



CHALMERS



Hjulupphängning till cykelvagn

Integrering och test av koncept

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Elin Hallberg

Malin Hoang

INSTITUTIONEN INDUSTRI OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025

www.chalmers.se

Sammanfattning

Tillsammans med konsultföretaget AFRY görs ett samarbete med Thule. Thule har gjort en förundersökning på den nuvarande hjulupphängningsdesignen för bakhjulen på en cykelvagn, vid namn Chariot. Chariot finns i enkel- och dubbelsitsig modell. Det visade sig att den nuvarande bakhjulsupphängningen på cykelvagnen inte ger det önskade beteendet vid körning över hinder. Det finns även en vältrisk med den nuvarande designen på bakhjulsupphängningen. AFRY har fått en förfrågan om att förbättra denna hjulupphängning. Som grund till projektet fanns det en CAD modell på hur det tänkta nya konceptet skulle se ut på en dubbelsitsig cykelvagn samt påbörjade beräkningar.

AFRYs koncept har en individuell hjulupphängning istället för en stel bakaxel. En annan stor skillnad mellan Thules vagn och det framtagna konceptet är att Thules nuvarande vagn har en bladfjäder och det framtagna konceptet har ett "coilover shock"-fjäderben. Detta innebär att det är en dämpare och fjäder i samma paket.

Projektet har till stor del gått ut på att vidareutveckla, integrera och anpassa AFRYs konceptet för Thules Chariot vagn. Det har också byggts en prototyp för att kunna utföra tester på konceptet. Testerna visade att funktionen i konceptet rör sig som man önskar men att fjäderbenet som användes inte var tillräckligt bra, då den saknade dämpfunktion.

I slutet av rapporten diskuteras eventuella felkällor vid testerna och förslag på förbättringar och möjlig vidareutveckling av konceptet.

Nyckelord:

Cykelvagn, hjulupphängning, implementering, CAD-modellering, stötdämpning, mekanik, maskinelement, prototyp tillverkning, stabilitet.

Abstract

Together with the consulting company AFRY, a collaboration is being made with Thule. Thule has conducted a preliminary investigation into the current suspension design for the rear wheels of a bicycle trailer, called Chariot. The Chariot is available in single- and double seat models. It turned out that the current rear suspension on the Chariot does not provide the desired behavior when driving over obstacles. There is also a risk of overturning with the current design of the rear wheel suspension. AFRY has been asked to improve this suspension. As a basis for the project, there was a CAD model of what the intended new concept would look like on a double seat bicycle trailer and calculations have been initiated.

AFRY's concept has an individual wheel suspension instead of the current rigid rear axle. Another big difference between Thule's trailer and the developed concept is that Thule's current trailer has a leaf spring and the developed concept has a coilover shock damper. This means that the damper and spring are combined in one unit.

The project has mainly focused on improving, integrating and adapting AFRY's concept for Thule's Chariot trailer. A prototype has also been built to enable testing of the concept. The tests showed that the function of the concept worked as intended but the coilover shock used was not sufficient, since the damper was missing.

At the end of the report, possible sources of error during the tests, as well as suggestions for improvements and potential further development of the concept are discussed.

Keywords

Bicycle trailer, wheel suspension, implementation, CAD modeling, shock absorption, mechanics, machine elements, prototype manufacturing, stability.

Förord

Rapporten är ett examensarbete på 15 högskolepoäng, genomförd på Chalmers tekniska högskola på institutionen för mekanik och maritima vetenskaper. Examensarbetet är en del av ett samarbete mellan AFRY och Thule.

Vi vill tacka AFRY för möjligheten att få medverka i detta projekt och alla anställda på AFRY som varit väldigt hjälpsamma under projektets gång, speciellt vår handledare Ulf Andersson för värdefulla synpunkter och stöttning under projektet. Vi vill även rikta ett stort tack till Johan Hällsås på AFRY för att ha engagerat sig och även han varit ett stöd för oss genom hela projektet.

På Thule vill vi tacka Robert Sanell och Stefan Andersson för sitt engagemang och för att generöst ha delat med sig av sin kunskap. Vi vill även rikta ännu ett tack till Stefan och övriga medarbetare på Thule som bidragit till framtagningen av prototypen och gett oss möjlighet att testa den i deras testverkstad.

Vi vill även tacka vår examinator Kjell Melkersson på Chalmers för den tid och det engagemang som lagts ned och för vägledning som bidragit till arbetets utveckling.

Trollhättan, Maj 2025

Elin Hallberg, Malin Hoang

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte.....	2
1.3 Avgränsningar.....	2
1.4 Precisering av frågeställningen.....	3
1.5 Företagsintroduktion.....	3
2. Problemställning.....	4
2.1 Chariotvagnens befintliga hjulupphängning.....	4
2.2 AFRYs koncept.....	5
3. Integrering och utveckling av grundkoncept.....	8
3.1 Hjulkonsol.....	8
3.2 Bottenram och Chassi.....	9
3.4 Länkarm.....	11
3.4 Fjäder och dämpare.....	12
4. Framtagning av prototyp.....	14
4.1 Prototyp tillverkning.....	14
4.2 Integrering av prototyp i Chariotvagnen.....	15
5. Utförda tester och resultat.....	19
5.1 Testbana.....	19
5.2 Körning rakt över en trottoarkant.....	21
5.3 Körning med sväng över en trottoarkant.....	22
5.4 Drumtest.....	23
6. Diskussion och slutsatser.....	26
6.1 Diskussion.....	26
6.2 Slutsatser.....	27
7. Vidareutveckling.....	29
8. Källor:.....	31
Bilagor.....	32

1. Inledning

I detta kapitel kommer projektet, bakgrunden till projektet, avgränsningar och precisering av frågeställningen presenteras. Även en kort introduktion av företagen beskrivs i detta kapitel. Under arbetets gång har OpenAIs språkmodell ChatGPT använts som inspiration och stöd vid utformningen av vissa texter i rapporten. Det AI-genererade innehållet har därefter granskats och anpassats manuellt.

1.1 Bakgrund

Tillsammans med konsultföretaget AFRY görs ett samarbete med Thule. Thule har gjort en förundersökning på den nuvarande hjulupphängningsdesignen för bakhjulen på en cykelvagn, vid namn Chariot. Chariot finns i enkel och dubbelsitsig modell. Chariotvagnen kan användas för olika syften genom aktivitetsbyte på vagnen, på cykel, vid gång, löpning och till och med på skidor. De främsta användningsområdena är att cykla och gå med den, se figur 1 och 2. Det visade sig att den nuvarande bakhjulsupphängningen på cykelvagnarna inte ger det beteendet som önskas. Det finns även en vältrisk i den nuvarande designen på bakhjulsupphängningen. Därför önskar Thule en hjulupphängning med förbättrade vägegenskaper, vilket AFRY har fått en förfrågan om att göra. Som grund till projektet finns det en CAD-modell på hur det tänkta nya konceptet skulle se ut på en dubbelsitsig cykelvagn samt påbörjade beräkningar från AFRY.



Figur 1: Chariotvagnen på cykel



Figur 2: Chariotvagnen vid gång

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att anpassa och integrera det framtagna konceptet från AFRY till Thules befintliga cykelvagn. Se till att alla funktioner fortfarande fungerar och att konceptet passar till en singelvagn också, då konceptet från början var framtaget med avseende på en dubbelvagn. Konceptdesignen ska utvärderas och vägegenskaper kontrolleras. Styrkor och svagheter kommer att analyseras med avseende hållbarhet, funktion, prestanda, användbarhet och tillverkning. Utifrån detta, även komma fram till vilka förbättringsmöjligheter som finns och vilka eventuella justeringar som borde göras.

1.3 Avgränsningar

Detta projekt kommer att avgränsas till en Cad-modell av konceptet. Fokuset kommer att ligga på att beskriva hur konstruktionen ska se ut och hur konceptet ska fungera. På grund av den tidsbegränsning som finns så kommer projektet inte att resultera i en färdig produkt men det kommer att byggas en första prototyp av konceptet för att kunna testa framförallt vägegenskaper. Det kommer endast att utföras enklare beräkningar på konceptet.

Thule har den här typen av cykelvagnar för både ett och två barn, alltså en- eller tvåsitsig. Detta projekt har avgränsats till en ensitsig cykelvagn, då vältrisen är större hos en ensitsig.

Det är en fördel att hålla kostnaderna så låga som möjligt men detta projekt kommer huvudsakligen inte att fokusera på material eller tillverkningskostnader.

1.4 Precisering av frågeställningen

- Hur ska konceptet konstrueras så att alla nuvarande komponenter får plats utan att cykelvagnens maxbredd överstigs?
- Kommer det framtagna konceptet göra att cykelvagnen inte tippas över vid körning rakt över en trottoarkant samt vid sväng över trottoarkant?
- Kommer det framtagna konceptet ge önskade vägegenskaper vid användning?

1.5 Företagsintroduktion

AFRY grundades i Malmö år 1895 och var Sveriges första industriförening som hade i syfte att utföra täta kontroller av säkerheten hos ånggeneratorer för att förebygga industriella olyckor. Föreningen fick då namnet Södra Sveriges Ångpanneförening. År 2019 samverkade svenska ÅF och finländska Pöyry som bildade det nya varumärket AFRY. Idag är AFRY ett internationellt ingenjör-, design- och rådgivningsföretag där verksamheten har projekt i över 100 länder med över 18 000 anställda globalt. De driver digitalisering och har ett starkt fokus på hållbara lösningar inom energi-, infrastruktur- och industrisektorn över hela världen, (*Om Oss, AFRY, 2019*).

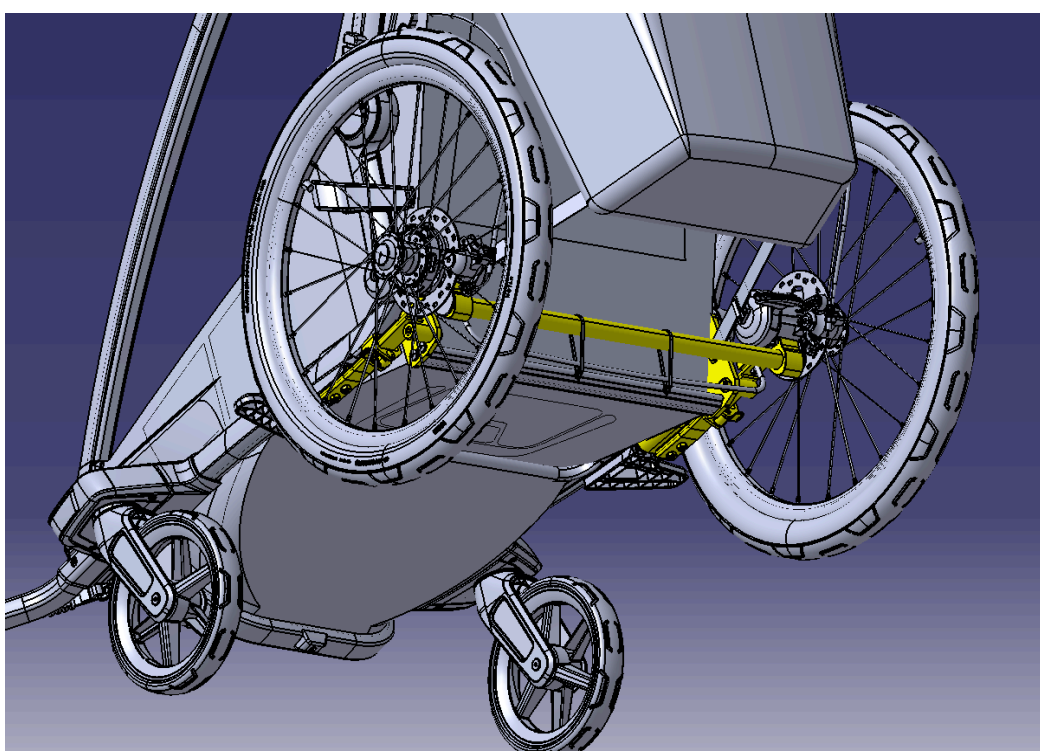
Thule grundades i Hillerstorp år 1942, där de fortfarande håller till. Företagets fokus är att “konstruera och utveckla kvalitetsprodukter som hjälper dig att transportera dina saker vart än dina intressen leder dig”. De blev som mest kända år 1962 när det första takräcket tillverkades men tillverkar idag många olika produkter för de människor som har en aktiv vardag. Exempel på produkter som kan hittas hos Thule är takboxar, räckan, barnvagnar, cykelvagnar, bilbarnstolar, väskor, tält och biltält, (*Det Här Är Thule, Thule, 2025*).

2. Problemställning

I detta kapitel beskrivs det grundläggande problemet som Thule har med den nuvarande hjulupphängningen på Chariotvagnen. Det beskrivs också hur AFRYs grundkoncept ser ut och vad som behöver behandlas för att kunna integrera konceptet i Thules design.

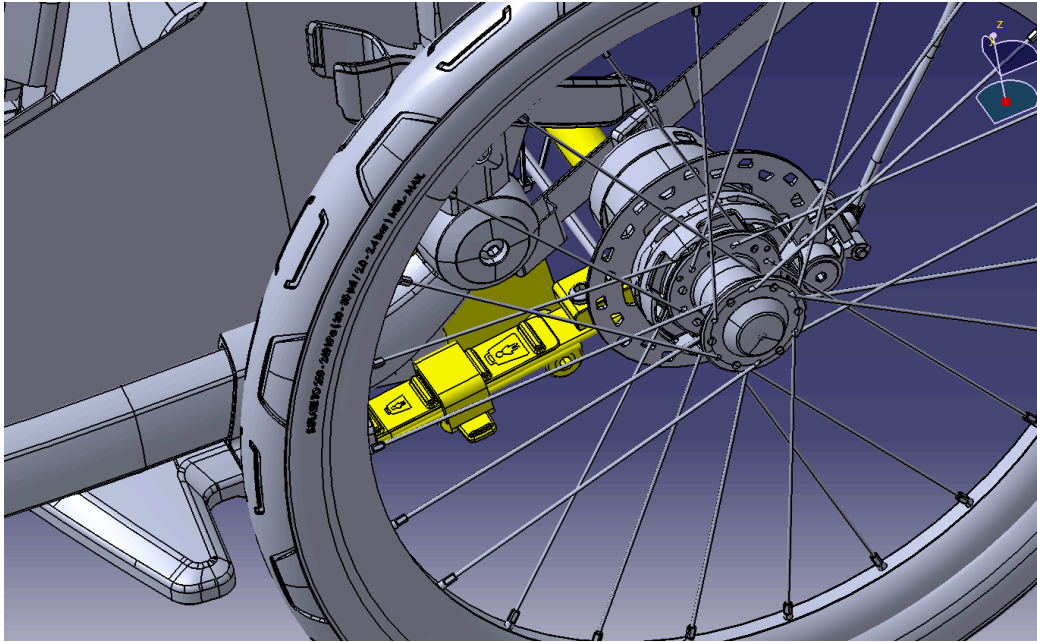
2.1 Chariotvagnens befintliga hjulupphängning

I nuläget har Thules Chariotvagn en bakhjulsupphängning där båda bakhjulen är monterade på en stel, enhetlig bakaxel, se figur 3. Detta innebär att hjulens rörelse är beroende av varandra. Genom undersökningar av vagnens köregenskaper har det identifierats att den stela bakaxeln bidrar till en ökad vältrisk. Mer specifikt uppstår stor risk för vältning vid körning på cirka 15 km/h rakt över en trottoarkant samt vid sväng över trottoarkant.



Figur 3: Thules befintliga hjulupphängning (gul)

För att säkerhetsställa stabiliteten och dämpningen vid körning på ojämnt underlag finns det på vardera sida en bladfjäder monterad på cykelvagnens chassi, se figur 4. Bladfjädern består av två fjäderband och har tre olika justerbara lägen, som anpassas efter vilken last som vagnen belastas med. Vid högre laster krävs en styvare fjädring för att bibehålla stabiliteten, medan vid lägre laster är det lämpligare med en mjukare fjädring. Trots denna justerbarhet har konstruktionen inte visat någon tydlig dämpande effekt i praktiken.

