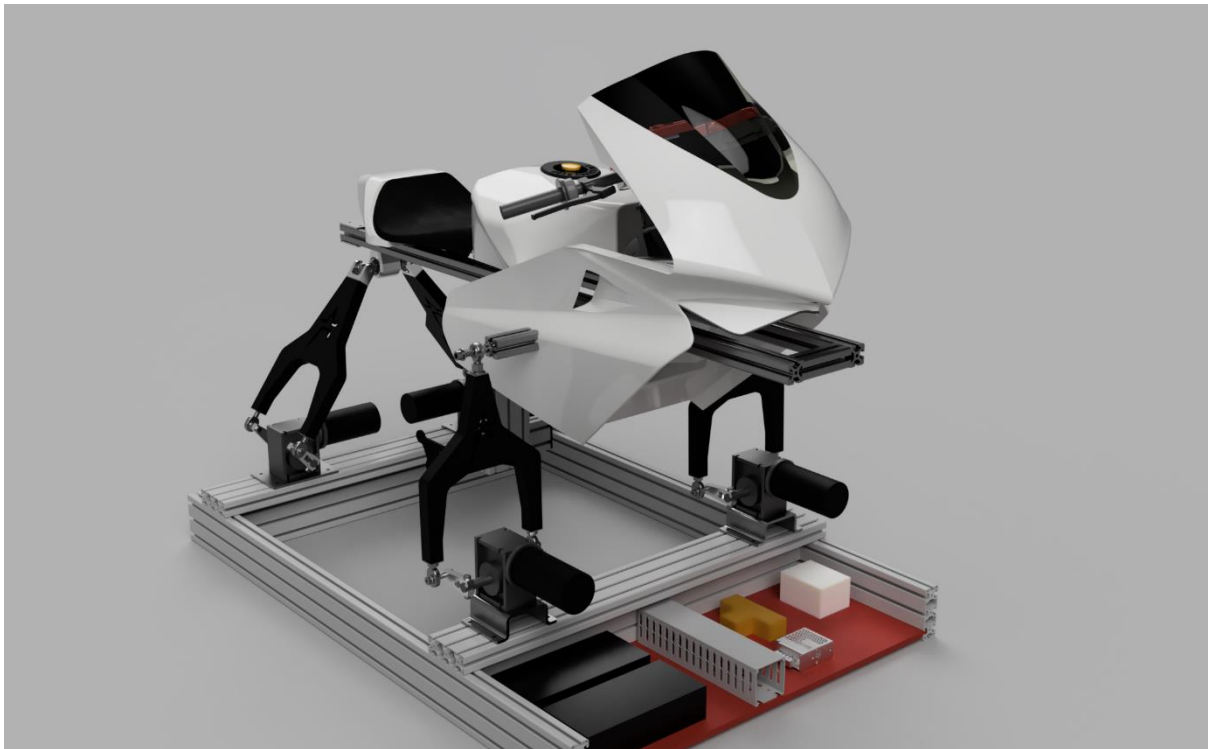




CHALMERS

Konstruktion av rörelsesimulator för motorcykel

Examensarbete inom högskoleingenjörsexamen Maskinteknik



Christian Bäverstrand Garfvé

Mille Kotur

Examensarbete 2022

Konstruktion av rörelsesimulator för motorcykel

Design och konstruktion av en motoriserad plattform för simulation av en motorcykels signaler till föraren

Christian Bäverstrand Garfvé och Mille Kotur



CHALMERS

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2022

Konstruktion av rörelsesimulator för motorcykel
Examensarbete inom högskoleingenjörprogrammet Maskinteknik
CHRISTIAN BÄVERSTRAND GARFVÉ
MILLE KOTUR

© Christian Bäverstrand Garfvé, Mille Kotur, 2022

Examensarbete 2022:03
Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige

Omslag: Modell av rörelsesimulator

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Göteborg, Sverige, 2022

Sammandrag

Avsikten med detta examensarbete var att konstruera en motoriserad rörelseplattform för motorcykelsimulation. Det gjordes i samarbete med simulatorproducenten Tenstar Simulation AB i Tanumshede. Arbetet genomfördes på institutionen mekanik och maritima vetenskaper på Chalmers tekniska högskola.

Givna förutsättningar var ett geometrikoncept framtaget i en förstudie med hjälp av VTI samt ett kit med motorer och elektronik inköpt för ändamålet. Genom en iterativ process av simuleringar och design konstruerades de olika komponenterna. Alla delar på den rörliga plattformen viktoptimerades för att minimera lasten på motorerna, vilket gjorde det möjligt att möta målen på hastigheter av rörelser.

Beslutet togs att bygga plattformen av aluminiumprofiler för att underlätta justeringar beroende på önskad förargeometri och typ av fordon som skall simuleras. Detta gjorde att själva plattformen fick en relativt enkel geometri att hållfasthetsberäkna och mer tid kunde läggas på optimering av andra detaljer.

Ritningsunderlag och 3D-modeller sammanställdes för att användas som underlag till externa tillverkare. En komplett fungerande rörelseplattform konstruerades och monterades. Kontroller att kravspecifikation möttes gjordes genom tester. Plattformen kändes stadig att sitta och röra sig på.

Gir-rörelsen levererade över förväntan. Rörelseplattformen hade en god förmåga att kommunicera med föraren och överdriven acceleration eller bromsning kändes snabbt och tydligt. Även fjädringens reaktioner på underlaget kommunicerades tydligt till föraren, vilket är en mycket god förutsättning för mer vetenskapliga studier.

Den färdiga simulatoren kommer att ge en möjlighet att undersöka hur simulation för tvåhjuliga fordon kan fungera i framtiden.

Abstract

The purpose of this thesis was to construct a motorized movement platform for motorcycle simulation. This was done in collaboration with the simulator manufacturer Tenstar Simulation AB in Tanumshede. The thesis was carried out at the Department of Mechanics and Maritime Sciences at Chalmers University of Technology.

Given conditions were a geometry concept developed in a feasibility study with the help of VTI and a kit with motors and electronics purchased for the purpose. Through an iterative process of simulations and design, the various components were constructed. All parts of the moving platform are weight optimized to minimize the load on the motors, which made it possible to meet the goals of movement speeds.

The decision was made to build the platform of aluminum profiles to facilitate adjustments depending on the desired driver geometry and type of vehicle to be simulated. This gave the platform a relatively simple geometry to analyze, and more time could be spent on optimizing other details.

Schematics and 3D models are compiled for use as documentation for external manufacturers. A completely functional motion platform is designed and assembled. Verification that the requirements are met is done by tests. The platform feels stable to sit and move around on.

The yaw movement delivered above expectations. The motion platform has a good ability to communicate with the driver and excessive acceleration or braking is felt quickly and clearly. The suspensions reactions to the ground are also clearly communicated to the driver, which is a very good prerequisite for more scientific studies.

The completed simulator will provide an opportunity to investigate how simulation for two-wheeled vehicles can work in the future.

Förord

Detta examinationsarbete är i grunden en egen idé vilken Tenstar Simulation AB gärna ville hjälpa till att förverkliga. Det utförs under vårterminen 2022 och avslutar den treåriga högskoleingenjörsutbildningen på institutionen för mekanik och maritima vetenskaper vid Chalmers tekniska högskola.

Bilden på framsidan visar den slutliga CAD-modellen av rörelsesimulatorn.

Vi vill tacka alla som hjälpt och stöttat oss under arbetets gång.

Våra handledare Jim Brozoulis (Chalmers), Ulf Ljungqvist och Anders Pearson (Tenstar), Jonathan Hall för all hjälp med tillverkning av CNC-frästa detaljer och handledning i XP-verkstaden, Sven Ekered för hjälp och stöd med verktyg och lokal i SII-lab och SKF för hjälp i processen och bidrag med lager.

Stort tack riktas även till Freddy Blom, ägare av Tenstar, för erbjudandet och möjligheten att få utföra ett oerhört lärorikt och roligt examensarbete.

Innehåll

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Befintliga simulatorer	1
1.2 Syfte.....	2
1.3 Mål.....	2
1.4 Avgränsningar	2
2. Metod	5
2.1 Förstudie	5
2.2 Konceptgenerering och konstruktion.....	5
3. Bakomliggande tekniker och tjänster	6
3.1 Kriterielista	6
3.2 Programvaror	6
3.2.1 3D-modellering	6
3.2.2 Digital montering	7
3.2.3 Hållfasthetsanalyser	7
3.2.4 Ritningsunderlag	7
3.3 Mekanisk konstruktion	7
3.3.1 Mekaniska delar	7
3.4 Elektrisk styrning.....	8
4. Problemöversikt	9
4.1 Problemöversikt.....	9
4.2 Tillgängliga resurser	12
5. Konceptdesign	12
5.1 Bärammar mellan motorer och övre plattform	12
5.2 Bakre infästning övre plattform.....	13
5.3 Infästning mellan främre bärammar och övre plattform	14
6. Detaljkonstruktion	16
6.1 Bearbetning av befintliga delar.....	16
6.2 Konstruktion av nya delar.....	16
6.2.1 Bärammar	16
6.2.2 Bakre infästning övre plattform	19
6.2.3 Infästning mellan främre bärammar och övre plattform.....	21
7. Reflektion	22
7.1 Utförande	23

7.2 Resultat	23
7.2.1 Hållfasthetsberäkningar	23
7.2.2 Utvärdering av rörelse.....	26
7.2.3 Inkoppling av det elektriska systemet.....	27
7.3 Vidareutveckling	27
7.4 Design.....	28
8. Slutsatser	29

Begreppslista

CAD – Datorstödd konstruktion (Computer Aided Design)

FEM – Finita elementmetoden (Finite Element Method)

FEA – Finita element analyser (Finite Element Analysis)

PCB – Kretskort (Printed Circuit Board)

VTI – Statens väg- och transportforskningsinstitut

SMC – Sveriges Motorcyklister

SCB – Statistiska Centralbyrån

SKF – Svenska Kullagerfabriken

PTFE – Flourplast med hala egenskaper

POM – Acetalpolymer som har goda glideegenskaper och utmärkt slitstyrka

Koordinatsystem

X – färdriktning, positiv framåt

Y – sidled, positiv vänster

Z – höjddled, positiv uppåt

Z_{gir} – axeln som går vertikalt genom rotationscentrum för gir-rörelsen

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Tenstar Simulations AB är ett företag som tillverkar och säljer fordonssimulatorer för en stor mängd olika fordon, allt från skördetröskor till dumpers, lyftkranar och ambulanser. De har inte tagit fram någon tvåhjulig simulator men har för avsikt att ta fram en inom de närmsta åren för att komplettera sitt utbud. När vi kontaktade dem med vår idé om att konstruera en motorcykelsimulator kom vi snabbt överens om att vi skulle samarbeta.

Tenstar använder idag D-box som leverantör av sina rörelseplattformar men är intresserade av att utforska andra möjligheter. Rörelseplattformen från D-box lämpar sig väl för Tenstars produktutbud de har idag då den är baserad på tre linjärdon vilket ger möjlighet till rörelse i tre frihetsgrader: Hävning (uppåt/nedåt), rullning (lutning vänster/höger) och lutning (lutning framåt/bakåt).

1.1.1 Befintliga simulatorer

Under förstudien hittades ett mindre antal motorcykelsimulatorer tillgängliga på marknaden. Den enklaste var Hondas "Riding Trainer", se figur 1. En enkel sits med styre och fotkontroller som inte har någon rörelsesimulering alls. En av de mer avancerade rörelsesimulatorerna är B306 HMD, figur 2, från tillverkaren Cruden som är byggd på en kraftfull Stewart-plattform som kan röra sig i sex frihetsgrader.



Figur 1 – Honda "Riding Trainer", en enkel sits med styre och fotkontroller.



Figur 2 - Cruden B306 HMD, en avancerad simulator som kan röra sig i sex frihetsgrader, syns här med en Ducati 848 monterad på rörelseplattformen.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att tillverka ett verktyg som kan användas i förar- och trafiksäkerhetsutbildningar av motorcykelförare. Simulatoren skall vara i full skala och kunna simulera en känsla av de krafter föraren skulle utsättas för på en motorcykel. Den skall ha plats för en förare och ha möjlighet att montera reglage, såsom gashandtag, styre, broms- och kopplingskontroller. Stort fokus kommer läggas på hållfasthet och viktoptimering. Med låg vikt sänks kraven på motorerna som skall göra förflyttningarna av rörelseplattformen, samt sänker belastningen på konstruktionen i stort.

1.3 Mål

Målet med exjobbet är att konstruera och tillverka en rörelseplattform för motorcykelsimulater. Med satta förutsättningar ska en plattform för simulering av motorcykelkörning konstrueras och optimera en rörelseplattform. Det skall tas reda på hur en plattform kan tillverkas för att simulera känslan av hur en motorcykel kommunicerar med sin förare. För att uppnå målet behöver följande frågor besvaras:

- Vilka lastfall bör konstruktionen dimensioneras för?
- Hur analyseras konstruktionens hållfasthet utefter de satta lastfallen?
- Hur skall konstruktionen utföras?

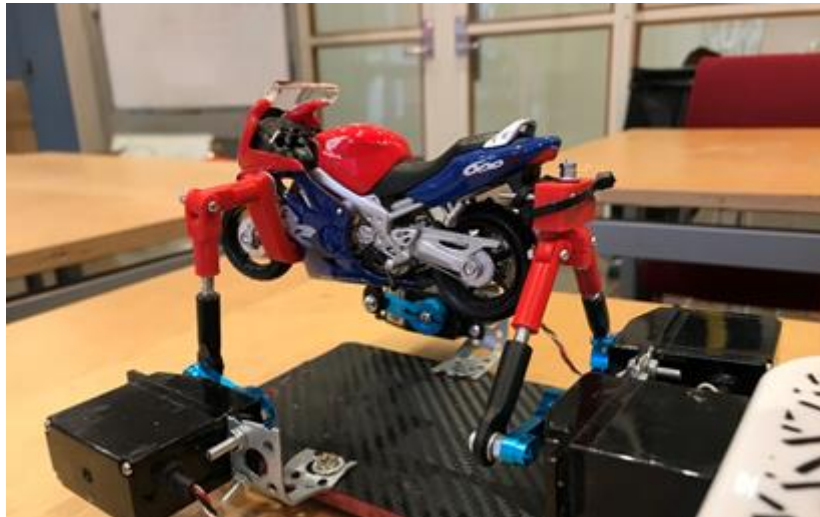
1.4 Avgränsningar

Examensarbetet kommer fokusera på konstruktionen av den motoriserade riggen föraren skall sitta på. Det omfattar elektroniken fram till och med styrningen för motorerna, men inte programvaran som skickar signalerna till motorstyrningen. Ingen mjukvara eller programmering kommer behandlas. Det finns sådan programvara tillgänglig redan, och vi ska se till att konstruktionen kan ta emot signalerna från den och röra motorerna korrekt.

