



CHALMERS



Utveckling av roterande testtrigg för ADAS-ljustester

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Johannes Alfredsson
Plamen Nenov

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2026
www.chalmers.se

Utveckling av roterande testtrigg för ADAS-ljustester

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Johannes Alfredsson

Plamen Nenov

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper

Chalmers TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2026

Förord

Detta examensarbete har genomförts under vårterminen 2026 inom högskoleingenjörsprogrammet i Maskinteknik vid Chalmers tekniska högskola.

Arbetet har utförts i samarbete med Volvo Cars vid testanläggningen AstaZero i Hällerred och har fokuserat på konstruktion och automatisering av en mobil testtrigg för ADAS-ljustester. Projektet har gett oss en värdefull möjlighet att kombinera teoretiska kunskaper med praktiskt ingenjörarbete i en industriell miljö.

Vi vill rikta ett stort tack till vår examinator Maria Grahn för värdefull återkoppling och vägledning under arbetets gång. Vidare vill vi tacka vår handledare Daniel Lineberg för stöd, engagemang och teknisk handledning genom hela projektet.

Ett särskilt tack riktas till ADAS-teamet för deras hjälp i de teoretiska delarna av arbetet samt för kontinuerliga diskussioner och värdefull input vid konceptutveckling. Vi vill även tacka Mät- och regleravdelningen för stöd med beställningar, inköp och elkopplingar, vilket varit avgörande för projektets genomförande.

Slutligen vill vi tacka ADAS Support för hjälp vid det praktiska byggandet av riggen. Ett extra stort tack riktas till Kristoffer Johansson, Sebastian Sternfeldt och Tommy Gundersen för deras stöd, kunskap och engagemang i verkstaden.

Johannes Alfredsson
Plamen Nenov
Göteborg, maj 2026

Sammanfattning

Inom fordonsindustrin finns ett stort behov av noggranna och effektiva testmetoder för att utvärdera avancerade strålkastarsystem (ADAS). Detta examensarbete har genomförts i samarbete med Volvo Cars vid AstaZero och syftar till att utveckla en automatiserad lösning för förflyttning och positionering av en befintlig testtrigg för ljustester. Arbetet har omfattat en systematisk produktutvecklingsprocess, där probleminentifiering, kravspecifikation, konceptframtagning, konstruktion och testning har genomförts. Flera koncept togs fram och utvärderades utifrån kriterier såsom precision, repeterbarhet och praktisk genomförbarhet. Under projektet genomfördes beräkningar och praktiska tester för att säkerställa systemets funktion, där fokus låg på att uppnå god linjering, minimera vibrationer och säkerställa mekanisk stabilitet. Resultatet visar att den utvecklade lösningen kan minska behovet av manuellt arbete, förbättra ergonomin samt bidra till en mer effektiv testprocess. Samtidigt identifierades begränsningar kopplade till tid och resurser, vilket innebär att vissa avancerade funktioner, såsom automatisk positionsloggning och fullständig mjukvaruintegration, inte kunde implementeras. Slutsatsen är att den framtagna lösningen uppfyller projektets huvudsakliga mål och har potential att vidareutvecklas till ett mer automatiserat och integrerat testsystem. Arbetet visar även vikten av att kombinera teoretiska lösningar med praktisk genomförbarhet i ett ingenjörsmässigt utvecklingsarbete.

Abstract

Within the automotive industry, there is a strong need for accurate and efficient testing methods to evaluate advanced headlight systems (ADAS). This bachelor's thesis was carried out in collaboration with Volvo Cars at the AstaZero test facility and aims to develop an automated solution for positioning and moving an existing test rig used for light measurements. The project followed a structured product development process, including problem identification, requirement specification, concept generation, construction, and testing. Several concepts were developed and evaluated based on criteria such as precision, repeatability, and practical feasibility. Throughout the project, both analytical calculations and practical testing were performed to ensure proper system performance. Special focus was placed on alignment, vibration reduction, and mechanical stability. The results show that the developed solution reduces the need for manual handling, improves ergonomics, and contributes to a more efficient testing process. However, limitations related to time and resources prevented the full implementation of advanced features such as automatic position logging and complete software integration. In conclusion, the developed solution meets the main objectives of the project and shows strong potential for further development into a fully automated and integrated test system. The project highlights the importance of balancing theoretical solutions with practical feasibility in engineering design.

Centrala begrepp och principer

Rigg

En rigg är en teknisk konstruktion som används för testning, mätning eller verifiering av olika system och komponenter. Riggar är ofta utrustade med givare, mekaniska komponenter och datainsamlingsystem för att möjliggöra kontrollerade tester och registrering av mätdata.

AstaZero

AstaZero är en fullskalig testanläggning för forskning och utveckling inom aktiv säkerhet och automatiserade transportsystem. Anläggningen används för provning och verifiering av fordonssystem under kontrollerade förhållanden.

Dry Zone

Dry Zone är en inomhusanläggning avsedd för fordonrelaterade säkerhets- och funktionsprovningar. Anläggningen möjliggör tester i en kontrollerad miljö där yttre faktorer såsom väder och ljusförhållanden kan begränsas.

Dewesoft

Dewesoft är ett datainsamlingsystem som omfattar både hårdvara och mjukvara för mätning, signalbehandling och analys. Systemet används inom industriella och tekniska tillämpningar för att samla in och bearbeta data från olika typer av sensorer och mätsystem.

Aluflex

Aluflex är ett modulbaserat aluminiumprofilsystem som används vid konstruktion av industriella ramverk och mekaniska strukturer. Systemet möjliggör flexibel montering och anpassning genom standardiserade profiler och förband.

ADAS

ADAS är en förkortning av Advanced Driver Assistance Systems och omfattar elektroniska system som assisterar föraren vid körning. Syftet med systemen är att öka säkerhet, komfort och kontroll genom funktioner såsom automatisk bromsning, filhållning och adaptiv farthållning.

Sensorträd

Sensorträd är en mekanisk struktur eller hållare som används för att montera och positionera givare och sensorer vid mätning och testning. Konstruktionen används för att säkerställa stabil placering och korrekt riktning av sensorer i förhållande till testobjektet.

Tekniska komponenter

Snäckväxel

En snäckväxel används för att överföra rörelse och vridmoment mellan två axlar med hög utväxling på begränsat utrymme. Konstruktionen består vanligtvis av en snäckskruv och ett snäckhjul där den roterande rörelsen omvandlas till ett lägre varvtal och ett högre utgåendemoment. Snäckväxlar används ofta i system där kontrollerad rörelse, kompakt konstruktion och låg hastighet efterfrågas (SEW-EURODRIVE, n.d.; SEW-EURODRIVE, n.d.).

Lagerbock

En lagerbock används för att stödja och fixera roterande axlar i mekaniska system. Komponenten består vanligtvis av ett kullager monterat i ett lagerhus, vilket möjliggör stabil rotation samtidigt som friktion och slitage reduceras. Lagerbockar används för att säkerställa korrekt linjering och stabilitet hos axlar och drivsystem (SKF, n.d.).

Elmotor

En elmotor omvandlar elektrisk energi till mekanisk rörelse genom elektromagnetiska principer. Inom industriella system används elmotorer för att driva axlar, växlar och mekaniska transmissioner. Motorers prestanda beskrivs vanligtvis genom parametrar såsom effekt, vridmoment och varvtal. I reglerbara drivsystem kombineras elmotorer ofta med frekvensomriktare för att möjliggöra styrning av hastighet och acceleration (SEW-EURODRIVE, n.d.).

Stegmotor

En stegmotor är en elektrisk motor som roterar i diskreta steg istället för kontinuerlig rörelse. Motorns position styrs genom elektriska pulser där varje puls motsvarar en bestämd rotationsvinkel. Detta möjliggör hög positionsnoggrannhet och repeterbarhet utan behov av

återkopplingsystem i enklare tillämpningar. Stegmotorer används ofta i automatiserade system där exakt positionering och kontrollerad rörelse krävs (Oriental Motor, n.d.).

Innehållsförteckning

Bakgrund.....	1
Syfte/frågeställning.....	2
Precisering av frågeställningen.....	2
Avgränsning.....	3
Moment.....	3
Jämviktssamband.....	4
Friktion.....	4
Hållfasthet.....	5
Svetsning och värmebehandling.....	6
Utväxling.....	6
CAD och Python/C#.....	7
METOD.....	8
Problemidentifiering.....	8
Kravspecifikation.....	9
Konceptframtagning.....	9
Konceptutvärdering.....	9
Konceptval.....	9
Konstruktion och design.....	10
Detaljerad konstruktion.....	10
Testning och utvärdering.....	11
RESULTAT.....	12
Kravspecifikation.....	12
Morfologisk matris.....	13
Konceptutvärdering.....	17
Konstruktion och beräkningsfas.....	20
Uppbyggnad av Aluflexram.....	25
Montering av drivsystem.....	26
Sammanfogning och injustering av riggen.....	27
Installation av styrsystem och slutmontering.....	28
DISKUSSION.....	29
Val av koncept och teknisk lösning.....	29
Precision och repeterbarhet.....	30
Ergonomi och säkerhet.....	31
Begränsningar och problem under projektet.....	32
Förbättringsförslag och framtida arbete.....	32

Reflektion kring problemformuleringen	33
SLUTSATS.....	34
Besvaring av problemformuleringen	34
Motorkoncept – styrkor och svagheter	34
Friktionens påverkan.....	35
Montering och repeterbarhet.....	35
Vibrationer och linjering.....	35
Hantering och användning	35
Tidsbesparing.....	35
Ergonomi och säkerhet	36
Användarvänlighet.....	36
Befintliga lösningar och konceptval	36
Referenser	37
Bilagor.....	38

Bakgrund

Företaget Volvo Cars använder idag en testrigg för att mäta och utvärdera avancerade strålkastarfunktioner i sina personbilar. Dessa mätningar är en viktig del i utvecklingen av funktioner såsom automatisk avbländning (auto-dim) och dynamiska strålkastarrörelser. Eftersom olika länder ställer varierande krav på fordons ljusbild krävs omfattande tester för att säkerställa att samtliga regelverk och kundkrav uppfylls.