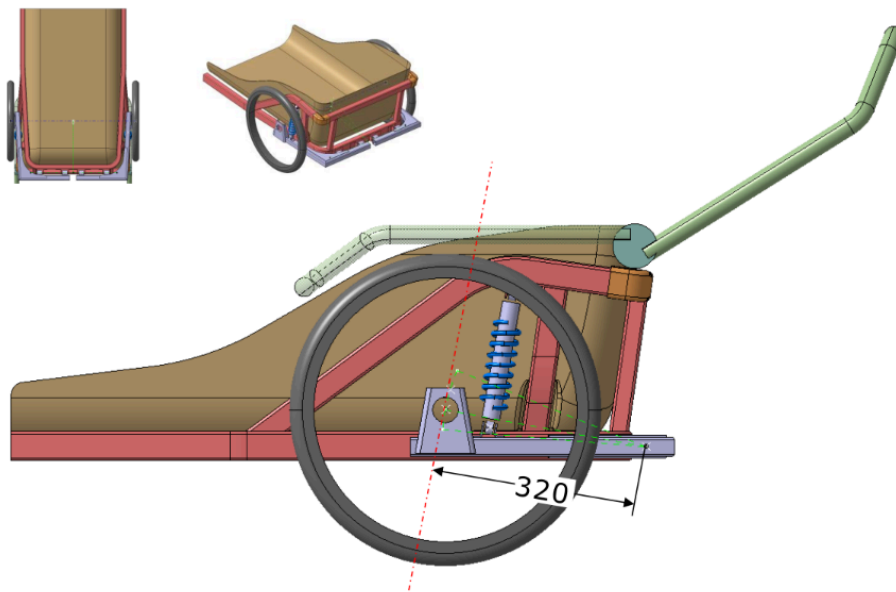


Figur 4: Bladfjäder på Chariotvagnen

2.2 AFRYs koncept

Konceptet som AFRY har tagit fram, se figur 5, har två länkarmar med individuell hjulupphängning. Avståndet 320 mm är från hjulets centrum till lagringen för länkarmen, som därmed är rotationscentrum för hjulets rotationsrörelse. Fjädringens rörelse, påverkad av ett hjuls rörelse, går 8° kring lagringen på länkarmen relativt vägbanan.

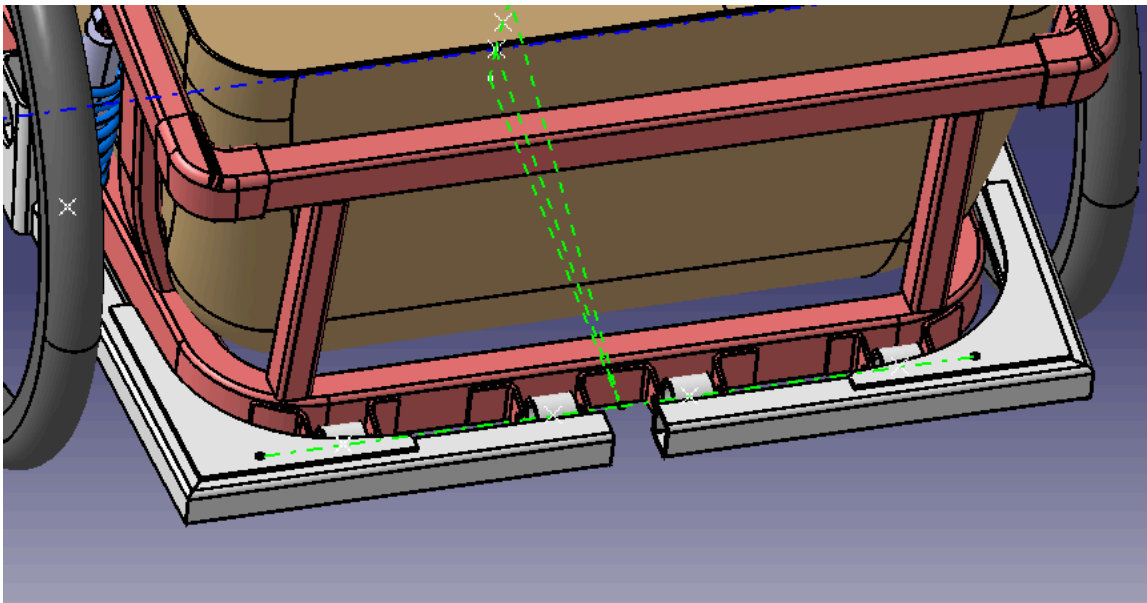
Att hjulupphängningen är individuell minskar risken att cykelvagnen välter vid körfall där endast ena hjulet är påverkat. Till exempel om cykelvagnens ena hjul skulle köra på en trottoarkant kommer det andra hjulet inte behöva påverkas av den rörelsen.



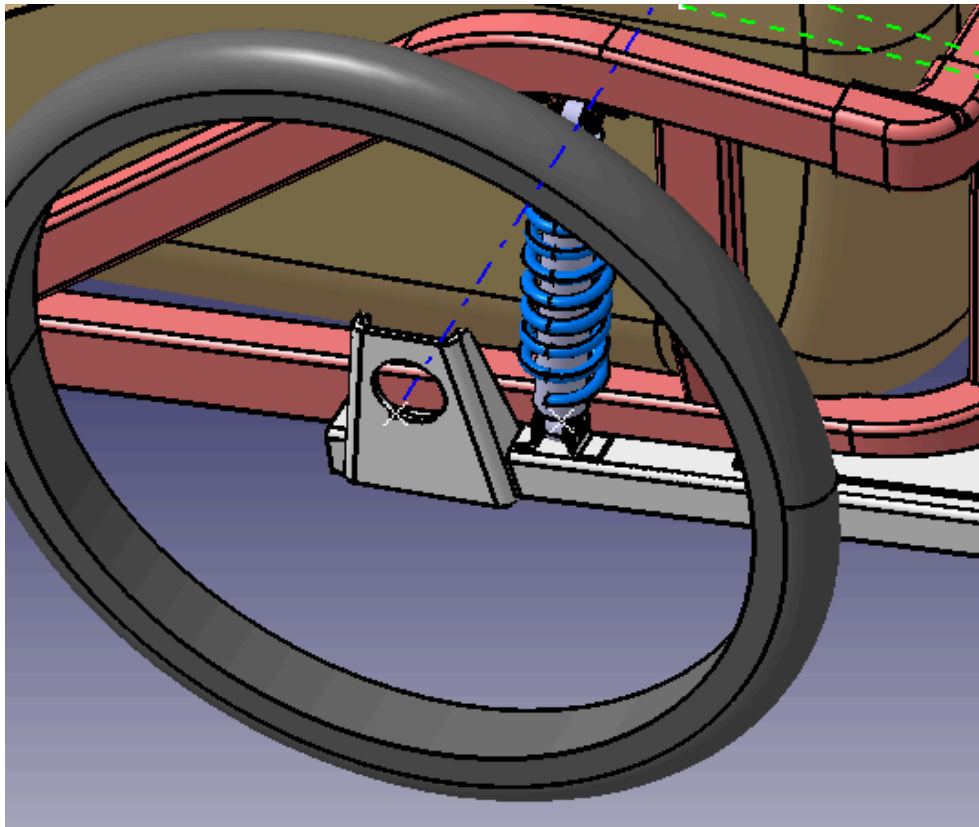
Figur 5: AFRYs koncept

Den 8° rörelsen kring axeln på länkarmen relativt vägbanan var viktig för konceptet. Det var viktigt med avseende på komfort och vägegenskaper som förbättras avsevärt med den typen av rörelse, då det blir som att hjulet rullar över hindret istället för att hjulet trycks rakt upp mot vagnen. Den 8° hjulrörelsen är något som Thules nuvarande design saknar men som de önskar att ha.

De ingående delarna i konceptet som AFRY har tagit fram är en bottenram runt sittdelen/baljan, länkarmar, länkarmslagring och konsoler för hjulet på länkarmarna. Det är också placerat ett fjäderben på varje sida, fjäderbenet går det att läsa mer i detalj om i avsnitt 3.4. Länkarmarna med lagring visas i figur 6 och hjulkonsolen visas i figur 7. Det som visas tydligt i dessa figurer är att grundkonceptet, speciellt hjulinfästningen, inte är konstruerat och anpassat för Thules Chariotvagn. Detta utgör den centrala delen av projektet och kommer att behandlas i avsnitt 3.



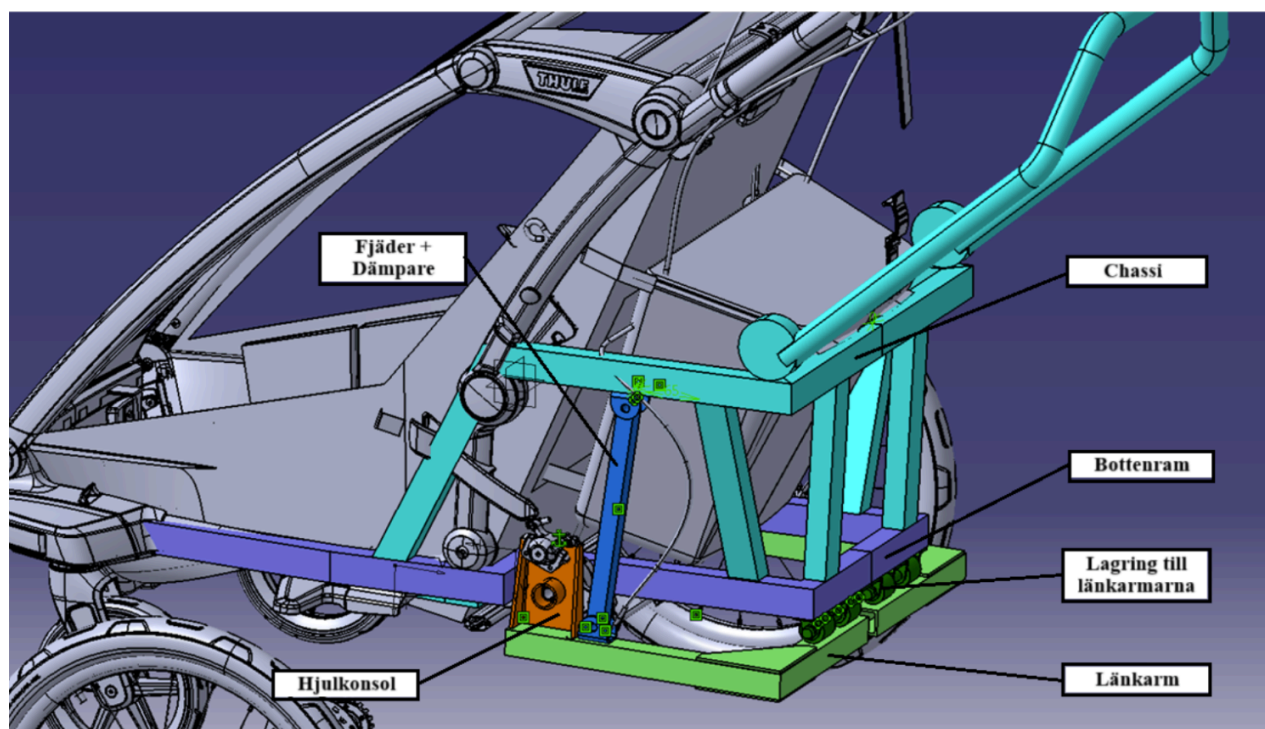
Figur 6: Länkarmarna i AFRYs grundkoncept (grå)



Figur 7: Hjulconsolen i AFRYs grundkonceptet

3. Integrering och utveckling av grundkoncept

I följande kapitel beskrivs det hur AFRYs grundkoncept har utvecklats och anpassats för Thules Chariotvagn. De viktigaste ingående delsystemen i framtaget koncept visas i figur 8 och beskrivs i de kommande avsnitten. Modelleringen av komponenterna utfördes i CAD-programmet *CATIA V5* (Dassault Systèmes, 2023).

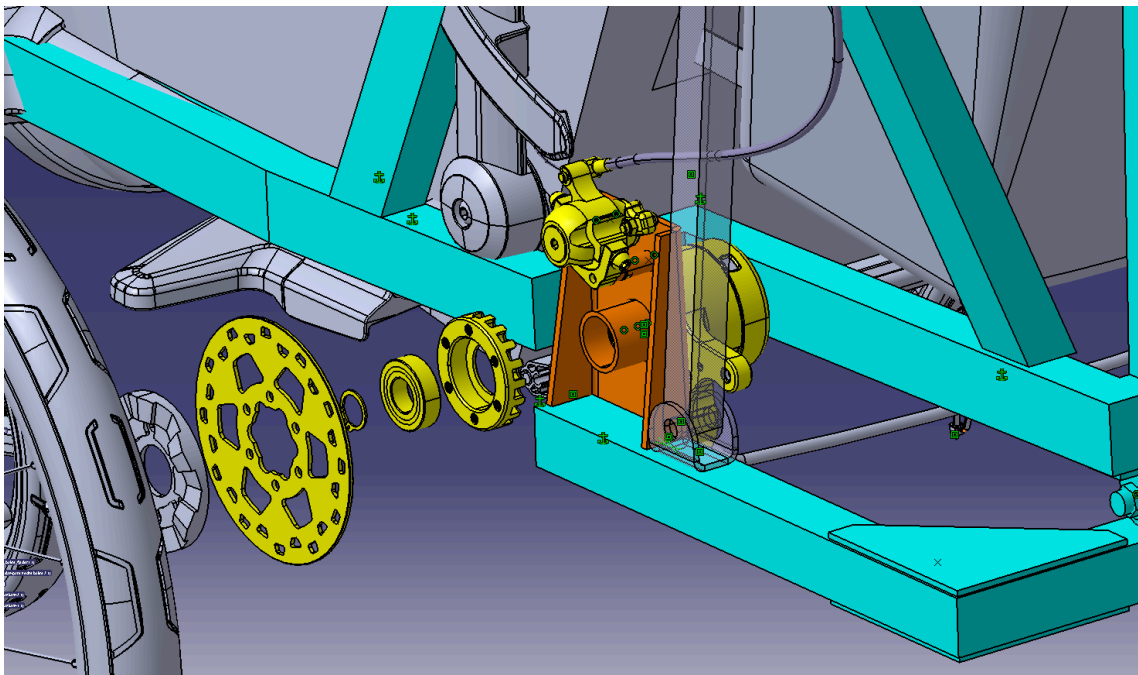


Figur 8: Det slutliga konceptets huvudsakliga delsystem

3.1 Hjulconsol

I det framtagna konceptet från AFRY har det inte genomförts någon analys på hur lösningen ska monteras in i hjulinfästningen på Chariotvagnen. I konceptet finns det en hjulconsol som visar vart hjulet är tänkt att placeras, detta beskrivs i avsnitt 2.2, se figur 7 (*“Hjulconsolen i konceptet”*). Däremot tar konsolen inte hänsyn till alla hjulkomponenter Chariotvagnen består av. De centrala hjulkomponenterna som är viktiga att ta hänsyn till är hjulnav, broms med bromsskiva samt kullager med tillhörande kullagerhus som visas i figur 9, där dessa delar är markerat i gult.

Med anledning till detta har det genomförts en idégenereringsprocess på hur hjulconsolen kan konstrueras om. Den framtagna lösningen bygger vidare på AFRYs ursprungliga utformning men är i detta fall omvänt placerad, se figur 9, markerat i orange. Anledningen till att den vändes var för att alla roterande hjulkomponenterna skulle kunna vara på ena sidan, då de är ihopmonterade med gemensamma skruvar. På hjulconsolen finns det även tillhörande distanskomponenter, i form av *“distansklossar”* för bromsen samt en distansbricka för alla roterande delar. Syftet med distanskomponenterna är att ge god marginal för bromsskivan att kunna rotera fritt utan att kollidera med länkarmen.