Vidare omfattar inte projektet hand- och fotreglage eller styrning. Det skall dock lämnas plats och möjlighet till eftermontering av detta.

Materialval ur hållbarhets- och miljösynpunkt kommer inte heller avhandlas i arbetet då det primära är att konceptuellt tillverka och pröva konstruktionen.

De grova dragen i geometrin bestämdes efter samtal med simuleringsingenjörerna på VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut. I en förstudie gjordes en prototyp, med rörelser enligt figur 4, vilken de ansåg var ett effektivt sätt, ur simuleringsperspektiv, att bygga vidare på.



Figur 3 – Prototyp i miniatyrformat från förstudie för valideringen av den tilltänkta rörelsegeometrin.

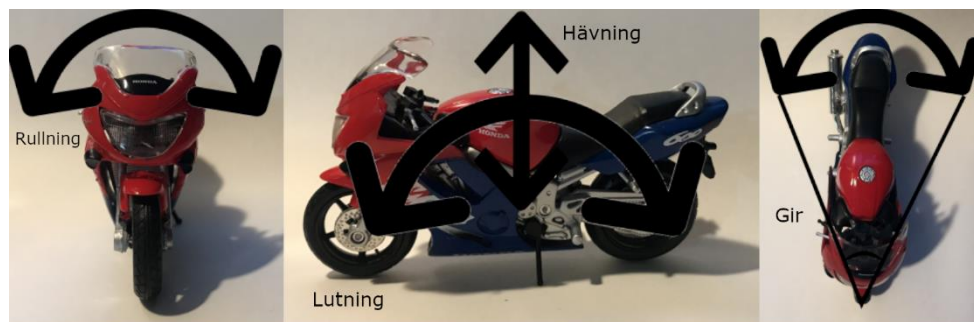
För att minska risken för att felaktigt och diffust förmedla de rörelser som nämns i rapport infördes ett koordinatsystem. Koordinatsystemet ska användas för att ge ökad förståelse i vilken rörelse som benämns och hur rörelsen sker. Rörelserna beskrivs i enlighet med det införda systemet nedan, se figur 4.



Figur 4 – Ett infört koordinatsystem på en Yamaha R1M för att ge ökad förståelse i vilken rörelse som benämns.

Plattformen skall kunna röra sig i fyra frihetsgrader, för beskrivning se figur 5:

- Lutning
- Rullning
- Hävning
- Gir, med rotationscentrum vid främre infästningen



Figur 5 – Visuellt beskrivning av frihetsgrader på motorcykeln från prototypen i miniatyrformat.

Principen bygger på fyra servomotorer, en i varje hörn. De två främre styr lutning, rullning och hävning och de två bakre styr lutning, hävning och gir. För att inte övre plattformen oavsiktligt ska förflyttas i X-led monteras de bakre motorerna i 90° riktning mot de främre motorerna. På så vis förhindras oavsiktlig förflyttning i både sidled och i färdriktningen.

2. Metod

Metodavsnittet är uppdelat i ett avsnitt berörande förstudien som utfördes och ett avsnitt om metoden under examinationsarbetet.

2.1 Förstudie

Under uppstartsfasen av projektet behövdes i samråd med Tenstar Simulation AB och andra aktörer konkretisera vad konceptet faktiskt skulle innebära och vilka typer av problem en framtida produkt kommer kunna avhjälpa. Genom möten och studiebesök hos VTI, SMC och Tenstar gavs en inblick i problemen som förare av motoriserade tvåhjuliga fordon utsätts för och svårigheterna att kunna förmedla dessa genom simuleringar.

Genom att samla information från möten skulle en kravspecifikation sammanställas. Denna skulle möta de viktigaste förväntningarna och önskemålen som fanns hos projektets intressenter. Här behövdes tas fram vilka lastfall och förhållandet mellan krafter och konstruktion som skulle verka.

2.2 Konceptgenerering och konstruktion

Efter förstudien kunde konceptgenereringen genomföras. Genom att problematisera så många objekt som möjligt i projektet togs redan från tidigt stadie höjd för eventuella problem projektet kunde ställas inför. Detta skulle motverkas med hjälp av en konceptgenerering som gav möjligheten att ta flera designkrav i beaktning och vid senare tillfälle eliminera mindre bra alternativ.

Själva konstruktionen berodde mycket på utformningen av modellen, så allt från lego-konstruktion till skärande bearbetning kunde komma att användas. Tenstar har idag en del uppdrag där de köper in delar och erbjöd att bekosta delarna samt använda deras kontakter. Elektronik och motorer från SimuKit användes.

Genom förstudie och konceptgenerering samt analyser och jämförelser av koncepten lämnades en slutgiltig modell att konstruera. Under denna process utfördes FEM-analyser för att garantera att CAD-modellen höll för de framtagna lastfallen. Detta blev en iterativ process just för att kunna utvärdera de tilltänkta koncepten noggrant.

När väl ett koncept blev validerat med hjälp av FEA kom konceptet att verifieras utifrån ställda krav, förväntningar och genomförbarhet hos kund. Budgeten i detta projekt var inte en primär faktor, då det är främst var tänkt att vara utbildande inom ämnet tvåhjuliga simulatorer och inte en produkt som ska säljas. Därefter skulle konstruktionsarbetet inledas.

3. Bakomliggande tekniker och tjänster

I detta kapitel kommer programvaror och tekniska specifikationer som används i projektet att presenteras. Denna prototyp-tillverkning gjordes till stor del med hjälp av rörelsestudier och simuleringar i 3D-modelleringsprogram. För att bekräfta konstruktionens hållfasthet för den tilltänkta användningen genomfördes hållfasthetsanalyser med FEM-beräkningar.

3.1 Kriterielista

Kriterielistan skapades utefter tidigare erfarenheter inom andra projekt inom fordonssimulering som VTI och Tenstar Simulation haft. I kriterielistan anges huruvida egenskapen anses vara ett krav eller önskemål, och inom vilka gränsvärden de bör förhållas till, se bilaga 1.

För att kunna tolka kraven och önskemålen till specifikationen har beräkningar och mätningar gjorts, detta för att göra kraven tillämpbara redan i designfasen. Kriterielistan användes i syftet att skapa delmål för att kunna systematiskt arbeta mot ett tydligt slutmål.

3.2 Programvaror

3.2.1 3D-modellering

Den datorstödda konstruktionen i detta projekt innefattade solid- och ytmodellering som genom skisser och måttsättning gjordes till 3D-modeller och ytor med specifika funktioner. Genom att konstruera i CAD undveks många misstag och de uppfattades innan ritningarna skickades till leverantör.

Valet av programvara för 3D-modellering har inte varit helt självklart. Som utgångspunkt användes CatiaV5 men tidigt i projektet märktes vissa begränsningar när det kom till att animera modellen. Det finns verktyg för detta i CatiaV5, men de kräver djupare kunskap i programmet.

I stället testades Autodesk Fusion 360, vilket har ett mer användarvänligt gränssnitt. Här var det enklare att få modellen att röra sig utefter satta kinematiska tvång. Detta resulterade i att hela projektet flyttades till Fusion 360. Eftersom plattformen hade vissa fjädrande element var det fortfarande inte alltid helt enkelt att få modellen att röra sig som man vill, se figur 6 för exempel på ett av alla digitala sammanbrott.



Figur 6 – Ett exempel på digitalt sammanbrott när försök att röra modellen naturligt gjorts. Plötsligt hamnar allt i oordning.

3.2.2 Digital montering

I samma programvara gjordes en fullständig hopsättning med de egenkonstruerade och standardiserade maskinelement. Delarna sattes ihop med bestämda begränsningar för att antingen verka som leder eller vara fast förankrade i förhållande till varandra. Lederna, i både CAD och verkligheten, gav upphov till rörelser genom någon form av lagring, medan skruv- eller svetsförband användes till att fästa detaljer.

Med hjälp av digital montering kunde konflikter i detaljernas rörelseområden avhjälpas, också här innan tillverkningen skede. Designen ändrades i sådana fall i CAD för att den specifika detaljen skulle passa in i intilliggande delars rörelseområden och validerades sedan på nytt i monteringsmodellen.

3.2.3 Hållfasthetsanalyser

Ingenjörsmässiga antaganden görs i många fall vid konstruktion. För att bekräfta dessa kommer hållfasthetsanalyser att göras med hjälp av finita elementmjukvara. Initialt tänkte ANSYS användas för FEM då programmet praktiserats tidigare. Flytten av CAD-modellerna till Fusion 360 medförde dock att FEM-simuleringar kunde göras direkt i Fusion 360 då det är integrerat. ANSYS användes således endast i början, för att verifiera resultaten av simulationerna i Fusion 360. Genom att ansätta verklighetstroga tvång med kontaktytor, rörelsefriheter och laster valideras konstruktionen och det valda materialet.

Analyserna gjordes på viktiga bärande konstruktioner, exempelvis bärarmar och motorcykelns tilltänkta chassi. För att simuleringarna ska vara genomförbara kommer de sektionvis testas enligt uträknade lastfall, här ingår egenkonstruerade detaljer likaså de valda standardiserade maskinelementen.

3.2.4 Ritningsunderlag

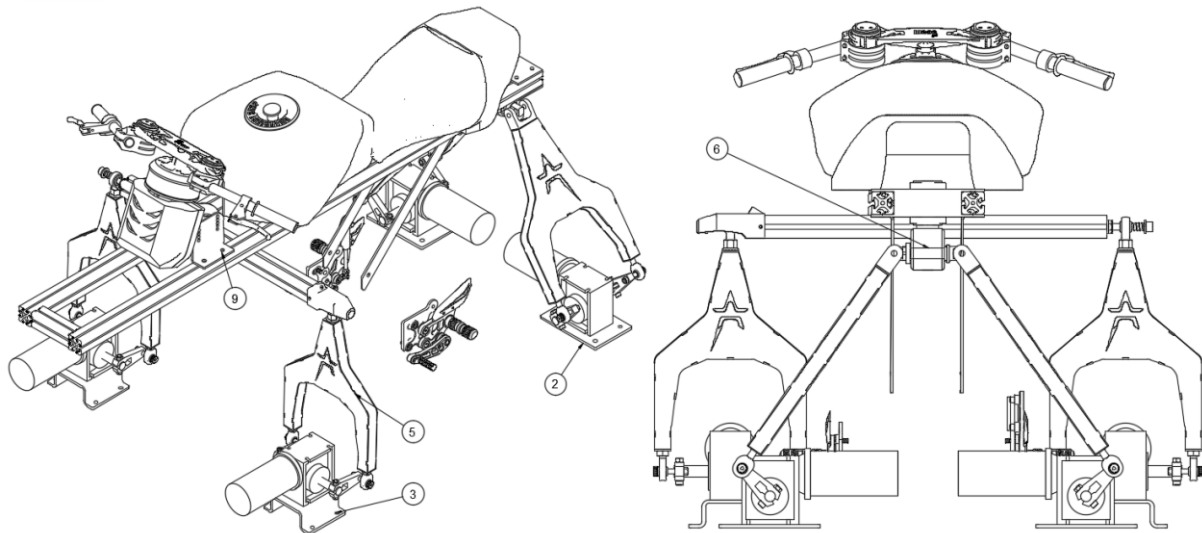
När designen har verifierats genom FEA och konstruktörer på Tenstar Simulation kommer ritningar att skapas. I ritningarna ingår en så tydlig mått- och toleranssättning som möjligt så att inga missförstånd uppstår mellan konstruktören och tillverkaren. Här anges också information om material, svetsförband och ytbehandling. För att bättre kunna förmedla detaljernas funktion och viktiga attribut skapas också sammanställningsritningar.

3.3 Mekanisk konstruktion

3.3.1 Mekaniska delar

Motorcykelns simulatorn kommer bestå av dels specialutvecklade delar, även standardiserade maskinelement. Det sistnämnda är något att eftersträva då tillgången säkerställs och kostnaden minimeras. Däremot kommer det i projektet innefatta nytillverkning och skräddarsydda lösningar för att kunna erbjuda den funktion som eftersöks.

Fokus har lagts på att använda standardelement, men i många fall behöver nya delar konstrueras. Några av dessa delar syns nedan i figur 7.



Figur 7 – Specialutvecklade detaljer som konstruerades under projektets gång för applikationer där standardelement inte var ett alternativ.