Den nuvarande testriggen är konstruerad av Aluflex och kan liknas vid ett fotbollsmål i sin utformning. Den är utrustad med mätinstrument och används för att registrera ljusbilden från fordonets strålkastare vid olika vinklar. Under testprocessen behöver riggen förflyttas till ett flertal fördefinierade positioner, vilka anges i gradtal utifrån en rotationspunkt markerad på marken.

Idag sker denna förflyttning manuellt genom att en operatör drar riggen med hjälp av en hävarm. Detta arbetssätt är både tidskrävande och ergonomiskt belastande, då riggen är tung och otymplig att hantera. Dessutom medför den manuella hanteringen en risk för variationer i positioneringen, vilket kan påverka mätresultatets noggrannhet och repeterbarhet. För att effektivisera testprocessen och förbättra mätkvaliteten finns ett behov av att automatisera riggens rörelser. En automatiserad lösning bör möjliggöra exakt positionering samt fjärrstyrning via en kontrollenhet.

Vidare är det önskvärt att riggens position automatiskt registreras och kopplas till respektive mätning i en resultatfil. Detta skulle förbättra spårbarheten, underlätta dataanalys samt minska risken för felaktig dokumentation. En sådan lösning kan även bidra till en mer effektiv testprocess och stärkt kvalitetssäkring inom utvecklingen av strålkastarsystem.

Syfte/frågeställning

Syftet med detta examensarbete är att vidareutveckla ett befintligt koncept för att göra ljustesterna mer effektiva och smidiga att genomföra. Tanken är att minska behovet av manuellt arbete, korta ner tiden det tar att utföra testerna och samtidigt göra systemet mer pålitligt. En viktig del i arbetet är också att kunna koppla riggens position direkt till testresultaten. På så sätt blir det enklare att följa upp mätdata, minska risken för fel och få bättre underlag för analys. Arbetet omfattar både teoretiska och praktiska moment såsom problemlösning, konstruktion, testning och utvärdering. Detta bidrar till att utveckla teknisk förståelse samt färdigheter inom projektarbete och samarbete i en professionell miljö.

Precisering av frågeställningen

För att tydliggöra arbetets omfattning och skapa en grund för analys har följande frågeställning formuleras:

- Vilka styrkor och svagheter kan identifieras vid jämförelse av olika motorkoncept för riggen?
- Hur påverkar friktionen mellan underlag och riggens kontaktpunkter de möjliga lösningsalternativen?
- Hur påverkar upprepad montering och injustering riggens noggrannhet och repeterbarhet?
- Hur påverkar vibrationer och mekanisk linjering systemets precision och stabilitet?
- Hur underlättar den föreslagna lösningen hantering och användning jämfört med den tidigare metoden?
- Hur bidrar lösningen till tidsbesparing vid genomförandet av tester?
- På vilket sätt förbättrar lösningen ergonomi och säkerhet vid testning?
- Vad krävs för att skapa ett användarvänligt styrsystem?
- Vilka befintliga lösningar och erfarenheter har påverkat det slutliga konceptvalet?

Avgränsning

Projektet fokuserar på att ta fram en lösning för att förflytta och positionera den befintliga testtriggen. Det vill säga, projektet avser inte att förändra själva mätutrustningen, varken sensorernas placering eller hur datainsamlingen sker, då dessa delar fungerar i dagsläget. Inte heller kommer själva testmiljön att förändras. Det innebär att lösningen ska fungera med de förutsättningar som redan finns, inklusive markeringar och underlag. Projektet är även begränsat till just denna typ av testtrigg. Andra riggar, till exempel Adaptive Driving Beam-riggar, kommer inte att beaktas. Fokus ligger på att hitta en fungerande teknisk lösning och därmed är det mindre fokus på budget eller kostnader. När det gäller mjukvara kommer detta endast behandlas på en grundläggande nivå. Mer avancerad integrering mellan olika system eller program kommer inte att ingå, utan endast det som krävs för att kunna styra riggen.

Teori

I detta kapitel presenteras den teori som ligger till grund för examensarbetet. Teorin bygger på kunskaper från tidigare kurser inom mekanik, hållfasthetslära, konstruktionsteknik och produktionsteknik, och används för att analysera samt dimensionera den tekniska lösningen i projektet. Syftet är att koppla teoretiska begrepp till praktisk tillämpning vid utvecklingen av den roterande testtriggen.

Moment

Moment beskriver en krafts förmåga att skapa rotation kring en punkt eller axel. Momentet beräknas som kraft multiplicerat med hävarm och uttrycks i Newtonmeter (Nm). Inom mekanik används moment för att analysera roterande system samt för att säkerställa jämvikt i konstruktioner.

I detta projekt var momentberäkningar centrala vid dimensionering av drivsystemet. För att kunna rotera testtriggen behövde drivlinan generera ett tillräckligt stort vridmoment för att övervinna friktionen mellan riggens kontaktpunkter och underlaget. Genom att analysera momentet som uppstod i hjulen kunde lämplig utväxling och motor väljas. Beräkningarna användes även för att säkerställa att den tillgängliga AC-motorn tillsammans med snäckväxeln kunde leverera tillräcklig kraft utan att överbelasta systemets komponenter.

Momentteorin användes också vid analys av riggens masscentrum och belastningsfördelning. Eftersom konstruktionen utsattes för både statiska och dynamiska belastningar var det viktigt att förstå hur olika krafter skapade vridande moment i konstruktionen och hur dessa påverkade stabilitet och precision under drift.

Jämviktssamband

En konstruktion som befinner sig i vila sägs vara i statisk jämvikt. För att en kropp ska vara i jämvikt måste summan av alla krafter och summan av alla moment vara lika med noll. Dessa samband benämns kraftjämvikt respektive momentjämvikt och utgör en grundläggande del inom hållfasthetslära och mekanik (Dahlberg, 2001).

Jämviktssamband användes i projektet för att analysera hur riggens vikt och masscentrum påverkade normalkrafter och belastningar i systemet. Genom att ställa upp jämviktsekvationer kunde reaktionskrafter i hjul och kontaktpunkter beräknas. Detta låg till grund för vidare friktions- och momentberäkningar.

Vid dimensioneringen av konstruktionen användes jämviktssamband även för att bestämma hur belastningen fördelades mellan olika delar av riggen. Detta var särskilt viktigt vid placering av hjul, lagerbockar och drivkomponenter för att säkerställa stabilitet och minska risken för obalans i konstruktionen.

Även lokalt i konstruktionen behövde jämvikt uppfyllas. Belastningar i axlar, förband och ramverk analyserades för att säkerställa att inga komponenter utsattes för orimliga krafter eller deformationer under användning.

Friktion

Friktion är en reaktionskraft som uppstår mellan två kontaktytor och verkar parallellt med kontaktytan. Friktionskraftens storlek beror bland annat på normalkraften och friktionskoefficienten mellan materialen. Friktionskoefficienten bestäms experimentellt och varierar beroende på materialkombination och ytans egenskaper (Jansson, 2018).

I projektet var friktionen mellan gokarthjulen och asfaltunderlaget avgörande för att möjliggöra kraftöverföring utan slirning. Samtidigt uppstod motverkande friktion mellan riggens platta och underlaget, vilket behövde övervinnas av drivsystemet. Genom friktionsberäkningar kunde det analyseras om den tillgängliga motorn tillsammans med vald utväxling hade tillräcklig kapacitet för att sätta riggen i rörelse.

Friktionen hade även stor påverkan på dimensioneringen av drivlinan och valet av hjulmaterial. För låg friktion hade lett till slirning och försämrad precision, medan för hög friktion hade ökat belastningen på motor och transmission. Därför användes teorin för att hitta en balans mellan tillräcklig drivkraft och rimligt slitage på komponenterna.

Hållfasthet

Hållfasthetslära är ett grundläggande område inom ingenjörskunnande och konstruktionslära. Inom hållfasthetsläran analyseras hur konstruktioner beter sig under belastning. Man studerar materialens spänningar, deformationer och förskjutningar för att kunna bedöma om en konstruktion klarar de belastningar den utsätts för utan att falla (Dahlberg, 2001).

Om deformationerna blir för stora kan konstruktionen förlora sin funktion, och om spänningarna överskrider materialets hållfasthet kan brott uppstå. Brott kan ske direkt vid belastning eller utvecklas över tid genom utmattning och upprepade belastningar.

I detta projekt användes hållfasthetslära för att säkerställa att riggens ramverk och drivsystem hade tillräcklig styvhet och hållfasthet för att klara de belastningar som uppstod under drift. Särskilt viktigt var att minimera deformationer och vibrationer eftersom små avvikelser kunde påverka mätnoggrannheten vid ljustesterna.

Beräkningar och analyser genomfördes för att dimensionera komponenter såsom aluminiumprofiler, axlar, lagerbockar och svetsade förband. CAD-modeller användes tillsammans med teoretiska beräkningar för att verifiera konstruktionens stabilitet och för att identifiera eventuella svaga punkter innan tillverkning och montering.

Svetsning och värmebehandling

Svetsning är en sammanfogningsmetod där material sammanfogas genom lokal uppvärmning. Vid svetsning förändras materialets mikrostruktur i området kring svetsen, vilket kan ge upphov till restspänningar och förändrade materialegenskaper i den värmepåverkade zonen (Heat Affected Zone).

I projektet användes svetsning för att sammanfoga ståldetaljer och konstruera bryggan mellan den befintliga riggen och Aluflexramen. Eftersom konstruktionen utsattes för belastningar och vibrationer var det viktigt att svetsförbanden hade tillräcklig hållfasthet och korrekt placering.

Vid svetsning finns risk för deformationer och sneddragningar på grund av temperaturförändringar och restspänningar. Därför krävdes efterföljande injustering och kontrollmätning för att säkerställa korrekt linjering av riggen. Detta var särskilt viktigt eftersom små geometriska avvikelser kunde påverka systemets precision och repeterbarhet.