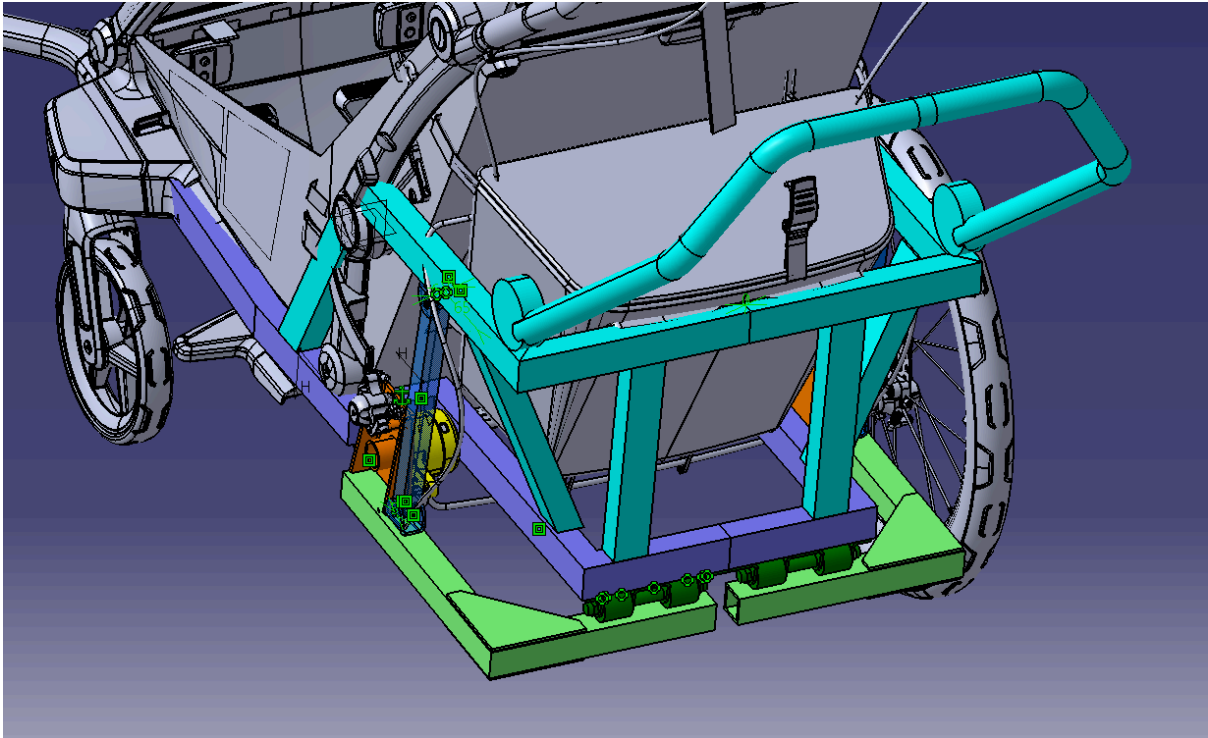


Figur 9: Hjulkomponenter på Chariotvagnen (gul), samt hjulkonsol (orange)

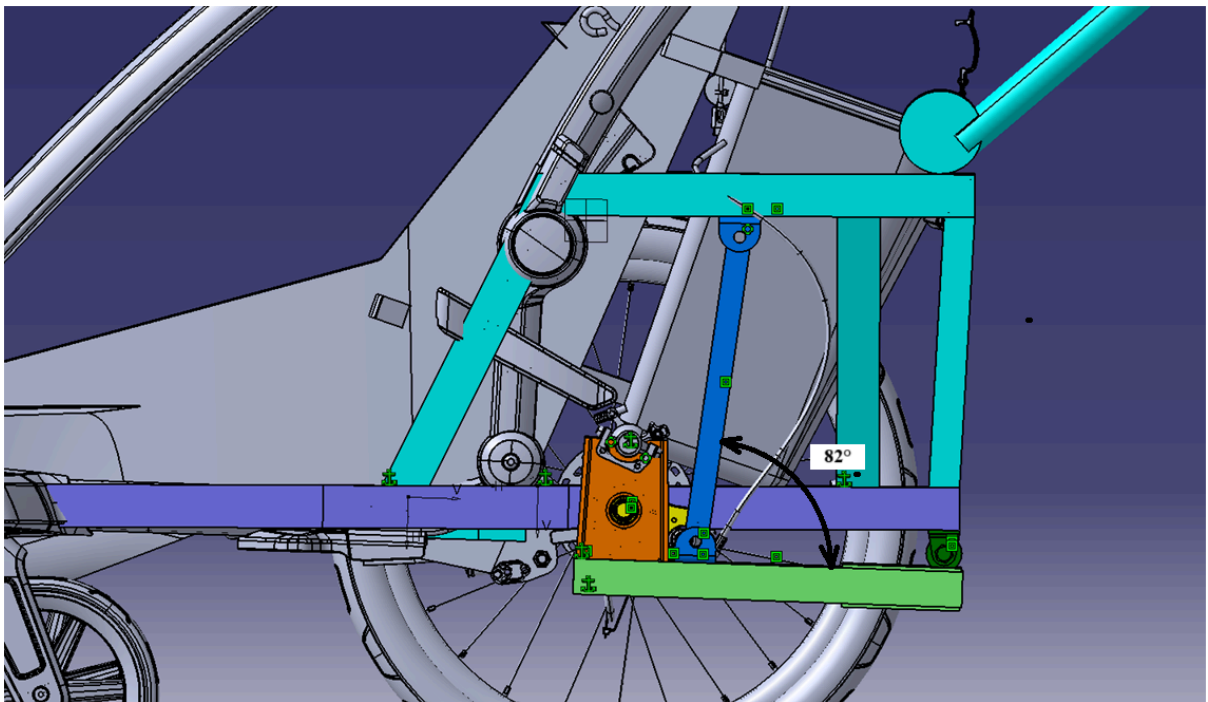
3.2 Bottenram och Chassi

För att skapa utrymme för hjulnavet har bottenramen konstruerats om, se figur 10, markerat i lila. Bottenramen är utformad med en krökning där den följer sittdelen på vagnen och sedan smalnar av baktill på cykelvagnen. Syftet med att smalna av bottenramen bakom cykelvagnen är att kunna flytta in hjulnavet. Hjulnavet är fördelaktigt att flytta in på grund av att cykelvagnens totala bredd inte ska överstiga den maximalt tillåtna bredden hos dubbelvagnen. Detta projektet har skalats ner till singelvagnen enbart men den totala bredden på dubbelvagnen är ändå viktig att ha i åtanke då måttet på bredden är ett krav från Thules sida.

De övriga ramdelarna som chassit består av är markerat i turkost, se figur 10. De är utformade så att fjäderbenen kan monteras fast och ge önskad fjädringsrörelse. För att få den önskade rörelsen på fjädern placeras den 8° lutad bakåt mellan länkarm och chassit, se figur 11. Även handtaget placeras om och hamnar uppe på ramen, se figur 10. Handtaget hamnar därmed längre bak i jämförelse med dess ursprungliga placering. Denna placering gör att användaren inte riskerar att slå i vagnen vid gång eller löpning.



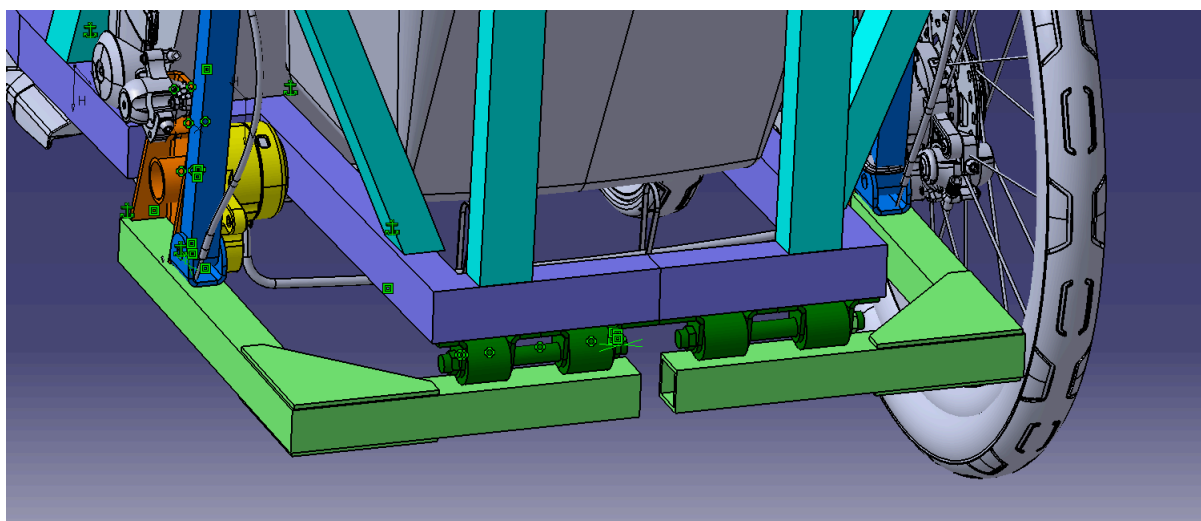
Figur 10: Bottenram (lila), hjulnav (gul) och chassit (turkos)



Figur 11: Fjäder (mörkblå) och dess placering, samt länkarm (ljusgrön)

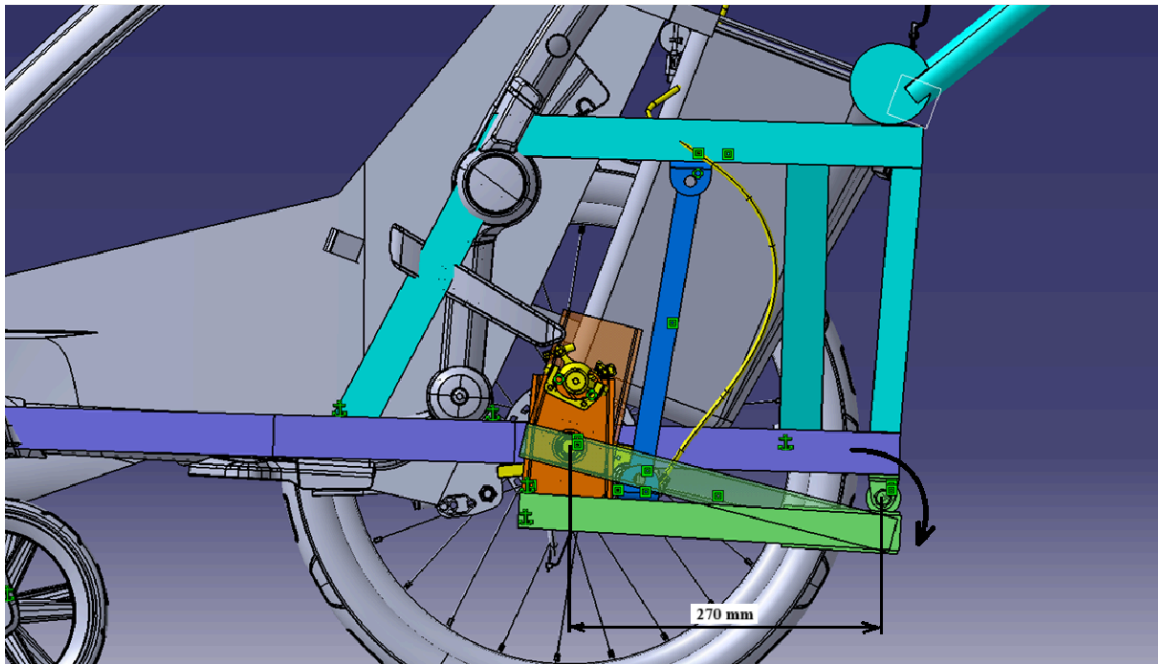
3.4 Länkarm

De två länkarmarna styr hjulrörelsen så att hjulen kan röra sig oberoende av varandra, se figur 12, markerat i ljusgrönt. Länkarmarna är fastmonterade till en lagring som utgör dess rotationscentrum, se figur 12, markerat i mörkgrönt. Det som har konstruerats om på länkarmarna är dess längd och på länkarmslagringen dess position. I AFRYs koncept har länkarmen en längd på 320 mm mellan hjulcentrum och länkarmens rotationscentrum. Måttet är inte baserat på några beräkningar utan på principen att försöka få en så lång hävarmslängd som möjligt. Detta för att få till en önskad hjulrörelse vid infjädring samt en bra dämparutväxling med en given dämparposition.



Figur 12: Länkarmarna (ljusgrön), länkarmslagring (mörkgrön)

Längden 320 mm innebär att länkarmarna kommer att sticka ut cirka 320 mm bakom vagnen där användaren har benen vid gång. Anledningen till placeringen bakom vagnen är att få till den önskade rörelsen 8° kring lagringen på länkarmen relativt vägbanan. Nackdelen med det är att användaren, vid gång eller löpning med vagnen, kan riskera att slå i benen. Eftersom länkarmens längd inte är baserat på några beräkningar utan dess rörelsemönster har längden mellan rotationscentrum och hjulcentrum kortats ner med 50 mm. Detta resulterar i ett något förändrat rörelsemönster, samt dämparutväxling men huvudprincipen kvarstår. För att vinna mer fritt utrymme har länkarmens rotationscentrum även flyttats under bottenramen istället för bakom, se figur 13.



Figur 13: Länkarm (grön), placerad under bottenram och förkortad hävarm, 270 mm.

3.4 Fjäder och dämpare

För att hitta en fjäder som skulle vara bra till en prototyp har AFRY gjort grundläggande beräkningar. Detta är beräkningar som har gjorts på en dubbelsitsig cykelvagn. Resultatet av de beräkningarna som gjordes var att den bästa kombinationen fjäder och dämpare till detta koncept skulle vara en "coilover shock", se figur 14. Detta är då en dämpare med en fjäder utanpå. Det har tagits fram en fjäderkonstant och en dämpningskonstant på fjäder respektive dämpare. Fjäderkonstanten är 3500 N/m och dämpningskonstanten är 340 Ns/m.



Figur 14: Coilover shock

Önskemålet från Thule är att samma fjäder och dämpare ska kunna användas till både enkel- och dubbelsitsiga cykelvagnen. Detta kommer att kräva att det finns en funktion på fjäderbenet där man kan reglera styvheten på fjädern i framtiden. Beräkningarna hos AFRY är gjorda på den dubbelsitsiga cykelvagnen som har högre laster på sig än den enkelsitsiga. Därför har det i sökandet efter fjäder och dämpare till prototypen kollats på lägre värden, en fjäderkonstant på cirka 2900 N/m och dämpningskonstant på cirka 280 Ns/m.

Det har kontaktats och sökts bland många olika företag inom flera olika branscher. Exempel på områden som det har letats inom är cykel, mountainbikes, mopeder, motorcyklar och bilar. Trots det breda sökandet har det inte hittats något fjäderben som är så nära de värden som man önskat. Många av företagen har inte heller dessa uppgifter på sina produkter utan endast uppgifter om vilken typ av fordon de passar till. Detta resulterade i att det krävs att man specialtillverkar fjäder och dämpare för att få fram ett optimerat fjäderben med exakt rätt egenskaper och mått. Eftersom detta projekt endast ska leda till test av en prototyp på själva funktionen i konceptet skulle det inte heller löna sig att specialtillverka en fjäder och dämpare. Av den anledningen har valet fallit på ett fjäderben till en moped där fjäderbenets totallängd passar in i konceptet och slaglängden inte är alltför kort. Valet av fjäderben kan ses i figur 15.



Figur 15: Valt fjäderben

För att kunna få bättre resultat har det vid sidan om fjäderbenet beställts två fjädrar som ska bytas ut mot den fjäder som sitter på fjäderbenet. Alltså finns det tre olika alternativ på fjäderben att testa, den som redan sitter på och två andra fjädrar med olika fjäderkonstanter. Den ena fjädern har fjäderkonstanten 2900 N/m och den andra har fjäderkonstanten 3300 N/m. Fjäderkonstanten på fjädern som redan satt på fjäderbenet fanns det ingen information om och hann inte heller mätas upp under testerna.

