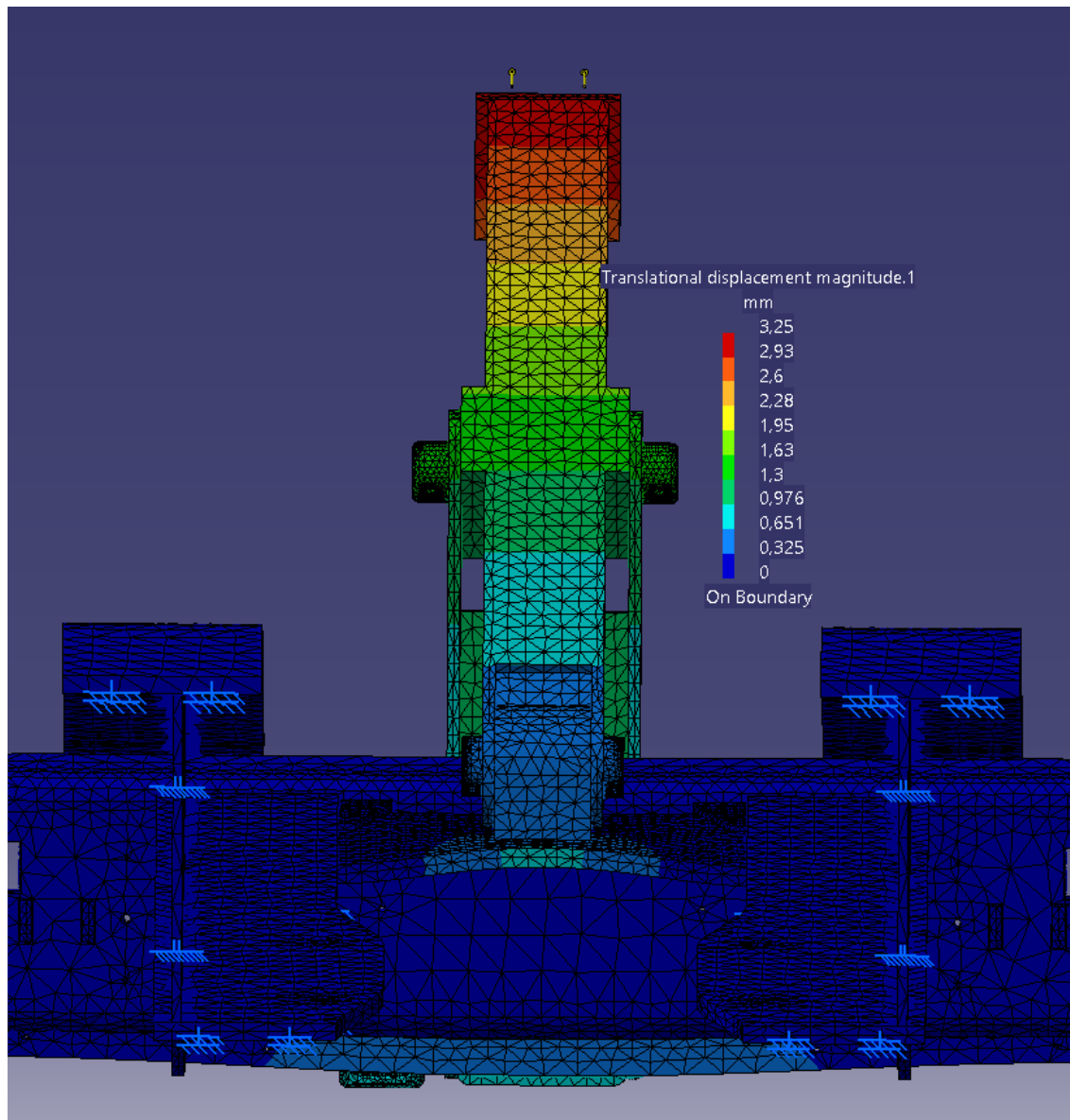


Bild 24: Deformation framifrån koncept A

6.2 Koncept E

Nedan visas CAD-modeller och FEM beräkningar för Koncept E

6.2.1 CAD

Bild 25 visar koncept E i utfällt läge. Måtten på den övre balken är 100 x 100 mm med en godstjocklek på 10 mm. Massan för denna balk uppgår till 22,8 kg. Den nedre balken är måttsatt till 120 x 120 mm med godstjockleken 10 mm, massan på denna balk uppgår till 14,3 kg. Axeln som går genom de två balkarna har en massa på cirka 1,4 kg. Den totala massan på det som hanteras av användaren uppgår till cirka 38,5 kg och klarar därför krav 3.3, se tabell 1.

Det främre fästet är identiskt med fästet i koncept A förutom att 10 mm tagits bort från plattans båda långsidor, detta för att skapa plats för det bakre fästet. Fästet sitter även monterat ovanför undersulorna istället för under. Det bakre fästet är konstruerat för att sitta ovanpå ljusbalken, likt en handske. För att ljusbalken inte skulle vrida sig av belastningen från den nedre balken, var det lättare att avlägsna ovansidan av ljusbalken och trä fästet över. Båda fästena svetsas fast.

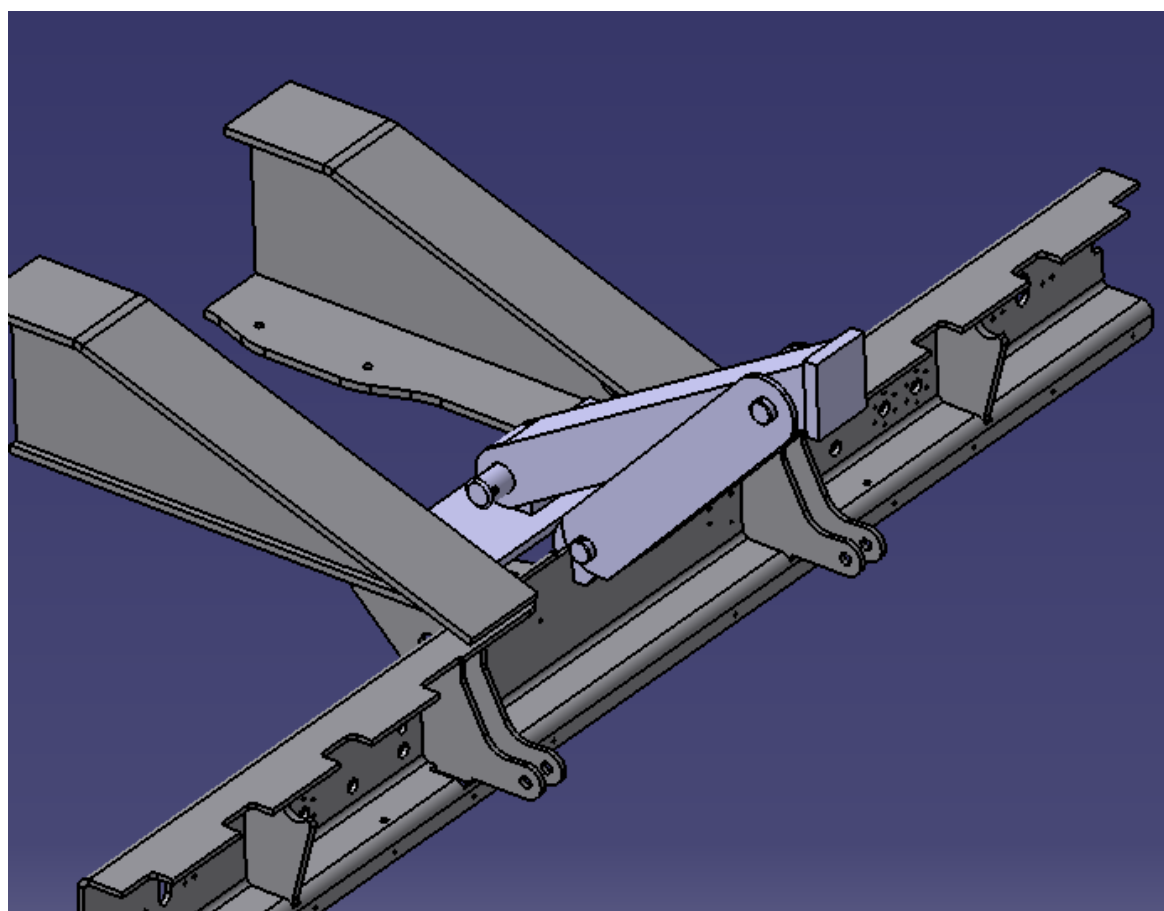


Bild 25: Komplet v y koncept E

Bild 26 visar ett förtydligande av det bakre fästet för koncept E, här syns det hur en bit av ljusbalken skurits ur.

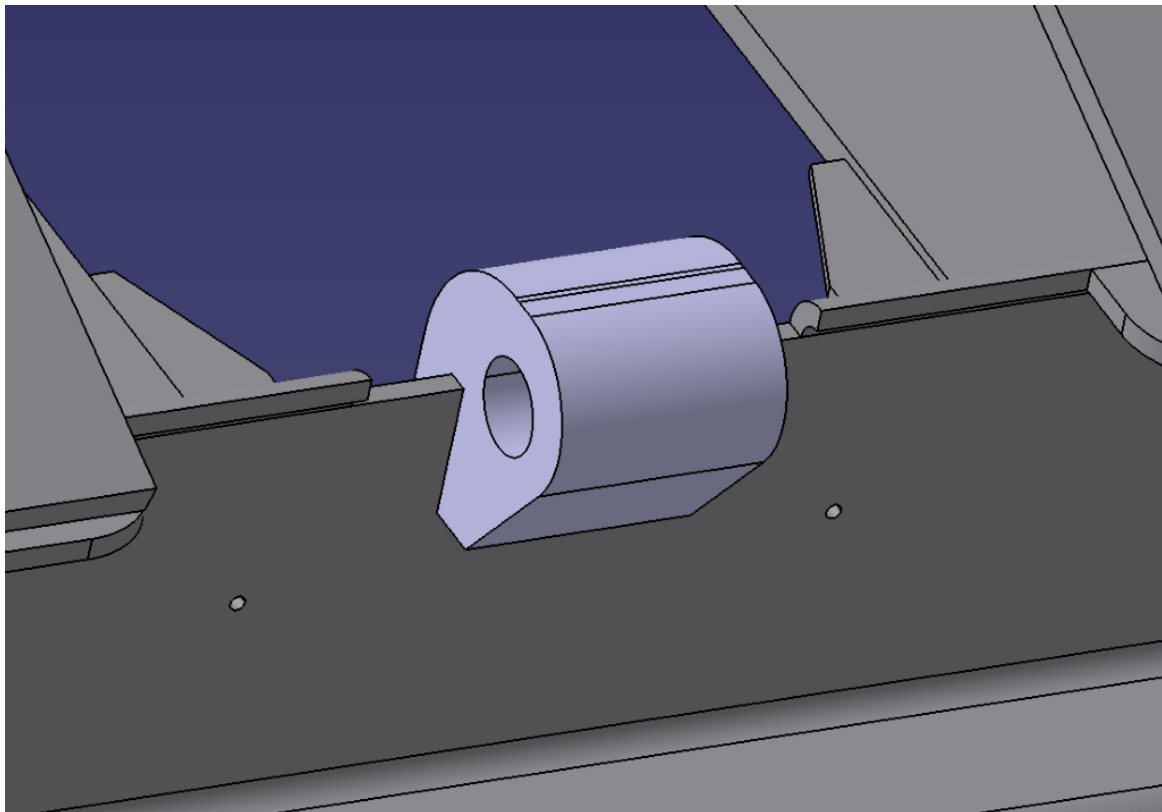


Bild 26: Bakre fäste koncept E

Bild 27 visar en komplett vy av koncept E i infällt läge. Den övre balken fälls in och den nedre balken lägger sig över. Här visas även hur det bakre fästet är monterat i ljusbalken från andra sidan.

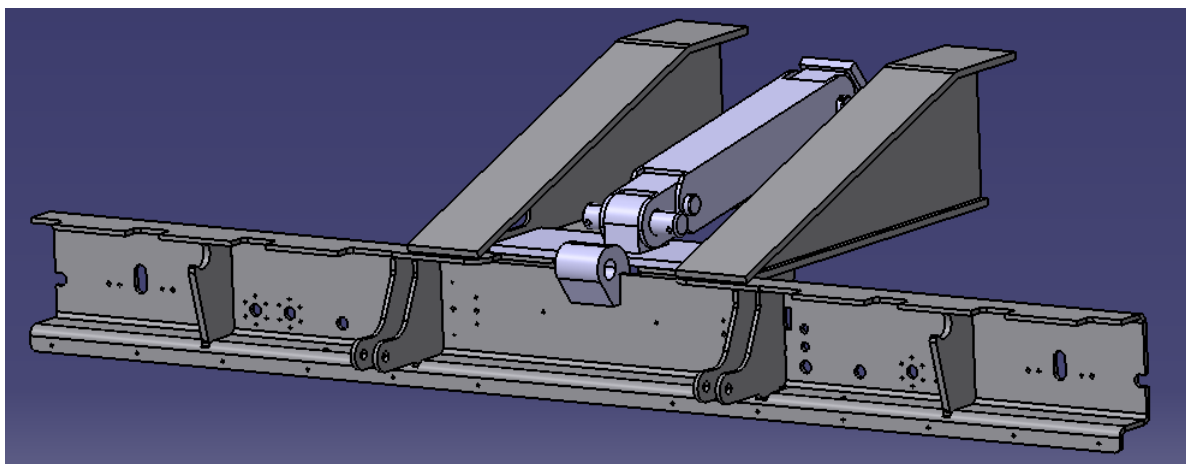


Bild 27: Kompletty vy av koncept E infällt läge

Bild 28 visar hur koncept E förhåller sig till kraven 2.2, 2.3 i kravspecifikationen, se tabell 1. Den övre balken sticker ut 19,372 mm ovanför översulan där godkänd höjd är max 75 mm. Den nedre balken sticker dock ut 12,205 mm ovanför översulan där godkänt krav är 0 mm, därav klarar den inte kravet.

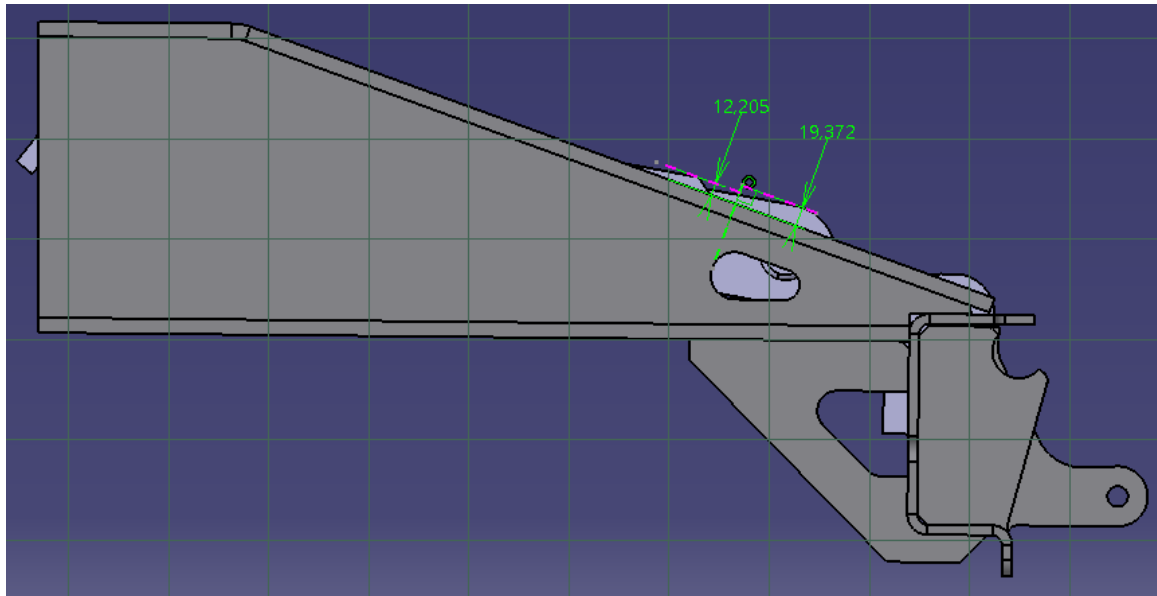


Bild 28: Infällt läge av koncept E med kraven 2.2 & 2.3

Bild 29 illustrerar koncept E i profil och kraven 1.2, 1.3 från kravspecifikationen, se tabell 1. Bilden visar tydligt att konceptet klarar dessa krav. På fästplattan längst ut skall själva bogseröglan sitta vilket medför att den faktiska kopplingspunkten i verkligheten kommer ytterligare lite längre ut, detta diskuteras i kapitel 8.2.