Utväxling

Utväxling beskriver sambandet mellan rotationshastighet och vridmoment mellan två mekaniska komponenter, exempelvis kugghjul eller växlar. Genom att minska rotationshastigheten kan vridmomentet ökas, vilket möjliggör att större laster kan drivas med en mindre motor.

I projektet användes en snäckväxel tillsammans med drev och kedjetransmission för att skapa en lämplig total utväxling mellan AC-motorn och drivhjulen. Syftet var att reducera motorvarvtalet och samtidigt öka det tillgängliga vridmomentet för att möjliggöra kontrollerad och stabil rotation av riggen.

Utväxlingen hade även stor betydelse för systemets precision. Genom att använda hög utväxling motsvarade små förändringar i motorns rotation mycket små rörelser hos riggen, vilket förbättrade upplösningen och möjliggjorde mer exakt positionering vid ljussterna.

CAD och Python/C#

CAD (Computer Aided Design) är datorstödd konstruktion och används för att modellera, analysera och dokumentera tekniska konstruktioner. Genom CAD kan komponenters geometri, passform och funktion verifieras innan tillverkning sker.

I projektet användes Fusion 360 för att konstruera riggens ramverk, drivsystem och mekaniska komponenter. CAD-modellen användes även för att analysera masscentrum, kontrollera monteringsmöjligheter och säkerställa att olika komponenter kunde integreras i den befintliga riggen.

Python/C# användes som ett hjälpmedel vid tekniska beräkningar och visualisering av data. Programmen användes bland annat för att analysera sambandet mellan friktionskrafter, normalkrafter och masscentrum. Genom att visualisera resultaten i grafer kunde olika konstruktionslösningar jämföras och verifieras innan praktiska tester genomfördes. Kombinationen av CAD och Python/C# möjliggjorde ett iterativt arbetssätt där teoretiska beräkningar kontinuerligt kunde jämföras med konstruktionen och användas för att förbättra systemets funktion och genomförbarhet.

METOD

I detta kapitel beskrivs hur arbetet planeras att genomföras för att uppnå målet att automatisera förflyttningen av testriggen, möjliggöra fjärrstyrning samt koppla riggens position till testdata. Arbetet kommer att följa en systematisk produktutvecklingsprocess i flera steg, där fokus ligger på ett strukturerat arbetssätt samt kontinuerlig utvärdering och förbättring av framtagna lösningar.

Processen planeras att vara iterativ, vilket innebär att olika delar testas, utvärderas och justeras löpande. Arbetet omfattar probleminentifiering, framtagning av kravspecifikation, utveckling av olika koncept samt utvärdering och val av dessa. Därefter planeras konstruktion och design att tas fram, följt av uppbyggnad, testning och vidare förbättringar innan en slutlig lösning kan presenteras.

Probleminentifiering

Inledningsvis kommer en analys av nuläget att genomföras för att identifiera problem och förbättringspotential i den befintliga testprocessen. Detta kommer ske genom studier av hur testriggen används i praktiken samt genom dialog med berörda ingenjörer och operatörer. Fokus ligger på att identifiera brister i användargränssnittet, tidsförluster, ergonomiska problem samt faktorer som påverkar mätningarnas noggrannhet och repeterbarhet.

För att få en så tydlig bild som möjligt kommer testprocessen att observeras vid flera tillfällen, där särskild uppmärksamhet läggs på hur riggen förflyttas mellan olika positioner och hur lång tid de olika momenten tar. Även återkommande moment och eventuella flaskhalsar kommer att identifieras. Samtidigt ska synpunkter att samlas in från användare av systemet, vilket bidrar till en bättre förståelse för vilka delar som upplevs som mest problematiska i det dagliga arbetet.

Denna analys kommer därefter att ligga till grund för det fortsatta arbetet, där identifierade problemområden omvandlas till konkreta krav och mål för den nya lösningen. På så sätt säkerställs att utvecklingsarbetet fokuserar på de delar som ger störst förbättring i praktiken.

Kravspecifikation

Utifrån problemidentifieringen tas en kravspecifikation fram. Kraven delas in i funktionella krav, exempelvis automatiserad förflyttning, fjärrstyrning från kontrollbil och automatisk positionsloggning, samt icke-funktionella krav såsom säkerhet, noggrannhet, tillförlitlighet och användarvänlighet. Kravspecifikationen kommer att fungera som ett styrande dokument under hela utvecklingsprocessen och används även som grund vid utvärdering av koncept och prototyp.

Konceptframtagning

Ett funktionellt diagram kommer att formuleras för att fastställa systemets funktioner samt dess delfunktioner. Delfunktionerna delar upp problematiken i hanterbara delar och ger insikt i vilka funktionsbehov lösningen ska uppfylla. Dessa kommer att användas som utgångspunkt för en morfologisk matris, där flera principer och potentiella lösningar identifieras för varje delfunktion. Genom att kombinera olika lösningar från den morfologiska matrisen kommer ett antal koncept att genereras. Detta skapar en bred utgångspunkt för att undersöka möjliga systemlösningar.

Konceptutvärdering

De framtagna koncepten kommer sedan att utvärderas systematiskt mot kravspecifikationen. Detta sker med hjälp av kriterier såsom funktionalitet, genomförbarhet, säkerhet och framtida utvecklingsmöjligheter. På så sätt säkerställs att utvärderingen genomförs objektivt och spårbart. Koncepten kommer även att utvärderas subjektivt genom veckovisa avstämningar där anställda ges möjlighet att bidra med synpunkter kring genomförbarhet och praktisk användning.

Konceptval

Baserat på konceptutvärderingen kommer det koncept som bäst uppfyller kraven och projektets mål att väljas. Inför det slutliga konceptvalet kommer även ett gruppmöte att genomföras tillsammans med berörd avdelning för att säkerställa att lösningen bedöms som genomförbar.

Konstruktion och design

Arbetet ska innefatta mekanisk design, val av komponenter, utveckling av styrsystem samt eventuell mjukvarudesign för fjärrstyrning och datakoppling, i denna ordning.

Konstruktionen kommer att dokumenteras med modeller i CAD (Fusion 360), beräkningar i Python samt tekniska beskrivningar.

Detaljerad konstruktion

I denna fas kommer det valda konceptet att vidareutvecklas till en mer detaljerad konstruktion. Syftet är att gå från en övergripande idé till en lösning som går att genomföra i praktiken. Arbetet kommer att handla om att stegvis ta fram hur olika delar av systemet ska utformas och fungera tillsammans.

Arbetet planeras att genomföras på ett iterativt sätt, där konstruktionen utvecklas i flera steg. Det innebär att olika lösningar kommer att tas fram, testas och därefter justeras utifrån de resultat som uppstår. På så sätt skapas en bättre förståelse för vad som fungerar bra och vad som behöver förbättras.

Fokus kommer att ligga på att utveckla de viktigaste delarna av riggen, såsom dess uppbyggnad, hur den ska kunna röra sig samt hur den ska styras. Exakt hur dessa delar utformas kommer inte att vara helt bestämt från början, utan kommer att växa fram under arbetets gång i takt med att fler insikter erhålls.

Praktiska moment är en viktig del i denna fas. Genom att bygga och testa olika lösningar skapas möjlighet att undersöka hur väl systemet fungerar i verkligheten. Detta gör det lättare att upptäcka problem som inte alltid syns i tidigare skeden, till exempel hur olika delar påverkar varandra eller hur användningen fungerar i praktiken.

Resultaten från dessa tester planeras sedan användas för att förbättra konstruktionen ytterligare. På så sätt sker en successiv utveckling mot en mer genomarbetad och fungerande lösning.

Testning och utvärdering

Efter att konstruktionen har tagits fram planeras den att monteras på den befintliga testriggen. Därefter kommer tester att genomföras i riggens faktiska användningsmiljö för att i så stor utsträckning som möjligt efterlikna verkliga förhållanden. Testerna planeras att utföras i en kontrollerad miljö anpassad för ljusmätningar, vilket möjliggör att yttre påverkan minimeras. Under testningen kommer fokus att ligga på att utvärdera flera viktiga aspekter av lösningen. Bland annat kommer det att undersökas hur exakt riggen kan positioneras i förhållande till angivna vinklar, samt hur väl systemet klarar av att upprepa samma position vid upprepade mätningar. Fjärrstyrningens funktion kommer också att testas för att säkerställa att riggen kan styras på ett stabilt och användarvänligt sätt.

Vidare kommer kopplingen mellan riggens position och testresultaten att undersökas. Detta innebär att kontrollera att korrekt positionsdata registreras och sparas tillsammans med märesultaten, samt att informationen är tydlig och användbar vid efterföljande analys. Testerna planeras att genomföras i flera omgångar, där justeringar och förbättringar kan göras mellan varje tillfälle vid behov. På så sätt skapas möjlighet att successivt identifiera och åtgärda eventuella brister. Resultaten från testerna kommer att dokumenteras och jämföras med de krav som tagits fram i kravspecifikationen, för att kunna bedöma i vilken utsträckning lösningen uppfyller de uppsatta målen.

Slutlig lösning och presentation

Arbetet avslutas med att den färdiga lösningen sammanställs och presenteras inför Chalmers såväl som Volvo Cars. Detta inkluderar en beskrivning av systemets funktion, uppnådda förbättringar jämfört med nuläget samt en utvärdering av hur väl målen uppfyllts.

RESULTAT

Kravspecifikation

Genom inledande utredning och samtal med handledare och användare av riggen identifierades de centrala behoven och begränsningarna som systemet måste uppfylla. Den befintliga lösningen kräver att riggen flyttas till förbestämda positioner. Detta leder till problem med tidsåtgång, säkerhetsrisker och bristande repeterbarhet. Utifrån denna analys fastställdes att systemet behöver kunna förflytta sig autonomt längs en fördefinierad sträcka och logga sin position i realtid. Samtidigt måste det kunna övervakas och styras på avstånd från kontrollbilen.