4. Framtagning av prototyp

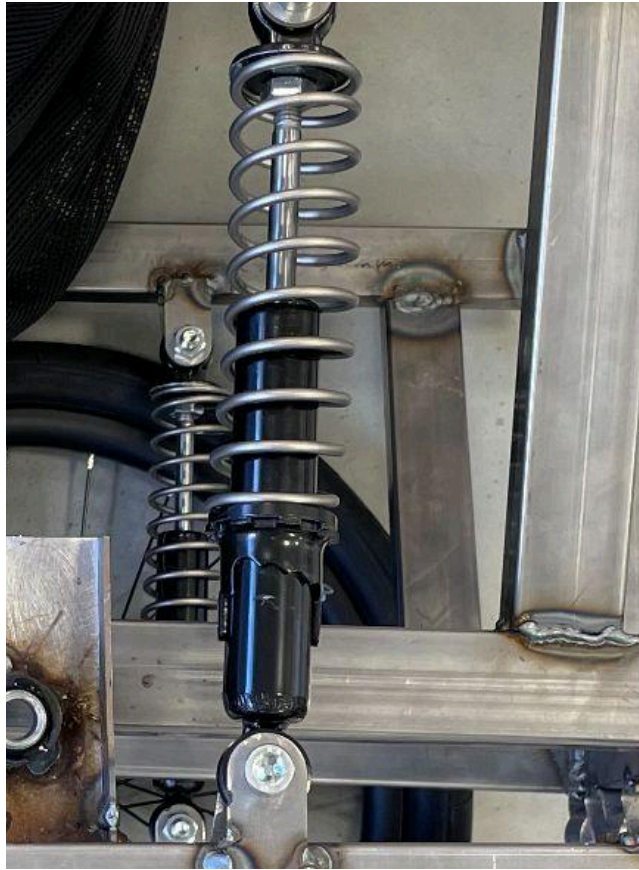
Detta kapitel beskriver framtagningsprocessen av prototypen samt hur den integreras i Chariotvagnen. Det beskrivs även ändringar som har gjorts på Chariotvagnen för att möjliggöra integrationen, samt vilka delar som tagits bort som är irrelevanta för att testa konceptets funktion.

4.1 Prototyp tillverkning

Tillverkningen av prototypen skedde på prototypavdelningen hos Thule. Som underlag till prototypbygget gjordes detaljritningar och en BOM-lista, kan ses i bilaga 1-16. Prototypen var från början tänkt att tillverkas i aluminium som skulle svetsas samman med Chariotvagnens befintliga ram men på grund av olika aluminium kvaliteter gick det inte att genomföra svetsningen. Av den anledningen har prototypen istället tillverkats i stål. Även dimensionerna på stängerna ändrades lite då materialet ändrades. Resultatet av prototypen kan ses nedan i figur 16 och 17. Fjäderbenet med 8° lutning kan ses i figur 18. Den fjäder som användes under testerna var den med fjäderkonstanten 3300 N/m då den på 2900 N/m var alldeles för mjuk och den fjäder som satt på fjäderbenet var för styv.



Figur 16 och 17: Prototyp integrerat i Chariotvagn



Figur 18: Fjäderben med fjäderkonstant 3300 N/m på prototyp

4.2 Integrering av prototyp i Chariotvagnen

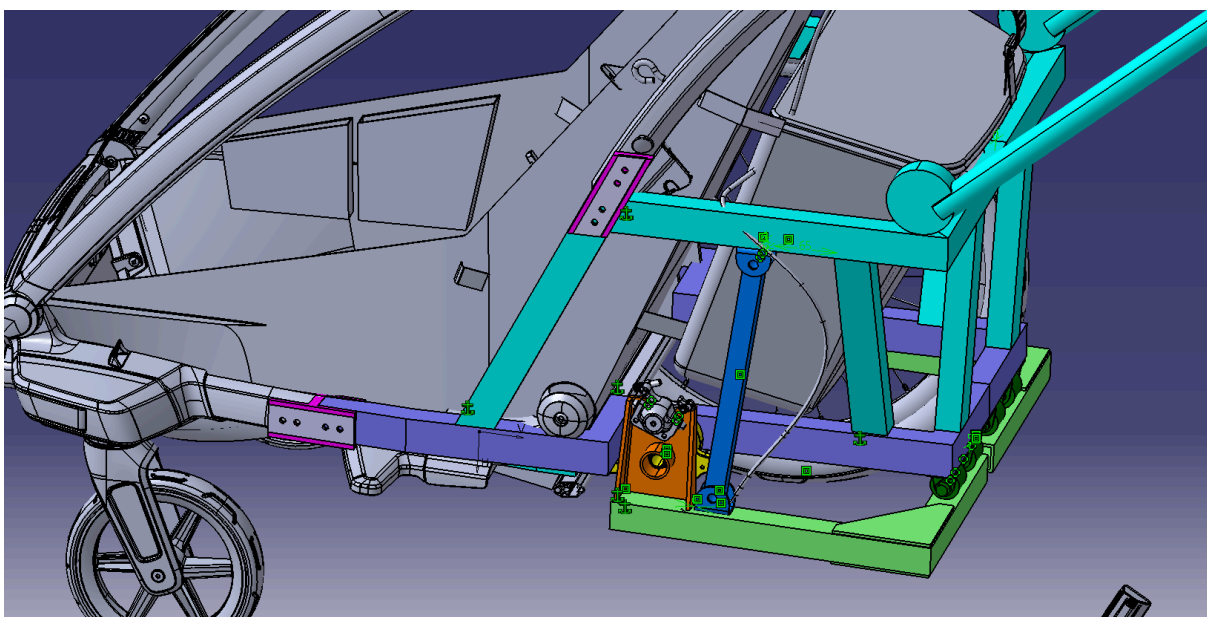
För att kunna genomföra tester av prototypen och få in prototypen i den befintliga vagnen så krävdes det vissa ändringar på Chariotvagnen. Till att börja med togs bort Chariotvagnens befintliga ramdelar av samt att hjulupphängningen togs bort för att sedan ersättas av den nya hjulupphängningen/konceptet. För att montera in hjulet i konceptet har hjulaxeln tagits ut ur hjulnavet, detta för att fortfarande kunna fästa in hjulet i hjulaxeln. Hjulaxeln monterades fast i konceptets hjulkonsol, enligt figur 19 och 20, med hjälp av en lagerhylsa. Till en början var tanken att alla hjulkomponenterna skulle vara med i prototypen, det vill säga hjulnav, broms med bromsskiva samt kullager med tillhörande kullagerhus Dessa komponenter ansågs för tillfälligt inte vara nödvändiga för att testa huvudfunktionen och därmed togs de inte med i prototypen för att spara tid. Konceptet är däremot utformat för att ge utrymme för dessa komponenters montering med.



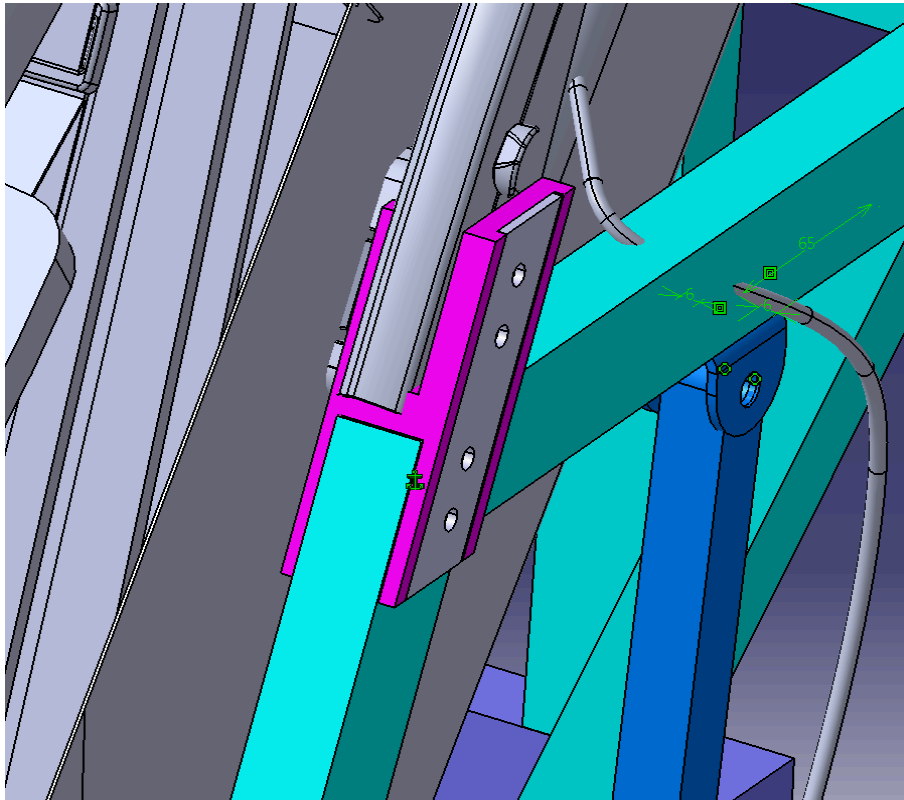
Figur 19 och 20: Hjulaxelns placering i hjulkonsolen

För att kunna montera prototypen på Thules befintliga Chariotvagn behövdes det en lösning på infästningen. Infästningen gäller två ställen, nedre infästning och övre infästning. Detta är då bara en tillfällig monteringslösning för att få ihop de två ramarna så att testerna ska vara möjliga att utföra.

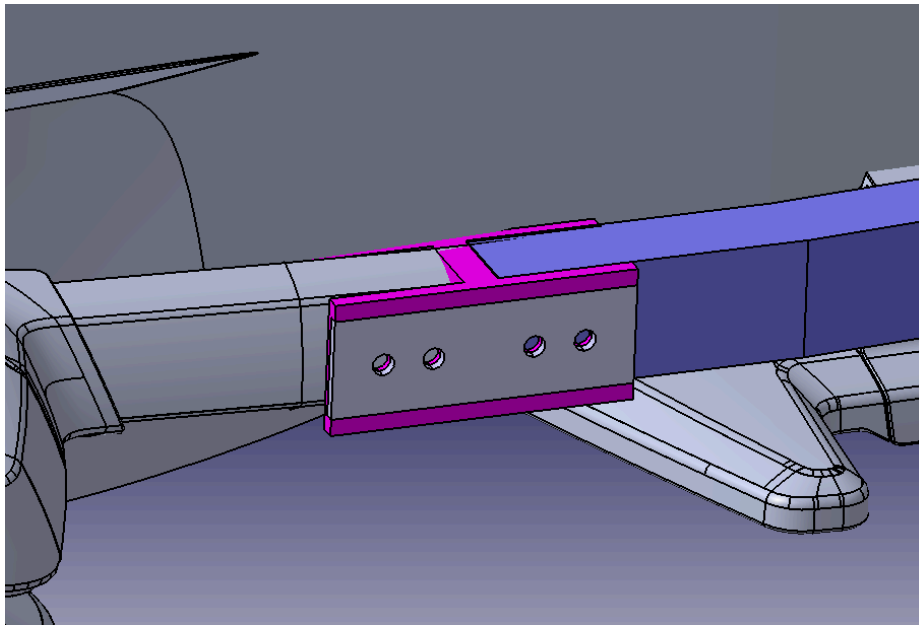
Det slutgiltiga resultatet på infästning av prototypen vid testerna blev två adaptrar som går utanför ramarna, se figur 21. Det rosa på adaptrarna är 3D-printad plast och det gråa utanpå det rosa är plåtplattor. Att det valdes att lägga till plåtplattor utanpå var på grund av att säkerställa att prototypen skulle sitta ihop med Chariotvagnen under testerna då det 3D-printade materialets hållfasthet var osäkert. Adaptrarna monteras på ramarna med 4 skruvar vardera. För att se tydligare hur adaptrarna ska monteras fast se figur 22 för övre infästning och figur 23 för nedre infästning. I verkligheten kapas Chariotvagnen och prototypens ram av utefter vart adaptrarna ska sitta. Hur adaptrarna ser ut i verkligheten kan ses i figur 24 och 25.



Figur 21: Koncept med adaptrar (rosa)



Figur 22: Adapter för övre infästning



Figur 23: Adapter för nedre infästning



Figur 24 och 25: Adaptrar i verkligheten

5. Utförda tester och resultat

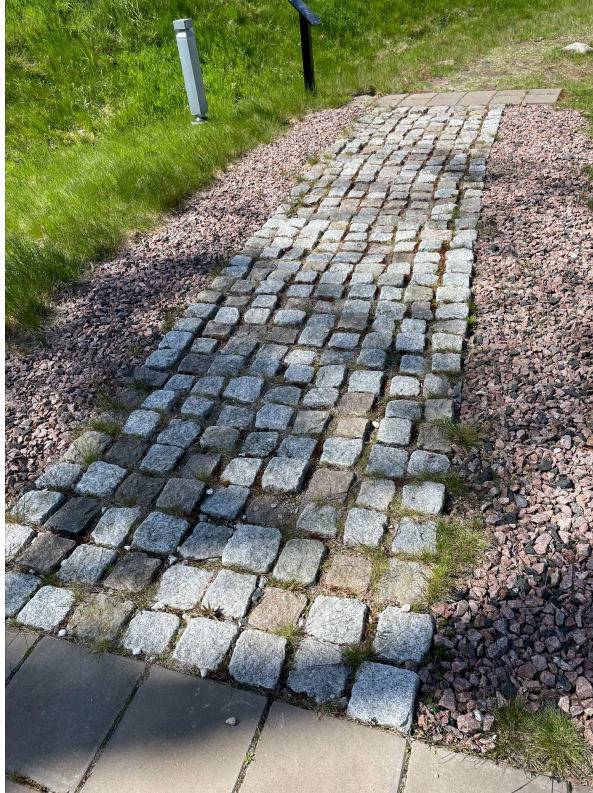
I följande kapitel presenteras fyra olika tester som utförts för att utvärdera konceptets funktion, samt resultaten från dessa tester. För att göra resultaten så verklighetstroga som möjligt placerades en last i vagnen under alla tester i form av en docka. I alla test förutom “drumtestet” användes en docka som väger 22,7 kg, i drumtestet användes en docka på 27 kg, se figur 26 och 27.



Figur 26 och 27: Testdocka 22,7 kg (vänster) och testdocka 27 kg (höger)

5.1 Testbana

Det första testet som gjordes var att cykla med cykelvagnen på Thules testbana. Det är en bana som är byggd för att testa deras produkter i varierande terräng. Där utsätts cykelvagnen för olika körfall som skulle kunna uppstå vid vardaglig användning, se figur 29 för kullersten på banan och 28 för sten på banan. Det som kontrolleras i detta testet är hur bra köregenskaperna i konceptet fungerar, så att det blir en så komfortabel resa som möjligt för passageraren i cykelvagnen. Detta test gjordes för att se hur prototypen beter sig vid körning på olika underlag innan den utsätts för de tuffare testerna.



Figur 28: Testbanan, kullersten



Figur 29: Testbanan, sten

Resultatet av testet på testbanan var att vagnen betedde sig ungefär som förväntat. Det som däremot upptäcktes under detta test var att hjulen lutar utåt, positiv camber, speciellt det högra hjulet. Detta var på grund av tillverkningen och kan vara en bidragande faktor till oönskade köregenskaper i de kommande testerna. Det bedöms däremot inte påverka så mycket att de resterande testerna skulle vara oanvändbara.

5.2 Körning rakt över en trottoarkant

Det andra testet som utfördes var körning rakt över en trottoarkant, se figur 30. Detta gjordes för att testa den andra frågeställningen i avsnitt 1.4 "Kommer det framtagna konceptet göra att cykelvagnen inte tippas över vid körning rakt över en trottoarkant samt vid sväng över trottoarkant?". Detta togs med i frågeställningen på grund av att den nuvarande designen på Chariotvagnen har det som en svag punkt. Det är en svag punkt på den nuvarande vagnen då den har en stark tendens att välta vid körning då ena sidan stöter i en trottoarkant. Tanken är såklart inte att cykelvagnen ska användas över trottoarkanter men för att ha en så säker produkt som möjligt är det ändå ett önskemål att den ska klara av det, då det av misstag kan hända.