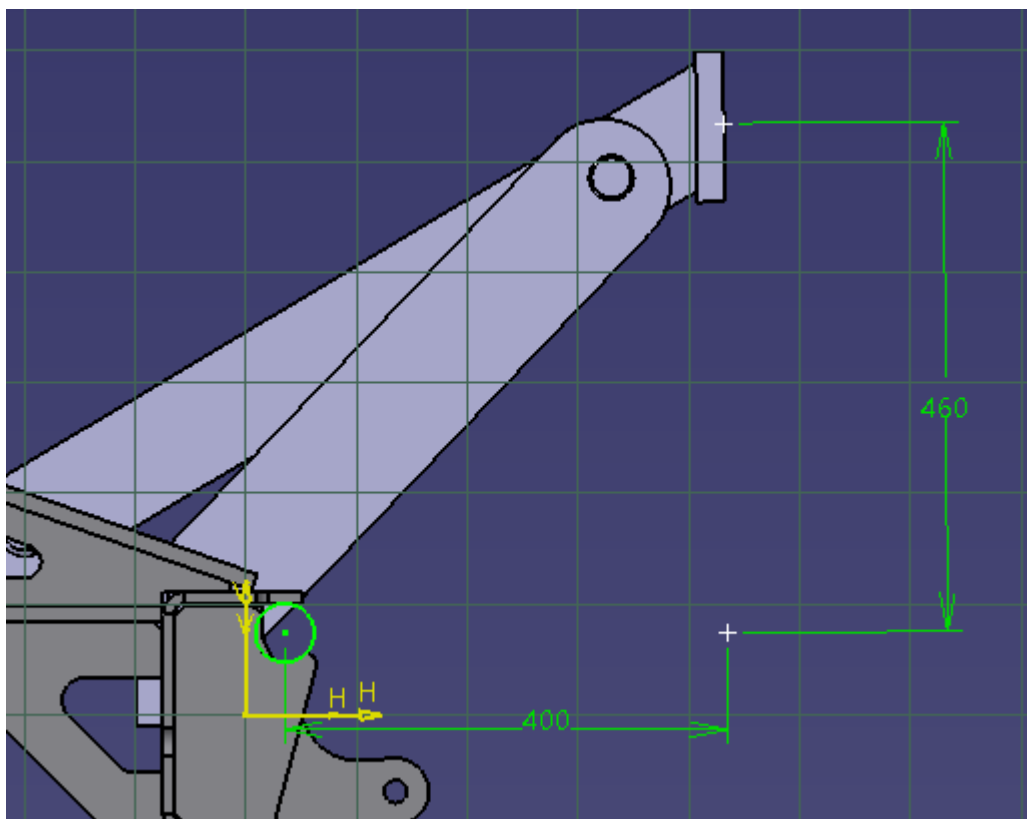


Bild 29: Koncept E i profil med kraven 1.2 & 1.3

6.2.2 FEM

Bild 30 illustrerar en helhetsvy över FEM beräkningarna på koncept E. Bilden visar spänningarna i konstruktionen som uppgår till strax under 50 MPa. Det uppkommer högre spänningar runtom fästena och den högsta uppkommer till ca 491 MPa. Ljusbalken som det bakre fästet är fastsvetsad i har en sträckgräns på 355 MPa. Denna balk skulle eventuellt behöva förstärkas i området kring det nedre fästet, detta diskuteras i kapitel 8.2.

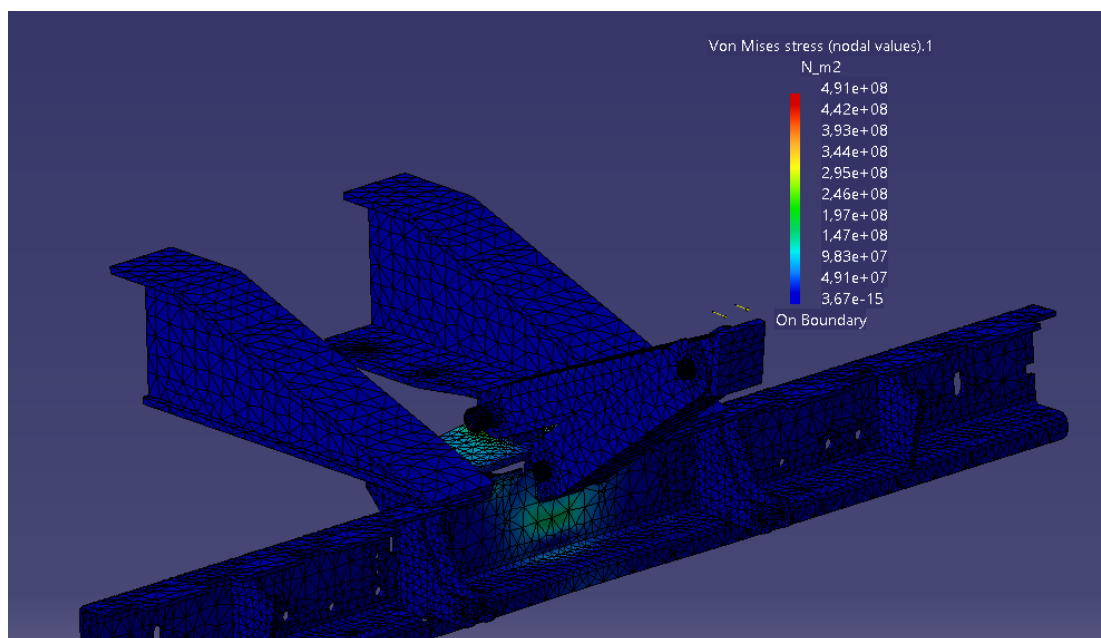


Bild 30: FEM beräkningar av koncept E

Bild 31 visar spänningarna som uppkommer i hörnen på det främre fästet, dessa uppmäts till ca 400 MPa. Detta är spänningar som uppstår i väldigt små punkter vilket diskuteras i kapitel 8.2. Spänningarna på fästplattan är relativt låga jämfört med materialets sträckgräns på 700 MPa. Det går att se hur det främre fästet deformeras av dragkraften i balkarna vilket verkar rimligt med avseende på konstruktionen.

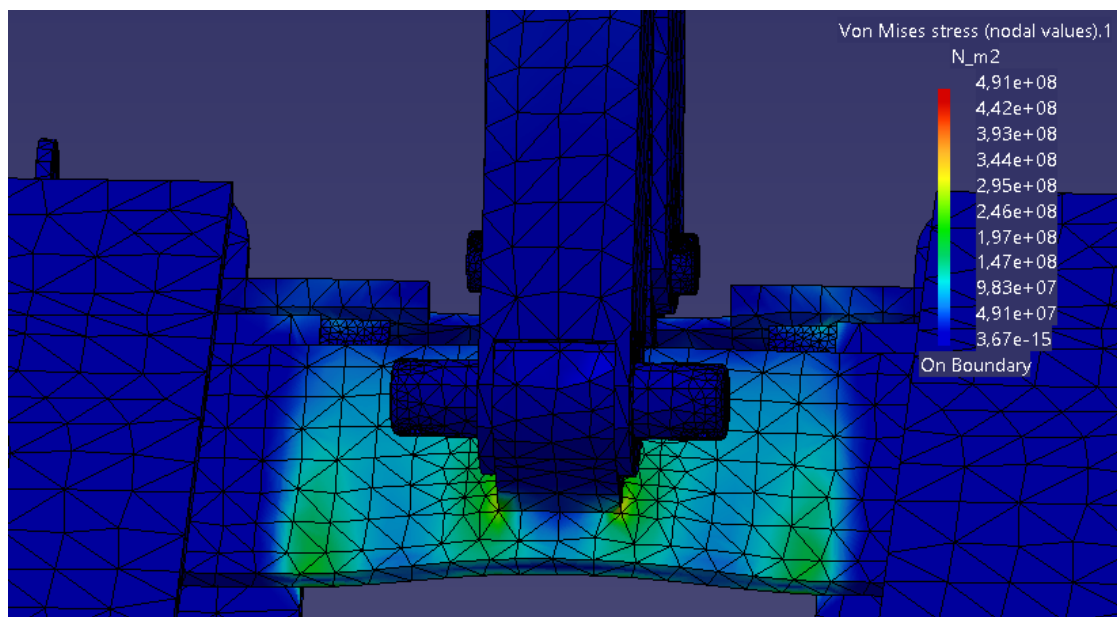


Bild 31: Spänningar i främre fäste koncept E

Bild 32 visar var den största spänningen uppstår och dess värde på 491 MPa. Bilden visar även spänningarna på baksidan av ljusbalken vilka uppkommer till ca 250 MPa.

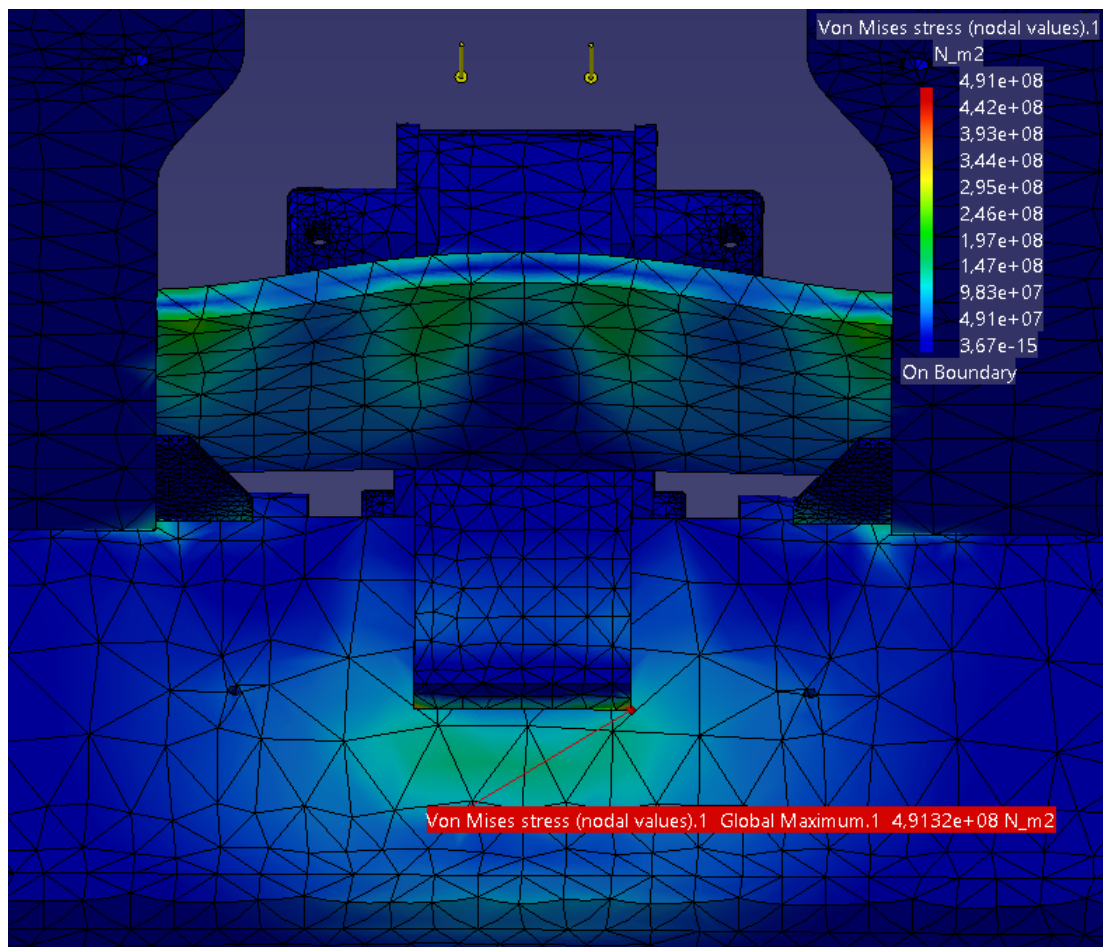


Bild 32: Spänningar i bakre fästet med maxspänning koncept E

En helhetsbild på hur konstruktionen deformeras visas i bild 33. Deformationen är lika stor i båda balkar, de flyttar sig 3,48 mm från sin startpunkt. Detta är inte mycket med tanke på att den övre balken är 785 mm och den nedre 634 mm. Andra ställen konstruktionen deformeras på är i ljusbalken och i fästena, alla under 1 mm.

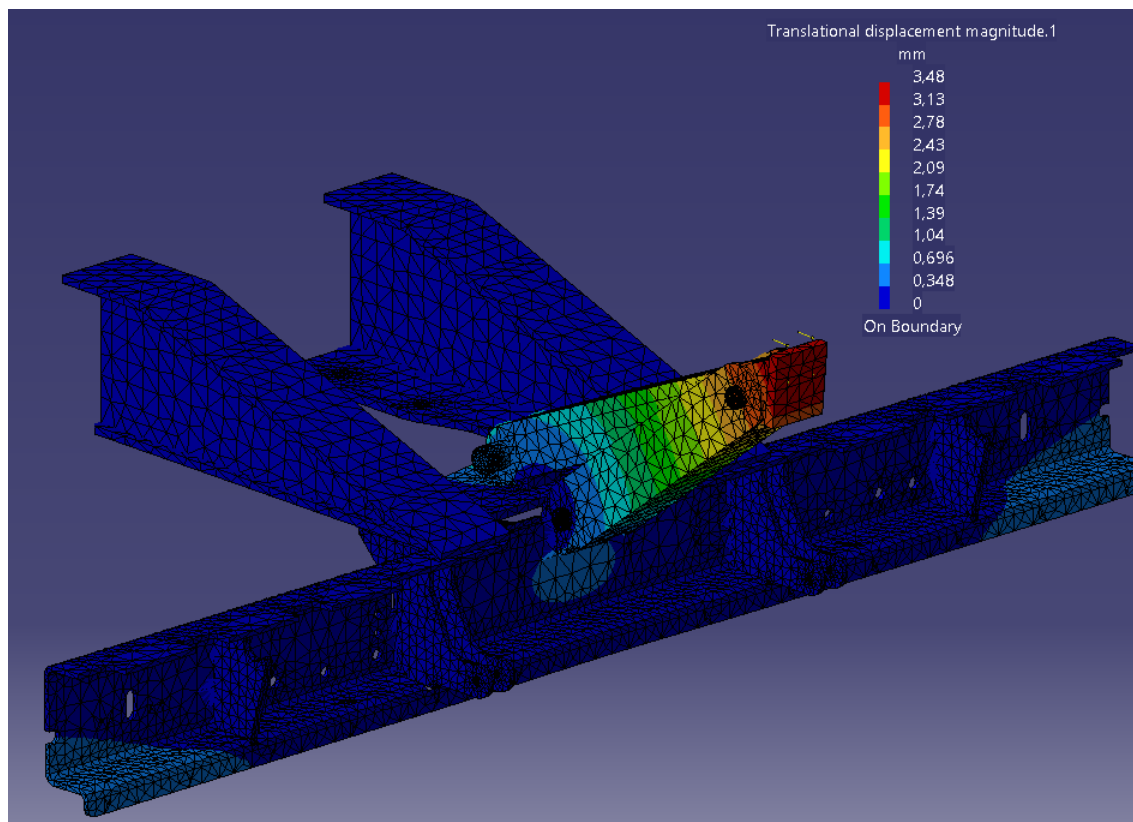


Bild 33: Helhetsvy av deformationer koncept E

Bild 34 visar hur balken deformeras närmast fästet, under det bakre fästet deformerar ljusbalken 0.7 mm, den nedre balkens deformation varierar från 0 – 3,48 mm.

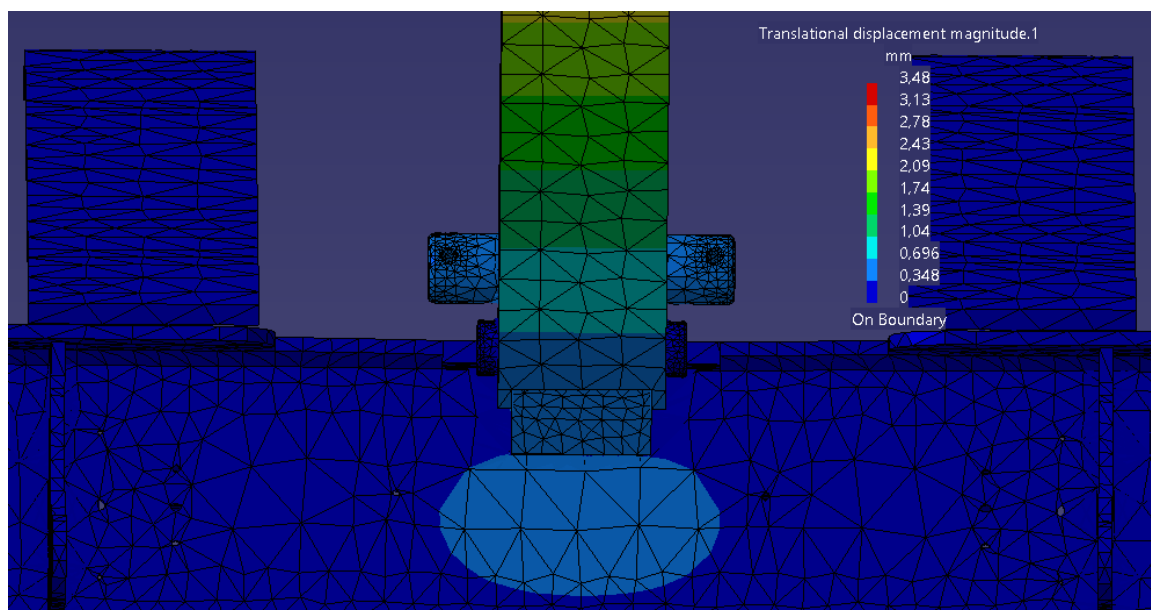


Bild 34: Deformation bakifrån koncept E

Bild 35 beskriver deformationen på konstruktionen sett framifrån. Bilden visar tydligt hur det främre fästet dras uppåt ca 0,7 mm vilket verkar rimligt med tanke på konstruktionen. Det blir också tydligt hur deformationen ökar från det främre fästet längsmed balkens rygg.