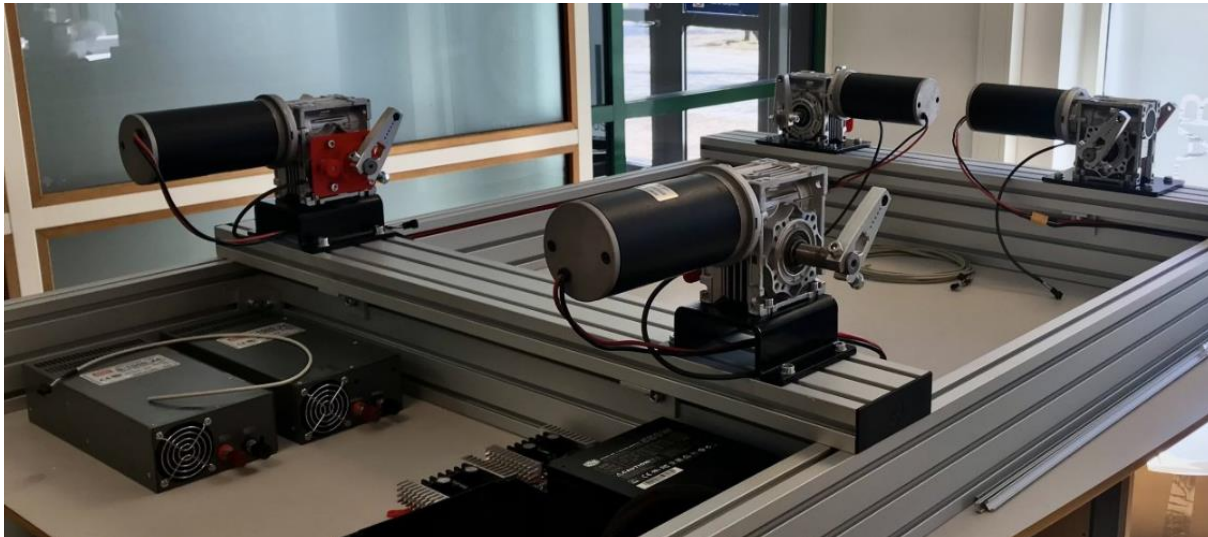
- 2) Bakre motorfästen
- 3) Främre motorfästen
- 5) Främre bärramar
- 6) Lagerhus bakre bärramar
- 9) Fäste styrkontroll

Båda plattformarna byggs på aluminiumextrusion. Detta medför att de flesta detaljerna går att justera även efter montering, skulle till exempel tyngdpunkten behöva ändras finns möjlighet att göra det utan att behöva göra om några detaljer.

3.4 Elektrisk styrning

Det elektriska systemet med motorer och styrning av dessa baseras på ett paket från Belgiska SimuKit (<https://www.simukit.com/gb/>), se figur 8 för översikt över vad som ingår. Ett blockdiagram finns som bilaga 2. Paketet innehåller:

- Arduino Micro för anslutning till Simulator-PC
- PCB för enkel sammankoppling av signaler
- 2st motordrivarenheter med 2 kanaler vardera
- 4st motorer med växellåda och vevarmar
- 2st 1kW 230V AC till 24V DC omvandlare
- 4st potentiometrar med kugghjul för positionsavläsning
- Nödstoppsknapp



Figur 8 – Överblick på det beställda paketet från SimuKit monterat på den undre plattformen. Här ligger spänningsomvandlare och övrig elektronisk styrning provisoriskt på plats för att ge känslan av hur det kommer att monteras.

4. Problemöversikt

I detta kapitel ges en beskrivning på projektets problem vid genomförandet. Problemöversikten anses ligga till grund för de kriterier som skapats med hjälp av VTI och Tenstar Simulation.

4.1 Problemöversikt

Nedan följande delrubriker kommer innehålla förtydliganden kring de kriterier som sätts för motorcykelsimulatorens. Här specificeras prestanda, massa, ergonomi, säkerhet, material och även de tillgängliga resurserna som finns vid tillverkningen.

4.1.1 Prestanda

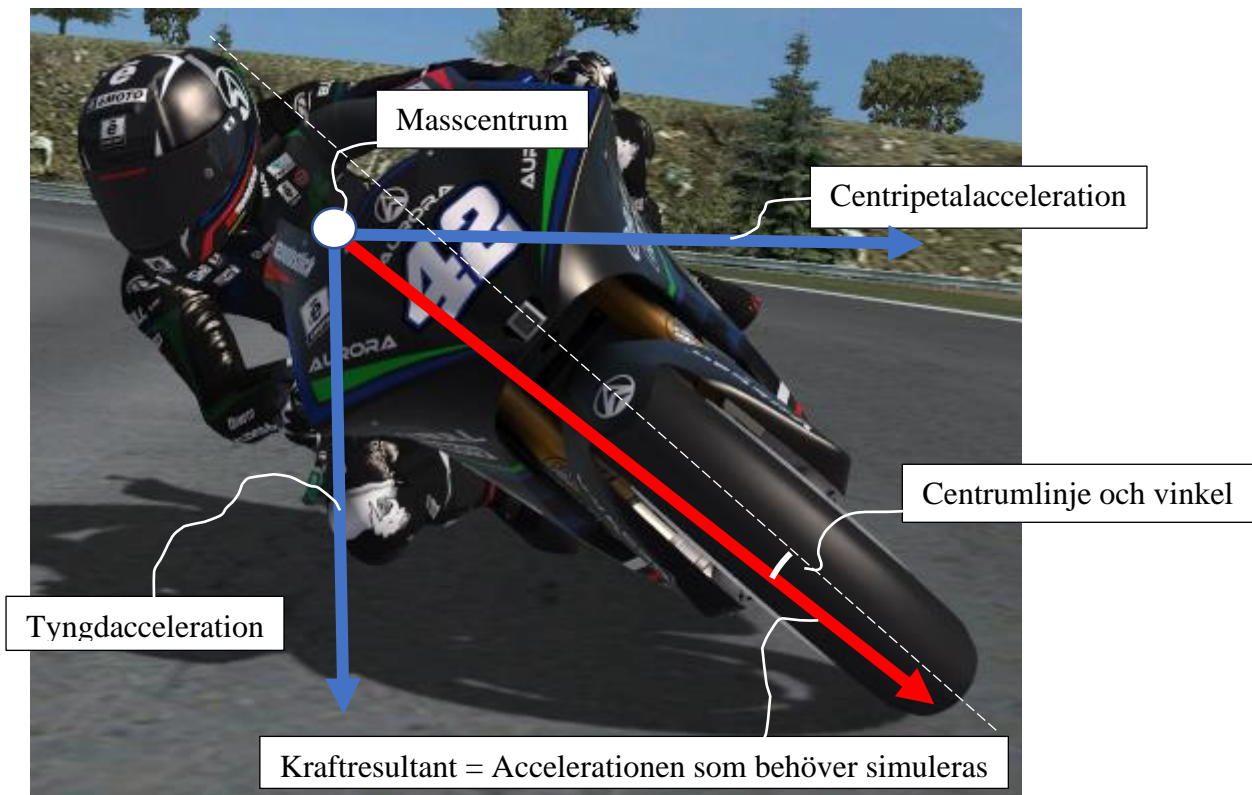
För att göra projektet realiserbart kommer prestandan sättas utefter de ingående förutsättningarna. För att ge upphov till rörelser i fyra frihetsgrader, med den utrustning som är förutbestämd kommer de optimala vinklarna sättas genom olika geometrier på undre- och övre plattformen. Genom att flytta ihop infästningspunkterna närmre varandra kommer de för föraren resulterande rörelserna vara större. Men med kortare infästningspunkter kommer också ett försämrat moment från motorerna, då hävarmarna också förkortas.

De ingående värdena på hur simulatorens skulle prestera är baserade på den förstudie som gjordes innan projektets start. Rörelsernas specifikation är enligt följande:

- Lutning, framåt/bakåt – $\pm 10^\circ$, $30^\circ/\text{s}$, $200^\circ/\text{s}^2$
- Rullning, vänster/höger – $\pm 10^\circ$, $30^\circ/\text{s}$, $200^\circ/\text{s}^2$
- Hävning, upp/ner – 100 mm slaglängd, 2 m/s^2
- Gir, rotation runt främre infästning – $\pm 5^\circ$, $30^\circ/\text{s}$, $200^\circ/\text{s}^2$

Initialt i projektet ansågs dessa vara tillräckliga för att förstärka känslan vid simulering av motorcykelkörning. Det är lätt att tänka sig att en rullningsvinkel som skulle motsvara en motorcykels rullning vid körning skulle behövas vid simulation. Många motorcykelsimulatorer lutar kraftigt åt det håll motorcykeln svänger, men detta gör att föraren påverkas av en onaturlig

kraft som kräver att föraren håller i sig för att inte trilla av. I verkliga fall bidrar både tyngd- och centripetalaccelerationen vid kurvtagning att föraren snarare dras mot däckens kontaktpunkt med marken.



Figur 9 – Beskrivande bild av de verkande krafterna vid motorcykelkörning. Här syns att rullningsvinkeln som behöver simuleras endast är ett fåtal grader

Detta gör att den enda rullningen som behöver utföras av riggen är den som kompenserar för förarens kroppslutning inåt kurvan så att den resulterande kraften, som i simulatorns fall endast består av tyngdaccelerationen, blir riktad mot däckets teoretiska kontaktpunkt. Denna vinkel uppskattas till maximalt $\pm 10^\circ$ under normal körning och är den rullningsvinkel simulatorn är dimensionerad för.

Dessa rörelser ska kunna utföras med önskade hastigheter och accelerationer med bärlighet för förare och eftermonterade reglage av maximal vikt på 110 kg, men som önskemål upp till 140 kg. Värdena baseras på den 90:e percentilens man, som väger 100 kg, enligt SCB (www.scb.se, 222503). Efter konsultation med professorer på institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper konstaterades att det räcker att räkna med ett lastfall i form av egenvikten och en säkerhetsfaktor på fyra, i och med motorernas låga accelerationer.

4.1.2 Massa

Då riggens rörelseförmåga begränsas av motorernas vridmoment behöver massan på den rörliga delen av riggen vara så låg som möjligt. Den övre plattformen måste fortfarande vara tillräckligt kraftfull för att kunna tåla de laster den kommer utsättas för, i form av tillbehör och framför allt förarens massa, i kombination med accelerationer från motorernas förflyttningar. Här finns ett specificerat önskemål att den övre plattformens totalvikt, inklusive kåpor, sadel och eftermonterad utrustning ska väga 50 kg som mest.

Massan för den nedre plattformen har inte samma negativa inverkan på prestandan såsom den rörliga delen. Här har snarare högre vikt en positiv effekt med avseende på riggens stabilitet i och med sänkning av tyngdpunkten. Simulatoren ska fortfarande vara flyttbar när så önskas, därför kan inte undre plattformen väga hur mycket som helst. Den undre plattformen önskas väga maximalt 80 kg, men inte mindre än 50 kg.

4.1.3 Ergonomi

I ett projekt där målet är att konstruera en rörelsesimulator i prototypstadiet, med få tidigare erfarenheter kring simulering, är det lämpligt att låta riggen vara anpassningsbar. Det kan också avhjälpa sent påkomna konstruktionsproblem genom att senare kunna justera i befintlig detalj.

Projektet innefattar också att lämna plats och möjlighet till eftermontering av hand- och fotreglage och styrning för den tilltänkta motorcykeltypen. För att kunna förmedla olika typer av motorcyklars karaktäristiska körställningar ska möjlighet till efterjusteringar kunna göras i riggen, se nedan figur 10. Sett till förarergonomi ska motorcykelsimulatoren också tåla körställningar där föraren går från sittandes till ståendes, och vice versa. Detta är enklast, och kanske också billigast, genom att konstruera detaljer som ger upphov till konstruktionsmodificeringar utan att behöva byta ut befintliga detaljer.



Figur 10 – Olika motorcykeltyper med de karaktäristiska sittställningarna som simulatören ska kunna ställas utefter.

För att nämna några exempel kan bottenplattan och övre plattformen konstrueras i aluminiumprofiler. Fördelen med aluminiumprofilerna nämns mer i nästa avsnitt.

4.1.4 Material

Då extruderade profiler användes till både bottenplatta och övre plattform var aluminium det naturliga valet. Det finns även tillförlitliga materialdata att få tag på för hållfasthetsberäkningar.

Detaljerna som vattenskärs och svetsas tillverkas i stål. Detta primärt för att det är kostnadseffektivt, men även då det är ett beprövat material med förutsägbara egenskaper efter bearbetning.

Delarna som tillverkas med skärande bearbetning görs i aluminium 6082 då det är lättarbetat för både svarv och fräs, och har de goda materialegenskaperna som krävs ur hållfasthetssynpunkt.

4.2 Tillgängliga resurser

För att bygga ihop rörelsesimulatorn behövdes gott om plats, och då Tenstar både ligger ganska långt från Göteborg och inte har någon direkt verkstad för liknande arbeten behövs en lokal i närheten. Vi blev erbjudna en plats i SII-produktutvecklingslab på Chalmers Campus Lindholmen. Där finns tillgång till enklare handverktyg, vilket räcker bra till den typ av montering som skall utföras. Sven Ekered hjälper även till med viss tillverkning i labbets 3D-skrivare. Vissa detaljer, som till exempel övre plattformens lagerbockar, skrivs ut på vår egen 3D-skrivare.

De detaljer som skulle svetsas ihop beställdes av Tenstars leverantörer. De vattenskar, svetsade, polerade och pulverlackerade detaljerna.

Gällande delarna som skulle svarvas och fräsas var det under perioden då delarna skulle beställas väldigt lång väntetid. Jonathan Hall, styrelsemedlem på Chalmers XP-verkstad, kontaktades och kunde hjälpa till med all bearbetning om råmaterialet levererades. Detta kortade ner väntetiden avsevärt. Det gav även möjligheten att vara mer delaktiga i processen, vilket var väldigt givande.

5. Konceptdesign

I avsnittet kommer koncept på tre delområden presenteras och svårigheterna kring dessa. Vidare detaljer i designarbetet kommer att förklaras mer ingående längre ner i rapporten. Konceptet som skall konstrueras var givet från förstudien, så ingen konceptgenerering eller elimineringsprocess behövs. I stället fokuseras designarbetet kring ett par nyckelpunkter;

1. Bärarmar mellan motorer och övre plattform
2. Bakre infästning övre plattform
3. Infästning mellan främre bärarmar och övre plattform

Den bakre infästningen av övre plattformen behöver låsa rörelse i x-led. Detta samtidigt som den medger rotation kring x-, y- och z-axeln och rörelse längs z- och x-axeln.

Plattformen kommer kunna accelereras i samtliga tillåtna riktningar, så lager och bussningar måste väljas och dimensioneras därefter. Detta innebar i praktiken att kullager inte var optimala utan koniska rullager och bussningar skulle passa bättre.