Dessa behov ligger till grund för den kravspecifikation som presenteras i nästa avsnitt. Nedan är ett utdrag ur kravspecifikationen, för hela kravspecifikationen se *bilaga 1*:

Tabell 1 Ett utdrag ur Kravspecifikation med funktionella krav

Chalmers	Kravspecifikation VCC				
Utfärdare: Projektgruppen		Skapad: 2026-02-04 Modifierad:			
Kriterier	Målvärde	K/Ö	Vikt (5=Viktigast)	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)
Funktion(er)					
Skapa rotation hos riggen		K		Se om riggen roterar	VCC
Testriggen fjärstyrts via ett säkert och enkelt gränssnitt.		K		Testa på flera olika personer	VCC
Integration av befintiga mjukvaror		Ö	3	Godkännande av anställd	VCC
Givarna (yttre) ska befinna sig på vänster sida av bilen		K		Visuell avgörning.	

Med kravspecifikationen som utgångspunkt påbörjades konceptgenereringen. Systemets övergripande funktion bröts ned i ett antal delfunktioner, och för varje delfunktion genererades flera tänkbara dellösningar genom brainstorming och litteraturstudier. Resultatet sammanställdes i en morfologisk matris, vilken ger en överblick över det tillgängliga lösningsrummet och möjliggör systematisk kombination av dellösningar till kompletta koncept.

Morfologisk matris

Texten nedan beskriver de huvudsakliga delsystem och lösningsprinciper som identifierades och användes vid uppbyggnaden av den morfologiska matrisen. Syftet var att strukturera möjliga tekniska lösningar och skapa en tydlig överblick över alternativa sätt att uppfylla de centrala funktionerna i systemet. Detta möjliggjorde en systematisk jämförelse och kombination av olika dellösningar vid konceptframtagningen.

Mekanik

Den mekaniska delen av systemet analyserades utifrån flera möjliga drivprinciper. Alternativ såsom steg- och servomotorer, hydraulik samt AC/DC-motorer identifierades som relevanta beroende på krav på precision, kraft och styrbarhet. Fokus låg på att hitta en lösning som kunde leverera tillräckligt vridmoment och kontrollerad rörelse utan att introducera onödig komplexitet i konstruktionen.

Linjär till rotation

Flera metoder för att omvandla rörelse mellan linjär och roterande form studerades. Exempelvis analyserades hjul, kugghjul och olika länkmasssystem utifrån aspekter som effektivitet, stabilitet och praktisk implementering. Dessa lösningar utvärderades med hänsyn till hur väl de kunde överföra kraft och rörelse på ett kontrollerat och repeterbart sätt.

Givare

För att möjliggöra positionsbestämning och eventuell återkoppling undersöktes ett flertal sensoralternativ. Dessa inkluderade magnetgivare, induktiva och kapacitiva sensorer, laserbaserade system samt linjär- och vinkelgivare. Även GPS diskuterades översiktligt.

Alternativen utvärderades baserat på noggrannhet, tillförlitlighet och lämplighet i den aktuella testmiljön.

Signal redo för start

Olika metoder för att indikera systemets status analyserades, såsom visuella signaler (lampor), ljudsignaler och textbaserad information. Syftet var att säkerställa att operatören tydligt kan avgöra när systemet är redo att användas, vilket bidrar till både säkerhet och användarvänlighet.

Mjukvara

Den mjukvarumässiga delen omfattar styrning och användarinteraktion. En enklare lösning baserad på programmering (exempelvis i C#) tillsammans med tangentbordsinput identifierades som ett möjligt alternativ för att styra systemet och hantera signaler från sensorer och mekanik. Fokus låg på att skapa en fungerande och lättimplementerad lösning snarare än avancerad systemintegration.

Utifrån delfunktionerna och dess dellösningar sammanställdes en morfologisk matris.

Sub-Functions	Sub-Solutions										
Mekanik	Stegmotorer	Servomotorer	Hydraulkolvar	Pneumatik	AC/DC motor	+					
Linjär till rotation	Kulskruv	Hjul	Reorull	Ledarm/svängsdörr	Torkarblad mekanisk	+	Motor ovanifrån	+			
Givare	Magnetgivare	Induktiv	Kapacitiv	Laser	Linjärgivare	Vinkel Givare	GPS	Tryckgivare		+	
Signal redo för start	Lampa	Ljud	Tryck	+							
Mjukvara	Befintlig mjukvara	C# + Tangentbord									

Figur 1 Morfologisk matris där identifierade delfunktioner kombineras med olika lösningsförslag för att skapa helhetskoncept markerade i blått: koncept 2 och rött: koncept 1

De dellösningar som markerades som olämpliga i den morfologiska matrisen uteslöts tidigt i processen baserat på kravspecifikationen och praktiska begränsningar. De kvarvarande alternativen kombinerades systematiskt till ett antal koncept som därefter utvärderades vidare. Genom denna process togs två huvudsakliga koncept fram. Koncept 1 markeras i rött, med stegmotor, motor ovanifrån, vinkelgivare, lampa, C#. Koncept 2 markeras i blått, elmotor, hjul, induktivgivare, lampa, C#

Koncept 1

Konceptet bygger på att testtriggen är uppbyggd kring en fast rotationspunkt placerad i centrum av en cirkulär testyta. Fordonet positioneras så att dess front passerar denna rotationspunkt, vilket används som referens för de olika vinkelmätningarna.

Riggen består av ett yttre ramverk och ett inre, rörligt mål. Det yttre ramverket är förankrat i marken och fungerar som en stabil bärande struktur. Det inre målet är monterat så att det kan rotera kring den centrala rotationspunkten. Rotationen av det inre målet sker med hjälp av en stegmotor som är placerad ovanför konstruktionen. Motorn driver rotationen och möjliggör att riggen kan vridas till olika positioner för att utföra mätningar vid varierande vinklar.

På grund av konstruktionens geometri är det inre målet asymmetriskt. Ena sidan är längre och innehåller mer material, vilket påverkar massfördelningen. För att kompensera detta är extra vikt placerad på den motsatta sidan i form av motvikt, vilket bidrar till att balansera konstruktionen kring rotationsaxeln. Se figur 2.

Koncept 2

Konceptet bygger på att hela testriggen roterar kring en definierad rotationspunkt placerad i centrum av testytan. Fordonet positioneras så att dess front passerar denna punkt, vilket används som referens för samtliga mätningar vid olika vinklar.

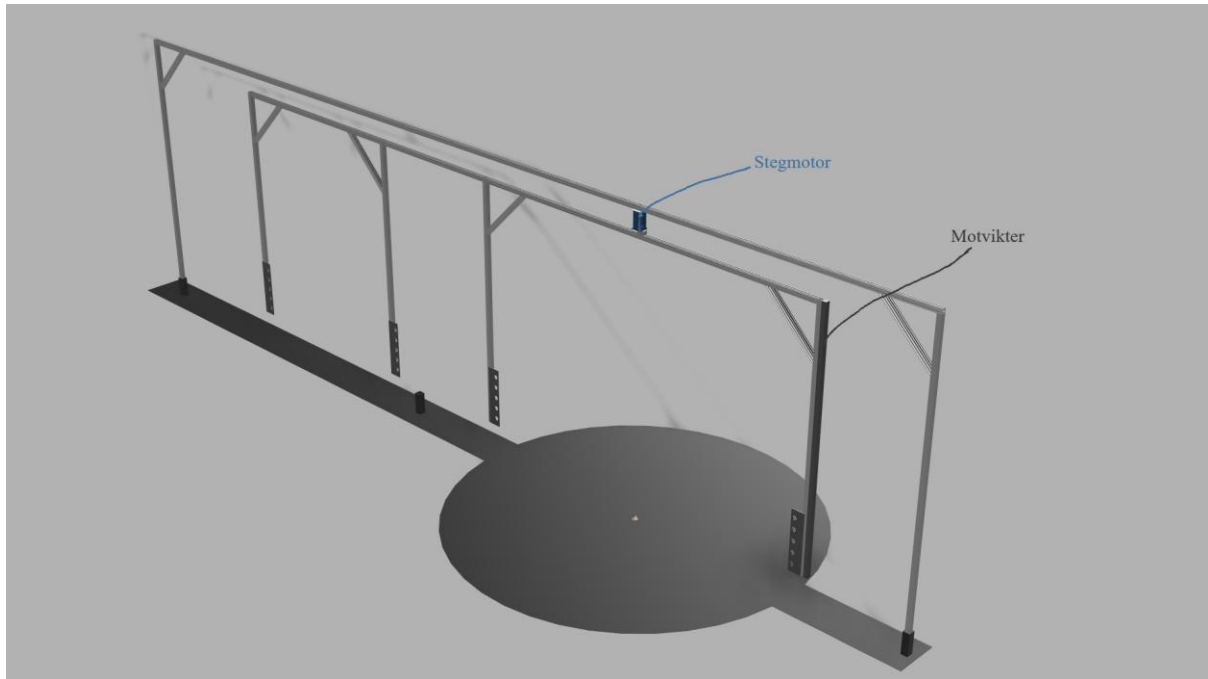
För att möjliggöra rotation förstärks den befintliga konstruktionen med en integrerad aluminiumkassett. Denna kassett fungerar både som strukturell förstärkning och som kapsling för drivsystemet. Inuti kassetten är drivlinan uppbyggd av flera komponenter, bland annat gokarthjul, kedja, drev, lagerbockar, växellåda och en tvåpolig AC-motor. Dessa komponenter är sammankopplade via axlar och överför kraften som krävs för att sätta hela riggen i rörelse.

Hjulen i kassetten ligger i kontakt med underlaget och omvandlar rotationsrörelsen från motorn till en kontrollerad förflyttning längs den cirkulära banan. Genom denna lösning kan riggen rotera kontinuerligt runt rotationspunkten och uppnå en fullständig rotation på 360 grader, vilket möjliggör mätningar i samtliga önskade vinklar.