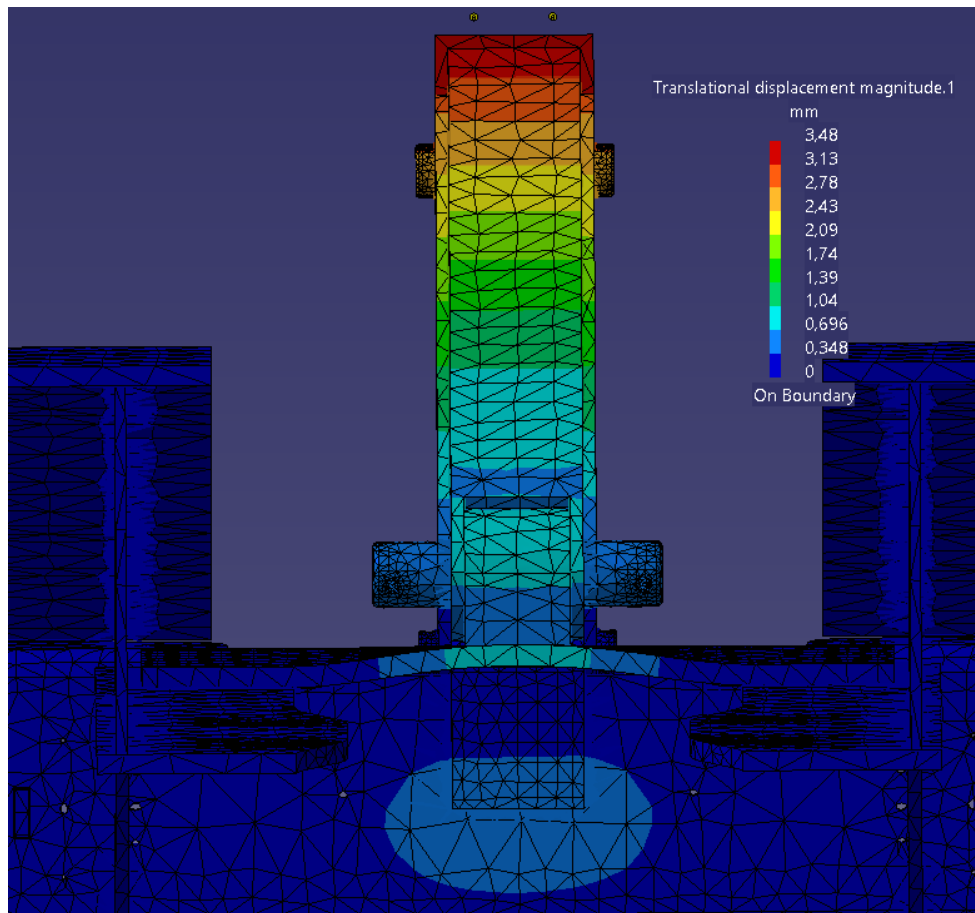


Bild 35: Deformation framifrån koncept E

7. SLUTGILTIGT KONCEPT

I detta kapitel elimineras ett av koncepten och det kvarstående förtydligas ytterligare med ritningar.

7.1 Val av Koncept

För att avgöra vilket av koncept A eller E som var mest lämpligt jämfördes spänningar, deformationer, hur de klarade kraven samt användarvänligheten.

I både koncept A och E uppkom de högsta spänningarna i fästena. Dessa maxspänningar uppstod i väldigt små punkter vilket diskuteras vidare i kapitel 8.2. Koncept A hade en maxspänning på 350 MPa och koncept E 491 MPa. Dessa spänningar låg långt under sträckgränsen, dock så är lägre spänning alltid att föredra. Den största deformationen på koncept A uppmättes till 3.25 mm och den största på koncept E till 3.48 mm. Balken i koncept E flyttade sig 0.23 mm längre än koncept A, dock är dessa deformationer väldigt små i förhållande till längderna på balkarna.

Enligt tabell 1 och bild 28 i kapitel 6.2.1 så klarade inte koncept E krav 2.3, det stack upp 12,205 mm över översulan i område 2. Koncept A klarade krav 2.2 och 2.3 men sticker upp ganska mycket i område 1. Med tanke på att spänningarna är låga jämfört med sträckgränsen så skulle konstruktionerna kunna dimensioneras ner och justeras.

Genom visualisering av koncepten bildas en uppfattning av vilket koncept som skulle vara enklast att hantera i verkligheten.

Den nedre balken kommer att hamna i en vertikal position på grund av gravitationen om användaren tar tag i den övre balken. Vid montering skulle användaren exempelvis kunna lyfta ut hela konstruktionen med ett handtag monterat på den nedre balken, därefter tar användaren tag i den övre balken och monterar sprinten då hålen mellan den nedre balken och det nedre fästet matchar. Demontering fungerar på liknande sätt fast i motsatt ordning.

Vid montering av koncept E skulle användaren exempelvis kunna lägga den övre balken på axeln samtidigt som hen lyfter in den nedre i rätt position för att kunna montera sprinten. Demontering fungerar på liknande sätt fast i motsatt ordning. Det krävs alltså att användaren hanterar båda balkarna samtidigt eftersom den nedre balken monteras i en lutande vinkel. Den nedre balken vill vinklas uppåt på grund av momentet som bildas i leden mellan balkarna, momentet uppkommer på grund av den övre balkens massa.

Koncept A verkar vara enklare att hantera vid användning än koncept E. Koncept A har även lägre maximal spänning och en mindre deformation. Koncept E klarar inte krav 2.3 vilket A gjorde. Konceptet som går vidare till ritningsfasen är koncept A.

7.2 Ritningar

Bild 36 illustrerar en sprängd vy med tillhörande lista över komponenterna.

För detaljerade ritningar se bilaga 4.

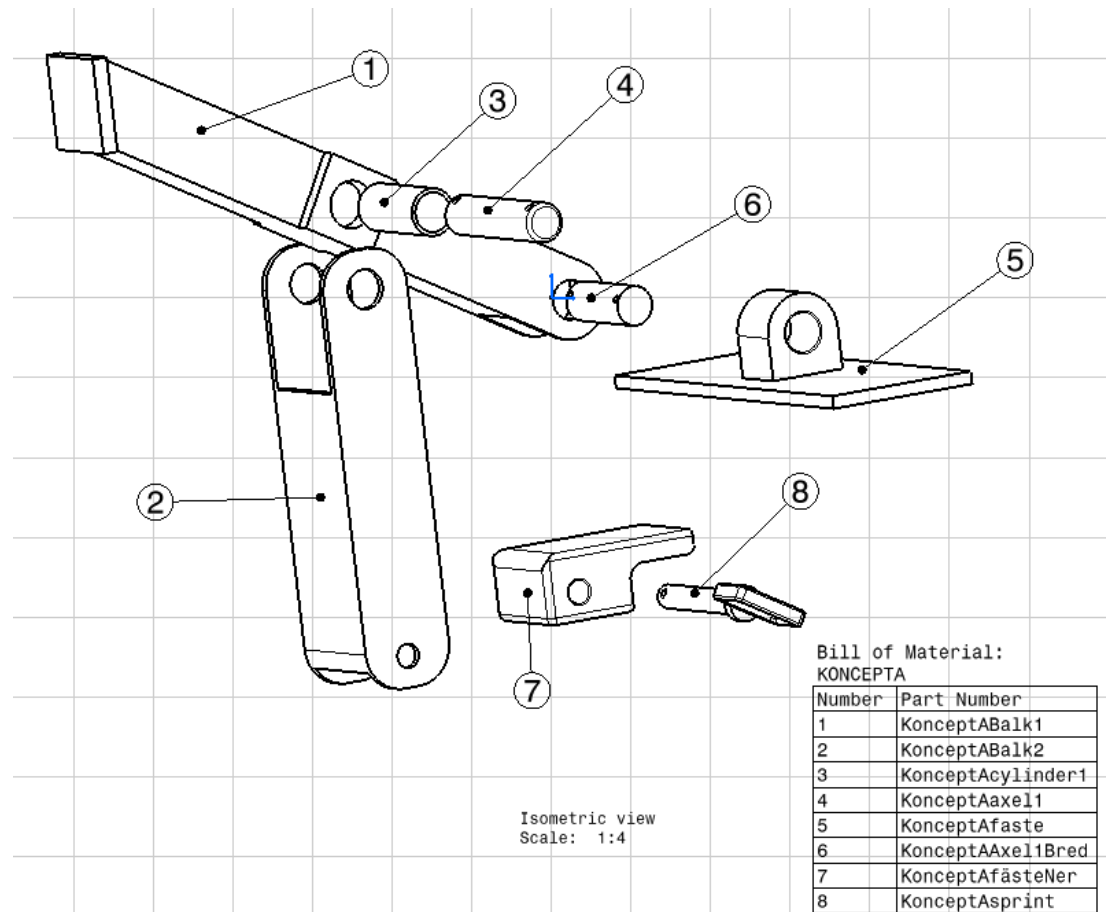


Bild 36: Sprängd vy av koncept A

8. SLUTSATSER

I detta kapitel redogörs för slutsatserna samt diskussioner kring projektet.

8.1 Slutsatser och erfarenheter

Syftet med detta projekt var att konstruera ett kopplingsmontage som tillät en kopplingspunkt 400 mm utanför och 460 mm ovanför centrum av rampaxeln, detta skulle göra kopplingsmontaget mer kundanpassat. Alla koncept som togs fram skulle klara dessa krav men p.g.a. önskemålen var det koncept A som blev den slutgiltiga lösningen. Konceptet klarade alla kraven och uppfyllde önskemålen på bästa möjliga sätt.

Frågeställningarna som ställdes i början av projektet besvaras nu enligt följande:

- Hur skall kopplingsmontaget fästas i trailern?

Kopplingsmonaget sitter monterat med två fästen. Det ena fästet som kallas det främre (nummer 5 i bild 36) består av en tvärgående platta som är fäst på undersidan av trailerns undersulor, på denna platta sitter själva leden för den övre balken. Den övre balken sitter fast i det främre fästet med en genomgående axel.

Det andra fästet som kallas det bakre (nummer 7 i bild 36) sitter monterat i mitten av ljusbalken. Detta har samma form som ljusbalken vilket gör att det har en given position och passar perfekt. Den nedre balken sitter monterad i detta fäste med en genomgående sprint och det är denna som sätts in eller dras ut vid montering/demontering av kopplingsmontaget.

Både det främre och bakre fästet sitter fastsvetsade.

- Hur skall kopplingsmontaget döljas vid lastning och då kopplingen inte behövs?

För att fälla in kopplingsmonaget tar användaren tag i den övre balken med ena handen och drar ur sprinten. Därefter greppas den nedre balken i ett eventuellt handtag för att sedan skjuta upp den övre balken samtidigt som den vinklar upp och skjuter på med den nedre balken. Alternativt kan användaren greppa den nedre balken och dra ur sprinten för att sedan skjuta upp hela konstruktionen direkt, detta kräver antagligen mer styrka.

Kopplingsmonaget vinklas in tills den nedre balken ligger över den övre balken och konstruktionen är innanför lågborden. Mellan lågborden behövs det en stång för att bära upp kopplingsmonaget då det är infällt.

- Hur skall kopplingsmontaget konstrueras för att klara hållfasthetskraven?

För att kopplingsmontaget skall klara hållfasthetskraven så ska kopplingsmontaget konstrueras enligt koncept A. Se kapitel 6.1 och 7.2 för detaljer.

- Hur skall kopplingsmontaget konstrueras för att uppfylla kundernas önskan?

För att kopplingsmontaget ska uppfylla kundernas önskemål och krav skall det konstrueras enligt koncept A. Se kapitel 6.1 och 7.2 för detaljer.

8.2 Diskussion

Angående situationen att koncept E inte klarade krav 2.3 så finns det en del att diskutera. Konceptet gick igenom urvalsmatriserna trots att det inte klarade ett av kraven, vilket upptäcktes senare. Anledningen till detta var att det inte fanns tillräcklig detaljerade modeller som kunde verifiera om koncepten klarade kravet eller ej. Egentligen var det svårt att verifiera några som helst krav som hade med måttsättningen att göra, detta eftersom det var omöjligt att veta exakt hur koncepten skulle se ut. Det enda som fanns tillgängligt var skisserna på koncepten och de streckade figurerna i CATIA. Att göra detaljerade CAD-modeller på alla koncept innan det första urvalet var inte möjligt, det skulle krävas alldeles för mycket tid.

Enligt FEM beräkningarna så uppstår de största spänningarna i hörnen kring fästena. Dessa spänningar kan vara svåra att beräkna exakt eftersom de beräknas separat för varje enskilt element. Om elementen är väldigt små (vilken behövs för en låg error rate) kan spänningarna i dessa små punkter bli större. Slutsatsen är att den högsta spänningen utan tvekan finns i dessa hörn.

Någonting som skulle varit tydligare från början var avgränsningarna. Hur många koncept som projektet skulle resultera i var lite otydligt. En annan otydlighet var hur mycket som skulle beräknas i FEM, endast konceptet eller konceptet tillsammans med trailern.

Plattan som sitter monterad längst ut på den övre balken är fästet för själva dragkroken, detta gäller både koncept A och E. Den dragkroken som VM Trailer använt tidigare har en bredd på 200 mm medan plattan på Koncept A bara är 120 mm bred. Plattan är även monterad så att mitten utav den hamnar i samma position som den verkliga dragpunkten, alltså sitter plattan längre ut än vad som egentligen behövs. Den verkliga dragpunkten kommer hamna 107 mm från plattan om tidigare nämnd dragkrok används. Fästplattan är monterad i denna position för att FEM beräkningarna skall bli så noggranna som möjligt, konstruktionen är påverkad av en kraft 400 mm från centrum av rampaxeln.

För vidare arbete på koncept A så finns det en del saker som kan göras. Skall samma dragkrok användas som VM Trailer använt tidigare så behöver plattan breddas från 120 till 200 mm. Om kopplingspunkten måste vara 400 mm utanför centrum av rampaxeln behöver den övre balken kortas ner så att plattan kommer 107 mm längre in mot trailern. Alternativet är att tillåta en kopplingspunkt 507 mm från centrum av rampaxeln istället för 400 mm. Då kravet från kunden var att kopplingspunkten skulle sitta längre ut så borde det inte vara negativt att den hamnar ytterligare längre ut än vad som krävdes. För att undvika de höga spänningarna i hörnen på fästena så kan en radie på några millimeter behövas.

Enligt kapitel 6 uppstår spänningar på cirka 250 MPa i ljusbalken på både koncept A och E vilket kan vara värt att tänka på. Balken består av ett material med sträckgränsen 355 MPa vilket betyder att marginalen inte är så stor. En förstärkning av ljusbalken skulle möjligtvis behövas i det värst utsatta området.

REFERENSER

Dahlberg, T. (2001). Teknisk Hållfasthetslära. Lund: Studentlitteratur.

Johannesson, H., Persson, Jan-Gunnar., & Pettersson, D. (2013). Produktutveckling: Effektiva metoder för konstruktion och design. Solna: Liber.