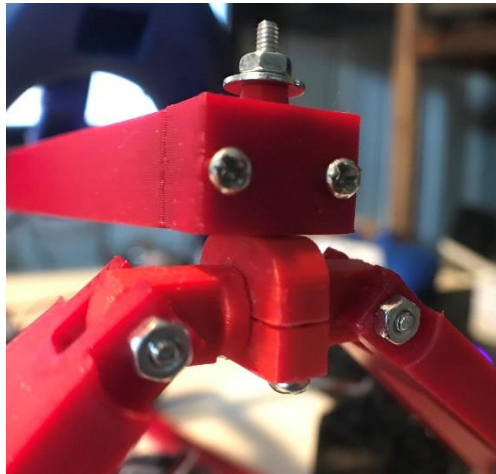
5.1 Bärarmar mellan motorer och övre plattform

Bärarmarna skall designas för att överföra motorernas tillförda kraft upp till den övre plattformen. De behöver klara laster rakt uppifrån; Övre plattformen samt förarens vikt, samt motorernas tillförda kraft. De behöver även klara krafter i y-led. De främre bärarmarna tar upp all förarens tillförda krafter vid sidoförflyttning och rullning. De bakre tar upp alla tillförda krafter i x-led.

Eftersom motorerna som köpts in till projektet är av roterande typ snarare än linjärdon måste samtliga infästningar medge rotation. Här används länkhuvuden både uppe och nere i de främre bärarmarna. I de bakre bärarmarna används länkhuvuden nere vid motorinfästningen, men övre infästningen skall anslutas till bakre knutens genomgående axel så där fick en annan lösning tillverkas, vilket behandlas mer i senare avsnitt.

5.2 Bakre infästning övre plattform

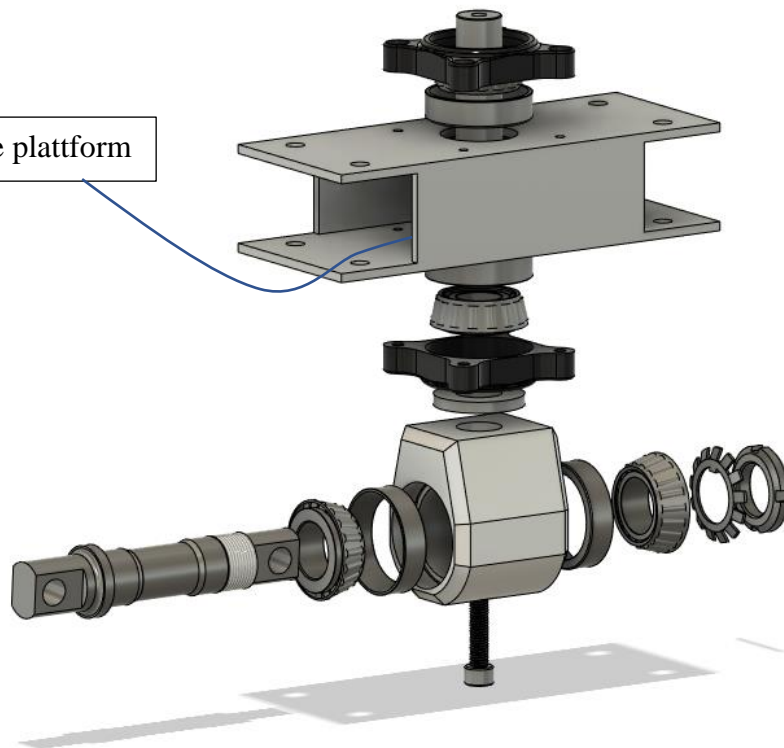
Redan på förstudieprototypen fanns ett mycket enkelt alternativ:



Figur 11 – Bakre infästning på förstudieprototypen verkade som ett mycket enkelt alternativ, men ansågs inte värt att undersöka då hållfastheten från 3D-printade detaljer är relativt låg för denna typ av applikation.

Detta bestod av helt 3D-printade delar, vilket inte antogs vara ett alternativ värt att undersöka för fullskalemodellen då lasterna är relativt stora. Dock togs inspiration av denna knut i designarbetet. Användning av standardelement såsom länkhuvuden och bussningar i olika kombinationer undersöktes. För att medge rotation kan länkhuvuden användas, vilka också skulle ta upp eventuella snedställningar. Ett länkhuvud kostar cirka fyra gånger mer än ett rullager, dock skulle lagerhuset för rullagren vara dyrt att tillverka om vi inte hade haft hjälp av XP-labbet. I slutändan valdes alternativet som bedömdes ha högst prestanda. Detta antogs vara lösningen med koniska rullager. På figur 12 syns en iteration av bakre knuten.

Infästning övre plattform



Figur 12 – Bakre knut där de fyra koniska rullagren monteras, visas här tillsammans med infästningen till övre plattformen.

5.3 Infästning mellan främre bärmarmar och övre plattform

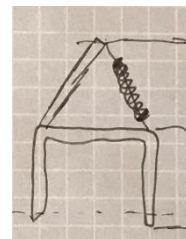
De främre bärmarmarna medger inte rörelse i sidled, men för att plattformen skall kunna utföra rullning måste avståndet mellan de två infästningarna medge viss variation i avstånd. Är denna rörelse för stor kommer plattformen inte vara stabil i sidled, vilket är en av de större utmaningarna med konstruktionen. De olika lösningsförslagen bestod av:

1. Koncept 1:

En lösning där man lägger en fjädrande axel under den övre plattformen.
Denna lösning verkade robust, men komplex och dyr

2. Koncept 2

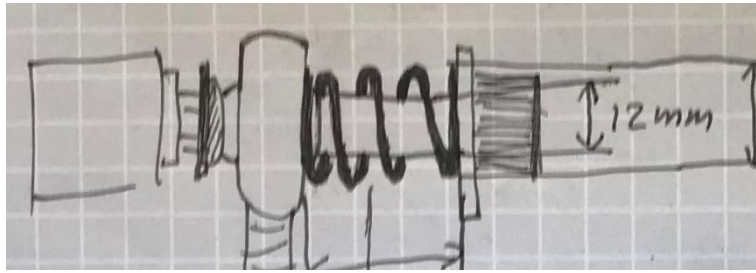
Bärmarmar med en ledad stel arm och en dämpare, se figur 13.
Antogs komplicerad att tillverka för att få stabilitet.



Figur 13 - handritning på ungefär hur koncept 2 skulle kunna se ut.

3. Koncept 3

Fjädrar som tar upp sidoförflyttningen direkt på bulten där bärmarna sitter, se figur 14. Lätt att testa, kostnadseffektiv lösning.



Figur 14 - Handritning på ungefär hur koncept 3 skulle kunna se ut. Tryckfjäders tillåter att länkhuvudet glider i sidled på bulten.

Då det inte fanns något som pekade på att någon lösning skulle garantera bättre funktion valde vi att börja med den enklaste och billigaste lösningen, koncept 3.

Skalmodellen som tillverkades i förstudien gjordes här om för att bättre matcha den verkliga modellens geometri så att tester med lösningar för sidostabiliteten kunde utföras, enligt figur 15.



Figur 15 – Prototypens lösning på koncept 3 med skruv och fjäder.

6. Detaljkonstruktion

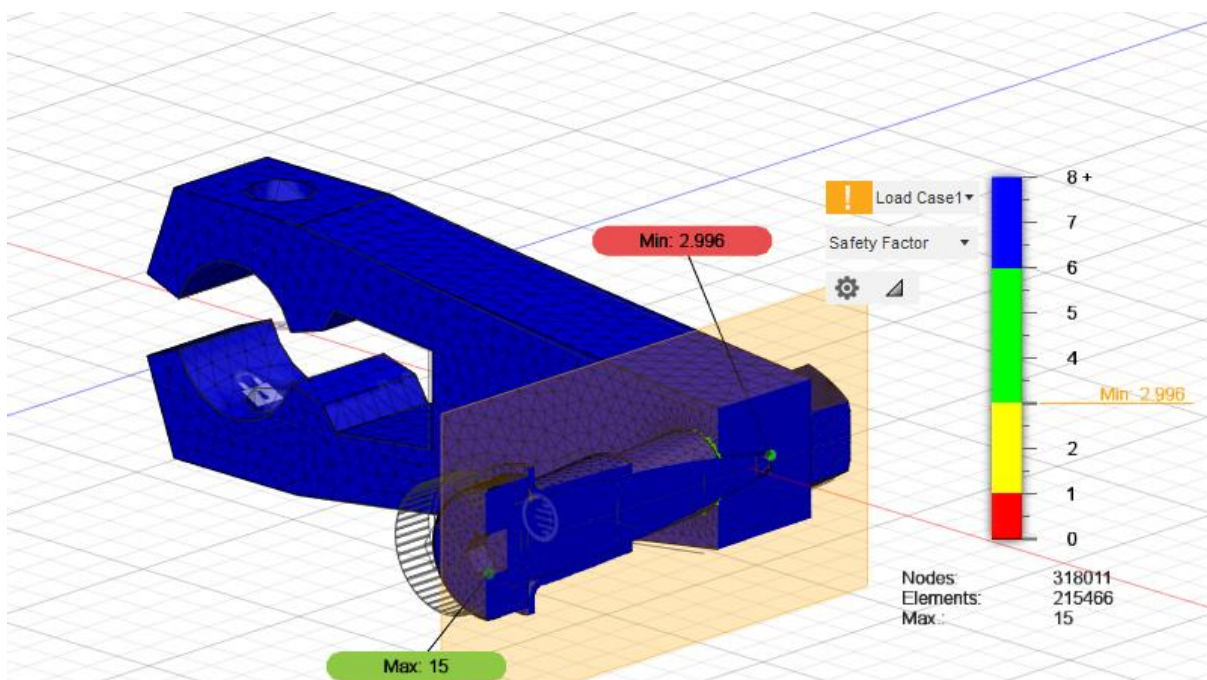
Även om det strävats efter att använda standardelement i första hand har många lösningar krävt specialtillverkade delar. Dessa är, utan specifik ordning:

- Fästen mellan motorer och nedre plattformen
- Bärarmar mellan motorer och övre plattform
- Lagerhus samt axel för infästning mellan bärarmar och övre plattform
 - U-profiler bakre bärarmar
- Lagerhus och fäste i övre plattformen
- Fästplattor för fotreglage och styre

6.1 Bearbetning av befintliga delar

Armarna som följde med motorerna som köptes till projektet mötte inte kraven på hållfasthet i FEM-analyser utan stora spänningskoncentrationer uppstod vid infästningen. Efter konsultation med handledare valdes det att använda lite längre passkruvar och försänka dem i armarna så att mer av kraften togs upp inuti materialet, och sätta en mutter på baksidan i stället.

Detta gav betydligt bättre hållfasthet, även om det inte riktigt mötte vårt mål på säkerhetsfaktor 4, se figur 16.



Figur 16 – En illustration över var och hur stor minsta säkerhetsfaktorn är i motorarmarna. Efter modifikation uppnåddes en minsta säkerhetsfaktor på nästan 3, vilket ansågs tillräckligt för konstruktionen.

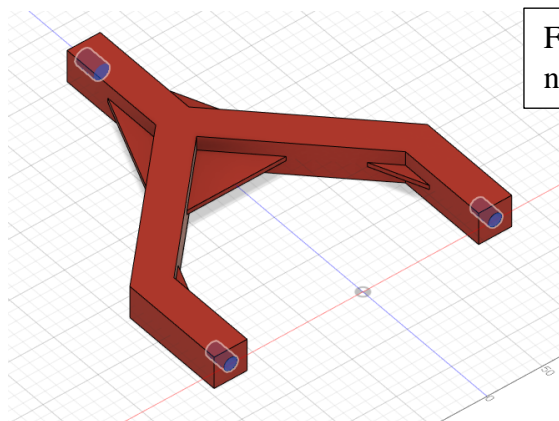
6.2 Konstruktion av nya delar

De nyckelpunkter som togs upp i avsnitt 5 var inte bara utmanande att designa, utan även i konstruktionsfasen. Processerna blev annorlunda och lite längre än förutspått i några fall.

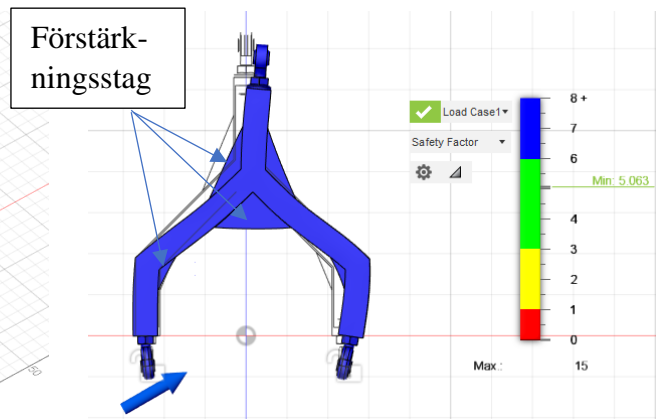
6.2.1 Bärarmar

Alla bärarmarna designades för att tillverkas i stål och skulle skickas för tillverkning till en av de leverantörer Tenstar brukar använda sig av.

De första bärarmarna som ritades gjordes av 30x30 stålprofiler med 2mm vägg tjocklek. I topp och botten skulle pluggar med gängade hål sitta. Här skulle länkhuvuden monteras för infästning mot motorer och övre plattform. När dessa pluggar designades modellerades alla gängor. Detta gav en väldigt komplex geometri i samtliga hål och FEM-analyserna visade stora spänningskoncentrationer i dessa delar. Detta mötte inte kraven på hållfasthet enligt FEM-analyser, så förstärkningsstag fick ritas i fogarna enligt figur 17. Resultatet blev en säkerhetsfaktor på över 5, se figur 18.

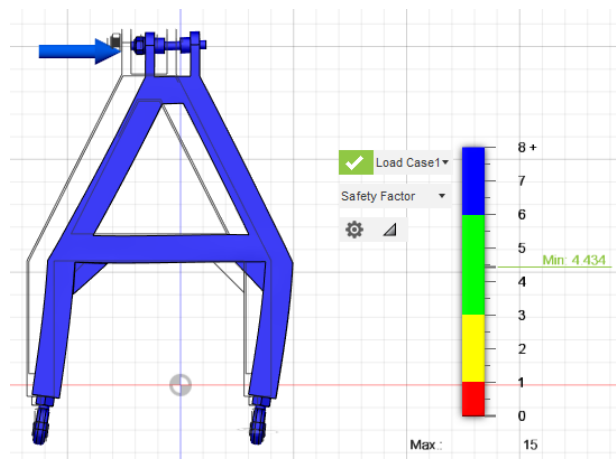


Figur 17 – Tidig iteration av främre bärarm med gänga och förstärkningsstag.