Figur 30: Körning rakt över trottoarkant

Testet utfördes med prototypen på en elcykel för att enkelt kunna hålla koll på vilka hastigheter som testades. Den första hastigheten som testades var 5 km/h. Vid varje klarad hastighet ökades hastigheten. Detta gjordes tills man hittade hastigheten där prototypen inte längre klarade testet. Vid ett första test på 23 km/h välte den men vid andra försöket klarade prototypen 23 km/h, vilket diskuteras i kapitel 6. Detta resulterade i att hastigheten ökades upp till 25 km/h och prototypen klarade den hastigheten också. Trots att prototypen klarade den hastigheten så ökades det inte mer efter det. 25 km/h anses vara den högsta hastigheten som cykelvagnen ska klara av i detta. Skulle man köra snabbare än så räknas det som

vårdslös körning. Detta resultat går att jämföra med den befintliga Chariotvagnen som välte vid samma test när hastigheten var cirka 5 km/h.

5.3 Körning med sväng över en trottoarkant

Det tredje testet som utfördes var körning över en trottoarkant med en sväng. Även detta gjordes för att få svar på den andra frågeställningen i avsnitt 1.4 “Kommer det framtagna konceptet göra att cykelvagnen inte tippas över vid körning rakt över en trottoarkant samt vid sväng över trottoarkant?”. Precis som i det föregående testet var detta en fråga på grund av att det vid körning över en trottoarkant finns en vältrisk i den nuvarande vagnen. Anledningen till att det testas med en sväng över en trottoarkant också är för att testa fallet att runda en trottoarkant och råka snedda över den, se figur 31, då detta är något som kan råka ske vid användning. Testet gjordes både med högersväng och vänstersväng.



Figur 31: Körning med sväng över trottoarkant

Den första hastigheten som testades i detta test var 5 km/h. Prototypen klarade den hastigheten och sedan även 7 km/h i en vänstersväng. I hastigheten 8 km/h med en vänstersväng välte prototypen. I testet med en högersväng klarade prototypen hastigheten 10 km/h och välte vid 12 km/h. Detta går då att jämföra med den nuvarande vagnen som välter vid en hastighet på cirka 5 km/h. Att det är olika resultat beroende på vilket håll man svänger kan bero på flera olika saker. Dessa presenteras och diskuteras senare i kapitel 6.

5.4 Drumtest

Det fjärde och slutgiltiga testet som gjordes var att köra prototypen i Thules drumtest-maskin som finns på Thules testcenter. Det är en roterande trumma med 35 mm höga hinder monterade på utsidan av trumman, se figur 32 och 33. Den arm på Chariotvagnen som i vanliga fall är kopplad till cykeln kopplas fast vid drumtestet, se prototypen i maskinen i figur 34 och 35.

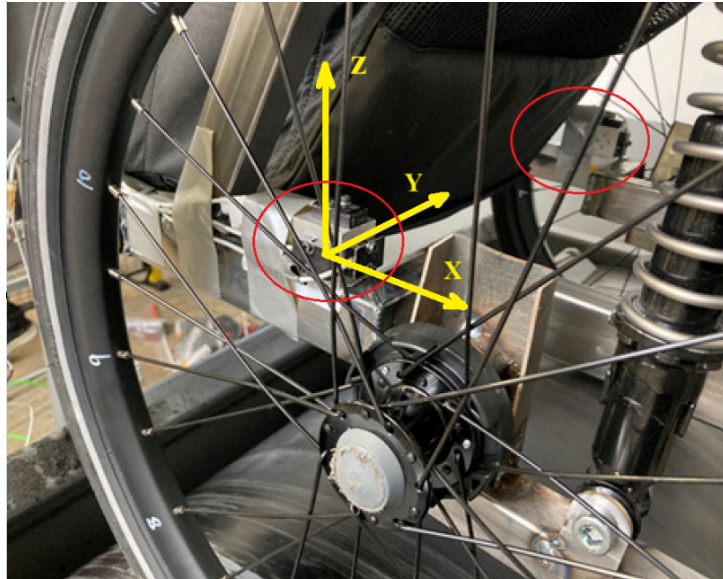


Figur 32 och 33: 35 mm höga hinder, samt hindren monterat på trumman



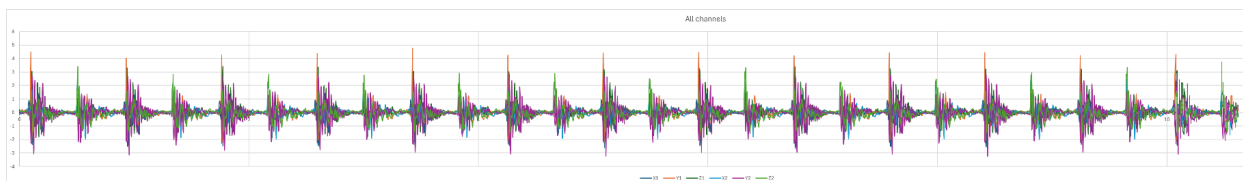
Figur 34 och 35: Prototyp i drumtest maskin

Med dessa hinder går det att se hur rörelsen hos bakhjulen beter sig och även mäta vagnens rörelse. Rörelsen på vagnen mäts i x-, y- och z-led med hjälp av två accelerometrar utplacerade på prototypens bottenram så nära hjulcentrum som möjligt, se figur 36. Mätvärden uppmättes vid körning i en hastighet, tillika trummas periferihastighet, på 12,5 km/h under 10 sekunders körning, där vagnen är lastad med en testdocka som har vikten 27 kg.

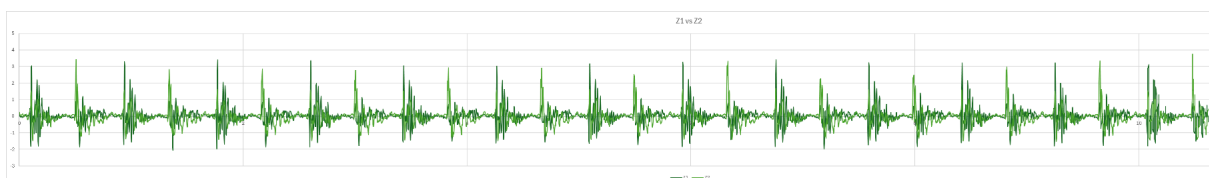


Figur 36: Accelerometer placering samt mättnings riktningar

De uppmätta värdena som accelerometrarna har fått ut i alla riktningar redovisas i figur 37 som funktion av tiden. X1, Y1 och Z1 motsvarar riktningarna för det vänstra hjulet medan X2, Y2 och Z2 är riktningarna för det högra hjulet. Den mest intressanta mätningen för att utvärdera funktionen hos konceptet är i z-led eftersom det är i den riktningen hjulcentrum rör sig mest och har stor betydelse på vagnens beteende, se figur 38. Det är även i den riktningen dämpningen kan analyseras. Det som kan läsas av från diagrammet är dämpningens beteende över tid, se figur 38. Positiva värden indikerar på hjulens uppåtgående rörelse vid körning över ett hinder och negativa värden motsvara hjulens nedåtgående rörelse. När ett hjul passerar ett hinder går det att läsa av att hjulens rörelse dämpas relativt snabbt. Detta kan jämföras med mätvärdena för en dubbelsitsig Chariotvagn, se figur 39.



Figur 37: Mätvärden i alla tre riktningar för båda hjulen



Figur 38: Mätvärdena i Z-riktningen hos det vänstra (Z1) och högra (Z2) hjulet hos prototypen



Figur 39: Mätvärdena i Z-riktningen hos den dubbelsitsiga Chariotvagen

6. Diskussion och slutsatser

I följande kapitel kommer diskussion av resultatet och diskussion av arbetet redovisas. Även dragna slutsatser presenteras i detta kapitel.

6.1 Diskussion

Att prototypen, i det test som presenterades i avsnitt 5.2, "körning rakt över en trottoarkant", klarade en mycket högre hastighet än den nuvarande vagnen finns det flera möjliga bidragande faktorer till. Till exempel så tillverkades prototypen i stål och i större dimensioner än vad som först var tänkt, på grund av de standard stänger som fanns. Detta gör att prototypen blev tyngre än den befintliga Chariotvagnen. Att den är tyngre gör också att den har större normalkrafter på hjulen vilket medför att vagnen inte välter lika lätt. Av den anledningen kan det bli lite missvisande att jämföra hastigheterna 5 km/h och 25 km/h men oavsett så klarade prototypen detta test bättre än Chariotvagnen. Det kan också finnas en felmarginal i resultatet på grund av att det är svårt att köra över trottoarkanten med exakt samma vinkel mot trottoarkanten varje gång. Att prototypen en gång inte klarade hastigheten 23 km/h går också att diskutera. Eftersom hjulen var lite sneda efter monteringen så korrigerades de inför varje test. Att den välte kan bero på att hjulen inte korrigerades inför just den körningen.

Faktorerna ovan, vikt och vinkeln vid körning rakt över en trottoarkant, gäller även för testet över en trottoarkant med sväng som presenteras i avsnitt 5.3. Det som också kan påverka testet i avsnitt 5.3 är det som upptäcktes på testet i avsnitt 5.1, att hjulen hade positiv camber, speciellt högerhjulet. Detta kan vara en stor bidragande faktor till att testernas resultat med sväng åt olika håll skilde sig. Vid vänstersvängen är det högra hjulet det som är i marken och om det då är vinklat utåt blir det mindre stabilt i det testet. Det går däremot inte att dra för stora slutsatser utifrån detta test. Hastigheterna som Chariotvagnen och prototypen klarade av var det inte så stor skillnad på. Dessa hastighetskillnader skulle då kunna bero på ovan nämnda faktorer, till exempel vinkeln i körningen.

I drumtestet som presenteras i avsnitt 5.4 redovisas accelerationsmätningar i hjulens z-riktning. Under närmare analyser på det inköpta fjäderbenet visade det sig att det enbart var skruvfjädersystemet som gav en dämpande effekt. Detta innebär att fjäderbenet endast dämpar i en riktning, vilket resulterar i ett studsigt beteende hos hjulet. Det tänkta fjäderbenet som skulle användas till konceptet var en coilover shock. Det som hade varit optimalt och som saknades i detta fjäderben var en dämpande effekt riktad nedåt som aktiveras efter att skruvfjädersystemet expanderat. Anledningen till att en coilover shock inte användes till detta koncept är som tidigare nämnt i avsnitt 3.4, att sökandet resulterade i att inget företag hade specifikationer på dämpnings- samt fjäderkonstant eller att önskad slaglängd inte var uppfylld. För att få ett fjäderben med de önskade dimensionerna hade man behövt specialtillverka fjäder och dämpare, vilket inte skulle vara inom tidsramen i detta fall. Trots att fjäderbenet inte arbetade som tänkt så kan man i graferna i figur 38 och 39 läsa av ett resultat. Den stora skillnaden mellan Chariotvagnen och prototypen är att prototypens svängningar stabiliseras snabbare. Chariotvagnens svängningar hinner inte stabiliseras innan nästa hinder kommer, vilket

prototypens svängningar gör. Det går också att se i testerna att det ena hjulet inte påverkas lika mycket när det andra kör över ett hinder som vid Chariotvagnen med en stel axel, vilket också var funktionen som ville uppnås med den individuella hjulupphängningen. Detta är alltså bra resultat för prototypen.

Prototypens stabilitet kan utvärderas och jämföras med den dubbelsitsiga Chariotvagnen med hjälp av videos från drumtestet. Jämförelsen görs med den dubbelsitsiga modellen eftersom videos redan fanns tillgängliga för denna, medan motsvarande videos för den ensitsiga Chariotvagnen saknades. På grund av tidsbegränsningar fanns det heller inte möjlighet att genomföra egna undersökningar i drumtestet på den befintliga ensitsiga vagnen. Vid jämförelse med prototypen och den dubbelsitsiga Chariotvagnen ser man att vid körning över ett hinder rör sig endast ena hjulet medan det andra hjulet inte påverkas hos prototypen. Vilket är den funktionen som vill uppnås med konceptet. Hos den dubbelsitsiga Chariotvagnen som har en hjulupphängning med en stel axel ser man att båda hjulen påverkas när endast ena hjulet körs över ett hinder. Den slutsats man kan dra utifrån detta är att vältricken är större hos den dubbelsitsiga Chariotvagnen. Det man måste ha i åtanke är att jämförelsen är mellan en dubbel- och ensitsig vagn. Detta innebär att stabiliteten i en dubbelsitsig vagn generellt sett är stabilare men det är hur en stel axel påverkar rörelsen på vagnen som är intressant. Genom att analysera videorna på prototypen kan man däremot se att även den är instabil i sidled. Detta kan bero på flera faktorer. Bland annat på snedinställningen på hjulen som gör körningen mer instabil men även fjäderbenets egenskaper, då endast fjädern gav effekt.

Sammanfattningsvis utefter resultaten på testerna går det att urskilja prototypens styrkor och svagheter. De två tydliga svagheter med konceptet som det är nu är att det är långt och tungt. Även det fjäderben som användes vid testerna är en svaghet då det visade sig att den inte hade någon dämpare som jobbade utan endast en fjäder.

Att konceptet innefattar en individuell hjulupphängning är den främsta styrkan med konceptet. Tack vare att endast det hjulet som utsätts för hinder är det hjul som påverkas. Vid en hjulupphängning på en och samma axel påverkas båda hjulen, även om endast ett hjul utsätts för ett hinder. En annan fördel och styrka med konceptet är att det innefattar ett fjäderben där man kan optimera fjädring och dämpning för önskade egenskaper, istället för en bladfjäder med begränsade möjligheter. Detta är en fördel då det är bevisat att den nuvarande bladfjädern inte ger de köregenskaper som önskas.

6.2 Slutsatser

- Konceptets funktion gav den förväntade hjulrörelsen.
- Den individuella hjulupphängningen gör att testet "körning rakt över en trottoarkant" klarades av bättre än den nuvarande Chariotvagnen.
- Den individuella hjulupphängningen medför att endast det hjul som är utsatt för ett hinder påverkas, vilket kunde observeras under testerna.

- Fjäderbenet som användes hade inte tillräckligt med dämpning och dämpade enbart i en riktning.

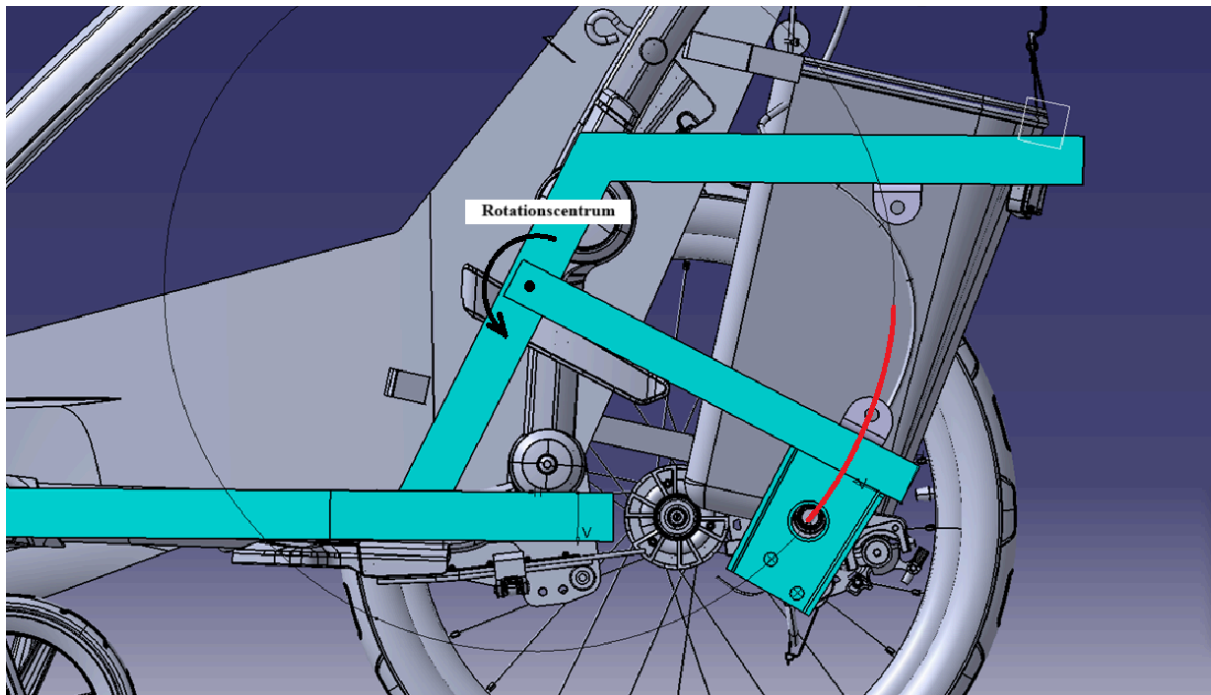
7. Vidareutveckling

Då AFRYs koncept från början inte var konstruerat och anpassat efter Thules vagn så var fokuset under hela projektet integrering av koncept. Det skulle in i Thules befintliga vagn för att möjliggöra ett prototypbygge. Detta betyder att det är väldigt tidigt i konstruktionsfasen vilket i sin tur leder till att det finns många möjligheter för förbättring och vidareutveckling.