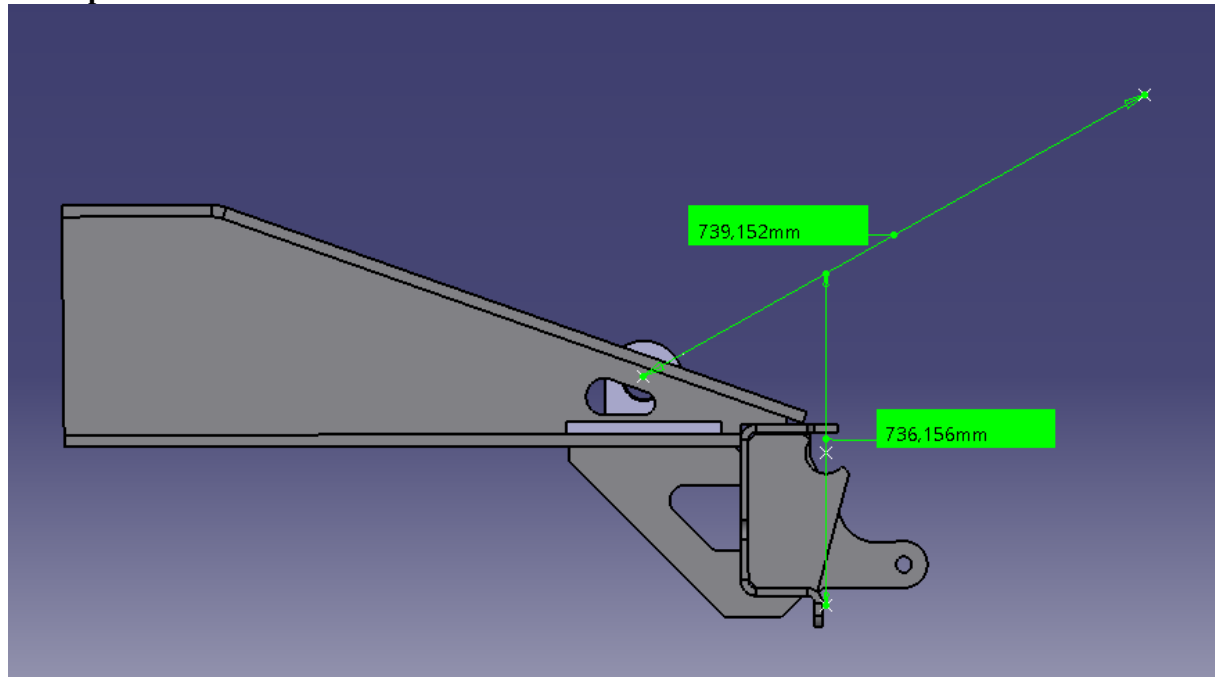
Catiadoc. (2020). What types of modeling do connections generate?. Hämtad 2020-04-30 från http://catiadoc.free.fr/online/estug_C2/estugfq0300.htm

BILAGOR

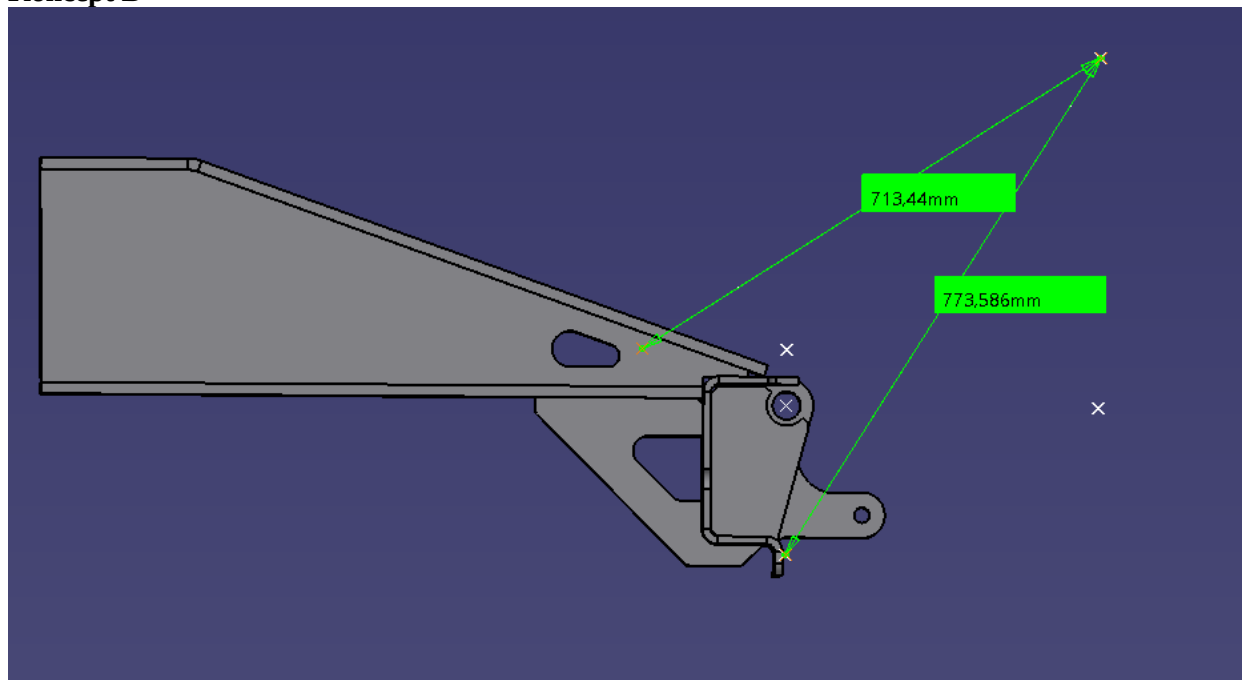
Bilaga 1

Koncepten i form av streckade modeller i CATIA V5 med mått.

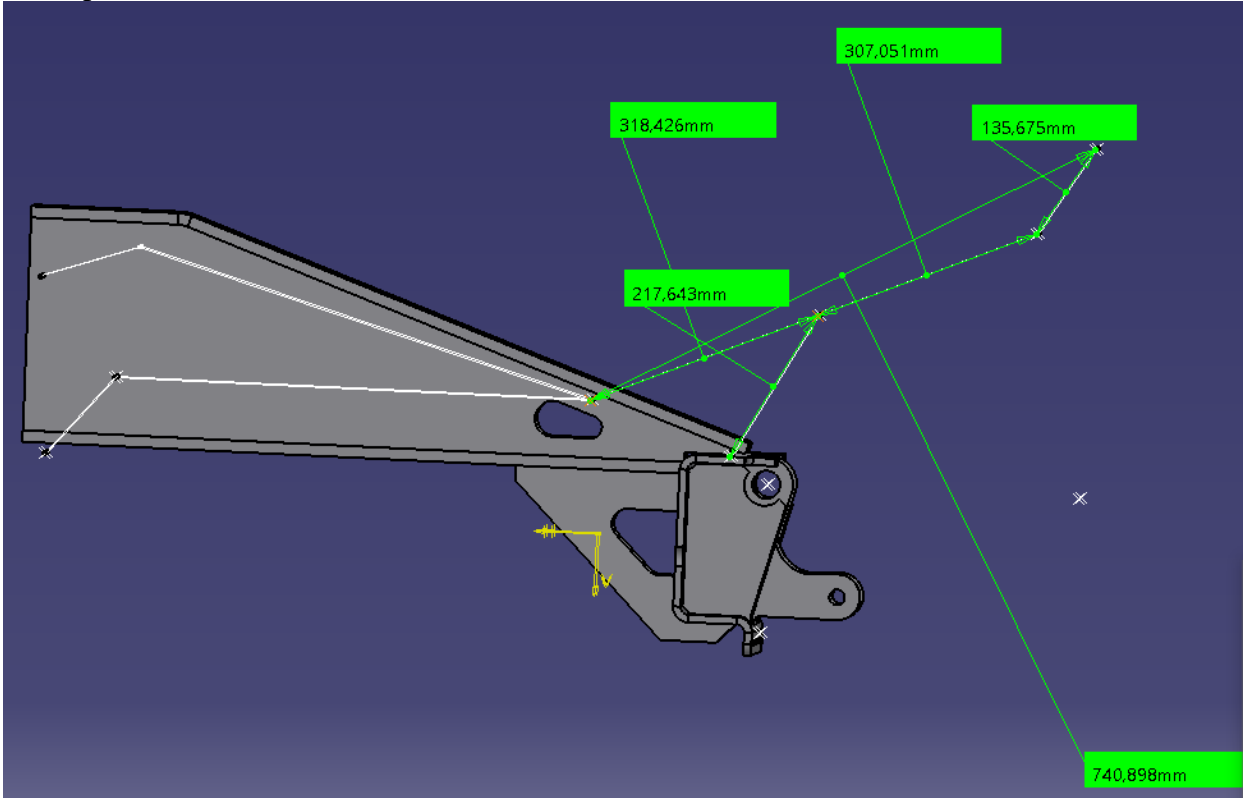
Koncept A



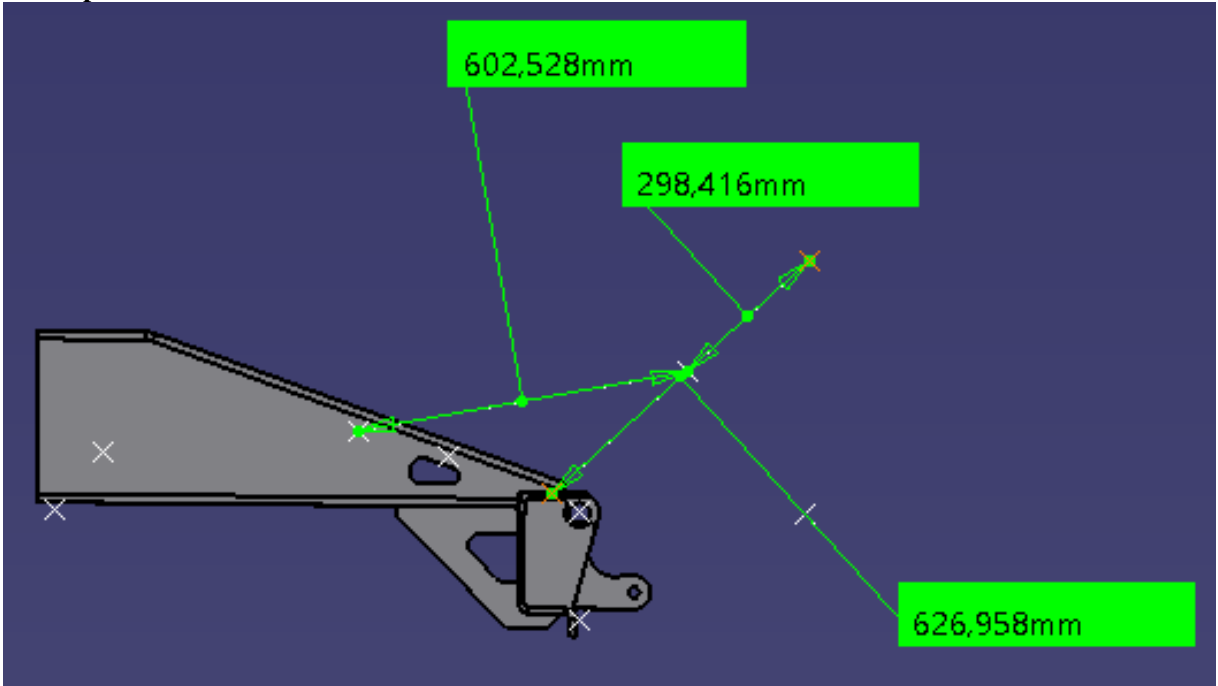
Koncept B



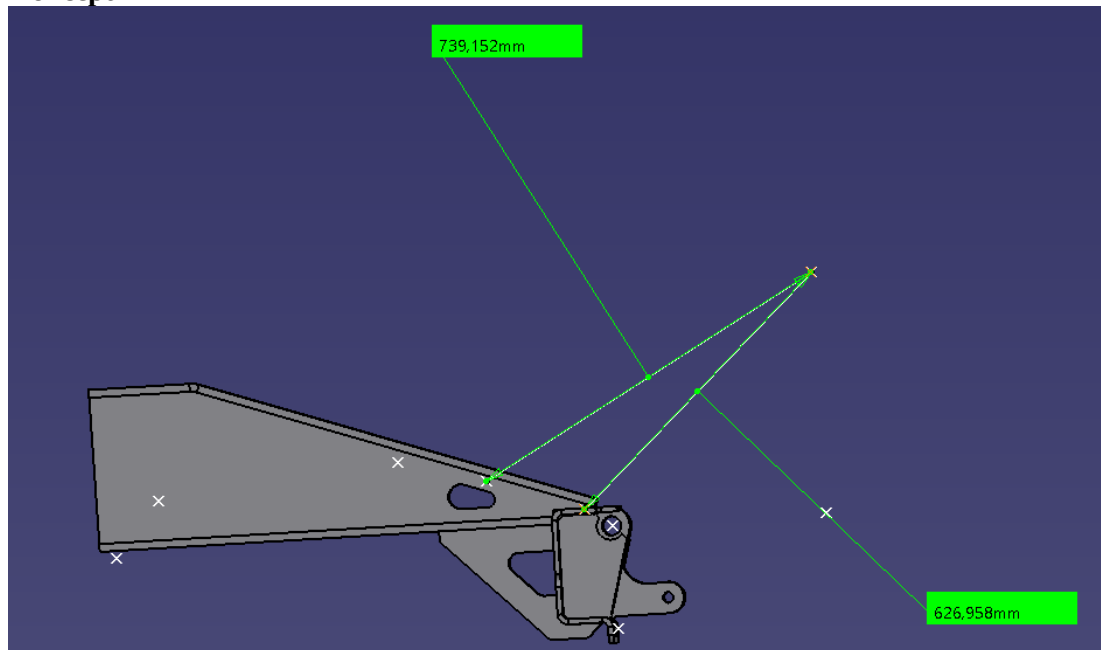
Koncept C



Koncept D



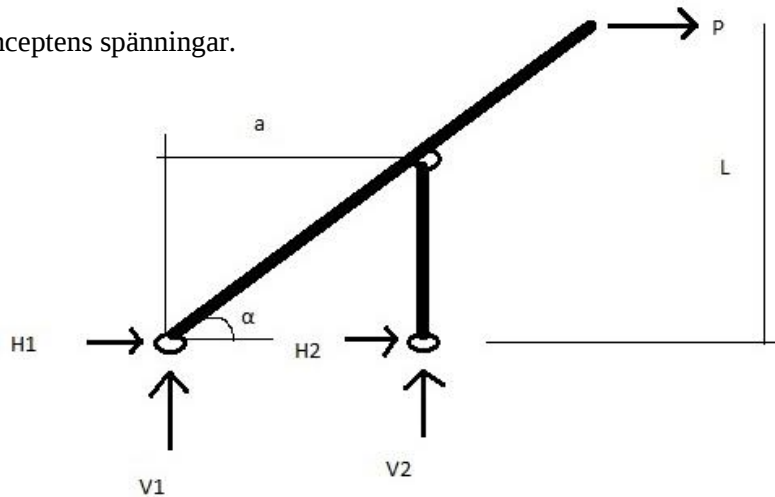
Koncept E



Bilaga 2

Beräkning av konceptens spänningar.