Figur 18 – FEM på tidig iteration av främre bärarm. Här med en minsta säkerhetsfaktor på 5.

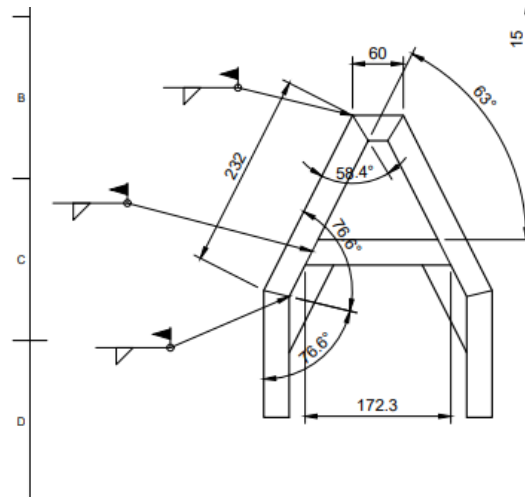
De främre armarna gjordes så smala som möjligt i övre delen för att lämna utrymme för övre plattformen och eventuella kåpor. De bakre designas lite bredare i övre infästningen, då de behöver ta upp alla krafter i x-led, se figur 19. Här behövs inte heller tas hänsyn till kåpor eller liknande.



Figur 19 – FEM på bakre bärarm med förstärkningsstag med en fullt godkänd säkerhetsfaktor över 4.

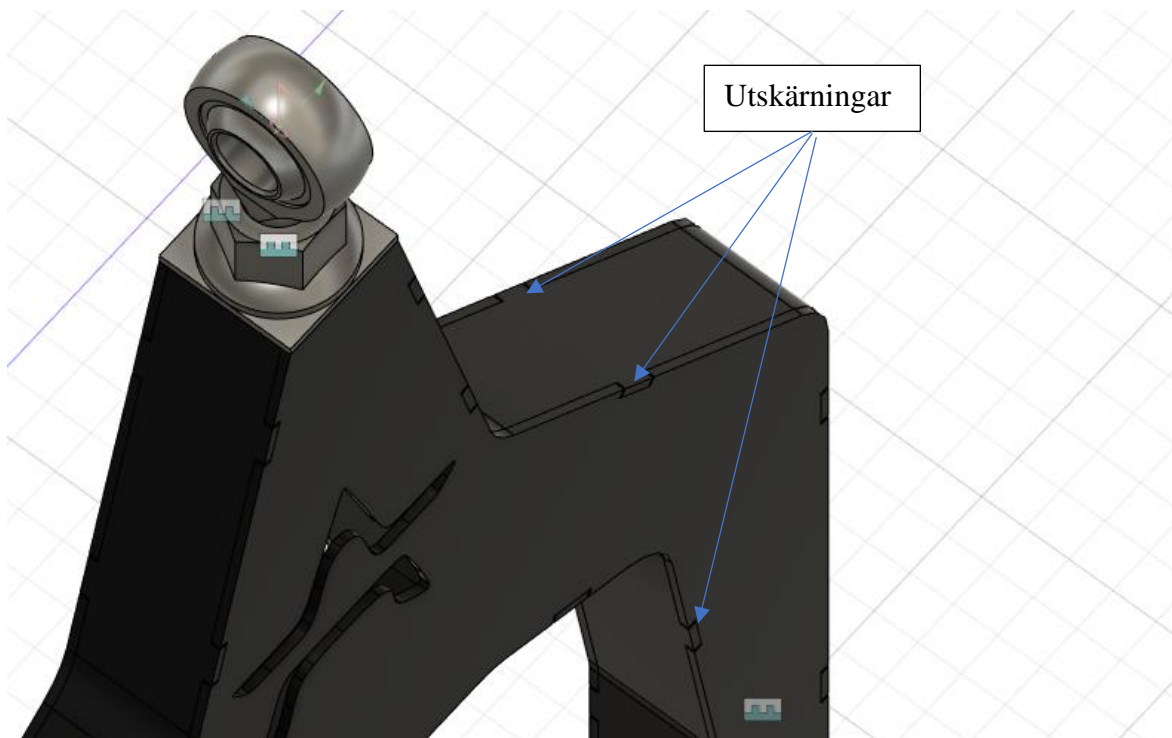
Förstärkningsstagen jämnade ut spänningarna effektivt så bärarmarna ansågs färdiga.

För att montering skulle vara smidig och för att inte få interna spänningar i delarna när de är monterade skulle parallellitet mellan hålen i botten och toppen av bärmarna vara viktigt. När ritningarna till tillverkaren skapats blev det tydligt hur många delar de skulle bestå av och denna komplexitet skulle göra det onödigt svårt för tillverkaren att få till precisionen som krävdes, se figur 20.



Figur 20 – Bilden illustrerar hur rörig ritningen blev med alla ojämna vinklar och komplexiteten vid tillverkning.

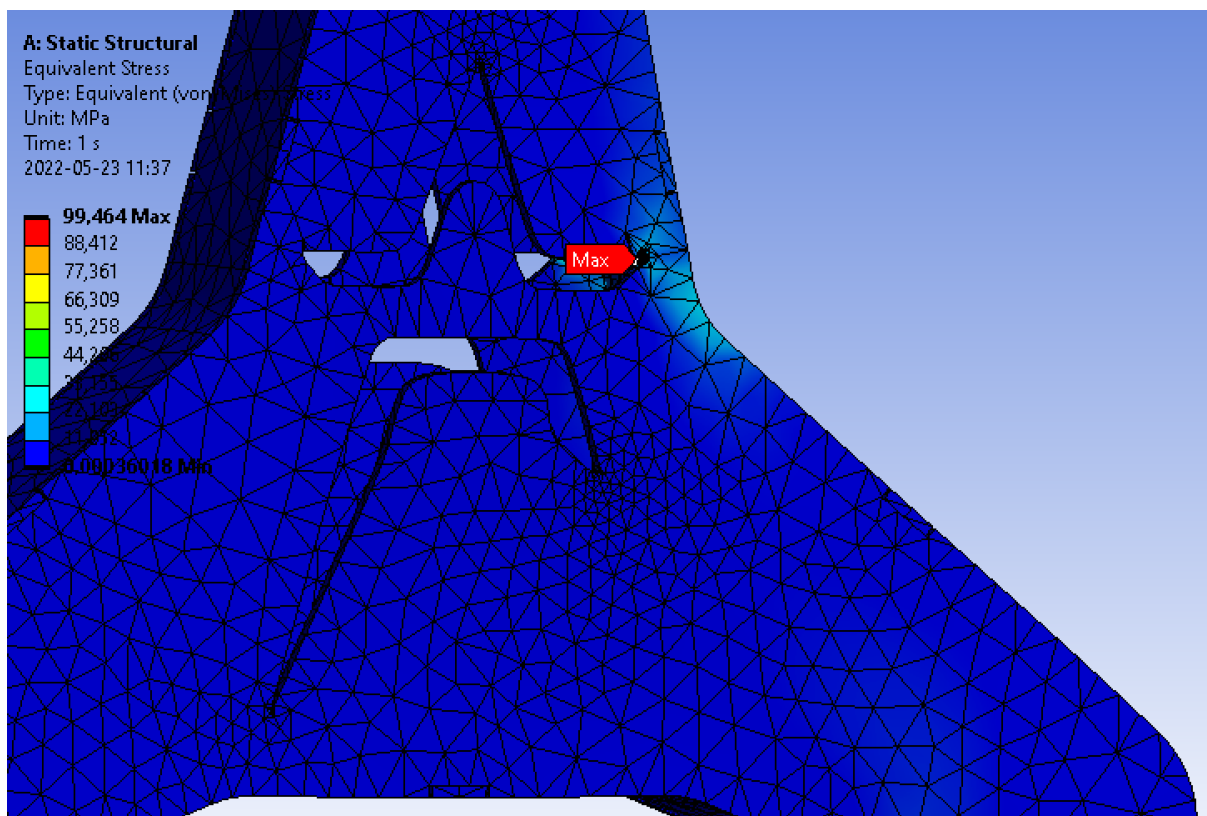
Som man kan se på bilden ovan blev det ett stort antal svetsfogar och ojämna vinklar. Det lite smärtsamma beslutet togs att helt och hållet designa om alla bärmarmar så de skulle vara lättare och snabbare att tillverka. I stället för fyrkantsprofiler användes vattenskurva plåtar med små styrningar utskurna för att öka precisionen vid svetsning, enligt figur 21.



Figur 21 – Slutgiltig design främre bärmarm med synliga utskärningar för inpassning.

Detta gav också en möjlighet att skära ut en snygg logotyp i mitten på bärarmarna. Efter en snabb koll på spänningarna i materialet där loggan skulle sitta konstaterades det att det inte skulle påverka hållfastheten nämnvärt, och ritningarna skickades till tillverkaren. På en handledning efter de skickats påpekades att just formen med en stjärna med små radier nära svetsfogarna på flera ställen kanske inte var optimalt, även om loggan låg på en plats utan stora spänningar.

Värt att nämna är att vattenskäraren hade en viss begränsning i hur små radier som kunde skäras, så de skarpa kanterna blev automatiskt avrundade. En FEM-analys, vilken kan ses i figur 22, gjordes på dessa former och visade att hållfastheten mötte våra krav ändå, med en säkerhetsfaktor på ungefär 2,5.



Figur 22 – Illustration på var den maximala spänningen i detaljen kommer verka. Här återfinns en spänningskoncentration om nästan 100 MPa i den vattenskurna Tenstar-logotypen, som genererade en säkerhetsfaktor på 2,5.

6.2.2 Bakre infästning övre plattform

Det mest kritiska i bakre infästningen är att kunna förena rotation i samtliga leder och fortfarande låsa translation i x-led. Bakre delen av övre plattformen skall alltså kunna röra sig lätt i fyra frihetsgrader:

- Höjdled
- Rotation kring x
- Rotation kring y
- Rotation kring sin mittpunkt i z-led

Samtidigt skall rörelsen för både plattform och förare i x-led låsas. Allt detta utan något märkbart glapp.

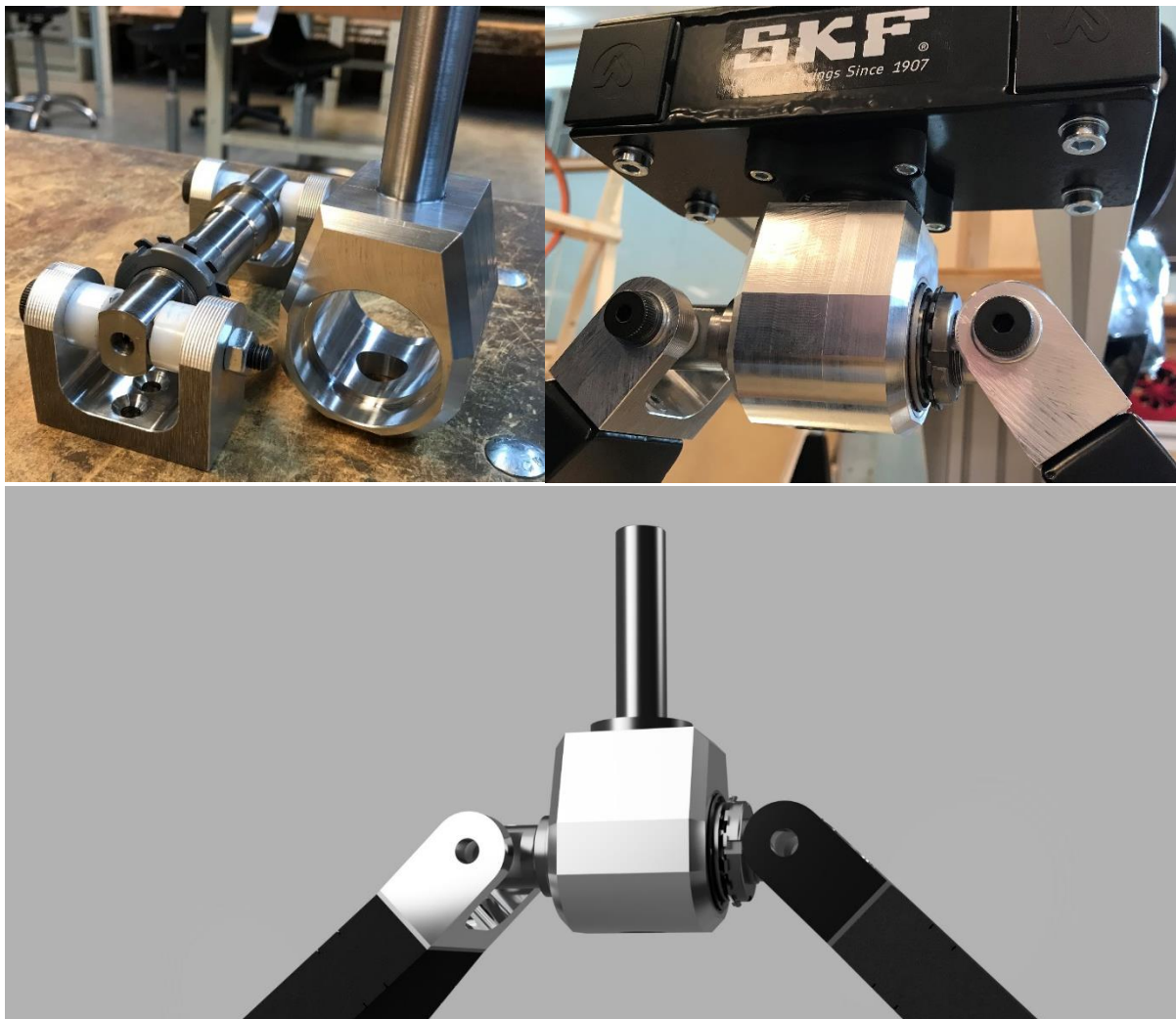
Prototypen från förstudien togs med till SKF Solution Factory där det diskuterades olika lagertyper som skulle kunna passa applikationen för den bakre infästningen. Alternativen var att konstruera en billigare variant där lagringen skulle ske med någon form av glidlager, eller en prestandainriktad variant där någon form av rullager skulle användas för applikationen.