Styrningen av systemet sker via ett separat styrschåp som är kopplat till elmotorn och frekvensomriktaren. Detta möjliggör reglering av hastighet och riktning under användning. För positionsbestämning används induktiva givare som registrerar riggens läge i förhållande till fasta referenspunkter i testmiljön. Dessa signaler kan användas för att identifiera specifika mätpositioner under drift.

Konceptutvärdering

I detta avsnitt utvärderas de framtagna koncepten utifrån projektets krav. Syftet är att jämföra lösningarna och identifiera vilka egenskaper som uppfyller kraven samt vilka begränsningar



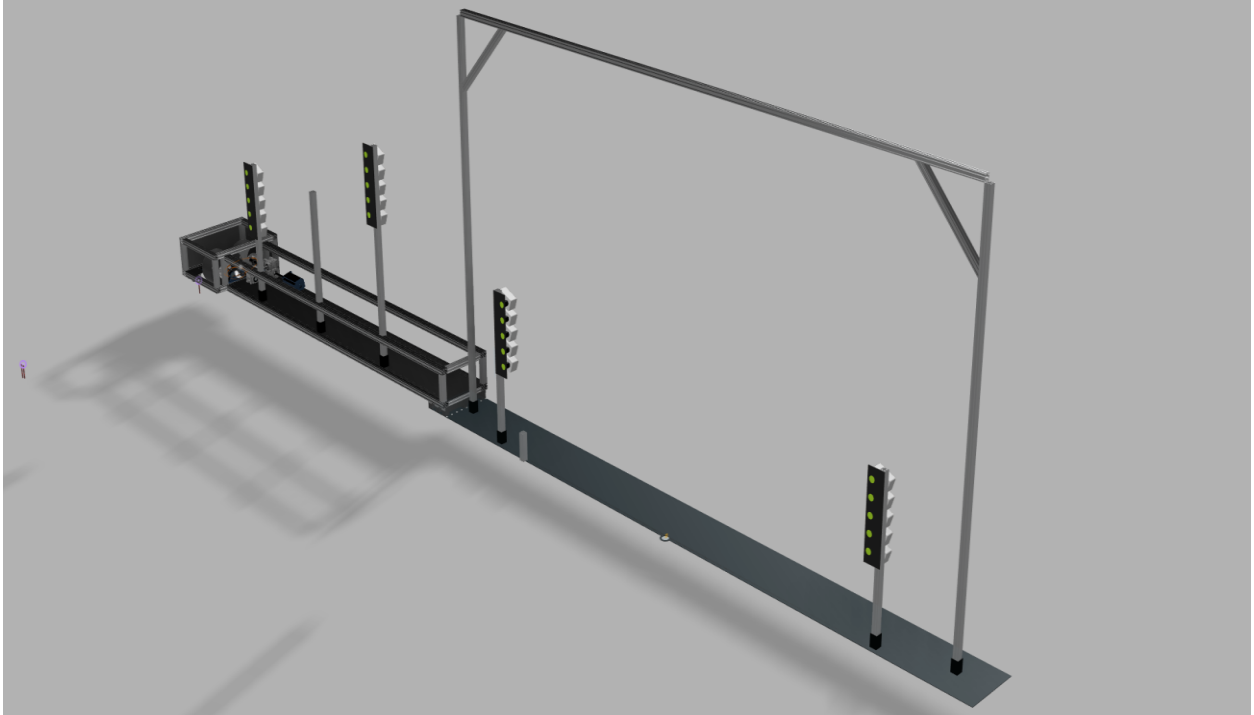
Figur 2 Helhetsbild på koncept 1

som finns, som underlag för val av vidare konceptutveckling.

Koncept 1 baseras på direkt rotation av det inre målet med hjälp av en stegmotor. En central utmaning med denna lösning är att systemet ställer höga krav på balansering. För att möjliggöra en jämn rotation behöver masscentrum ligga nära rotationsaxeln. I praktiken innebär detta att konstruktionen måste kompletteras med motvikter för att kompensera den asymmetriska geometri som uppstår, vilket leder till en ökad total massa och en mer komplex uppbyggnad.

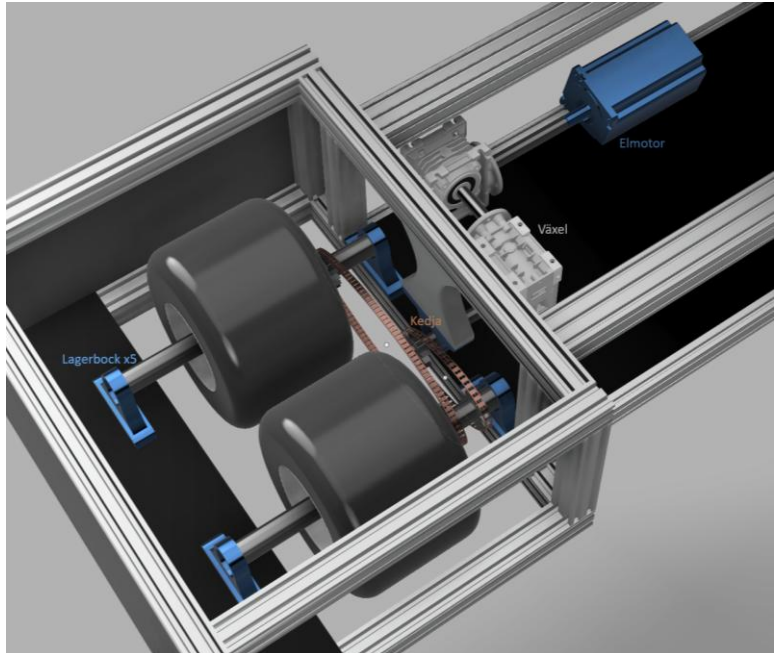
Vidare innebär användningen av stegmotor att rörelsen sker i diskreta steg, vanligtvis med en upplösning på 1,8 grader per steg. Vid de aktuella mätavstånden leder detta till relativt stora positionsförändringar per steg. Detta begränsar systemets noggrannhet och gör det svårt att uppnå den precision som efterfrågas vid ljustester, där små vinkelavvikelse ger tydliga utslag i mätresultatet.

Koncept 2



Figur 3 Helhetsbild på koncept 2

Koncept 2 bygger istället på att hela riggen roteras genom hjuldrift i kontakt med marken. Rörelsen genereras via en drivlina bestående av motor, växel och mekaniska transmissionskomponenter, vilket möjliggör en kontinuerlig och kontrollerad rotation runt den definierade rotationspunkten. Till skillnad från direkt rotationsstyrning sker positionsförändringen indirekt via hjulens rörelse. Detta innebär att en utväxling kan utnyttjas för att reducera motorhastigheten och samtidigt öka vridmomentet. Denna princip medför att små variationer



Figur 4 Mekaniska komponenter för koncept 2

i motorrotation motsvarar mycket små förflyttningar av riggen, vilket resulterar i en högre upplösning i den faktiska positioneringen.

Vidare innebär denna lösning att systemet är mindre känsligt för obalans i konstruktionen, då lasten fördelas via kontakt mot underlaget istället för att vara centrerad kring en ensam rotationsaxel. Detta bidrar till en mer robust och praktiskt genomförbar konstruktion.

Sammanvägd bedömning

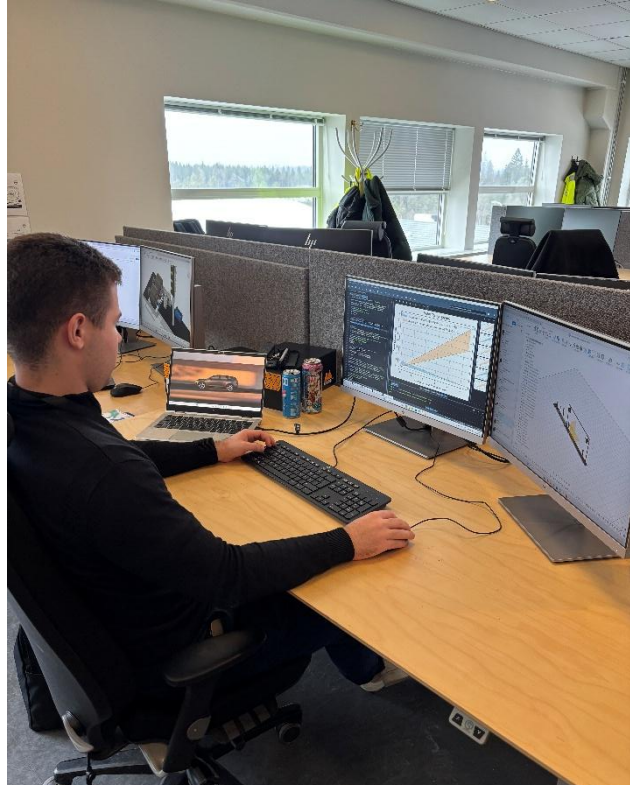
Vid en jämförelse mellan koncepten framgår att koncept 1 begränsas av krav på balansering och diskret rörelseupplösning, medan koncept 2 erbjuder en mer kontinuerlig rörelse och bättre möjlighet att anpassa precisionen genom utväxling.

Utifrån projektets krav på precision, stabilitet och praktisk genomförbarhet bedöms koncept 2 vara det mest lämpliga alternativet för vidare utveckling.

Konstruktion och beräkningsfas

Arbetet inleddes med beräkningar och vidareutveckling av konceptmodellen i CAD. Syftet med beräkningarna var att i förberedande syfte dimensionera konstruktionen för att säkerställa att rätt komponenter valdes inför uppbyggnaden av riggen.

Flera typer av beräkningar genomfördes, bland annat kraftjämvikt, momentberäkningar och friktionsberäkningar, för att kunna fastställa vilka krafter som uppstår i systemet vid drift. Problemet introduceras inledningsvis i två dimensioner för att förenkla analysen, då det verkliga tredimensionella fallet har begränsad påverkan på resultatet.