Koncept A



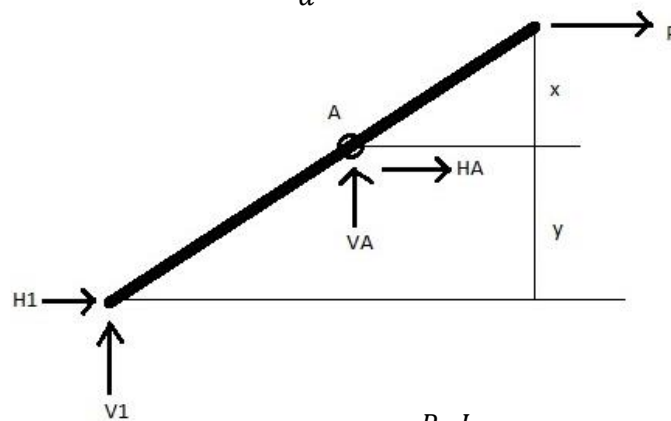
$$\uparrow: V_1 + V_2 = 0 \Rightarrow V_2 = -V_1 \quad (1)$$

$$\rightarrow: H_1 + H_2 + P = 0 \quad (2)$$

$$\overset{M_2}{\rightarrow}: V_1 \cdot a + P \cdot L = 0 \Rightarrow V_1 = -\frac{P \cdot L}{a} \quad (3)$$

Ekvation (3) och (1) ger:

$$V_2 = \frac{P \cdot L}{a} \quad (4)$$



$$\uparrow: V_1 + V_A = 0 \Rightarrow V_A = -V_1 = \frac{P \cdot L}{a} \quad (5)$$

$$\rightarrow: H_1 + H_A + P = 0 \Rightarrow H_A = -P - H_1 \quad (6)$$

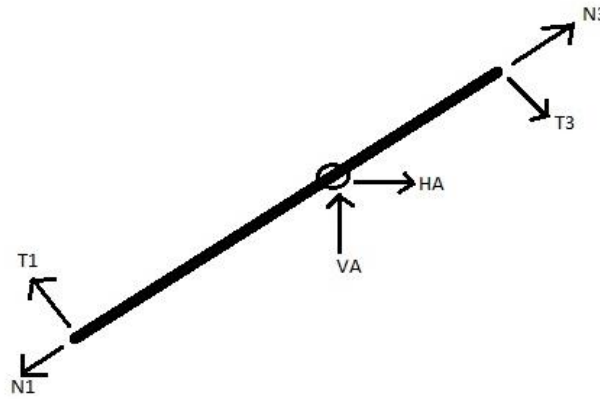
$$\overset{A}{\rightarrow}: P \cdot x + V_1 \cdot a - H_1 \cdot y = 0 \quad (7)$$

Ekvation (3) i (7) ger:

$$H_1 = \frac{P \cdot x + V_1 \cdot a}{y} = \frac{P \cdot x - P \cdot L}{y} = -P \quad (8)$$

Ekvation (8) i (6) ger:

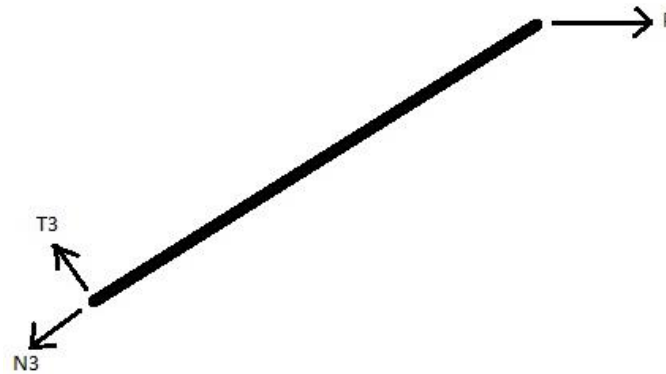
$$H_A = 0 \quad (9)$$



$$\nearrow: N_3 - N_1 + V_A \cdot \cos(90 - \alpha) + H_A \cdot \cos(\alpha) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_1 = N_3 + V_A \cdot \cos(90 - \alpha) + H_A \cdot \cos(\alpha) \quad (10)$$

$$\nwarrow: T_1 - T_3 + V_A \cdot \sin(90 - \alpha) + H_A \cdot \sin(\alpha) = 0 \quad (11)$$



$$\rightarrow: P - N_3 \cdot \cos(\alpha) - T_3 \cdot \cos(90 - \alpha) = 0 \quad (12)$$

$$\uparrow: T_3 \cdot \sin(90 - \alpha) - N_3 \cdot \sin(\alpha) = 0 \Rightarrow N_3 = \frac{T_3 \cdot \sin(90 - \alpha)}{\sin(\alpha)} \quad (13)$$

Ekvation (13) i (12) ger:

$$T_3 = \frac{P}{\frac{\sin(90 - \alpha) \cdot \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)} + \cos(90 - \alpha)} \quad (14)$$

Ekvation (14) i (13) ger:

$$N_3 = \frac{P}{\frac{\sin(90 - \alpha) \cdot \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)} + \cos(90 - \alpha)} \cdot \frac{\sin(90 - \alpha)}{\sin(\alpha)} \quad (15)$$

Ekvation (5), (9) & (10) ger:

$$N_1 = \frac{P}{\frac{\sin(90 - \alpha) \cdot \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)} + \cos(90 - \alpha)} \cdot \frac{\sin(90 - \alpha)}{\sin(\alpha)} + \frac{P \cdot L}{a} \cdot \cos(90 - \alpha) \quad (16)$$



$$N_2 + V_2 = 0 \Rightarrow N_2 = -V_2 \quad (17)$$

Ekvation (4) i (17) ger:

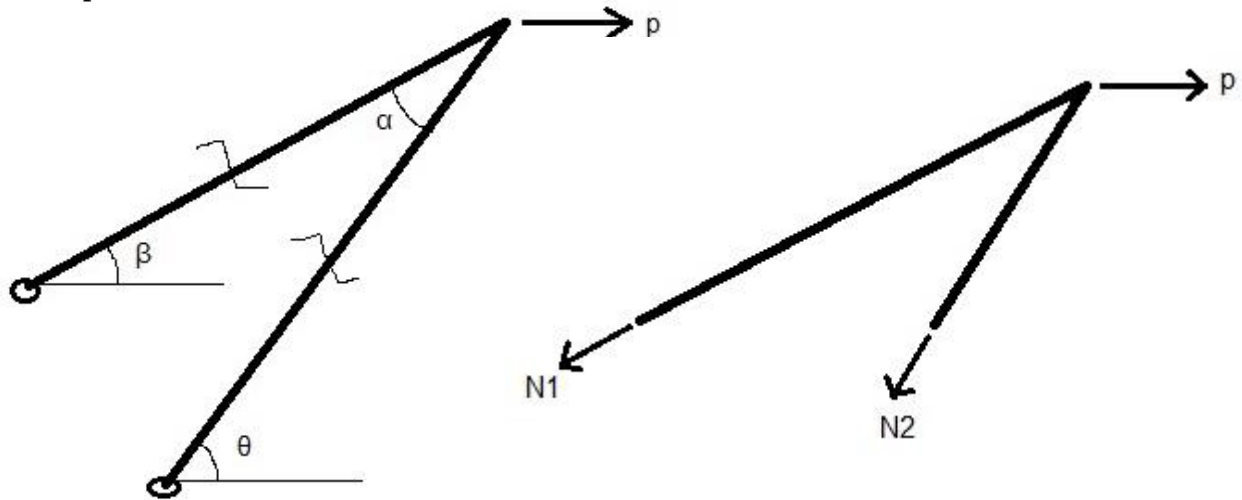
$$N_2 = -\frac{P \cdot L}{a} \quad (18)$$

$$L = 361 \text{ mm} \quad a = 235 \text{ mm} \quad y = 131,5 \text{ mm} \quad x = 229,5 \text{ mm} \quad \alpha = 29,2^\circ$$

$$P = 235680 \text{ N} \quad \text{Area exempel fyrkantssbalk} \approx 0,12^2 - 0,10^2 = 0,0044 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} N_1 &= 382357,2 \text{ N} & \sigma_1 &= 86,9 \text{ MPa (drag)} \\ N_2 &= 362044,6 \text{ N} & \sigma_2 &= 82,3 \text{ MPa (tryck)} \\ N_3 &= 205730,275 \text{ N} & \sigma_3 &= 46,75 \text{ MPa (drag)} \end{aligned}$$

Koncept B



$$\rightarrow : P - N_1 \cdot \cos \beta - N_2 \cdot \cos \theta = 0 \quad (19)$$

$$\uparrow : -N_1 \cdot \sin \beta - N_2 \cdot \sin \theta = 0 \Rightarrow N_1 = -\frac{N_2 \cdot \sin \theta}{\sin \beta} \quad (20)$$

Ekvation (20) i (19) ger:

$$P + \frac{N_2 \cdot \sin \theta}{\sin \beta} \cdot \cos \beta - N_2 \cdot \cos \theta = 0 \Rightarrow N_2 = -\frac{P}{\frac{\sin \theta}{\sin \beta} \cdot \cos \beta - \cos \theta} \quad (21)$$

Ekvation (21) i (20) ger:

$$N_1 = \frac{P \cdot \sin \theta}{\left(\frac{\sin \theta}{\sin \beta} \cdot \cos \beta - \cos \theta\right) \cdot \sin \beta} \quad (22)$$

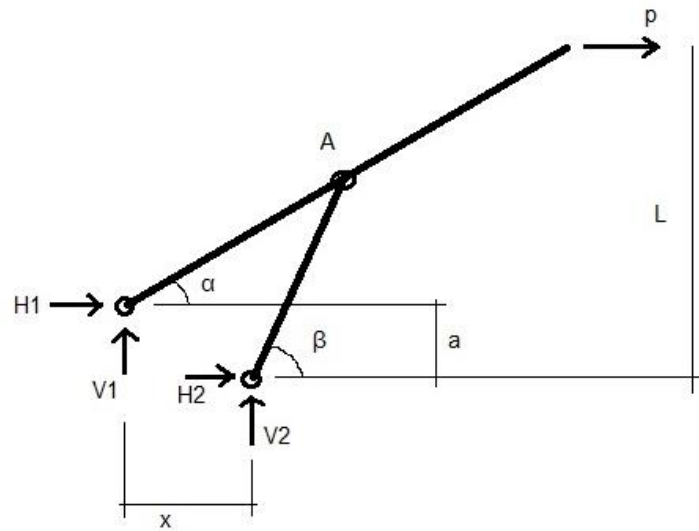
$$\theta = 58^\circ \quad \alpha = 25,24^\circ \quad \beta = 29,2^\circ$$

$$P = 235680 \text{ N} \quad \text{Area exempel fyrkantsbalk} \approx 0,12^2 - 0,10^2 = 0,0044 \text{ m}^2$$

$$N_1 = 414400 \text{ N} \quad \sigma_1 = 94,2 \text{ MPa (drag)}$$

$$N_2 = 238400 \text{ N} \quad \sigma_2 = 54,2 \text{ MPa (tryck)}$$

Koncept C



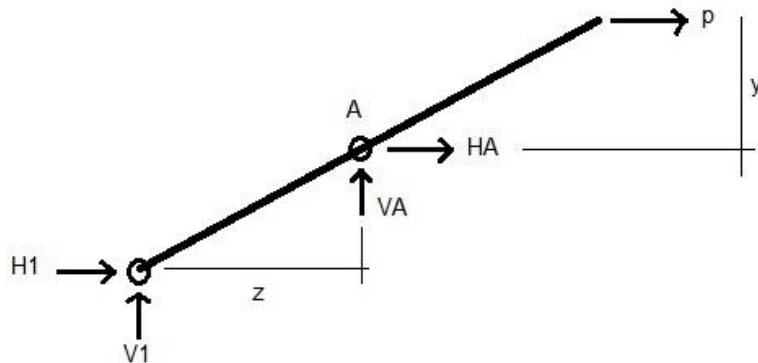
$$\uparrow: V_1 + V_2 = 0 \Rightarrow V_1 = -V_2 \quad (23)$$

$$\rightarrow: H_1 + H_2 + P = 0 \Rightarrow H_2 = -P - H_1 \quad (24)$$

$$\xrightarrow{M_2}: P \cdot L + H_1 \cdot a + V_1 \cdot x = 0 \Rightarrow H_1 = \frac{-P \cdot L + V_2 \cdot x}{a} \quad (25)$$

Ekvation (25) i (24) ger:

$$H_2 = \frac{P \cdot L - V_2 \cdot x}{a} - P \quad (26)$$



$$\uparrow: V_1 + V_A = 0 \Rightarrow V_A = -V_1 \quad (27)$$

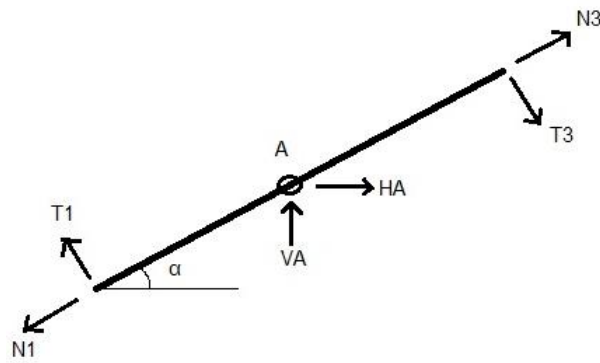
$$\rightarrow: H_1 + H_A + P = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow [\text{Ekvation (25)}] \Rightarrow H_A = -H_1 - P = \frac{P \cdot L - V_2 \cdot x}{a} - P \quad (28)$$

$$\xrightarrow{M_A}: P \cdot y + V_1 \cdot z - H_1 \cdot (L - y) = 0 \quad (29)$$

Ekvation (23) och (25) i (29) ger:

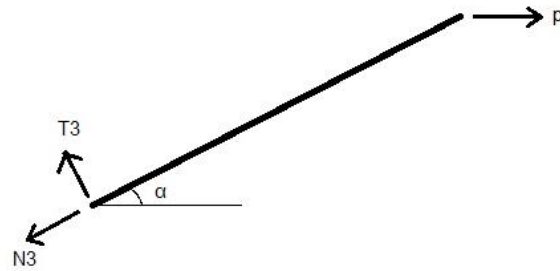
$$V_1 = \frac{\left(-\frac{P \cdot L}{L - y} - \frac{P \cdot L}{a}\right)}{\left(\frac{z}{L - y} + \frac{x}{a}\right)} \quad (30)$$



$$\nearrow: N_3 - N_1 + V_A \cdot \cos(90 - \alpha) + H_A \cdot \cos \alpha = 0 \Rightarrow$$

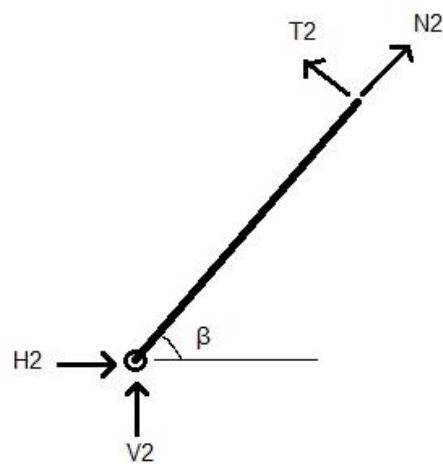
$$\Rightarrow N_1 = N_3 + V_A \cdot \cos(90 - \alpha) + H_A \cdot \cos \alpha \quad (31)$$

$$\nwarrow: T_1 - T_3 + V_A \cdot \sin(90 - \alpha) - H_A \cdot \sin \alpha = 0 \quad (32)$$



$$\uparrow: T_3 \cdot \sin(90 - \alpha) - N_3 \cdot \sin \alpha = 0 \Rightarrow T_3 = \frac{N_3 \cdot \sin \alpha}{\sin(90 - \alpha)} \quad (33)$$

$$\rightarrow: P - N_3 \cdot \cos \alpha - T_3 \cdot \cos(90 - \alpha) = 0 \quad (34)$$



$$\uparrow: V_2 + N_2 \cdot \sin \beta + T_2 \cdot \sin(90 - \beta) = 0 \quad (35)$$

$$\rightarrow: H_2 + N_2 \cdot \cos \beta - T_2 \cdot \cos(90 - \beta) = 0 \quad (36)$$

Ekvation (33) i (34) ger:

$$N_3 \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\sin(90 - \alpha)} \cdot \cos(90 - \alpha) \right) = P \quad (37)$$

$$N_2 = \frac{-V_2 + H_2 \cdot \tan(90 - \beta)}{\sin \beta - \cos \beta \cdot \tan(90 - \beta)} \quad (38)$$

N_1 beräknas med ekvation (23), (27), (28) och (30) i (31)

N_2 beräknas med ekvation (23), (26) och (30) i (38)

$$\alpha = 29,235^\circ \quad \beta = 70,868^\circ$$

$$y = 216,888 \text{ mm} \quad L = 426 \text{ mm} \quad x = 185 \text{ mm} \quad a = 65 \text{ mm} \quad z = 257,542 \text{ mm}$$