För det billigare alternativet skulle glidlager i form av PTFE-bussningar från SKF passa väl i applikationen. Genom att använda sig av glidbussningar hålls inte bara materielkostnaderna nere, utan också tillverkningskostnaderna. Komplexiteten på detaljerna som skulle konstrueras blev lägre i form av enklare geometrier och enkla ingrepp. Byggnadsmåtten skulle också här vara mindre vilket skulle innebära lägra materialkostnader. Ur prestandasynpunkt är detta en lösning som skulle fungera tillräckligt bra för ändamålet, men inte optimalt.

För att optimera rörelsefriheten i de fria lederna skulle det krävas koniska rullager. En generell regel är att rullager används för applikationer där låga rullmotstånd och höga rotationshastigheter önskas. Anledningen till att använda just koniska rullager är för att utöver radiella krafter också kunna ta upp axiella. Den bakre infästningen är en så pass viktig del i motorcykelsimulatorens vilken påverkar alla de rörelser som sker. Detta skulle också medföra ett mer komplext lagerhus med eventuell CNC-fräsning och mer materialåtgång för tillverkningen, men i stället vara en högpresterande detalj på simulatoren.

Här förväntas den bakre knuten i liten utsträckning hämma motorens förflyttningar av övre plattformen och fortfarande ta upp de radiella och axiella krafterna lagerpaketet kommer ut-sättas för. Till skillnad från lösningen med bussningar tar koniska rullager mycket väl upp axiella krafter. Därför används lösningen med kombinerat koniska rullager med bussningar där

möjligheten finns, se figur 23 för illustration på faktisk applikation. Den färdiga detaljen består av cirka 20 olika delar inräknat rullager, axlar och bussningar.



Figur 23 – I figuren ovan syns nederst en rendering från CAD av den bakre knuten, ovan till vänster är en delvis sammansatt komponent tagen ur produktion och slutligen ovan till höger den färdigställda detaljen monterad i riggen.

Där endast radiella krafter verkar används PTFE bussningar, såsom i de tvärgående passkruvarna som också ledats med POM-bussningar. I de andra lagrade ytorna tas både radiella och axiella krafter upp och därför måste där användas koniska rullager. För att bära den horisontella axeln används SKF 32005 X och den vertikala SKF 30204. Den horisontella axeln låstes dessutom med en KM-mutter och MB-bricka från SKF för att kunna förspänna lagerna. Se bilaga 3 för sprängskiss av bakre knuten.

6.2.3 Infästning mellan främre bärmarmar och övre plattform

För att den övre plattformen ska kunna rotera runt X-axeln, för rullningen, och rotera kring Z_{gir} -axeln för rörelsen gir behöver infästningen mellan de främre bärmarmarna och övre plattformen vara ledad. Vid simulering av rullning och gir kommer axelavståndet mellan de främre infästningspunkterna ändras, desto större vinkel – desto längre axel.

En prototyp på lösningen skapades i miniatyrformat som efter tester verkade fungera, se mer i avsnitt 6. Det gick inte att utesluta eventuella spänningar i bärmarmarna men heller inte se

några uppenbara hinder i konstruktionen. Detta var något som enklast kunde behandlas i den fullskaliga modellen.

Genom att konstruera med standardelement kunde tillverkningskostnaderna, av ganska naturliga skäl, och framför allt ledtiderna hållas nere. I och med att en eventuell lösning här mestadels går att validera med faktiskt slutgiltig konstruktion behövdes den färdigställas så snabbt som möjligt för att ge utrymme till vidareutveckling.

Applikationen ska ge upphov till snedställningar och förlängning i den övre balken mellan de främre bärarmarna. Snedställningar tas upp av länkhuvudet, medan PTFE-bussningen som sitter fast i länkhuvudet glider över en delgängad sexkantsskruv. Den övre plattformen behöver också centreras och detta utan att ge fortsatta svängningar. Här används fjädrar på utsidorna av länkhuvudena för att trycka tillbaka den övre plattformen. Se figur 24 för den hopmonterade lösningen.



Figur 24 – Färdig konstruktion av infästning mellan främre bärarmar och övre plattform. Fjädrarna behövs för att kunna centrera den övre plattformen efter simulering av rullning och gir.

I den slutgiltiga konstruktionen kombinerades M12-sexkantsskruv av styrka 12.9 som fästs direkt i aluminiumprofilen, länkhuvud SAKB 14 F, PTFE-bussning och en fjäder. Här bestäms fjäderns förspänning genom att använda olika längder på fjädrarna, då skruven har ett förutbestämt läge. Fjäderlängden bestämdes ur tester där förspänningen var tillräcklig för att orka trycka tillbaka den övre plattformen med last på, men med marginal till att motorerna ska påverkas nämnvärt.

7. Reflektion

Detta avsnitt är uppdelat i reflektioner kring en utförandedel, en resultatdel och en del om vidareutveckling.

7.1 Utförande

Då det använts till stor del standardelement såsom aluminiumprofiler och rullager har hållfastheten kunnat simuleras tillräckligt exakt. Även de delar som tillverkats har beräknats noggrant.

Eftersom det inte finns någon liknande rörelsesimulator på marknaden har dock många konstruktionsbeslut som påverkar prestandan snarare än hållfastheten baserats på ingenjörsmässiga antaganden. Detta är en spännande metod att arbeta med för en ingenjör, men kvalitetsmässigt inte nödvändigtvis det bästa. Förhoppningsvis kommer man kunna ta lärdom av denna plattform och nästa gång kunna ha något mätbart att utgå ifrån.

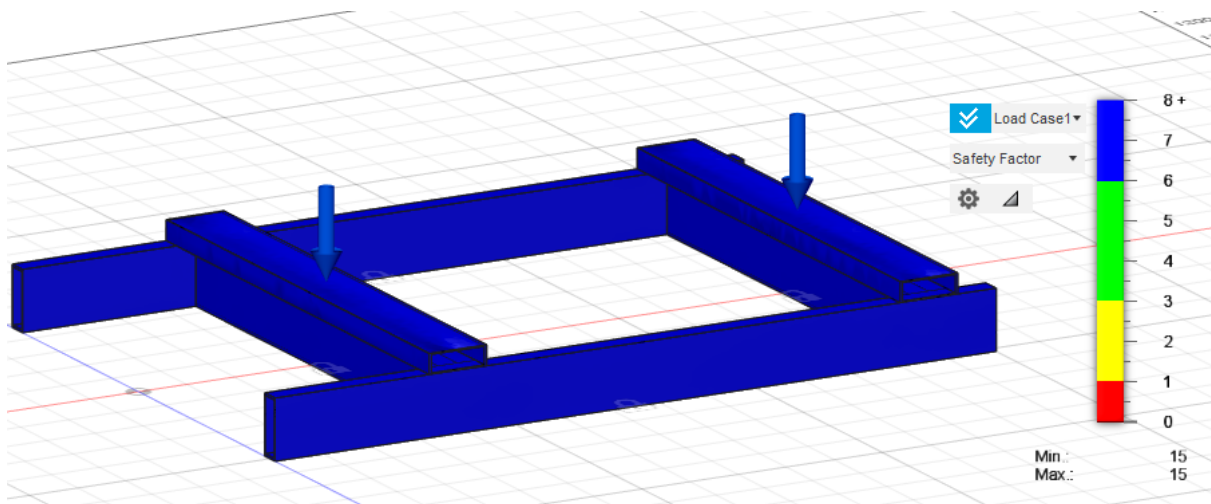
7.2 Resultat

Resultatet av examinationsarbetet är en fullt fungerande rörelseplattform med komplett CAD-ritningsunderlag.

7.2.1 Hållfasthetsberäkningar

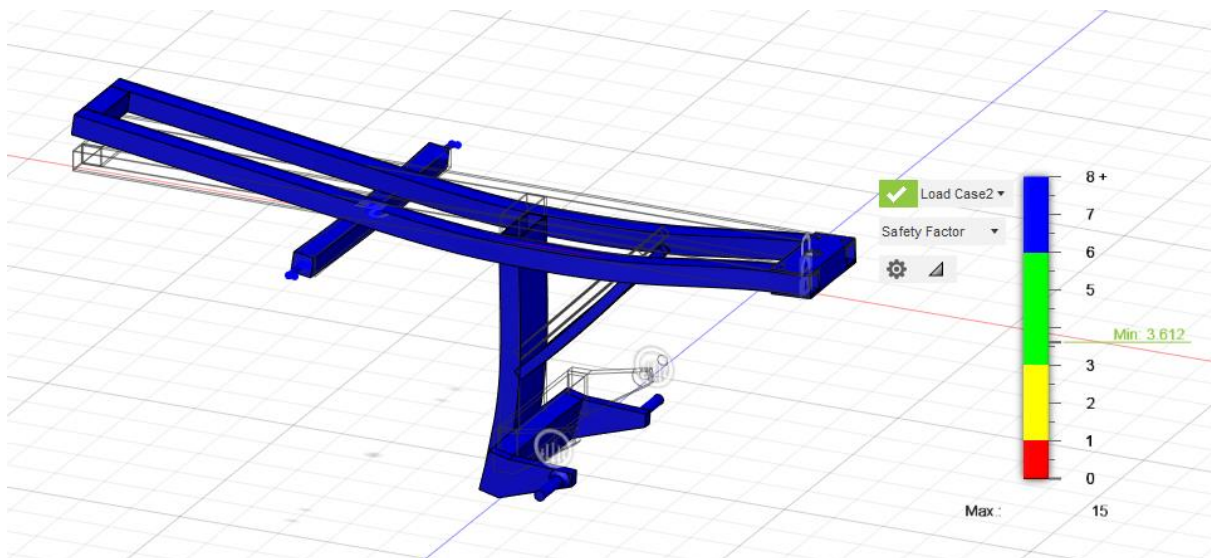
Hållfasthetsberäkningarna börjar med undre plattformen. Det var aldrig någon tvekan att den skulle uppfylla kraven, men det var ett bra sätt att komma i gång med programvarorna.

Nedan i figur 25 syns en graf på analysen där man ser att säkerhetsfaktorn är på minst 15.



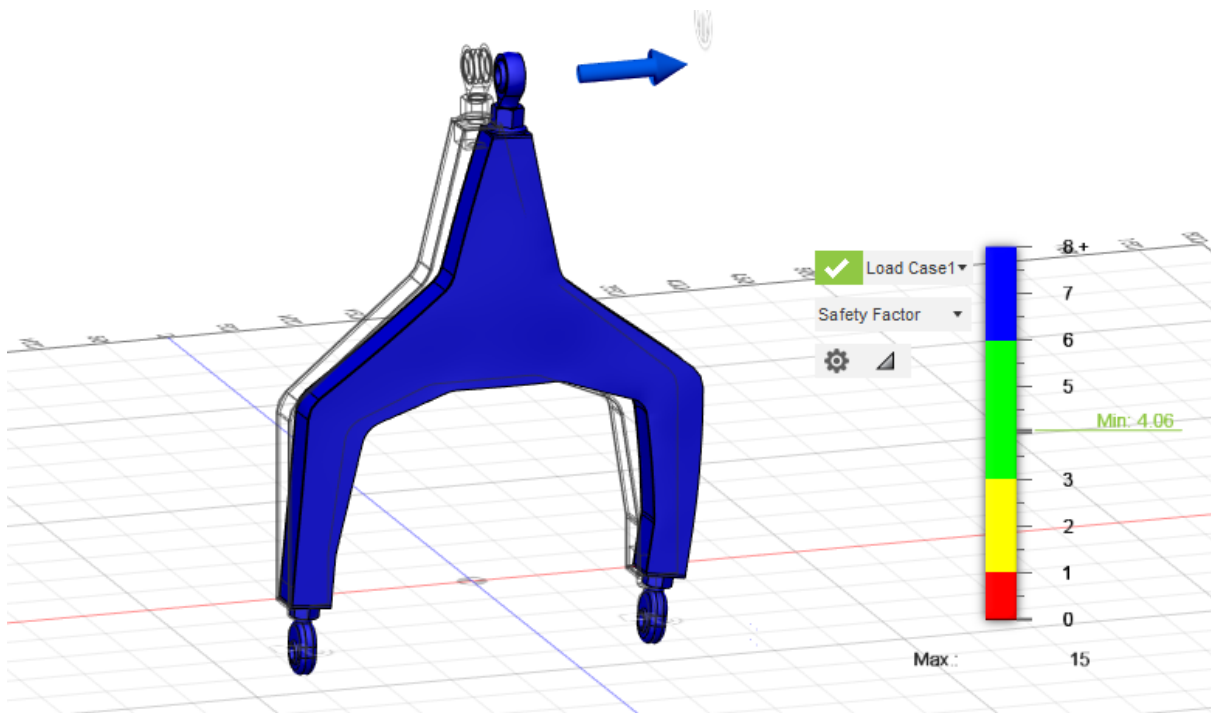
Figur 25 – Graf med FEM-analys visar att minsta säkerhetsfaktorn på den undre plattformen är minst 15.

Övre plattformen är viktigare att optimera, då den är en del av vikten som motorerna måste flytta. Figur 26 illustrerar grafen att säkerhetsfaktor 3,6 uppnåddes. En skruv i ett mer höghållfast material valdes för att vara på den säkra sidan.