Vid en eventuell vidareutveckling av konceptet skulle det först och främst vara fördelaktigt att optimera dämpare och fjäder efter önskade egenskaper. Det finns beräkningar på vilka fjäder- och dämpningskonstanter som var passande för konceptet. Detta var inget som kunde hittas, trots en bred sökinsats, utan fjäder och dämpare måste specialtillverkas. Eftersom projektets syfte inte var att utveckla det ultimata fjäderbenet valdes istället ett standard fjäderben med en acceptabel totallängd, men med begränsad tillgänglig teknisk information. Det valda fjäderbenets slaglängd var kortare än önskat och vid leveransen visade det sig dessutom att den saknade dämpning i ena riktningen, då endast skruvfjädern var aktiv. Alltså dämpade fjäderbenet endast i en riktning medan tanken var att den skulle dämpa i båda riktningarna. Detta betyder att konceptet har stor förbättringspotential genom optimering av dämpare och fjäder.

Ett orosmoment med konceptet är konceptets längd. Eftersom längden resulterar i ett mindre benutrymme för användaren finns det en risk att användaren slår i vagnen vid gång eller löpning. Hävarmens längd, avståndet från hjulets centrum till lagringen på länkarmen, är inte baserad på några beräkningar. Däremot är det fördelaktigt med en optimerad längd för att få rätt vinkel på hjulrörelsen samt möjlighet till en bra dämparutväxling. Eftersom att konceptet med hävarmen 270 mm som testades nu fungerade som tänkt skulle man kunna göra beräkningar på den minsta möjliga längden på hävarmen eller helt enkelt bara testa en kortare hävarm för att konceptet ska kunna kortas ner.

En annan möjlig vidareutveckling på det ovan nämnda problemet skulle kunna vara att vända på länkarmen så att dess rotationscentrum placeras framför hjulcentrum, se figur 40. Att placera rotationscentrum framför hjulcentrumt gör att bottenramen inte behöver byggas ut bakom vagnen, vilket i sin tur skulle ge användaren mer utrymme. Rotationscentrum placeras även högre upp så att länkarmen lutar snett nedåt. Detta gör att hjulens rörelse fortfarande har den önskade rörelsen kring länkarmslagringen som visas i figur 40, markerat med en röd linje.



Figur 40: Vidareutveckling, länkarmens rotationscentrum omplacerad

En sista rekommendation på vidareutveckling handlar om konceptets material och mått. Som konceptet testades nu så var prototypen tillverkad i stål. Det är inte tanken att konceptet ska vara i det materialet i framtiden utan detta gällde endast prototypen. Även dimensionerna på stålstångerna var baserade på standardmått som Thule hade på sina stänger. I framtiden skulle man vilja minska dessa mått då prototypen nu var ganska klumpig. Prototypen blev väldigt tung med materialet stål och dessa mått på stänger. Eftersom Chariotvagnen även ska kunna användas vid gång och löpning är det fördelaktigt om den är så lätt som möjligt. På grund av detta finns det en stor vinning i att använda ett lätt och hållfast material och räkna eller testa sig fram till vilka de minsta möjliga dimensionerna på stängerna är, så att konceptets vikt kan minskas.

8. Källor:

Dassault Systèmes. (2023). CATIA V5 [Datorprogramvara]. Hämtad från

<https://www.3ds.com/products-services/catia/>

Det här är Thule | Thule | Sverige. (2025). Thule.com.

<https://www.thule.com/sv-se/about-thule>

Om oss. (2019). Afry.com.

<https://afry.com/sv/om-oss>

OpenAI. (2025, april–maj). ChatGPT (GPT-4.5) [Stor språkmodell].

<https://chat.openai.com/>

Bilagor

Bilaga 1: Bom-lista

Komponent 5 & 6 saknar
färingar, justeras efter
fjäders dimensioner.

Endast vänster sida, alla antal
ska alltså dubblas till en
prototyp.

Nummer 11 har tagits bort.

Bill of Material: Product2

Number	Part Number	Quantity
1	Länkmarm	1
2	Konsol hjul	1
3	Förstärkning Länkmarm	2
4	Rail sida	1
5	Konsol dämpare nedre bakre	2
6	Konsol dämpare nedre framre	2
7	Distansbricka	1
8	Konsol mitten	1
9	Cylinder länkmarm	2
10	Konsol liten	3
11	Hornskarv (Borttagen)	1
12	Rail ovan	1
13	Rail vertikal sida	1
14	Rail vertikal bak	1
15	Axel bak	1
16	Mutter	2
17	Bottenram	1
18	Kloss broms	2

This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.

AFRY

DRAWING TITLE
BOM-konceptmodell (vänster sida)

DRAWN BY malinhoa	DATE 2025-03-31	SIZE A2	DRAWING NUMBER XXX	REV X
CHECKED BY XXX	DATE xxx	SCALE 1:3	WEIGHT(kg) XXX	SHEET 1/1
DESIGNED BY XXX	DATE xxx			

Bilaga 2: Bottenram

Section view A-A

Isometric view
Scale: 1:8

Komponenten delas upp i fem delar som svetsas
ihop. Visas med de sträckade linjerna.

Obs! Detta är endast vänstersidan.

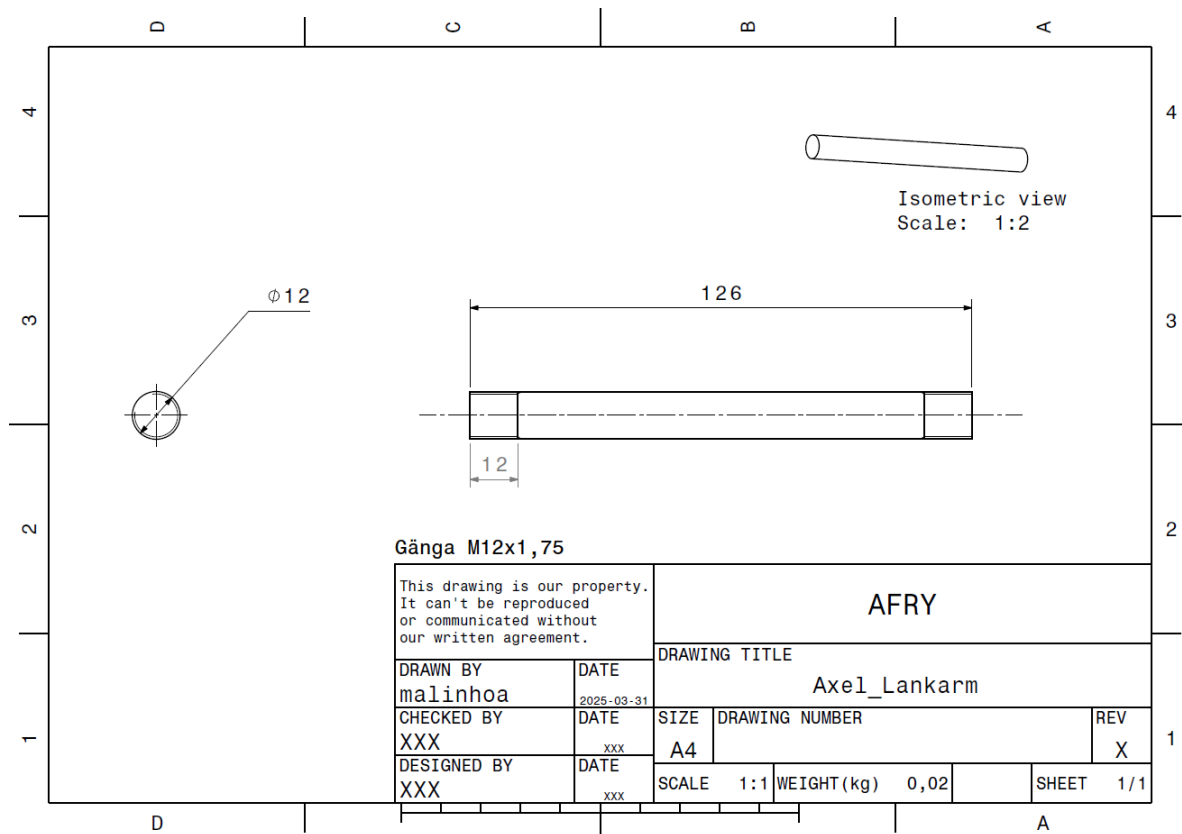
This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.

AFRY

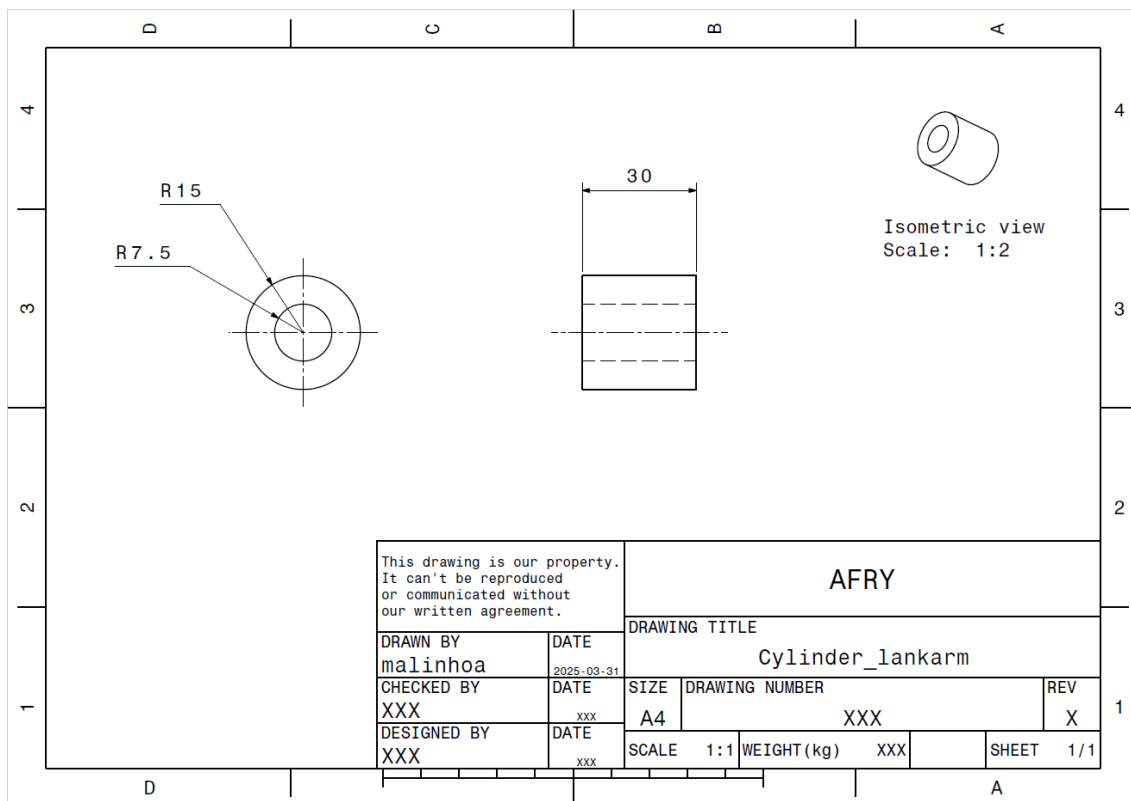
DRAWING TITLE
Bottenram

DRAWN BY malinhoa	DATE 2025-03-30	SIZE A3	DRAWING NUMBER XXX	REV X
CHECKED BY XXX	DATE xxx	SCALE 1:4	WEIGHT(kg) XXX	SHEET 1/1
DESIGNED BY XXX	DATE xxx			