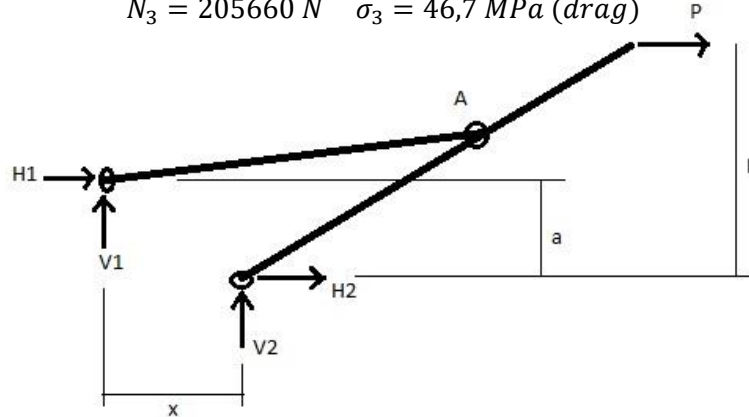
$$P = 235680 \text{ N} \quad \text{Area exempel fyrkantsbalk} \approx 0,12^2 - 0,10^2 = 0,0044 \text{ m}^2$$

$$N_1 = 357168,9526 \text{ N} \quad \sigma_1 = 81,2 \text{ MPa (drag)}$$

$$N_2 = 640988,9995 \text{ N} \quad \sigma_2 = 145,7 \text{ MPa (tryck)}$$

$$N_3 = 205660 \text{ N} \quad \sigma_3 = 46,7 \text{ MPa (drag)}$$

Koncept D

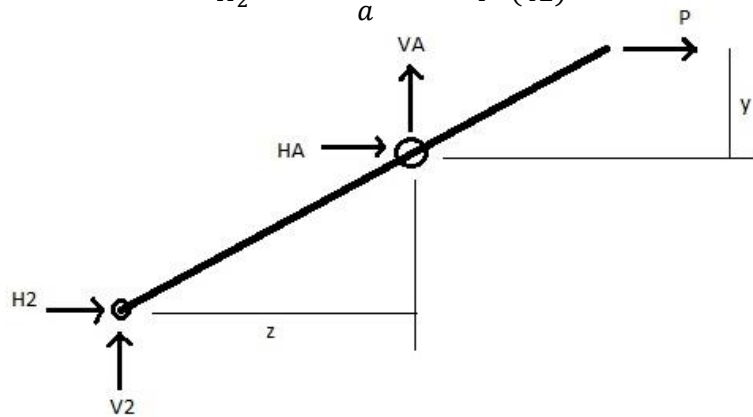


$$\uparrow: V_1 + V_2 = 0 \Rightarrow V_1 = -V_2 \quad (39)$$

$$\rightarrow: H_1 + H_2 + P = 0 \Rightarrow H_2 = -H_1 - P \quad (40)$$

$$\rightarrow: H_1 \cdot a + P \cdot L + V_1 \cdot x = 0 \Rightarrow H_1 = \frac{-P \cdot L - V_1 \cdot x}{a} = \frac{-P \cdot L - V_2 \cdot x}{a} \quad (41)$$

$$H_2 = \frac{P \cdot L - V_2 \cdot x}{a} - P \quad (42)$$



$$\uparrow: V_2 + V_A = 0 \Rightarrow V_A = -V_2 \quad (43)$$

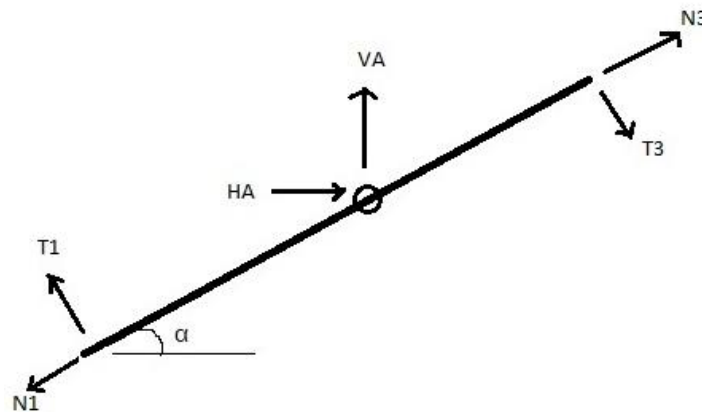
$$\rightarrow: H_2 + H_A + P = 0 \Rightarrow H_A = -H_2 - P \quad (44)$$

$$\vec{M}_A: P \cdot y + V_2 \cdot z - H_2 \cdot (L - y) = 0 \Rightarrow H_2 = \frac{P \cdot y + V_2 \cdot z}{(L - y)} \quad (45)$$

Ställer ekvation (42) och (45) mot varandra:

$$\frac{P \cdot L - V_2 \cdot x}{a} - P = \frac{P \cdot y + V_2 \cdot z}{(L - y)} \Rightarrow P \cdot L - P - \frac{P \cdot y}{(L - y)} = V_2 \left(\frac{x}{a} + \frac{z}{L - y} \right) \Rightarrow$$

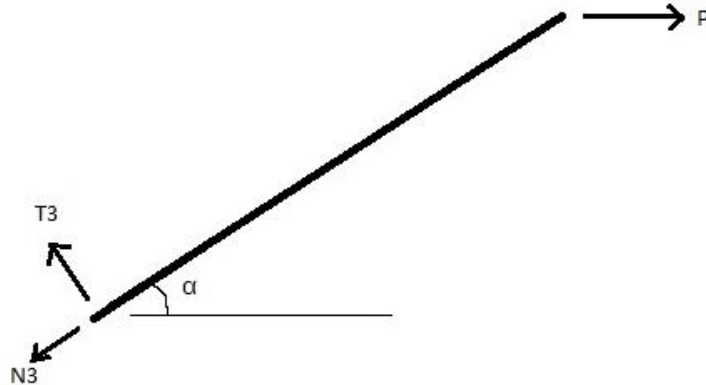
$$V_2 = \frac{P \cdot (L - 1 - \frac{y}{L - y})}{\frac{x}{a} + \frac{z}{L - y}} \quad (46)$$



$$\nearrow: N_3 - N_1 + V_A \cdot \cos(90 - \alpha) + H_A \cdot \cos \alpha = 0 \Rightarrow$$

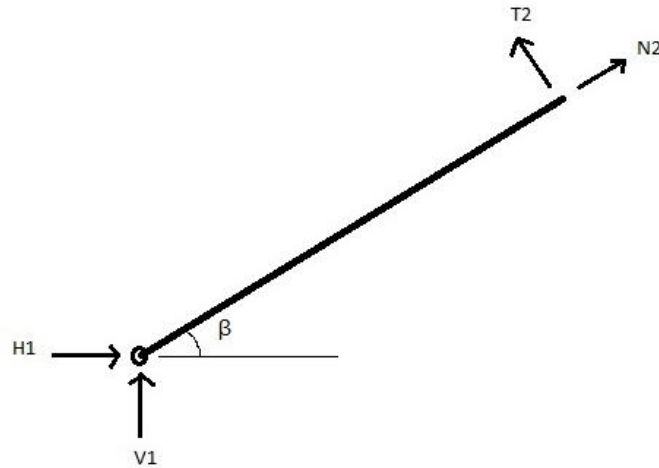
$$\Rightarrow N_1 = N_3 + V_A \cdot \cos(90 - \alpha) + H_A \cdot \cos \alpha \quad (47)$$

$$\nwarrow: T_1 - T_3 + V_A \cdot \sin(90 - \alpha) - H_A \cdot \sin \alpha = 0 \quad (48)$$



$$\rightarrow: P - N_3 \cdot \cos \alpha - T_3 \cdot \cos(90 - \alpha) = 0 \quad (49)$$

$$\uparrow: T_3 \cdot \sin(90 - \alpha) - N_3 \cdot \sin \alpha = 0 \Rightarrow T_3 = \frac{N_3 \cdot \sin \alpha}{\sin(90 - \alpha)} \quad (50)$$



$$\uparrow : V_1 + N_2 \cdot \sin \beta + T_2 \cdot \sin(90 - \beta) = 0 \Rightarrow N_2 = \frac{-V_1 - T_2 \cdot \sin(90 - \beta)}{\sin \beta} \quad (51)$$

$$\rightarrow : H_1 + N_2 \cdot \cos \beta + T_2 \cdot \cos(90 - \beta) = 0 \Rightarrow T_2 = \frac{-H_1 - N_2 \cdot \cos \beta}{\cos(90 - \beta)} \quad (52)$$

Ekvation (52) i (51) ger:

$$N_2 = \frac{-V_1 + H_1 \cdot \tan(90 - \beta)}{\sin \beta - \cos \beta \cdot \tan(90 - \beta)} \quad (53)$$

Ekvation (42) i (44) ger:

$$H_A = -\frac{(P \cdot L - V_2 \cdot x)}{a} \quad (54)$$

Ekvation (50) i (49) ger:

$$N_3 = \frac{P}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \cdot \cos(90 - \alpha)}{\sin(90 - \alpha)}} \quad (55)$$

Ekvation (43), (46), (54) och (55) i (47) ger N_1

Ekvation (39), (41) och (46) i (53) ger N_2

$$\alpha = 42,8^\circ \quad \beta = 10,9^\circ \quad L = 426\text{mm} \quad a = 110\text{mm}$$

$$y = 202\text{mm} \quad z = 241\text{mm} \quad x = 351\text{mm}$$

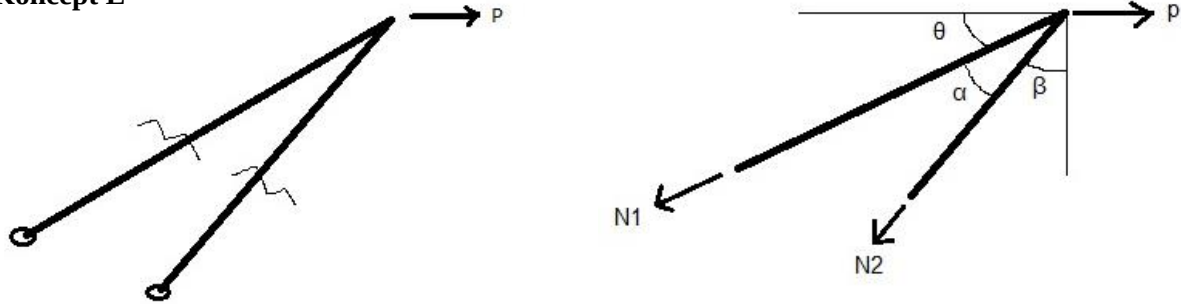
$$P = 235680 \text{ N} \quad \text{Area exempel fyrkantsbalk} \approx 0,12^2 - 0,10^2 = 0,0044 \text{ m}^2$$

$$N_1 = -632233,1273 \text{ N} \quad \sigma_1 = 143,7 \text{ MPa (tryck)}$$

$$N_2 = 1256981,812 \text{ N} \quad \sigma_2 = 285,7 \text{ MPa (drag)}$$

$$N_3 = 172925,4544 \text{ N} \quad \sigma_3 = 39,3 \text{ MPa (drag)}$$

Koncept E



$$\downarrow: N_1 \cdot \sin \theta + N_2 \cdot \cos \beta = 0 \Rightarrow N_1 = -\frac{N_2 \cdot \cos \beta}{\sin \theta} \quad (56)$$

$$\leftarrow: N_1 \cdot \cos \theta + N_2 \cdot \sin \beta - P = 0 \quad (57)$$

Ekvation (56) i (57) ger:

$$-\frac{N_2 \cdot \cos \beta}{\sin \theta} \cdot \cos \theta + N_2 \cdot \sin \beta = P \Rightarrow N_2 \left(-\frac{\cos \beta \cdot \cos \theta}{\sin \theta} + \sin \beta \right) = P \Rightarrow$$

$$N_2 = \frac{P}{\sin \beta - \frac{\cos \beta \cdot \cos \theta}{\sin \theta}} \quad (58)$$

Ekvation (58) i (56) ger:

$$N_1 = -\frac{P}{\sin \beta - \frac{\cos \beta \cdot \cos \theta}{\sin \theta}} \cdot \frac{\cos \beta}{\sin \theta} \quad (59)$$

$$\theta = 29,235^\circ \quad \alpha = 13,567^\circ \quad \beta = 47,198^\circ$$

$$P = 235680 \text{ N} \quad \text{Area exempel fyrkantbalk} \approx 0,12^2 - 0,10^2 = 0,0044 \text{ m}^2$$

$$N_1 = 682646,5 \text{ N} \quad \sigma_1 = 155,1 \text{ MPa (drag)}$$

$$N_2 = 490678,2551 \text{ N} \quad \sigma_2 = 111,5 \text{ MPa (tryck)}$$

Bilaga 3

Beräkning av konceptens massor på dess individuella delar.

För att beräkna massorna används tvärsnittsarean: $0,0044 \text{ m}^2$ densitet: $7,85 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Koncept A

$M = \text{volym} \cdot \text{densitet} = \text{längd} \cdot \text{tvärsnittsarea} \cdot \text{densitet}$

$$m = V \cdot \rho = l \cdot a \cdot \rho$$

$$l_1 = 760 \text{ mm}; l_2 = 556 \text{ mm}; \text{ tvärsnittsarea} = a = 0,12^2 - 0,10^2 = 0,0044 \text{ m}^2;$$

$$\rho_{\text{stål}} = 7,85 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$m_1 = l_1 \cdot a \cdot \rho = 0,76 \cdot 0,0044 \cdot 7,85 \cdot 10^3 = 26,25 \text{ kg}$$

Öppen balk

$$V_2 = (0,0044 \cdot 0,556) - (0,10 \cdot 0,556 \cdot 0,01) = 0,0018904 \text{ m}^3$$

$$m_2 = V_2 \cdot \rho = 0,0018904 \cdot 7,85 \cdot 10^3 = 14,84 \text{ kg}$$

Koncept B

$$l_1 = 713,44 \text{ mm}; l_2 = 773,586 \text{ mm}; \text{ tvärsnittsarea} = a = 0,12^2 - 0,10^2 = 0,0044 \text{ m}^2$$

$$\rho_{\text{stål}} = 7,85 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$m_1 = V_1 \cdot \rho = l_1 \cdot a \cdot \rho = 0,713,44 \cdot 0,0044 \cdot 7,85 \cdot 10^3 = 24,64 \text{ kg}$$

$$V_2 = (0,0044 \cdot 0,773586) - (0,10 \cdot 0,773586 \cdot 0,01) = 0,002630192 \text{ m}^3$$

$$m_2 = V_2 \cdot \rho = 0,002630192 \cdot 7,85 \cdot 10^3 = 20,65 \text{ kg}$$

Koncept C

$$l_1 = 625,474 \text{ mm}; l_2 = 217,643 \text{ mm}; l_3 = 135,675 \text{ mm}$$

$$\text{tvärsnittsarea} = a = 0,12^2 - 0,10^2 = 0,0044 \text{ m}^2; \rho_{\text{stål}} = 7,85 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$m_1 = V_1 \cdot \rho = l_1 \cdot a \cdot \rho = 0,625474 \cdot 0,0044 \cdot 7,85 \cdot 10^3 = 21,6 \text{ kg}$$

$$m_2 = V_2 \cdot \rho = l_2 \cdot a \cdot \rho = 0,217643 \cdot 0,0044 \cdot 7,85 \cdot 10^3 = 7,52 \text{ kg}$$

$$m_3 = V_3 \cdot \rho = l_3 \cdot a \cdot \rho = 0,135675 \cdot 0,0044 \cdot 7,85 \cdot 10^3 = 4,7 \text{ kg}$$

Koncept D

$$l_1 = 626,958 \text{ mm}; l_2 = 602,528 \text{ mm}$$

$$\text{tvärsnittsarea} = a = 0,12^2 - 0,10^2 = 0,0044 \text{ m}^2; \rho_{\text{stål}} = 7,85 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$m_1 = V_1 \cdot \rho = l_1 \cdot a \cdot \rho = 0,626958 \cdot 0,0044 \cdot 7,85 \cdot 10^3 = 21,7 \text{ kg}$$

$$m_2 = V_2 \cdot \rho = l_2 \cdot a \cdot \rho = 0,602528 \cdot 0,0044 \cdot 7,85 \cdot 10^3 = 20,8 \text{ kg}$$

Koncept E

$$l_1 = 739,152 \text{ mm}; l_2 = 626,958 \text{ mm}$$

$$\text{tvärsnittsarea} = a = 0,12^2 - 0,10^2 = 0,0044 \text{ m}^2; \rho_{\text{stål}} = 7,85 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

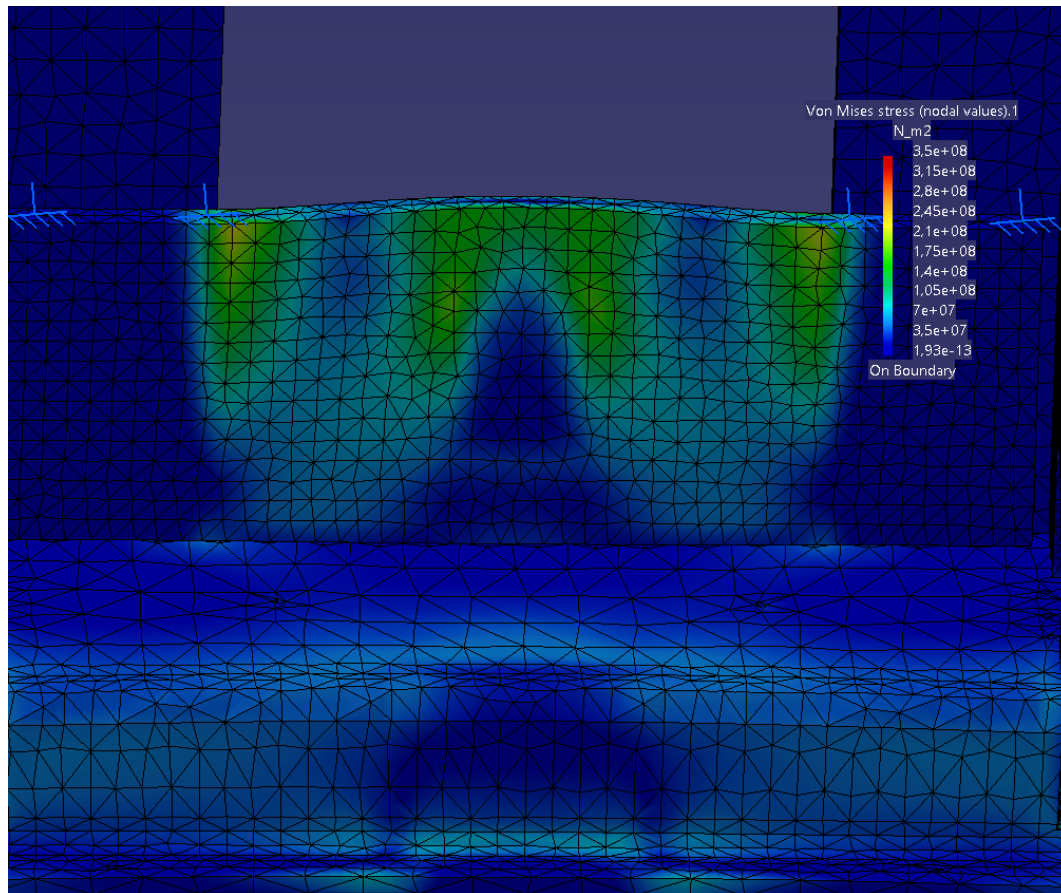
$$m_1 = V_1 \cdot \rho = l_1 \cdot a \cdot \rho = 0,739152 \cdot 0,0044 \cdot 7,85 \cdot 10^3 = 25,5 \text{ kg}$$

$$m_2 = V_2 \cdot \rho = l_2 \cdot a \cdot \rho = 0,626958 \cdot 0,0044 \cdot 7,85 \cdot 10^3 = 16,7 \text{ kg}$$