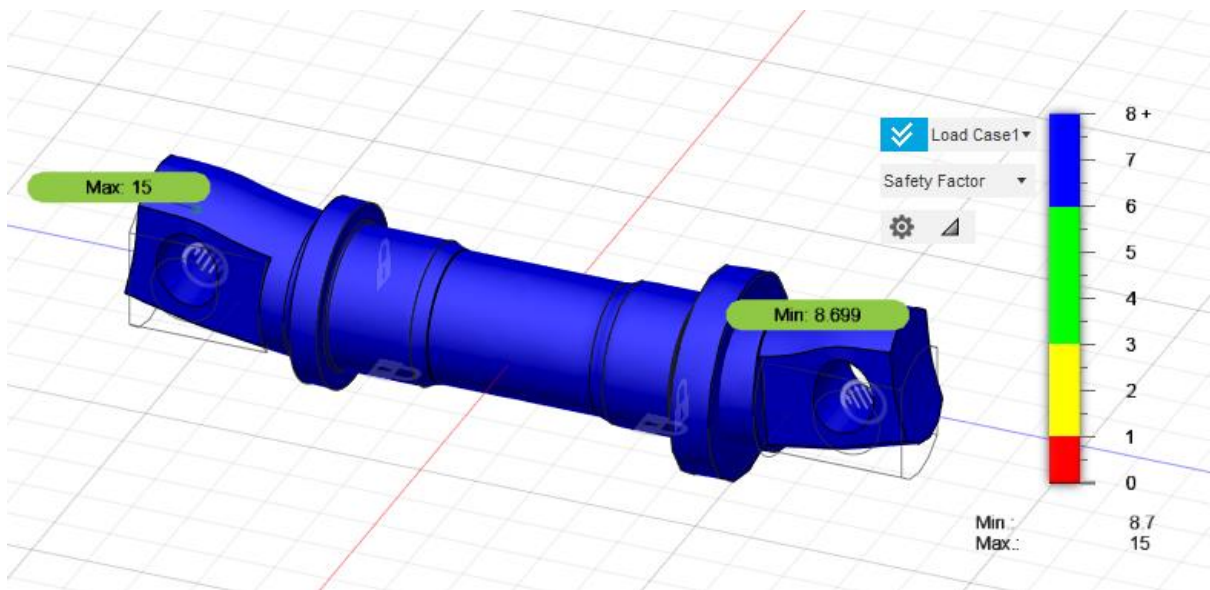
Figur 26 – FEM visar att den övre plattformen uppnår minsta säkerhetsfaktorn om 3,6 med pålagda lastfall. Här ska plattformen hålla för lasterna med marginal, men ändå inte överdimensioneras på grund av krav på låg vikt.

Även bärmarna belastar motorerna, så de gjordes också så lätta som möjligt. I figur 27 illustreras en graf med minsta säkerhetsfaktor på konstruktionen.



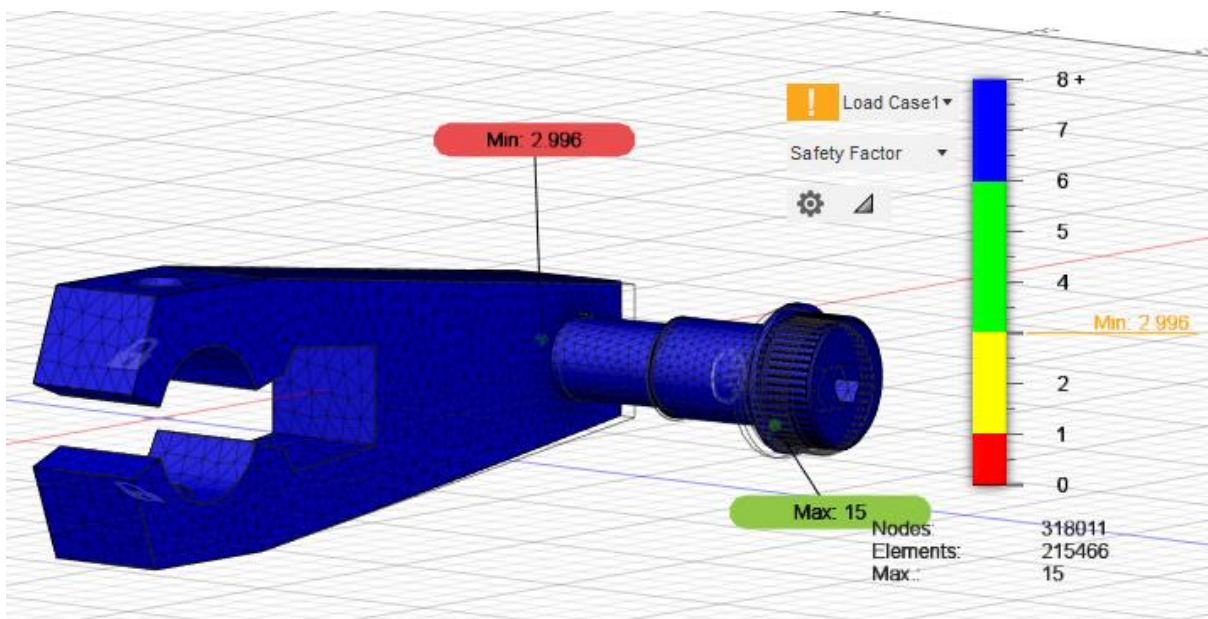
Figur 27 – Grafen i FEM-analysen på de främre bärmarna visar att konstruktionen ska klara av lastfallen med en säkerhetsfaktor på minst 4.

Under tillverkning frästes genomgående axeln i bakre upphängningsknuten oavsiktligt lite tunnare än specificerat. CAD-modellen ändrades och nya analyser, se figur 28, visade att säkerhetsfaktorn fortfarande var klart över kravet. Att denna detalj var lite överdimensionerad ignorerades, viktbesparingen av en optimering ansågs här försumbar.



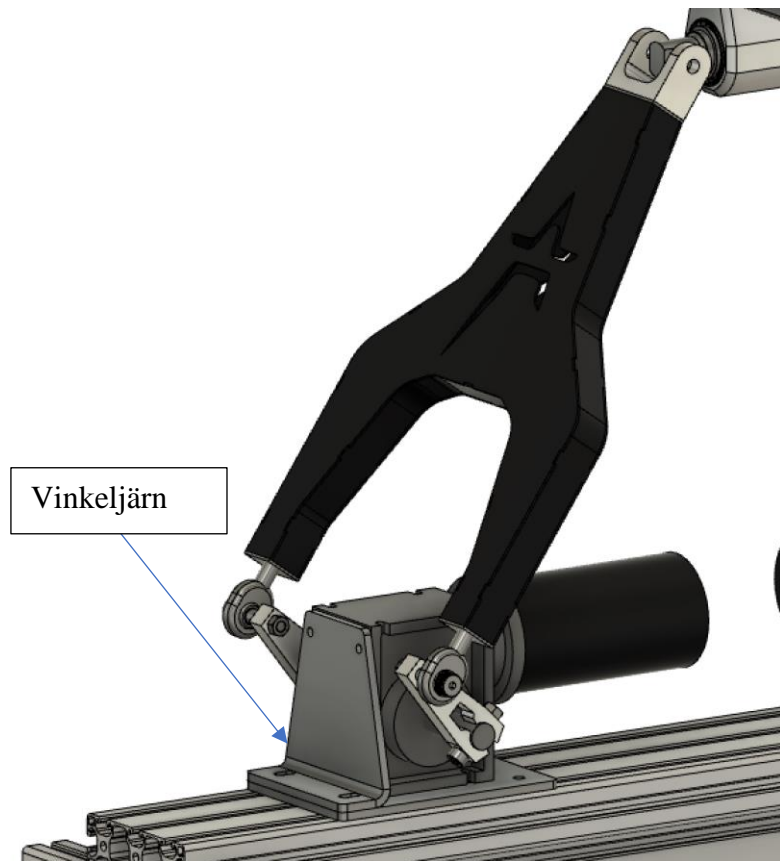
Figur 28 – En ny analys av hållfastheten i den horisontellt genomgående axeln. Deformationen på bilden är starkt överdriven för att visualisera spänningarna.

Motorarmarna kunde vi inte påverka då de kom färdiga från leverantör. Figur 29 nedan visar resultaten efter de modifierats.



Figur 29 – Säkerhetsfaktorn på nästan 3 uppnåddes efter modifieringar på befintliga detaljer från leverantör.

Riktigheten i beräkningarna som gjorts har inte motbevisats av några större haverier. Den enda svaga punkt som hittats är infästningen av bakre motorerna. När föraren sitter på och rör sig framåt och bakåt kan man känna en liten rörelse där motorn sitter skruvad i monteringsplattan. Detta avhjälpas genom att sätta ett vinkeljärn som avlastar infästningen i x-led, se figur 30.



Figur 30 – Här syns ett av de bakre bärmarna infäst i motorarmen. Vinkeljärnet är monterat som avlastning mellan motor och motorplatta.

7.2.2 Utvärdering av rörelse

För att ge möjlighet att verkligen ta reda på hur plattformen kan kommunicera rörelser med föraren har utöver grundkraven på plattformen även säte, fotpinnar och styre monterats.

De rörelser som kunnat testas med nuvarande programvara upplevs mycket verklighetstroga. Den främsta upplevelsen är känslan av tappat grepp på bakhjulet under acceleration eller bromsning, då plattformen följer den virtuella modellen mycket väl.

Potentiometrarna som mäter av läget på motorernas armar begränsar armarnas rörelse ungefär 10° i både högsta och lägsta läge. Då armarna rör sig i bågform påverkar detta rullning, lutning och hävning marginellt. Gir-rörelsen påverkas mer märkbart.

Prestandakraven på rörelse möts, men kan variera en del då geometrin är justerbar. Accelerationen visade sig svår att mäta exakt, men upplevs av erfarna motorcykelförare som fullt tillräcklig. Hastigheten armarna rör sig är mycket snabbare än kravet. Hastigheten uppskattas till 240°/s. Se tabell 1 för jämförelse mellan mål- och faktiska mätvärden.

Tabell 1

Rörelse	Målvärde	Mätvärde
Lutning	±10°	±9°
Rullning	±10°	±9°
Hävning (slaglängd)	100 mm	110 mm
Gir	±5°	±6°

Dessa värden upplevs fullkomligt tillräckliga, så justeringar för att möta de satta kraven görs inte.

7.2.3 Inkoppling av det elektriska systemet

Det följde inte med någon dokumentation till utrustningen med all elektronik som köptes in, så tidigare erfarenhet och en del gissningar fick användas. Koden som mikrodatorn programmerades med fanns tillgänglig och användes med endast små förändringar.

Motordrivarna av modell ”Sabertooth 2x32” beställdes från annan leverantör än SimuKit, då det annars skulle vara lång väntetid. Detta ledde till att de fick programmeras på plats av oss. Det tog lite mer tid än väntat, men det gav en bra insikt i det elektriska systemet.

7.3 Vidareutveckling

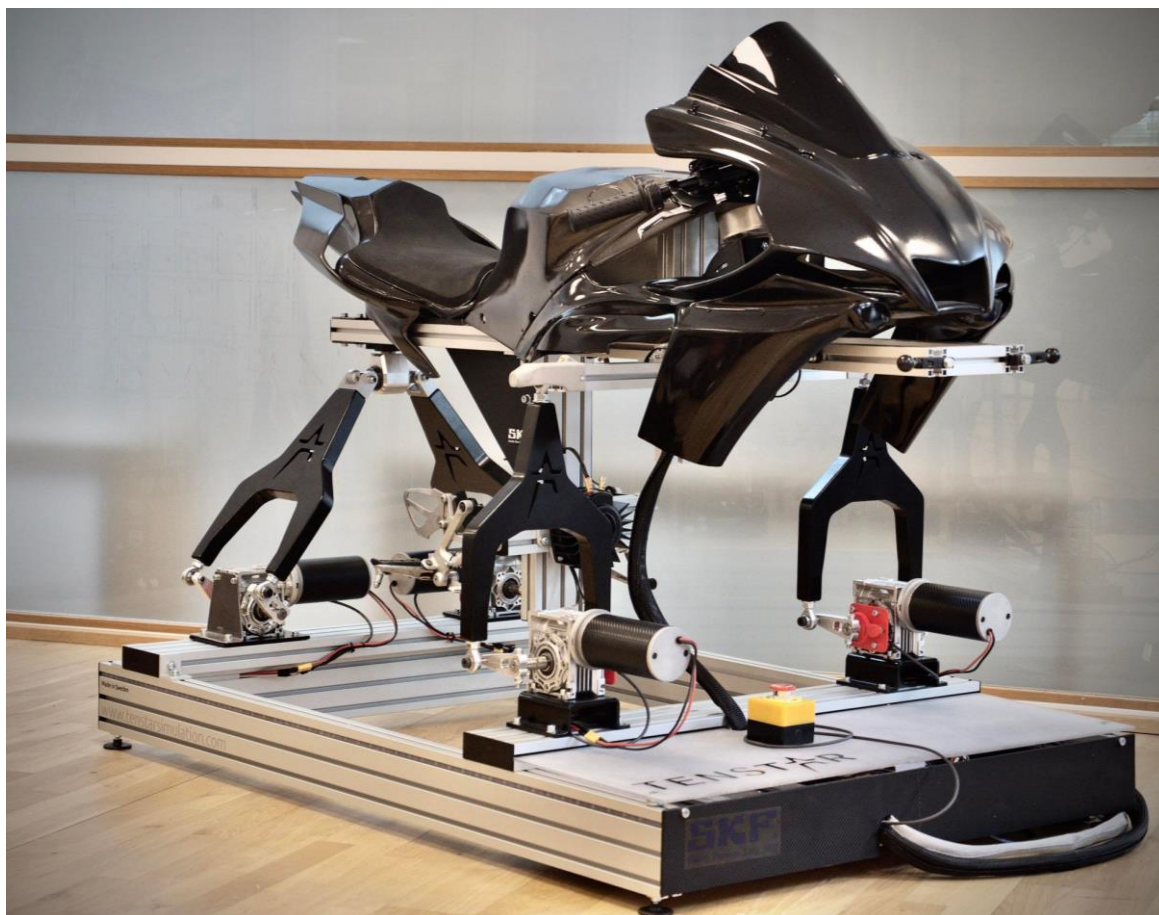
Efter utvärderingen av simulatorns rörelser kan slutsatserna dras att samtliga rörelser är fullt tillräckliga för att kommunicera de rörelser som sattes som mål, funktionen som sådan behöver ingen direkt utveckling inom målbilden.