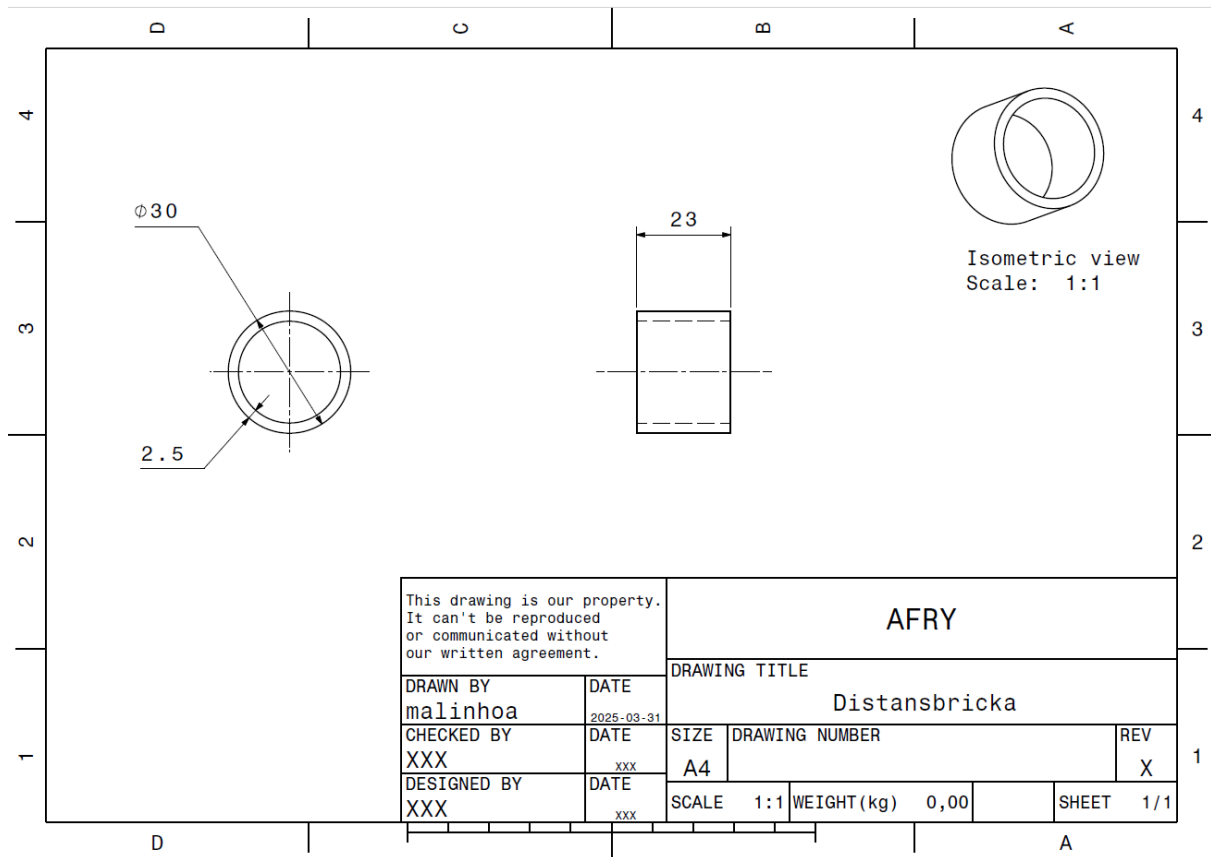
Bilaga 3: Axel_Lankarm



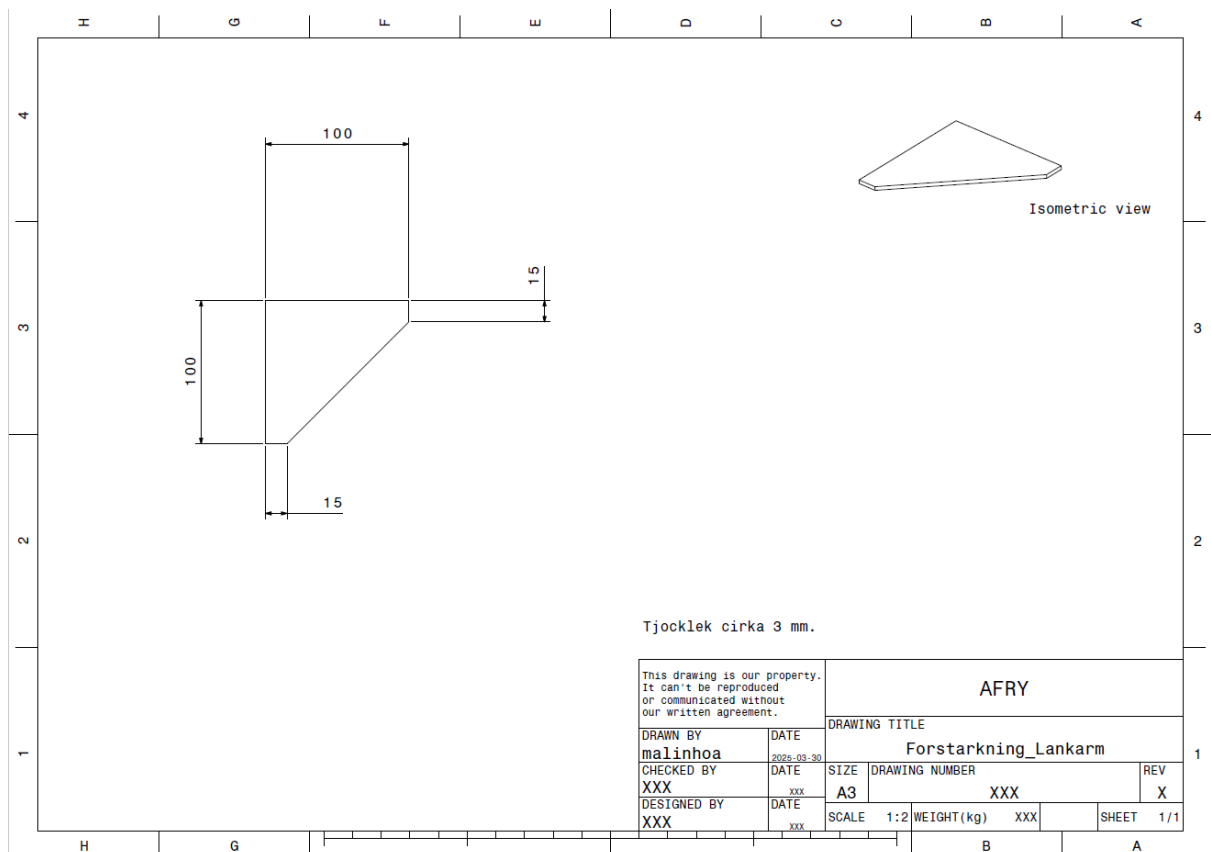
Bilaga 4: Cylinger_lankarm



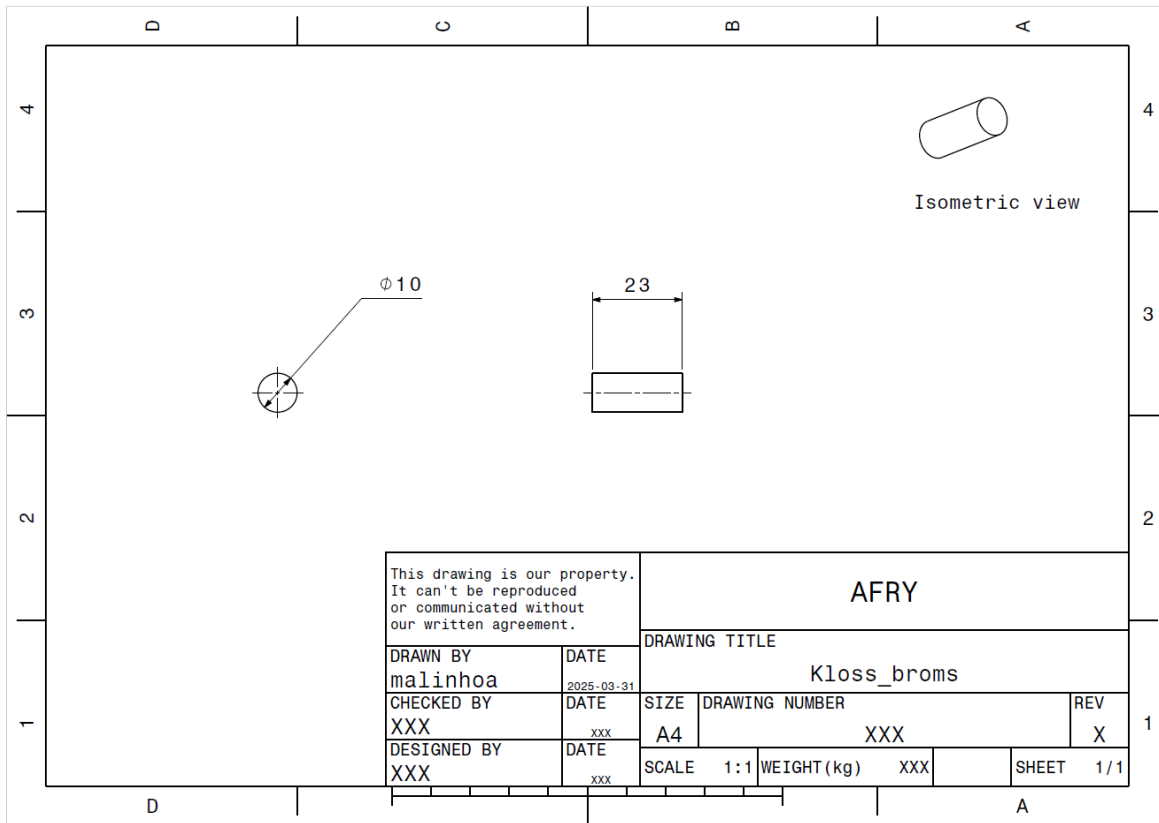
Bilaga 5: Distansbricka



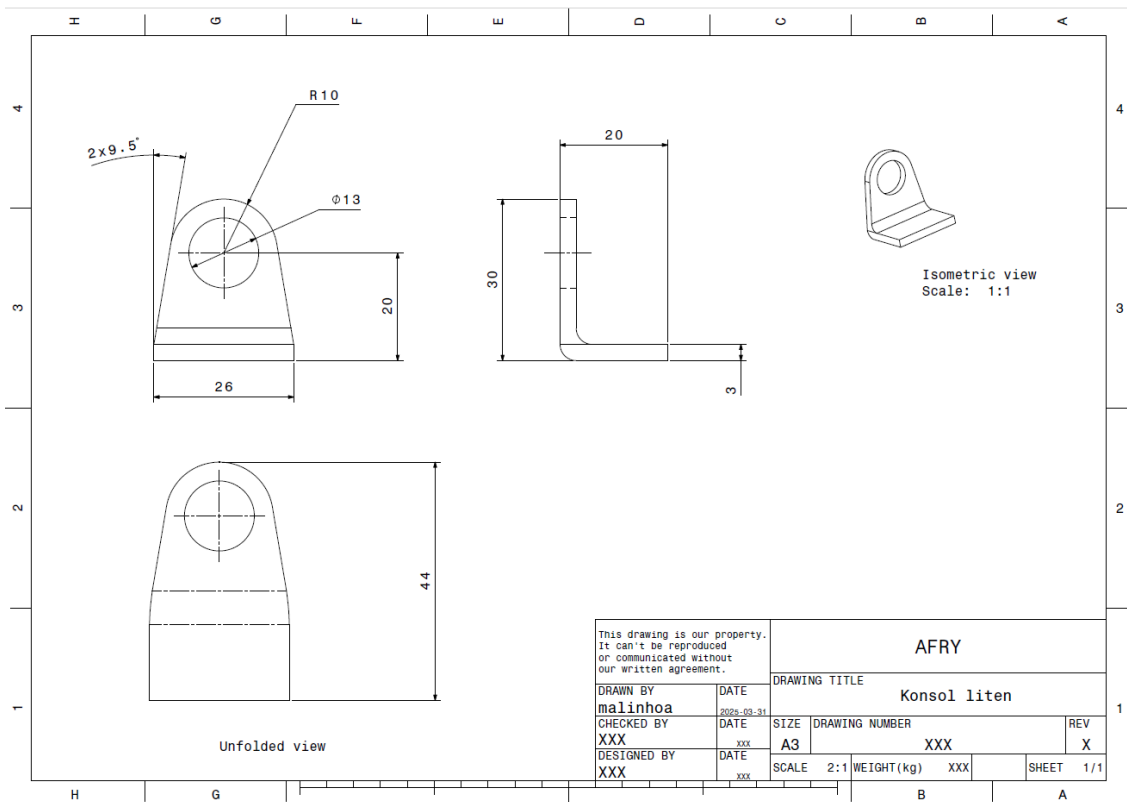
Bilaga 6: Forstarkning_Lankarm



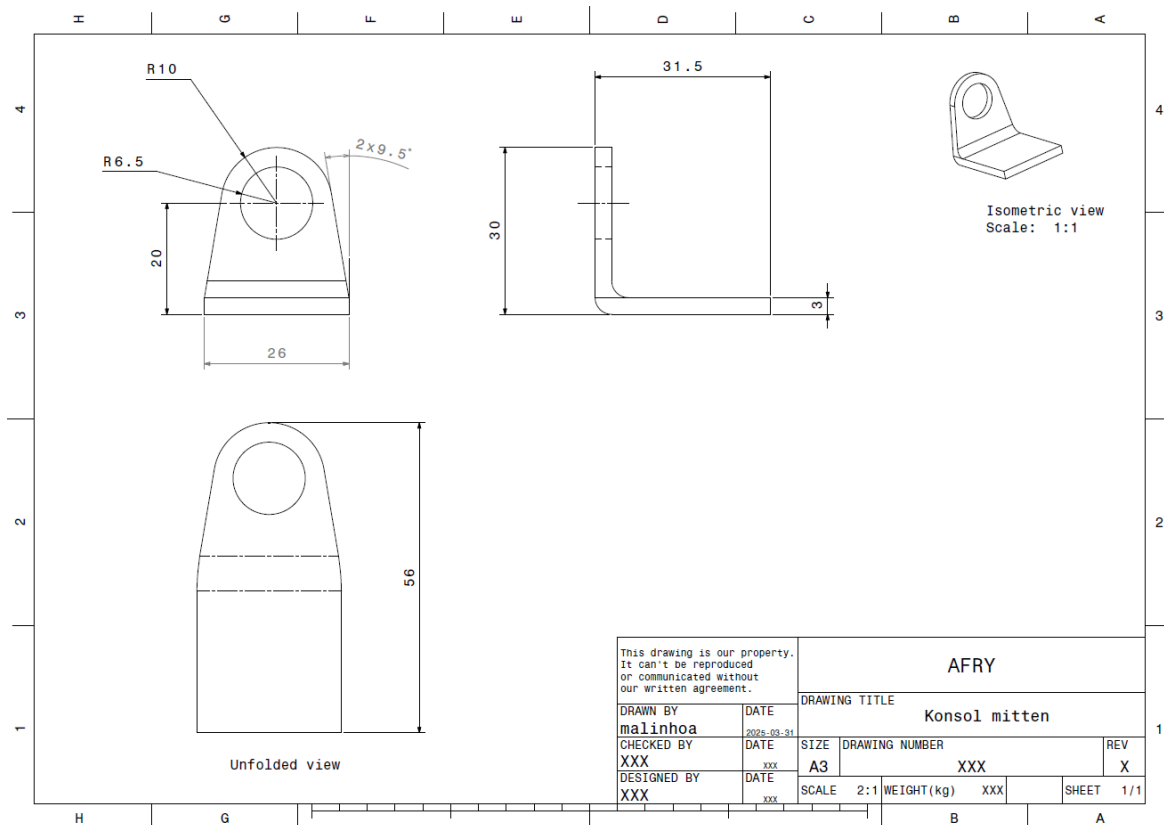
Bilaga 7: Kloss_broms



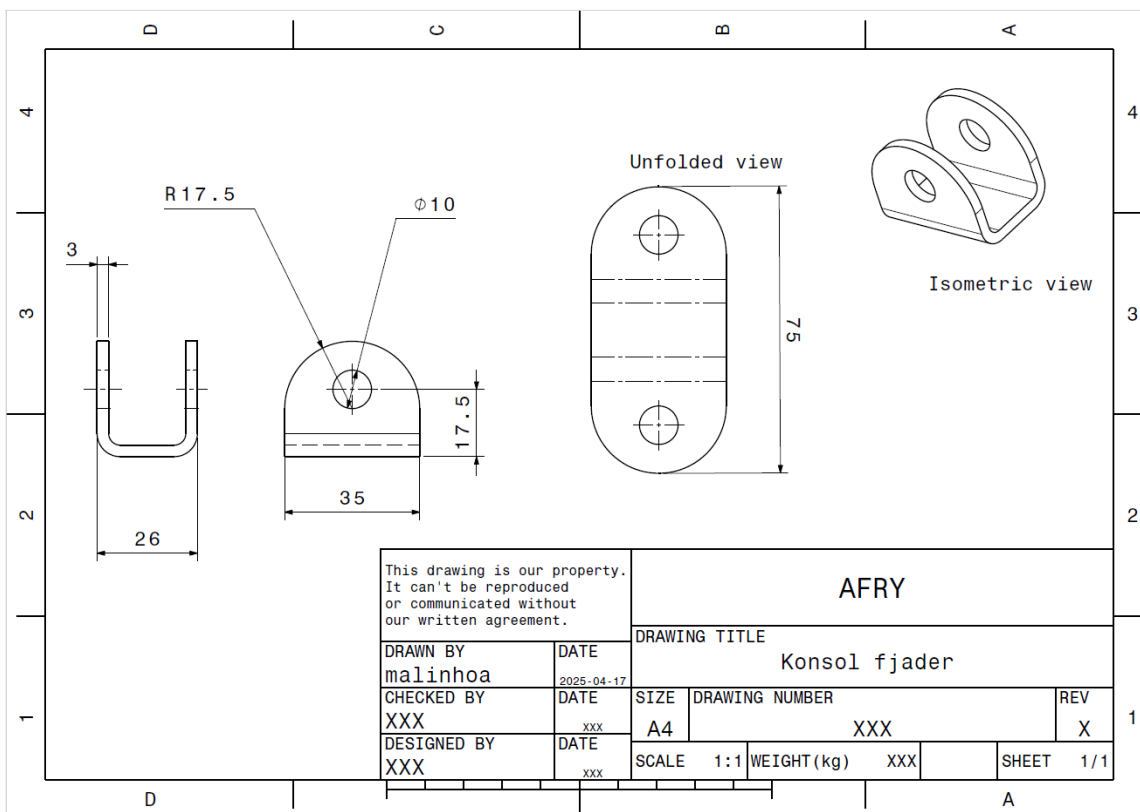
Bilaga 8: Konsol liten