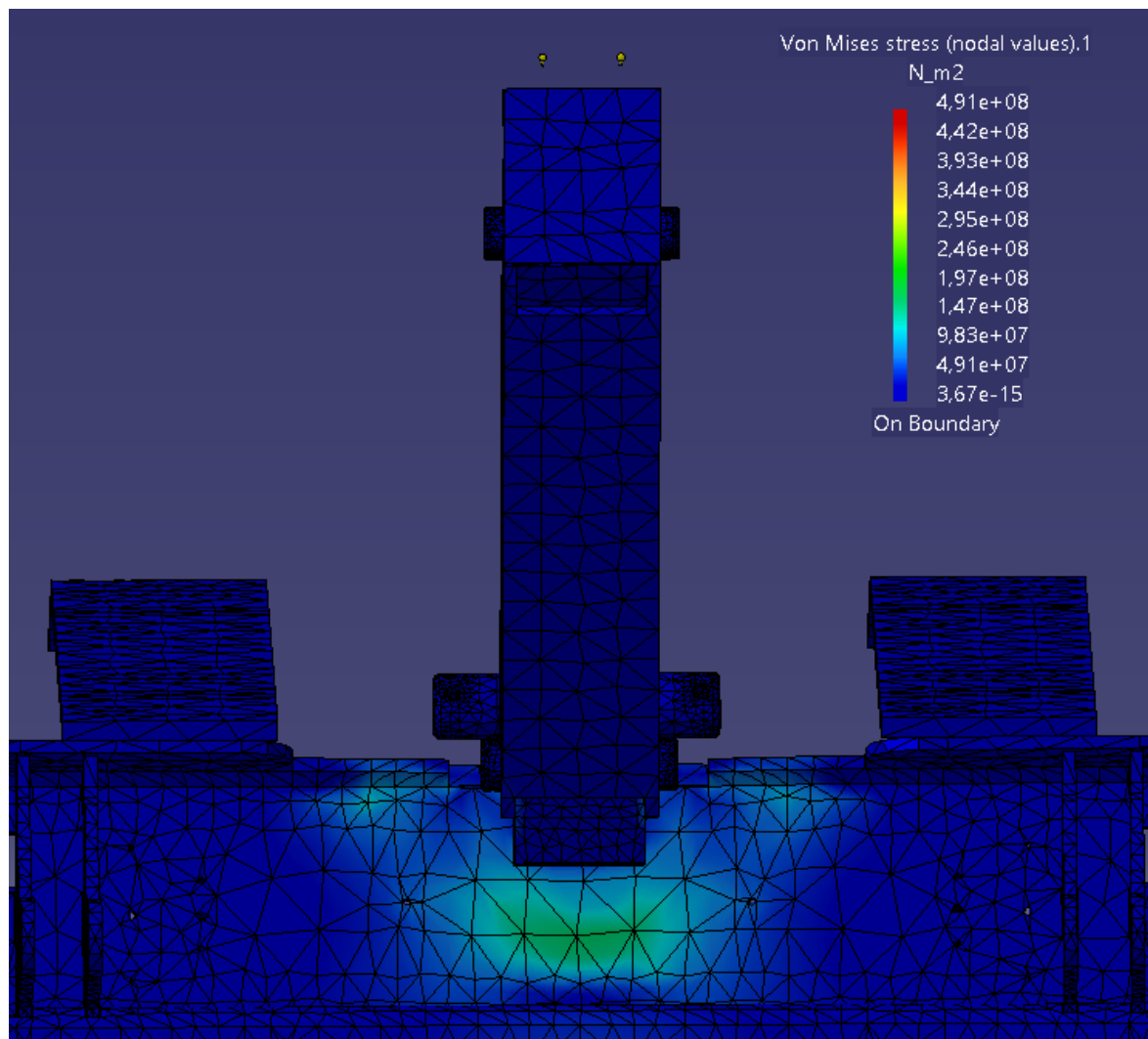
Bilaga 4

Extra bilder från FEM för koncept A och E.

Koncept A spänning underifrån.



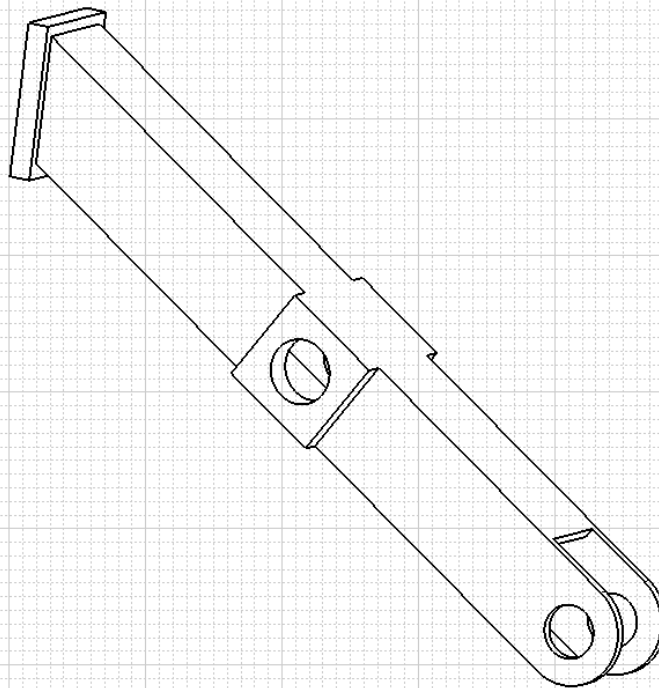
Koncept E spänning bakifrån.



Bilaga 5

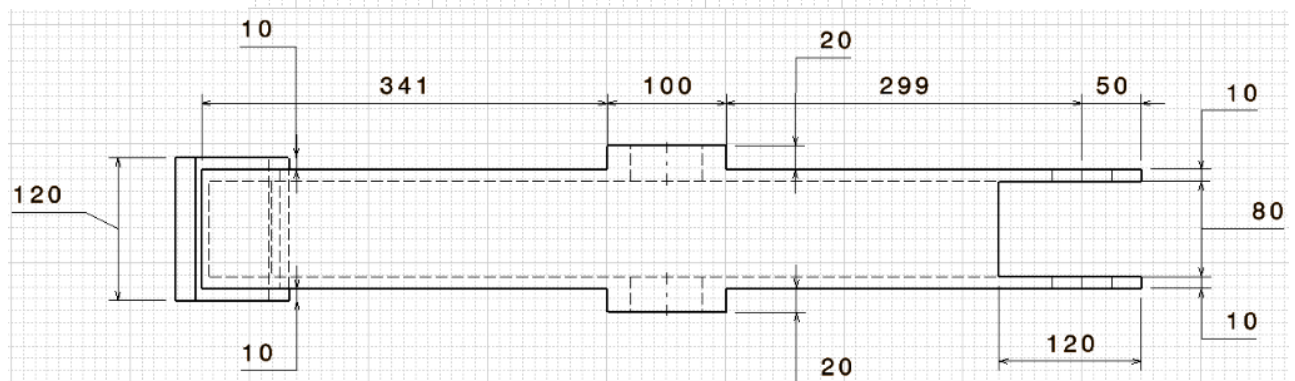
Ritningar på alla komponenter från koncept A.

Övre balk (Balk 1)



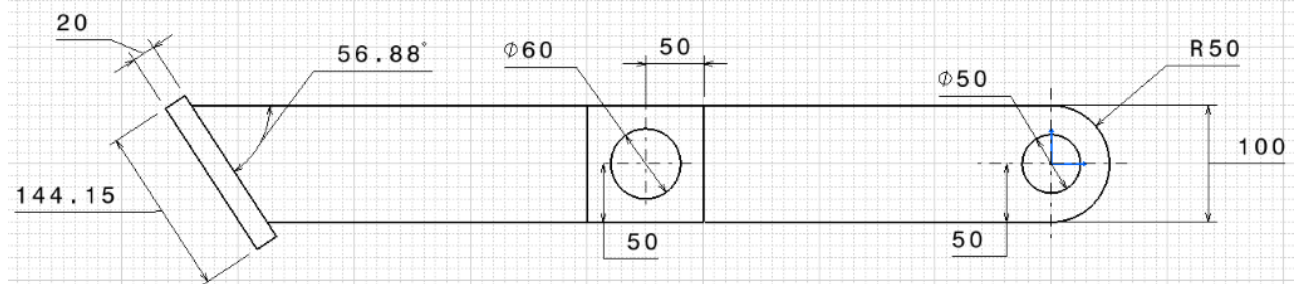
Isometric view

Scale: 1:5



Top view

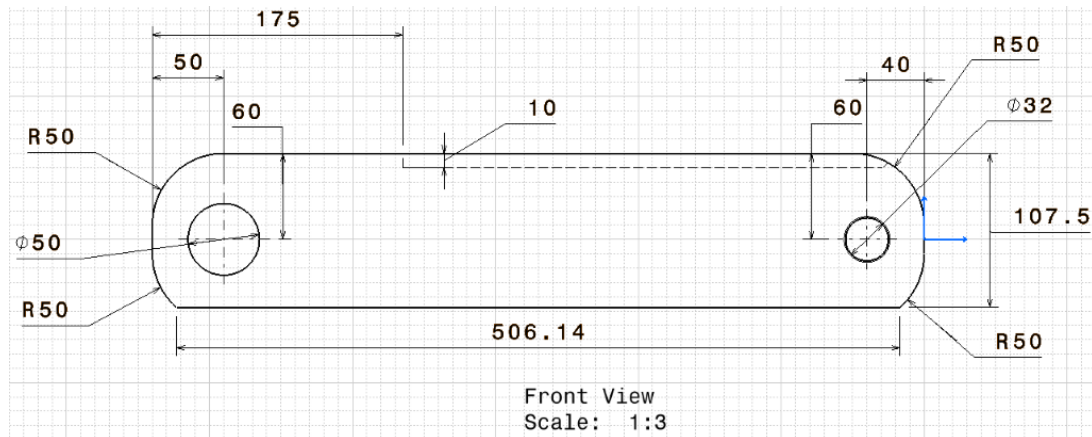
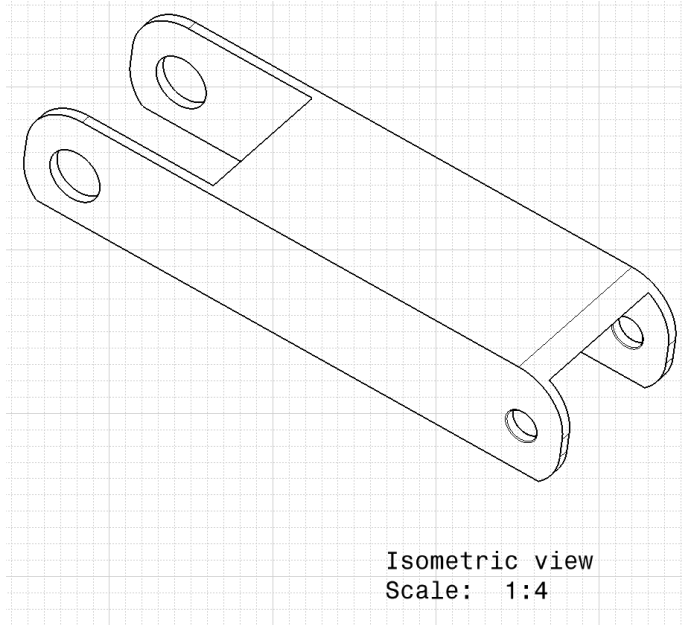
Scale: 1:4



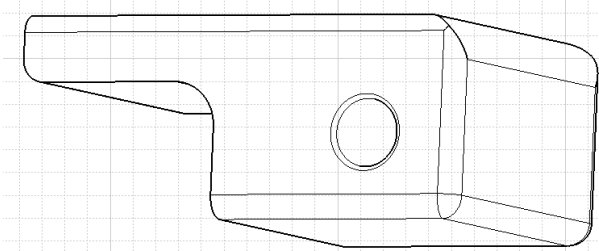
Front view

Scale: 1:4

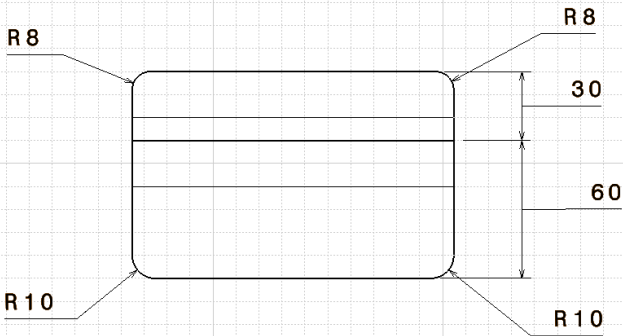
Nedre balk (Balk 2)