Figur 5 Kontorsarbete

$$\sum F \uparrow = 0$$

$$N_{hjul} + N_{platta} - mg = 0$$

$$\Rightarrow N_{platta} = mg - N_{hjul} \quad (1)$$

$$\sum M_{platta} = 0$$

$$-N_{hjul} \cdot l_{platta_{hjul}} + mg \cdot \bar{x} = 0 \quad (2)$$

$$\bar{x} = \frac{N_{hjul} \cdot l_{platta_{hjul}}}{mg} \quad (3)$$

Utifrån kraftjämvikt och momentjämvikt togs ett uttryck för riggens masscentrum fram. Syftet med detta var att kunna verifiera masscentrumet för konstruktionen i CAD verktyget med ekvationerna ovan. Eftersom masscentrumet identifierades och tillsammans med den totala vikten av riggen var det nu möjligt att sätta upp ekvationer för friktionen.

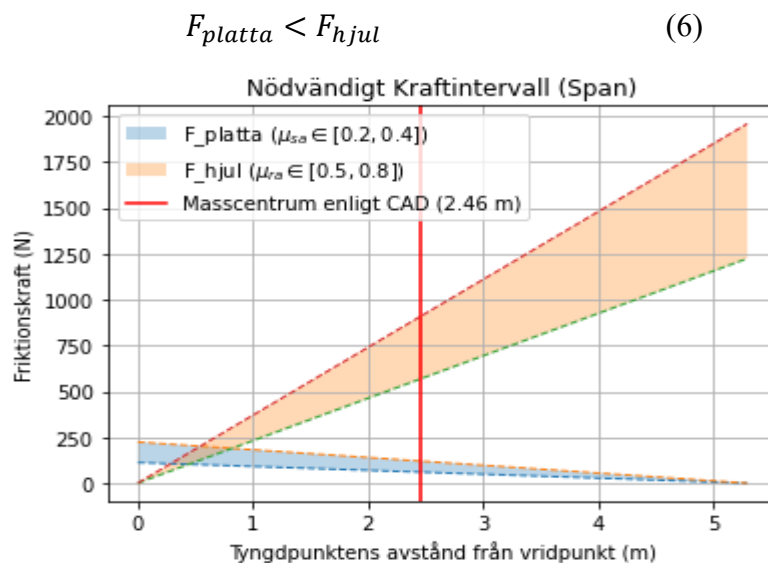
$$\bar{r} = \frac{1}{L \cdot W} \int_{-L/2}^{L/2} \int_0^W \sqrt{x^2 + y^2} dy dx \quad (4)$$

$$F_{platta} = \frac{\mu_{stål-asflatt} \cdot N_{platta} \cdot \bar{r}}{l_{platta_{hjul}}} \quad (5)$$

$$F_{hjul} = \mu_{gummy-asflatt} \cdot N_{hjul} \quad (6)$$

Ekvation (4) användes den för att bestämma "medelavståndet" \bar{r} där hela friktionskraften kan anses verka. Integralen gav ett \bar{r} värde som användes för att beräkna den faktiska friktionskraften. L och W representerar längden respektive bredden på den andel av ytan som är i direkt kontakt med asfalten. Uttrycket innanför integralen beskriver det raka avståndet från referenspunkten till varje enskild punkt på denna kontaktyta.

Däcken får inte slira för att konceptet skall fungera trots att resterande del av riggen glider. Då ekvationerna 5 och 6 involverar normalkrafterna som är beroende av varandra och i sin tur av masscentrum, kunde därmed Python användas för att visualisera huruvida ekvation (6) gäller:



Figur 6 Graf av friktionskrafterna som uppstår beroende på masscentrumets avstånd till vridpunkten. Friktingskrafterna utgår ifrån normalkrafterna vid de avsedda punkterna.

Enligt figur 6 avläses masscentrumet vara minst 1m ifrån vridpunkten. CAD-verktyget gav ett värde på vart masscentrumet är i relation till vridpunkten som var på 2,46 meter. Detta betyder att konstruktionens design är genomförbar.

I konstruktionsfasen genomfördes inledande beräkningar för att uppskatta vilket vridmoment och vilken effekt som krävdes för att kunna rotera riggen under de förutsättningar som rådde i testmiljön. Beräkningarna baserades bland annat på riggens massa, friktionskrafter mot underlaget samt den önskade rotationshastigheten. Utifrån detta kunde ett minimikrav för drivsystemets momentkapacitet fastställas.

Under projektets gång identifierades att det redan fanns en tillgänglig tvåpolig AC-motor, komplett med styrskåp och frekvensomriktare, installerad i den aktuella testmiljön hos Volvo. Motorernas specifikationer jämfördes med de framräknade kraven och det konstaterades att motorn hade tillräcklig effekt och momentkapacitet för den planerade applikationen. Detta innebar att motorn bedömdes vara lämplig att använda som grund för den fortsatta dimensioneringen av drivsystemet.

Genom att utgå från den befintliga motorns varvtal och prestanda kunde lämplig utväxling för snäckväxel, drev och kedjetransmission beräknas för att uppnå önskad rotationshastighet och tillräckligt vridmoment vid hjulen. Den befintliga lösningen innebar dessutom att styrskåp och frekvensomriktare redan var integrerade i testmiljön, vilket förenklade implementationen utan att kompromissa med de tekniska kraven på systemet.

Eftersom de använda hjulen är gokarthjul var det lämpligt att även använda gokartdrev, då dessa är standardkomponenter och kompatibla med systemet. På så sätt består hela drivlinan av väl beprövade standardlösningar. Utväxlingen från dreven kunde därmed inkluderas i systemets totala utväxling.

Ett samband mellan riggens rotation och motorernas rotation ställdes upp för att kunna dimensionera en lämplig utväxling i snäckväxeln.

$$n_{motor} = \frac{i_{omkrets} \cdot i_{växel} \cdot 60}{2 \cdot t_{180^\circ}} [RPM], \quad i_{omkrets} = \frac{l_{platta_{hjul}}}{r_{hjul}} \quad (7)$$

$$i_{växel_total} = \frac{n_{motor} \cdot r_{hjul} \cdot 2 \cdot t_{180^\circ}}{l_{platta_{hjul}} \cdot 60}, \quad i_{växel_total} = 91.3 \text{ (Utväxling)} \quad (8)$$

$$i_{växel} = \frac{i_{växel_total}}{i_{drev}}, \quad i_{växel} = 13.6 \text{ (Utväxling)} \quad (9)$$

Eftersom standard snäckväxlar är oftast utväxlade till $i = \{5, 7.5, 10, 15, 20, \dots\}$ (Motovario, 2017) är $i=15$ den mest passande utväxlingen. Detta eftersom rotationstiden t_{180} är ett önskemål, inte ett krav.

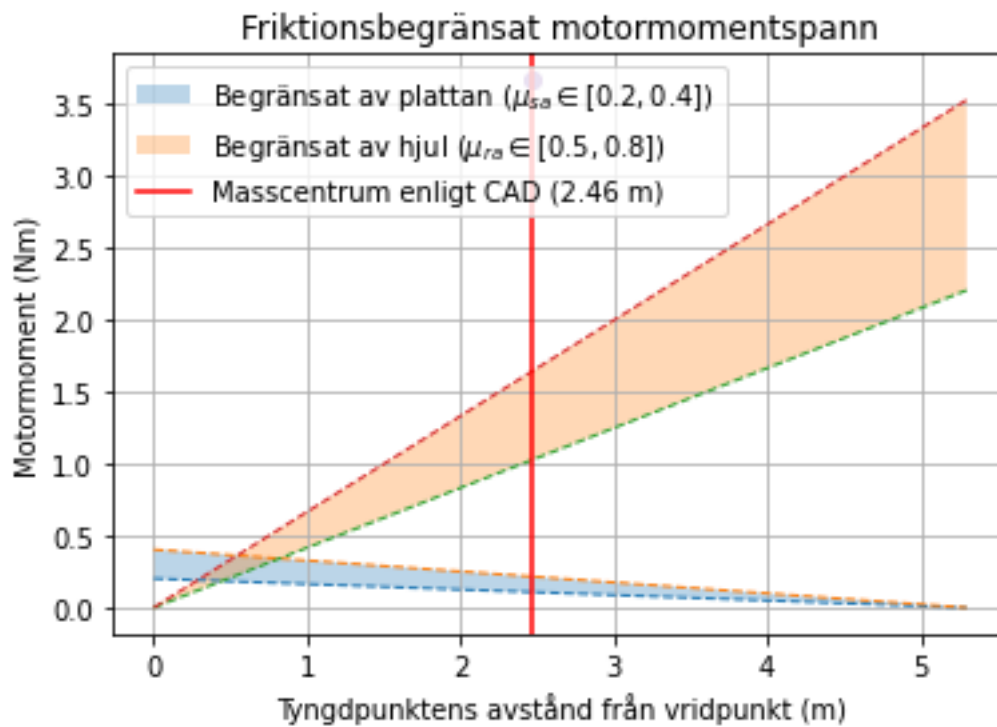
Med hjälp av den totala utväxlingen återstod det nu bara att kontrollera om momentet som motorn levererat tillsammans med utväxlingen är tillräckligt stort för att övervinna friktionen som uppstår mellan asfalten och riggen.

$$T_{hjul} = F_{hjul} \cdot r_{hjul} \quad (10)$$

$$T_{platta} = F_{platta} \cdot r_{hjul} \quad (11)$$

$$T_{motor} = \frac{T}{\eta_{tot}}, \quad \eta_{tot} = i_{total_växel} \cdot \eta \quad (12)$$

Eftersom momentet på hjulen och momentet på plattan är proportionerliga med friktionskraften kommer man få ett liknade resultat som i figuren för friktionsberäkningarna.



Figur 7 Graf av momentbegränsningarna som uppstår beroende på masscentrumets avstånd till vridpunkten. Momentet utgår ifrån motorns kapacitet begränsat av friktionen mellan asfalten och riggen.