Saker som finns på önskelistan redan nu är andra motorer. De som köptes in till projektet är ganska billiga. Kuggspelet i motorns växellåda är så pass stort att det upplevs som den svaga länken i upphängningen. I stället skulle linjärdon likt Tenstars D-Box system kunna användas. En förenkling av bakre knuten för anslutning mellan övre plattform och bärarymar. Skulle rörelseplattformen produceras i större antal hade detta varit en del som möjligtvis skulle kunna produceras billigare. Prestandaförlusten skulle kunna kompenseras med kraftigare motorer.

7.4 Design

Projektet har främst utförts med syfte att konstruera en rörelseplattform som mekaniskt ska kunna förmedla känslan av att köra motorcykel. Det finns många aspekter att ta hänsyn till vid simulering av motorcykelkörning; bland annat krafter, vibrationer, fartvinden och design. Designen är inte enbart viktig för att tillfredsställa ögat utan också för kroppen att bli påmind, eller förberedd, för motorcykelkörning i verkligheten.

För att möta designaspekten i simulatoren användes racingkåpor avsedda för en Yamaha R1, årsmodell 2020 – 2022. Se figur 31 för slutgiltig prototyp rörelserigg med monterade kåpor.



Figur 31 - Rörelsesimulatorens här ihopsatt med ett racingkåpset anpassat för en Yamaha R1, årsmodell 2020 – 2022, dels för utseendet skull, men också för den rätta känslan.

8. Slutsatser

I detta examensarbete var syftet att tillverka en motorcykelsimulator för förar- och trafiksäkerhetsutbildningar av motorcykelförare. Plattformen skulle simulera en känsla av de krafter en motorcykelförare utsätts för i olika manövreringar på motorcykeln. Genom det arbete vi gjort är simulatorns prestanda tillräcklig för att möta de krav som satts. Det färdigställda verktyget ger föraren chansen att få uppleva moment, som i trafiken kan vara en fara för livet, som nu i stället sker under kontrollerade förhållanden.

Designen som stod till grund för konstruktionen var framtagen inför projektets början. VTI och Tenstar, som är välbevärande inom fordonssimulering, ansåg att modellen skulle kunna återge tillräcklig återkoppling till förarens manövreringar. Simulatorens konstruktion är gjord på flera iterationer där designen ändrats tills vi uppnådde önskat resultat.

Det mest intressanta med resultatet är kanske inte att det gick att tillverka en fullt funktionell rörelsesimulator, utan möjligheten som verktyget kan komma att föra med sig. Med god insikt i aktiv motorcykelkörning kan simulatorns rörelser finjusteras med hjälp av korrigeringar i programvarans parametrar. Här går också att stärka känslorna i form av vibrationshögtalare placerade under sätet, intill fotpinnarna och i styret för att förmedla vibrationer från vägunderlag, motor, växellåda och koppling.

Att konstruera, validera designen och sedan faktiskt få detaljerna tillverkade är något som vi har förberetts för under vår studietid. De stora ämnesområdena vi berört och förkovrats i under projektets gång har varit maskinelement, mekanik, tillverkningsteknik och framför allt finita element-analyser. Det har varit oerhört utvecklande att arbeta i det här projektet och få tillämpa det vi tidigare endast behandlat i teorin.

Referenser

- Honda Riding Trainer [Fotografi]. (u.å). Hämtad 14 mars 2022, från <https://global.honda/newsroom/news/2006/c060130-eng.html>
- Cruden B306 HMD [Fotografi]. (u.å). Hämtad 14 mars 2022, från <https://www.cruden.com/wp-content/uploads/2019/11/blog2-1-1.jpg>
- Yamaha R1 M [Fotografi]. (u.å). Hämtad 21 maj 2022, från https://cdn2.yamaha-motor.eu/prod/product-assets/2022/YZF1000R1SPL/2022-Yamaha-YZF1000R1SPL-EU-Icon_Performance-360-Degrees-029-03_Tablet.jpg

Bilagor

Bilaga 1 – Kriterielista

Bilaga 2 – Blockdiagram över elektronik på MC-simulator

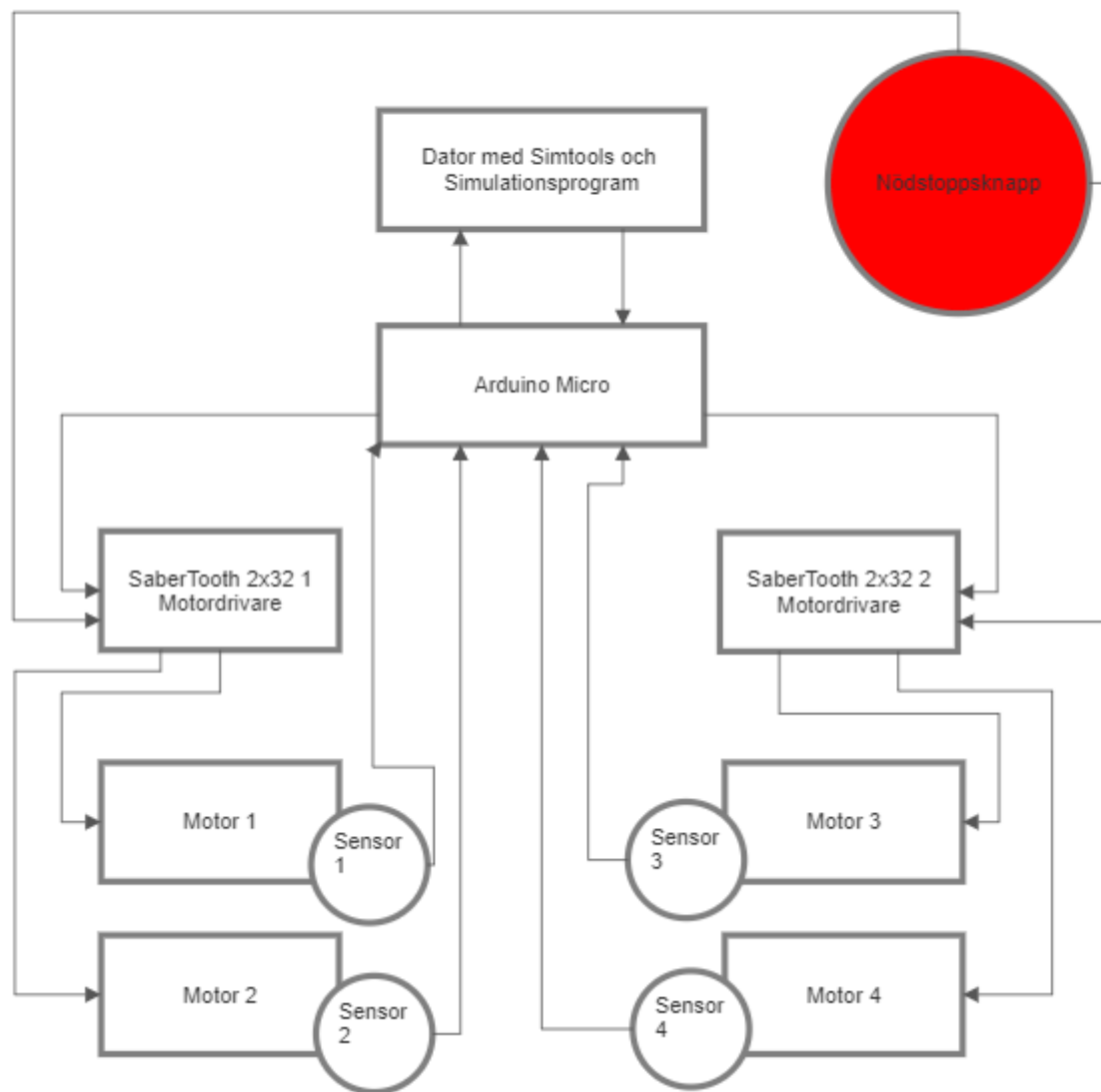
Bilaga 3 – Sprängskiss över lagerhus till bakre knut

Bilaga 4 – Ritningssammanställningar

Bilaga 1 – Kriterielista

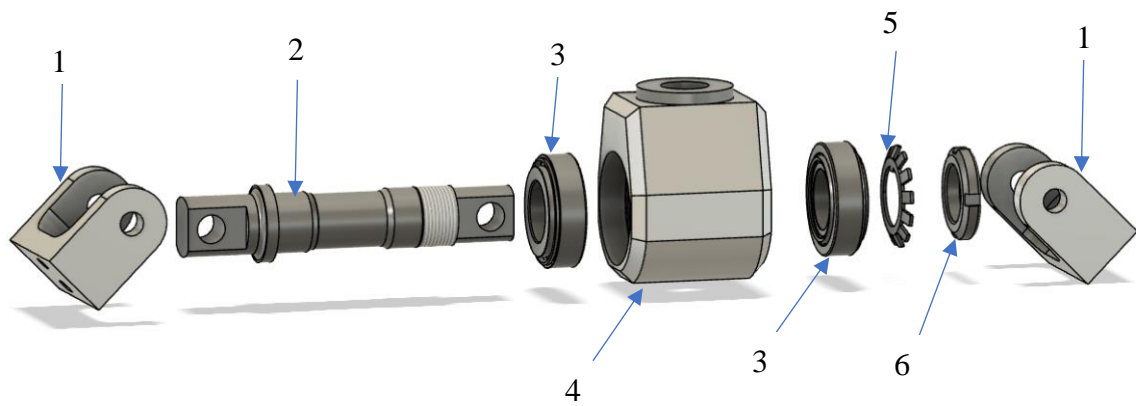
Chalmers	Dokumenttyp	Kriterielista		
	Projekt	Rörelsesimulator Motorcykel		
Utfärdare: Christian Bäverstrand och Mille Kotur		Skapad: 2022-01-24		
		Modifierad:		
	Kriterier	Målvärde	K/Ö	Verifieringsmetod
	Funktion(er)			
	Simulera motorcykelkörning genom rörelser i fyra frihetsgrader		K	
	Medge modularitet (typ av motorcykel, geometrier)		Ö	
	Medge eftermontage av reglage		K	
1.	Prestanda			
1.1	Pitch (lutning framåt/bakåt)	$\pm 10^\circ, 30^\circ/s, 200^\circ/s^2$	Ö	Beräkningar och simulering
1.2	Roll (lutning vänster/höger)	$\pm 10^\circ, 30^\circ/s, 200^\circ/s^2$	Ö	Beräkningar och simulering
1.3	Heave (förflyttning i höjdlid)	100 mm slaglängd, $2m/s^2$	Ö	Beräkningar och simulering
1.4	Yaw (rotation kring den vertikala axeln genom 'framhjulet')	$\pm 5^\circ, 30^\circ/s, 200^\circ/s^2$	Ö	Beräkningar och simulering
1.5	Bärighet för förare och eftermonterade reglage	> 110 kg	K	Beräkningar och simulering
1.6	Bärighet för förare och eftermonterade reglage	> 140 kg	Ö	Beräkningar och simulering
2.	Massa			
2.1	Undre plattformens totalvikt för stabilitet	60 kg < totalvikt < 80 kg	Ö	Beräkning med CAD-modell och produktspecifikationer
2.2	Övre plattformens totalvikt för lägsta möjliga last på motorer	< 50 kg	Ö	Beräkning med CAD-modell och produktspecifikationer
3.	Ergonomi			
3.1	Möjliggöra sittande och stående körställning	5:e percentilen kvinna och 95:e percentilen man	Ö	Test och CAD
3.2	Möjliggöra anpassning	5:e percentilen kvinna och 95:e percentilen man	Ö	Test och CAD
4.	Säkerhet			
4.1	Inte leda ström i materialet över till användaren		K	Materialval och test
4.2	Klämskydd om erfordeligt		K	Test
4.3	Nödstopp		K	Test
4.4	Dödmansgrepp		Ö	Test
5.	Material			
5.1	Material med tillräckliga styrka för konstruktionens avsedda användningsområde		K	FEM
5.2	Material med tillräcklig styvhet för konstruktionens avsedda användningsområde		K	FEM

Bilaga 2 – Blockdiagram över elektronik på MC-simulator



BLOCKDIAGRAM MC-SIMULATOR	DRAWN BY CB	CHECKED MK	DATE Maj 2022	SCALE	SHEET NO.
--------------------------------------	----------------	---------------	------------------	-------	-----------

Bilaga 3 – Sprängskiss över lagerhus till bakre knut



- 1) U-bracket för infästning av lageraxel till bakre bärramar
- 2) Lageraxel
- 3) SKF 32005 X
- 4) Lagerhus
- 5) SKF MB-bricka
- 6) SKF KM-mutter

Bilaga 4 - Sammanställningsritningar

Behöver behålla parallellitet även efter svets då länkhuvuden med genomgående axel skall monteras här

Konstruktion svetsas och kanter slipas släta
Surface treatment: Powder coated RAL: 9005 Gloss: 45%

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	2	Front carry arms water cut		Steel
2	1	Bottom plugs		Steel
3	1	Top plug		Steel
8	2	Side wall		Steel
9	1	Inner wall		Steel

Dept:	Technical reference:	Created by:	2022-03-23	Approved by:
Generell tol ISO 2768-mK		Document type:	Document status:	
		Title:	CA01-00	
		DWG No.:	CA01-00	
		Rev.:	Date of issue:	Sheet 1/1

Långa benet på stjärnan till vänster

Behöver behålla parallellitet även efter svets då länkhuvuden med genomgående axel skall monteras här

Konstruktion svetsas och kanter slipas släta
Surface treatment: Powder coated RAL: 9005 Gloss: 45%

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Inner wall		Steel
2	2	Rear carry arms water cut		Steel
3	1	Bottom plugs		Steel
4	1	Top plug 60		Steel
5	2	Side wall		Steel

Dept:	Technical reference:	Created by:	2022-03-21	Approved by:
Generell tol ISO 2768-mK		Document type:	Document status:	
		Title:	CA02-00	
		DWG No.:	CA02-00	
		Rev.:	Date of issue:	Sheet 1/1

**INSTITUTIONEN FÖR
MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se



CHALMERS