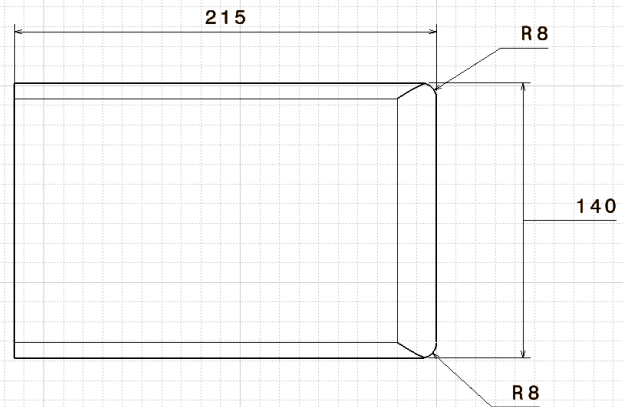
Fäste ner



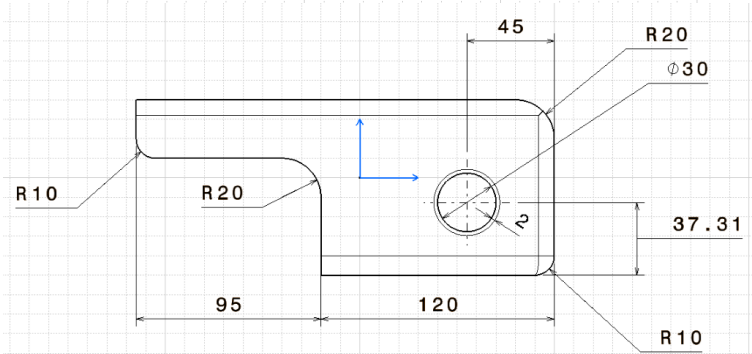
Isometric view
Scale: 1:2



Left view
Scale: 1:2

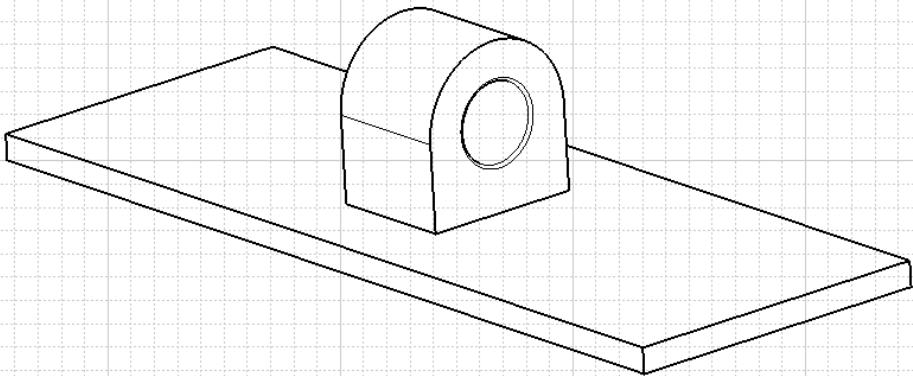


Top view
Scale: 1:2

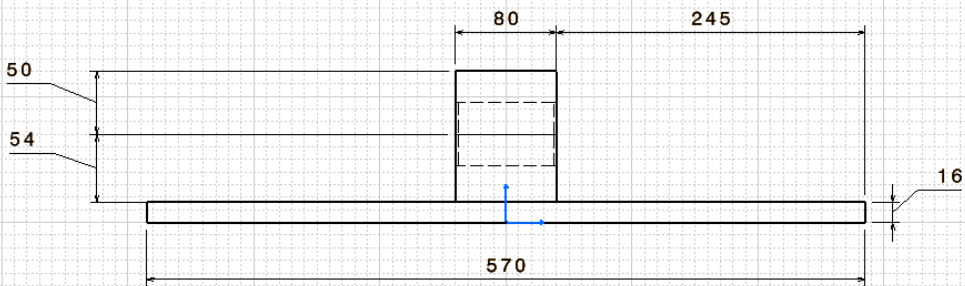


Front view
Scale: 1:2

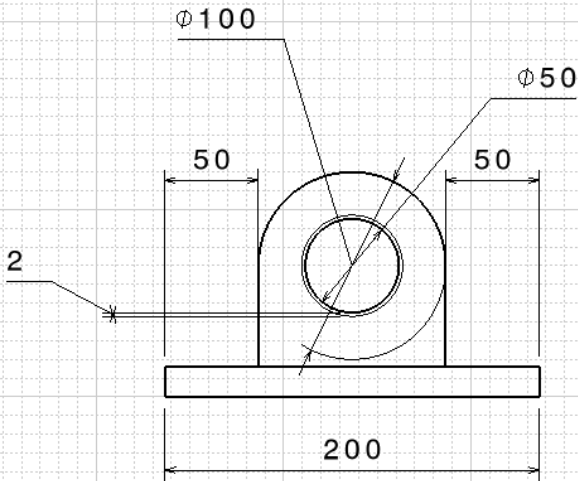
Fäste övre



Isometric view
Scale: 1:4

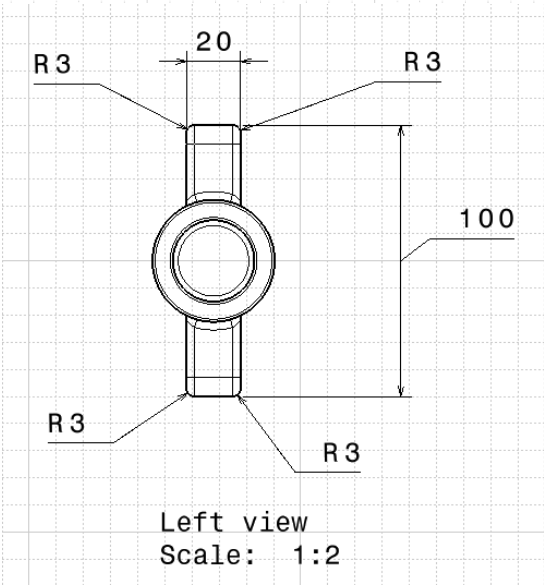
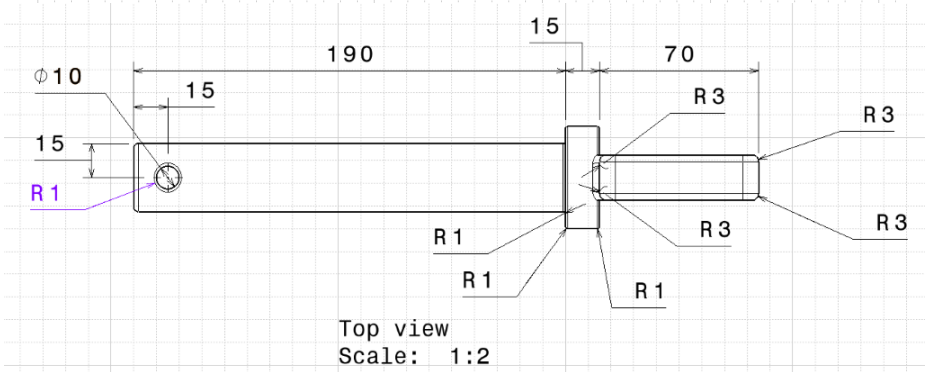
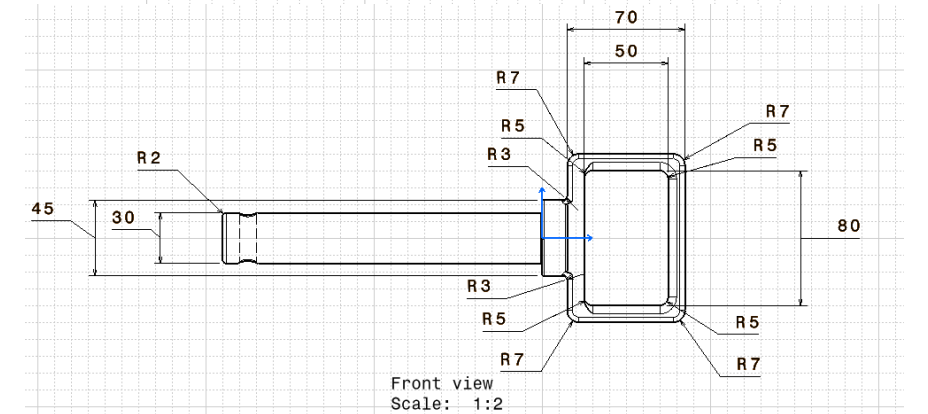
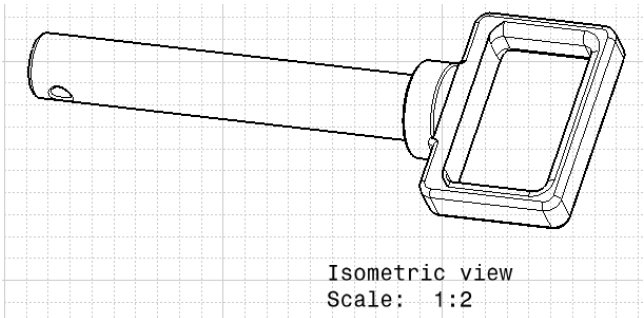


Front view
Scale: 1:3

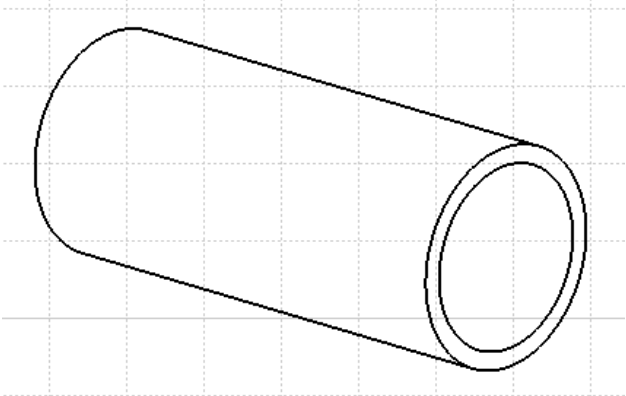


Left view
Scale: 1:3

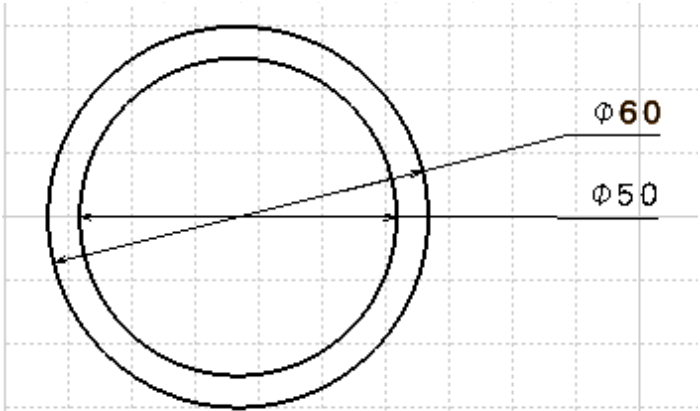
Sprint



Cylinder



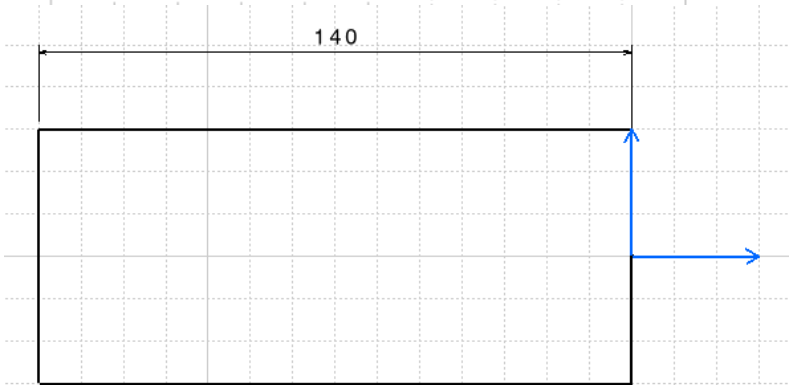
Isometric view
Scale: 1:2



Φ60

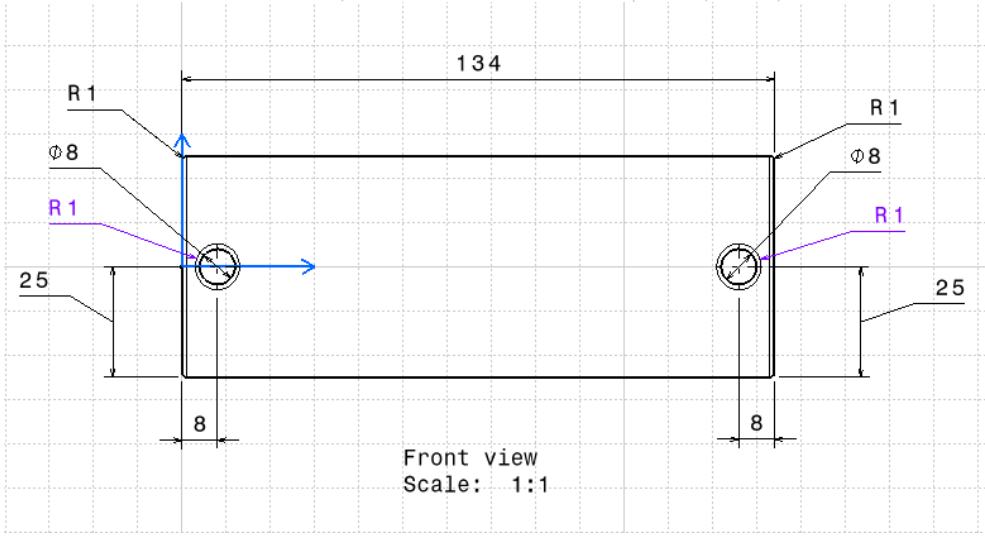
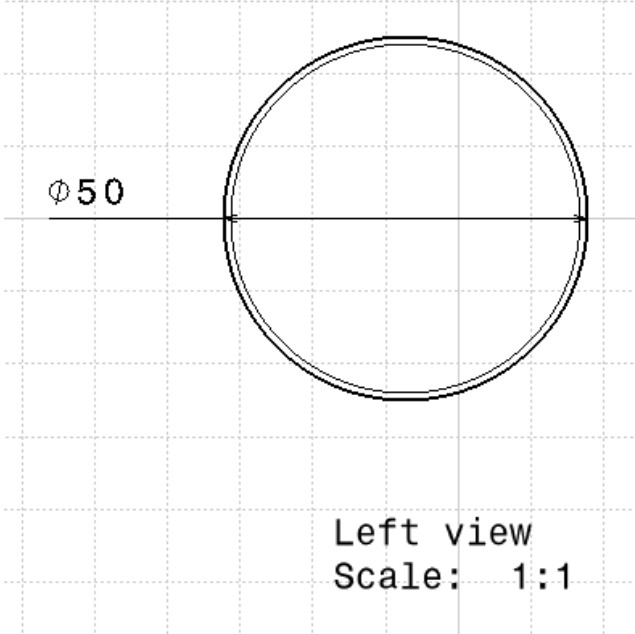
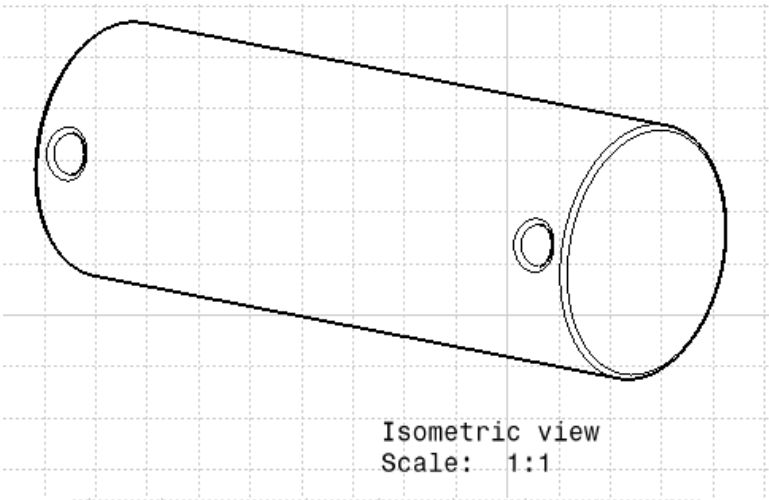
Φ50

Left view
Scale: 1:1

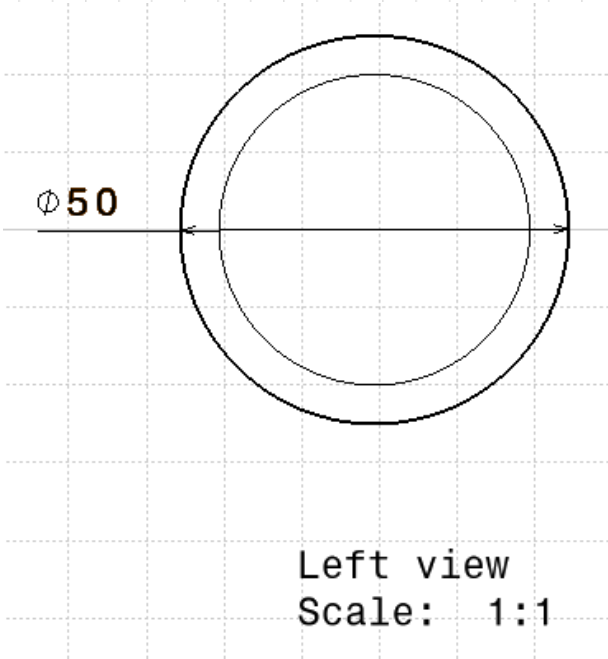
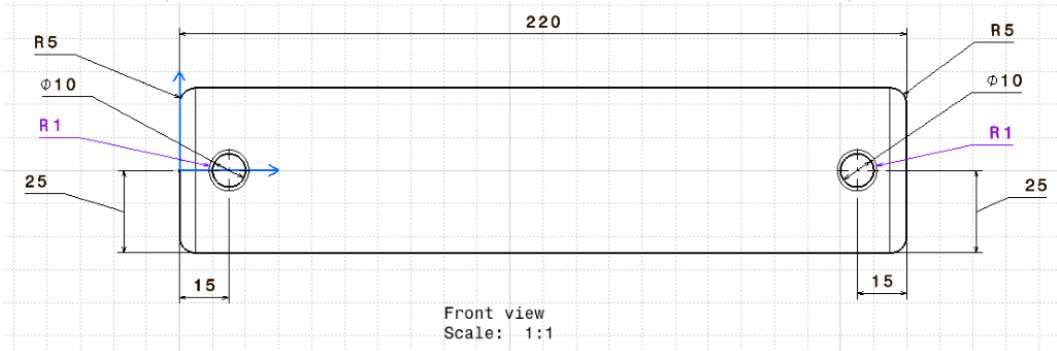
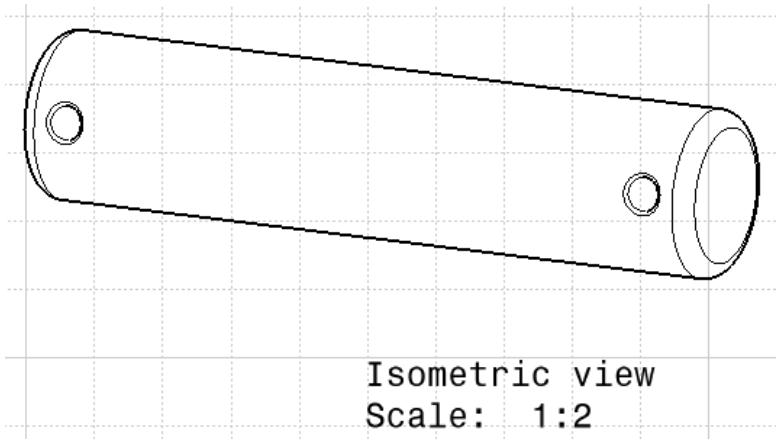


Front view
Scale: 1:1

Axel bred



Axel 1



INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2020
www.chalmers.se



CHALMERS