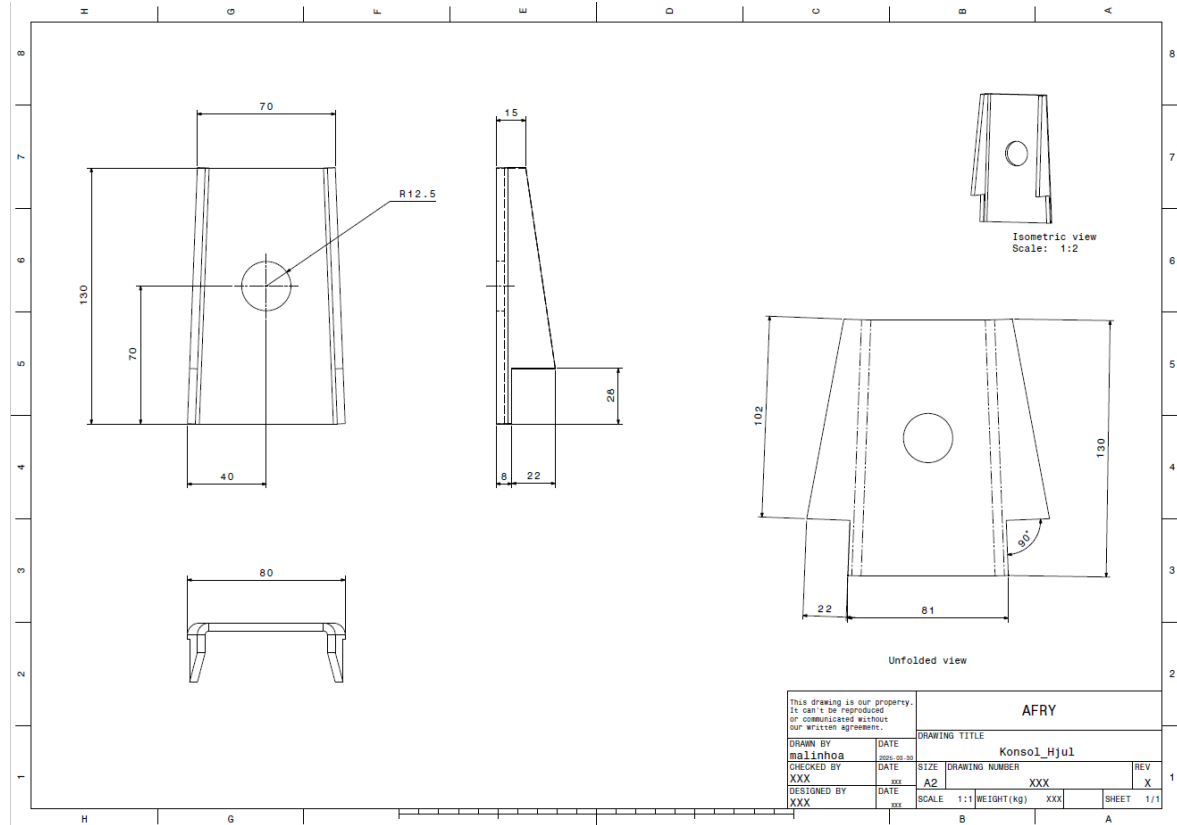
Bilaga 9: Konsol mitten



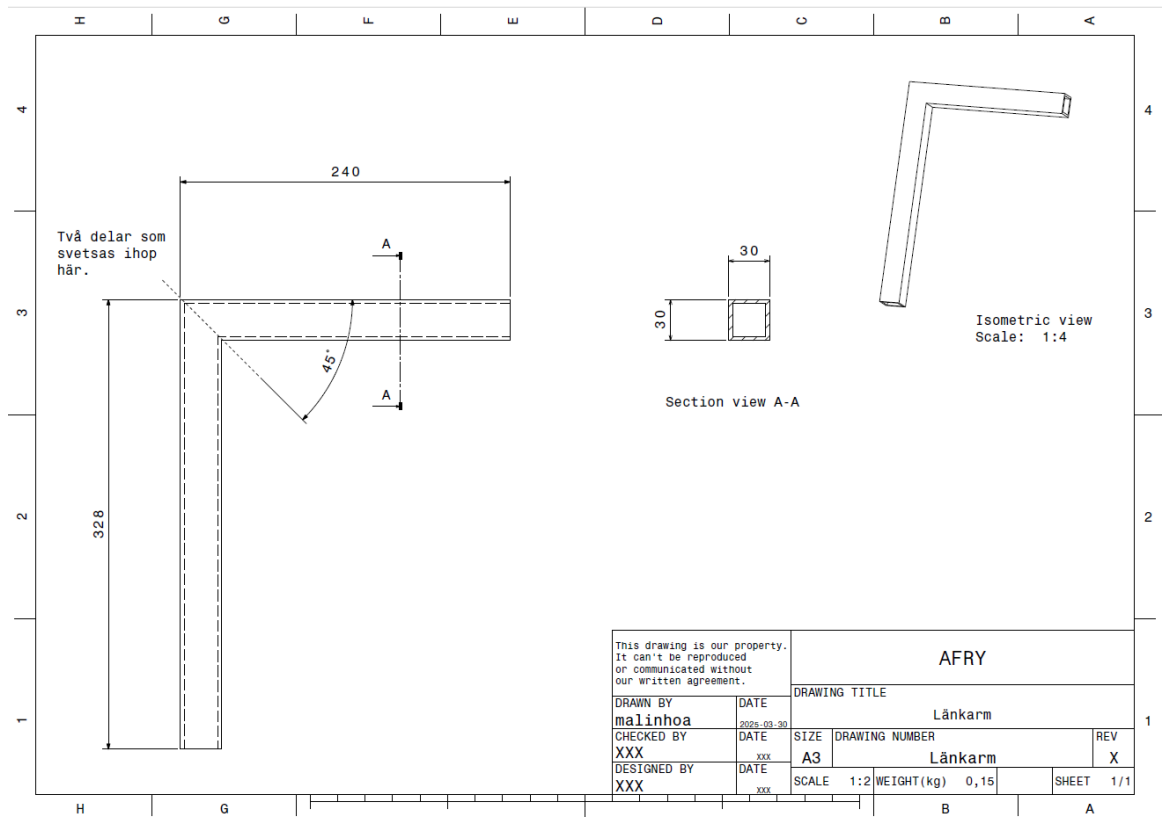
Bilaga 10: Konsol fjader



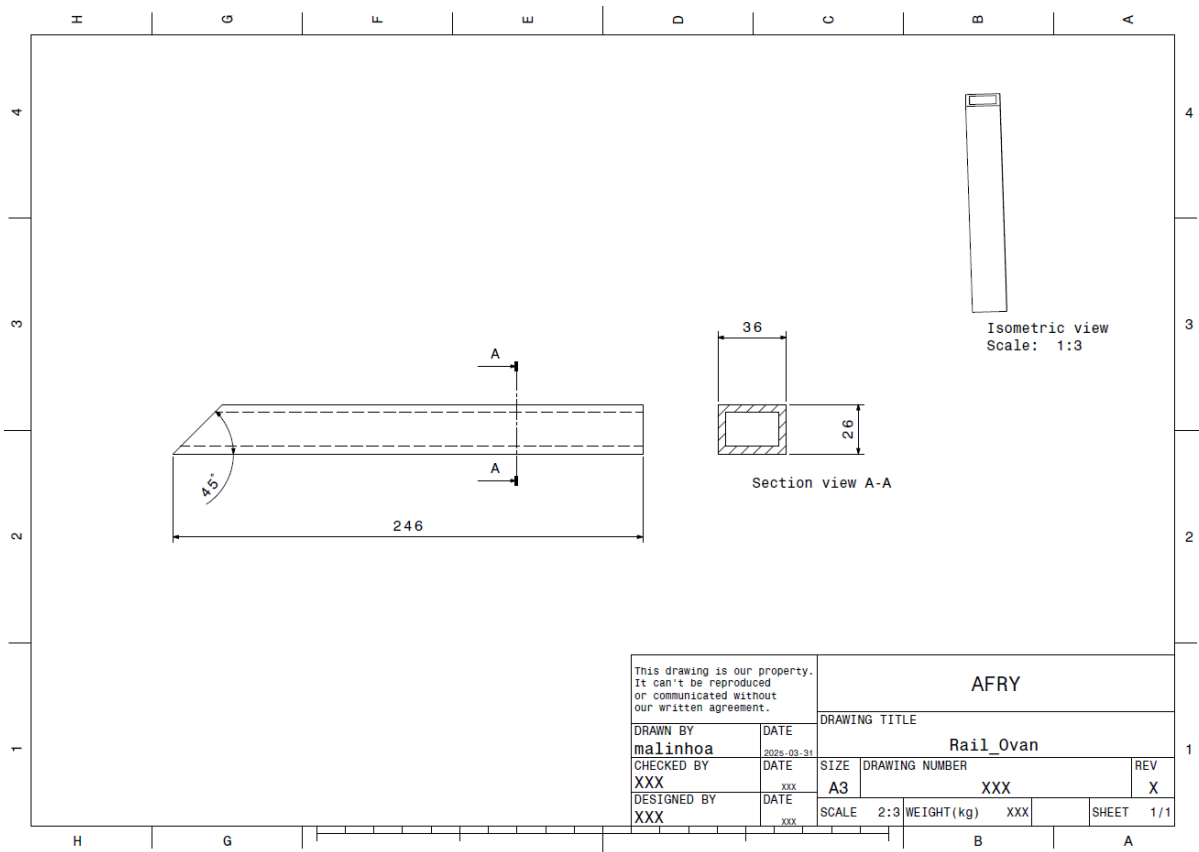
Bilaga 11: Konsol_Hjul



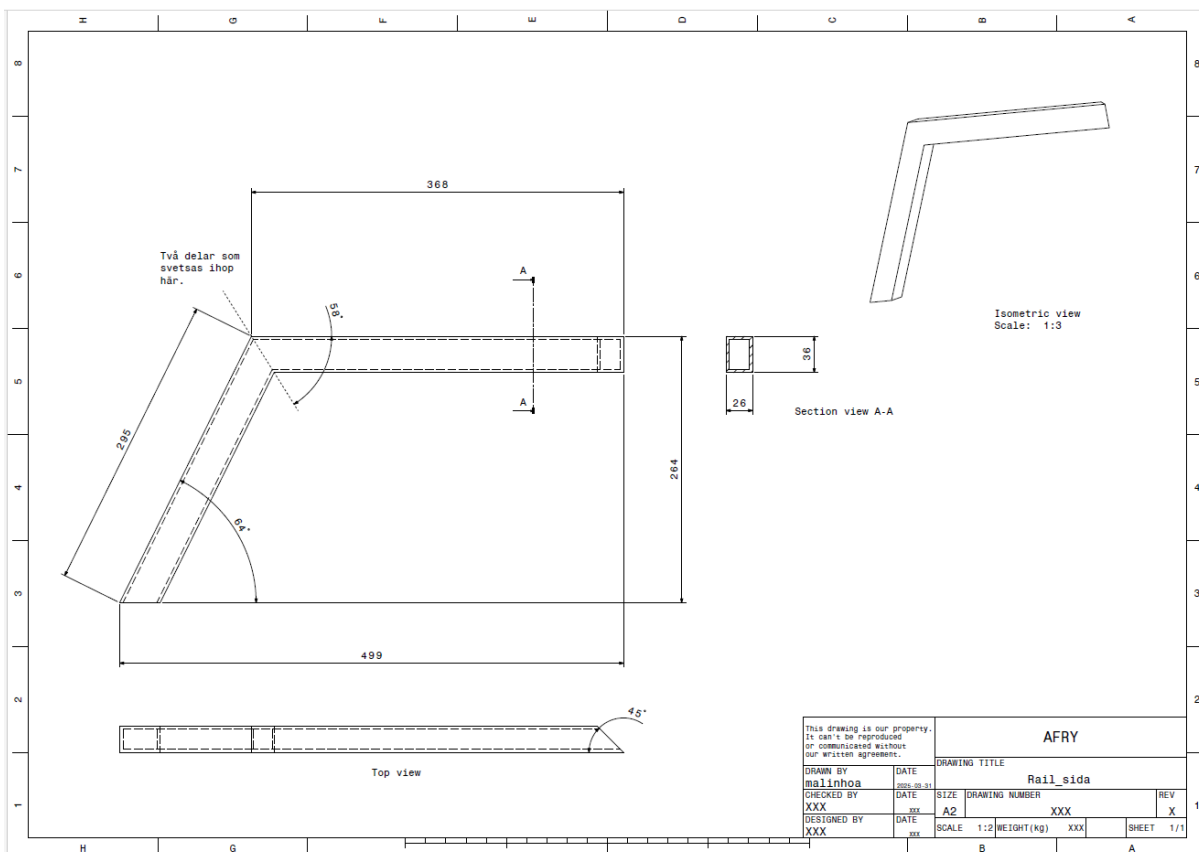
Bilaga 12: Länkmarm



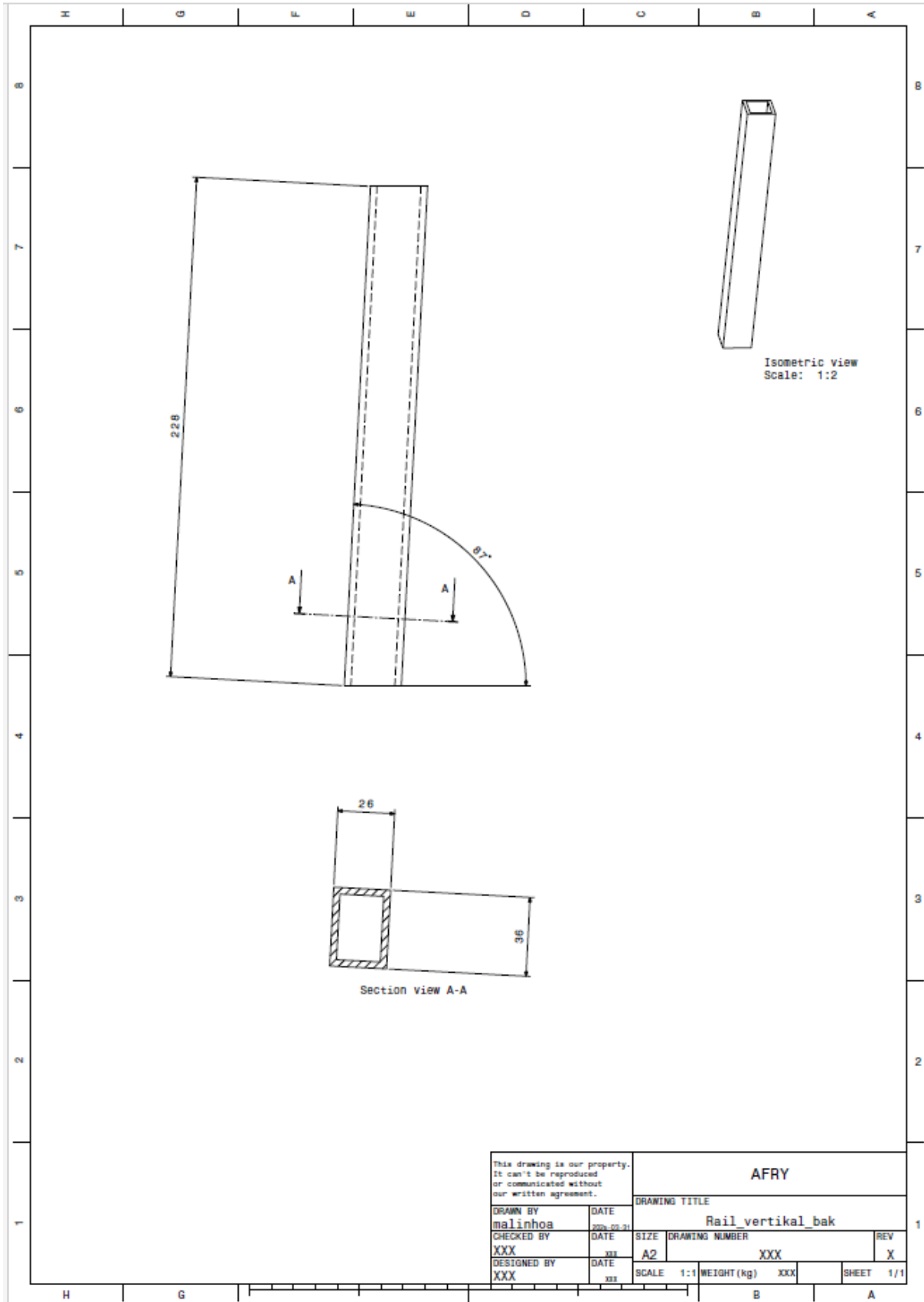
Bilaga 13: Rail_Ovan



Bilaga 14: Rail_sida



Bilaga 15: Rail_vertikal_bak



Bilaga 16: Rail_vertikal_sida