Figur 7 visar att momentet som motorn levererar enligt motorns märkbricka är långt över det momentet som begränsas av friktionen mellan asfalten och riggen.

Resultat av analysen användes som underlag vid val och dimensionering av komponenter såsom aluflexprofilen, snäckväxel, drev, lagerbockar och kedja. Parallellt med beräkningsarbetet justerades CAD-modellen löpande för att anpassa konstruktionen efter de tekniska krav som identifierades under utvecklingsprocessen.

Uppbyggnad av Aluflexram

Byggnationen påbörjades med montering av riggens ramverk i Aluflex. Vid utformningen av ramen lades stort fokus på stabilitet och styvhet, då konstruktionen utsätts för belastningar och vridmoment under användning. Ramverket behövde även anpassas efter ljusriggens befintliga givarträd och övriga geometriska begränsningar i systemet. Under denna fas planerades även placeringen av drivlåda och hjul för att skapa en balanserad och funktionell konstruktion med god åtkomlighet för framtida service och justeringar.



Figur 10 Påbörjad Aluflexramverk



Figur 9 Konstruktion av Aluflex ramverk



Figur 8 Översikt av eventuellt utrymme för lagerbockar och drev

Montering av drivsystem

När ramkonstruktionen färdigställdes påbörjades monteringen av drivsystemet. Lagerbockar, kedjor, drev och egenkonstruerade hjulaxlar installerades i drivlådan.

Stor vikt lades vid korrekt linjering av komponenterna för att säkerställa att hjulen roterade parallellt och att kedjornas spänning blev korrekt. Detta var avgörande för att minimera mekaniska förluster och säkerställa jämn drift av riggen.

Under denna fas saknades möjlighet att köra systemet med den slutliga elmotorn. För att möjliggöra funktionstestning svetsades därför en hylsa fast på snäckväxelns axel. Detta gjorde det möjligt att temporärt driva riggen med hjälp av en skruvdragare och därigenom verifiera drivlinans funktion och rörelse innan slutlig installation av elsystemet.



Figur 11 Drivlådan med positionerade lagerbockar och servicelycka



Sammanfogning och injustering av riggen

Efter att drivsystemet verifierats monterades Aluflexramen samman med den resterande delen av riggen genom svets och skruvförband. Då motparten till aluflexramen bestod av svartstål fick en brygga konstrueras. Bryggan bestod av svartstål för att kunna svetsas direkt på resterande del av riggen. Bryggan bultades fast i aluminiumramen via skruvförband för att säkra båda delarna. För att säkerställa korrekt positionering genomfördes noggrann injustering med hjälp av laser. Detta var särskilt viktigt för att sensorträden skulle linjera exakt med riggens rotationspunkt och därmed möjliggöra korrekta och repeterbara mätningar vid testning.



Figur 14 Svetsning av mellandel



Figur 15 Sammansättning av hela konstruktionen



Figur 16 Riktning med laser

Installation av styrsystem och slutmontering

I den avslutande fasen installerades Dewesoft-systemet, styrskåp, elmotor och snäckväxel på riggen. Detta möjliggjorde elektrisk drift och styrning av riggen via ett reglage på styrskåpet.

Reglaget är kopplat till en frekvensomriktare som reglerar strömfrekvensen till elmotorn och därmed styrmotorns rotationshastighet. Elmotorn driver en axel som är kopplad till snäckväxeln, vilken reducerar varvtalet och ökar det tillgängliga momentet. Rörelsen överförs därefter vidare till drivaxeln och dreven som driver gokarthjulen och förflyttar riggen.

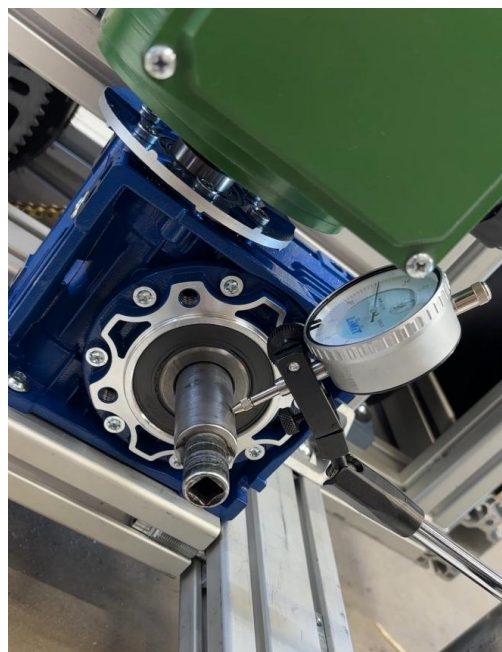
För att säkerställa korrekt funktion mäts drivaxeln upp med mätklocka och snäckväxeln shimsades in för att uppnå korrekt linjering och minimera vibrationer och snedbelastning i drivlinan.



Figur 17 Vy ovanifrån av Dewesoft



Figur 18 Sammansättning motor och växellåda



Figur 19 Uppmätning med mätklocka

DISKUSSION

Val av koncept och teknisk lösning

Valet av slutligt koncept baserades på en jämförelse mellan olika lösningsprinciper där fokus låg på precision, repeterbarhet samt praktisk genomförbarhet. En avgörande faktor i konceptvalet var dock inte enbart teoretiska beräkningar, utan även praktiska begränsningar som identifierades under projektets gång.

Ursprungligen övervägdes flera alternativa lösningar, bland annat koncept baserade på direkt rotation med stegmotorer. I teorin uppvisade dessa lösningar potentiella fördelar, men under återkommande avstämningar med ADAS-teamet framkom det att flera av dessa koncept inte var praktiskt genomförbara. Fredagsmötena fungerade som en viktig verklighetskontroll där lösningarna granskades utifrån faktiska krav, miljö och användning. Det blev tydligt att vissa koncept, trots att de var tekniskt möjliga på papper, inte skulle fungera i den verkliga applikationen.

Utöver bristande genomförbarhet hade stegmotorbaserade lösningar med direkt rotation även begränsningar i precision. Stegmotorns diskreta stegvinkel innebär att rörelsen sker stegvis snarare än kontinuerligt, vilket leder till en relativt grov upplösning i riggens positionering vid aktuella avstånd.

Den slutliga lösningen baserades istället på en kontinuerligt roterande tvåpolig AC-motor i kombination med en snäckväxel och hjuldrift. Denna lösning visade sig inte bara uppfylla kraven på precision och repeterbarhet bättre, utan var även realistisk att implementera i den befintliga miljön. Genom utväxlingen reduceras motorvarvtalet samtidigt som vridmomentet ökar, vilket ger en mer kontrollerad rörelse och finare upplösning i riggens positionering. Hjuldriften bidrog ytterligare till att lösningen blev praktiskt genomförbar. Till skillnad från direkt rotation, som kräver exakt centrerings och balansering kring en rotationspunkt, möjliggör hjuldriften en mer tolerant och robust konstruktion. Detta gjorde systemet mindre känsligt för avvikelser i montering och massfördelning, vilket var en viktig faktor i en verklig testmiljö.

Under projektets gång diskuterades även hur en mer avancerad och resurskrävande testanläggning skulle kunna utformas om budget och infrastruktur inte varit begränsande. En möjlig framtida lösning hade varit att bygga en större permanent testhall eller ett tältliknande system där samtliga givare och mätpunkter är fast installerade i marken. I en sådan lösning skulle sensorerna aldrig behöva flyttas eller justeras om mellan testerna, vilket ytterligare skulle förbättra repeterbarheten och minska risken för mänskliga fel vid uppställning. Istället för att genomföra flera separata mätningar i Dry Zone, där bilen behöver köras fram och tillbaka mellan olika positioner, hade fordonet i ett sådant system kunnat köra igenom en komplett testbana där samtliga mätningar utförs under en och samma körning. Detta hade möjliggjort att cirka 10–15 mätningar genomförs samtidigt, vilket både hade effektiviserat testprocessen och minskat den totala testtiden avsevärt.

Samtidigt hade en sådan lösning inneburit betydligt högre kostnader kopplade till lokal, installation och underhåll. Projektets slutliga koncept baserades därför på en balans mellan teknisk prestanda, praktisk genomförbarhet och tillgängliga resurser i den befintliga testmiljön.

Precision och repeterbarhet

Precision och repeterbarhet har varit centrala aspekter genom hela projektet då syftet med lösningen är att möjliggöra tillförlitliga och jämförbara mätningar. För att uppnå detta har flera metoder och tekniska åtgärder använts under både konstruktion och montering.

Vid uppbyggnaden av systemet användes laserutrustning för att linjera riggen och säkerställa korrekt positionering i förhållande till rotationspunkten. Detta var avgörande för att minimera systematiska fel och säkerställa att upprepade mätningar sker från samma geometriska utgångspunkt. Vidare användes en mätklocka för att kontrollera axlars linjering och kast, vilket bidrog till att identifiera och korrigera avvikelser i drivlinan.

För att reducera vibrationer och därmed förbättra både precision och livslängd på komponenterna genomfördes noggrann injustering av snäckväxeln med hjälp av shims. Detta

möjliggjorde en mer exakt inpassning av komponenterna och minskade risken för snedbelastning och oönskade rörelser i systemet.

Redan under konstruktionsfasen beaktades även den mekaniska stabiliteten hos aluminiumramverket genom beräkningar av krafter och moment. Detta säkerställde att konstruktionen har tillräcklig styvhet för att motstå deformationer under drift, vilket är en förutsättning för att bibehålla hög precision över tid.

Ergonomi och säkerhet

Under projektets genomförande har stort fokus lagts på både ergonomi och säkerhet, särskilt under de praktiska momenten i verkstadsmiljö. Arbetet innefattade användning av flera typer av maskiner, såsom fräs, pelarborr, bandsåg och svetsutrustning, vilket ställer höga krav på ett systematiskt säkerhetsarbete.

För att minimera risker har personlig skyddsutrustning använts konsekvent. Detta inkluderade hörselskydd, skyddsglasögon och i relevanta fall ytterligare skydd beroende på arbetsmoment. En viktig del av säkerhetsarbetet har också varit att endast använda maskiner efter att korrekt genomgång eller tillstånd erhållits. Innan nya moment eller maskiner användes säkerställdes att handledare eller ansvarig personal konsulterades, både för att följa gällande säkerhetsrutiner och för att utföra arbetet på ett korrekt sätt.

Detta arbetssätt har inte bara minskat risken för olyckor, utan även bidragit till ett mer strukturerat och medvetet arbetssätt. Genom att aktivt ställa frågor och efterfråga bekräftelse innan utförande har projektgruppen också strävat efter att skapa ett gott säkerhetstänk och fungera som ett positivt exempel i verkstadsmiljön.

Begränsningar och problem under projektet

En av de mest avgörande begränsningarna under projektets gång var tillgången till tid.

Arbetet påverkades i stor utsträckning av faktorer som låg utanför projektgruppens direkta kontroll. Exempelvis uppstod återkommande väntetider kopplade till beställning och leverans av komponenter, vilket gjorde att flera moment i utvecklingsprocessen fördröjdes. Detta innebar att arbetet periodvis stod stilla, trots att planeringen i övrigt var strukturerad och genomarbetad.

Utöver detta begränsades den effektiva arbetstiden av logistiska faktorer, då pendlingstiden till arbetsplatsen uppgick till cirka två timmar per dag. Detta minskade möjligheten att avsätta fler arbetstimmar till projektet, särskilt under intensiva faser som konstruktion, montering och testning.

Sammantaget innebar dessa tidsmässiga begränsningar att projektet behövde avgränsas ytterligare. Det var därför inte möjligt att genomföra mer omfattande tester, såsom långtidstester eller vidareutveckling av systemets mjukvaruintegration. Trots detta anses den framtagna lösningen uppfylla projektets huvudsakliga mål inom de givna ramarna, men ytterligare tid hade sannolikt möjliggjort en mer optimerad och fullständigt verifierad lösning.

Förbättringsförslag och framtida arbete

Trots att den framtagna lösningen uppfyller projektets huvudsakliga mål finns det flera möjligheter till vidareutveckling och förbättring. Dessa åtgärder skulle kunna öka systemets funktionalitet, precision och användarvänlighet ytterligare.

En central förbättring är implementering av induktiva givare för positionsbestämning. Genom att placera ut fasta referenspunkter i form av nedslagna stift i golvet i Dry Zone skulle riggens position kunna detekteras automatiskt. Detta möjliggör en direkt koppling mellan riggens faktiska position och insamlade mätdata, vilket i sin tur ger automatisk positionsloggning. En sådan lösning skulle minska risken för manuella fel och förbättra spårbarheten i mätresultaten.

Vidare finns potential att utveckla ett mer avancerat och användarvänligt gränssnitt. I nuläget styrs systemet enbart via ett vridreglage, vilket begränsar funktionaliteten. Genom att istället integrera styrningen i datorer placerade i kontrollbilen, exempelvis i kombination med Dewesoft, skulle operatören få bättre överblick och kontroll över systemet. Detta öppnar även upp för möjligheten att visualisera och logga data i realtid.

En mer avancerad styrning av riggen är också ett tydligt utvecklingsområde. I dagsläget saknas möjlighet till exakt positionsstyrning, men genom att implementera sensorer med återkoppling skulle ett slutet reglersystem kunna utvecklas. Detta skulle möjliggöra mer exakt positionering, automatisk korrigerande av avvikelser samt förbättrad repeterbarhet.

Det noterades även att det utgående vridmomentet från snäckväxeln i kombination med AC-motorn var relativt högt i förhållande till applikationen. Detta resulterade i ett ökat slitage på hjulen, då däcken utsattes för högre krafter än nödvändigt vid vissa moment, särskilt vid igångsättning och låga hastigheter. För framtida arbete rekommenderas därför en optimering av drivsystemet genom justering av frekvensomriktaren, där motorvarvtal och vridmoment kan anpassas mer precist efter behov. Genom att finjustera dessa parametrar kan slitaget på komponenter reduceras samtidigt som systemets kontroll och livslängd förbättras.

På längre sikt skulle systemet även kunna utvecklas mot en helt autonom lösning, där riggen själv förflyttar sig mellan fördefinierade positioner utan manuell inblandning. I kombination med positionsgivare och mjukvaruintegration skulle detta kunna effektivisera testprocessen avsevärt och minska behovet av operatörsingripande.

Reflektion kring problemformuleringen

Arbetet visar tydligt vikten av att anpassa problemformuleringen efter vad som faktiskt går att undersöka och verifiera i praktiken. Flera initiala frågor behövde omformuleras för att bättre spegla projektets resultat. Detta är en naturlig del av en iterativ utvecklingsprocess där teori och praktik kontinuerligt jämförs.

SLUTSATS

Besvaring av problemformuleringen

Följande avsnitt sammanfattar hur examensarbetets frågeställningar har besvarats utifrån projektets resultat och genomförda tester.

Motorkoncept – styrkor och svagheter

Initialt var tanken att använda en stegmotor i systemet, främst för att möjliggöra enkel positionsbestämning genom att räkna steg och varv. Detta ansågs i ett tidigt skede vara en fördel ur ett styrningsperspektiv, då det teoretiskt hade kunnat förenkla implementeringen av exakt positionering utan behov av återkopplingsystem.

Under projektets gång visade det sig dock att det redan fanns en tvåpolig AC-motor tillgänglig, komplett med styrskåp och frekvensomriktare, färdig att användas i den aktuella testmiljön. Detta innebar att en fungerande och integrerad lösning redan fanns på plats, vilket förändrade förutsättningarna för konceptvalet.

En avgörande faktor blev därmed tillgänglighet och genomförbarhet. Att beställa och implementera en stegmotor skulle ha inneburit ytterligare väntetider och integrationsarbete. I efterhand visade det sig att leveranstider för komponenter var långa, vilket bekräftar att ett sådant val sannolikt hade försenat projektet avsevärt.

Den tillgängliga AC-motorn uppfyllde samtidigt de krav som ställdes på systemet, särskilt i kombination med frekvensomriktaren som möjliggjorde reglering av hastighet och därmed kontrollerad rörelse. Även om lösningen inte erbjöd samma direkta möjlighet till positionsräkning som en stegmotor, vägdes detta upp av att systemet var robust, färdiginstallerat och kunde tas i drift utan ytterligare utvecklingssteg.

Friktionens påverkan

Friktionen mellan hjul och underlag visade sig vara en avgörande faktor vid val av lösning. Tillräcklig friktion krävdes för att möjliggöra kraftöverföring utan slirning, medan friktion i andra delar av systemet behövde minimeras. Detta påverkade både dimensionering av drivsystemet och valet av hjul samt material.

Montering och repeterbarhet

Upprepade monteringsstillfällen innebär risk för små avvikelser i positionering, vilket påverkar noggrannhet och repeterbarhet. Genom noggrann injustering med laser och kontroll med mätklocka kunde dessa avvikelser minimeras. Resultatet visar att korrekt uppställning är avgörande för att bibehålla precision mellan tester.

Vibrationer och linjering

Vibrationer identifierades som en faktor som kan försämra både precision och systemets livslängd. Genom att använda shims för att justera snäckväxeln samt säkerställa god linjering i drivlinan reducerades vibrationerna. Detta bidrog till en stabilare gång och mer tillförlitliga mätresultat.

Hantering och användning

Den föreslagna lösningen minskar behovet av manuell kraft vid förflyttning av riggen. Istället för att operatören manuellt drar riggen möjliggör motoriseringen en mer kontrollerad och mindre belastande hantering. Detta gör systemet enklare att använda i praktiken.

Tidsbesparing

Genom att automatisera förflyttningen av riggen minskar tiden mellan testpositioner. Även om full automation inte uppnåddes, innebär lösningen en tydlig effektivisering jämfört med tidigare arbetssätt där all förflyttning skedde manuellt.

Ergonomi och säkerhet

Lösningen bidrar till förbättrad ergonomi genom att minska tunga och repetitiva moment. Säkerheten har även förbättrats både i användning och under projektets genomförande genom ett konsekvent säkerhetstänk samt minskat behov av fysisk hantering under test.

Användarvänlighet

Ett användarvänligt system kräver ett tydligt och intuitivt gränssnitt. I nuvarande lösning sker styrning via ett enkelt reglage, men framtida förbättringar bör inkludera datorbaserad styrning och integration med mätprogram som Dewesoft för bättre kontroll och översikt.

Befintliga lösningar och konceptval

Konceptvalet påverkades starkt av erfarenheter från befintliga system samt återkoppling från ADAS-teamet. Genom kontinuerliga avstämningar kunde teoretiska lösningar utvärderas mot praktiska krav. Detta visade att flera koncept inte var genomförbara i verkligheten, vilket gjorde att den slutliga lösningen baserades på vad som faktiskt fungerade i praktiken, inte enbart i teori.

Referenser

Dahlberg, T. (2001). *Teknisk hållfasthetslära*. Lund: Studentlitteratur AB.

Jansson, P.-Å. (2018). *Mekanik*. Lund: Studentlitteratur AB.

Motovario. (2017). *TECHNICAL CATALOGUE_VSF_IEC_STD*. Retrieved from https://my.motovario.com/uploads/pdf_static/TECHNICAL%20CATALOGUE_VSF_IEC_STD_EN_rev0_2017.pdf

Oriental Motors. (2026, maj 13). *Stepper Motors*. Retrieved from <https://www.orientalmotor.com/stepper-motors/>

SEW-Eurodrive. (2026, maj 13). *Gearmotors*. Retrieved from <https://www.sew-eurodrive.com>

SEW-EURODRIVE. (2026, maj 13). *S series helical-worm gear units*. Retrieved from <https://www.sew-eurodrive.com/>

SKF. (2026, maj 13). *Bearing technology and applications*. Retrieved from <https://www.skf.com/>

Bilagor

Bilaga 1:

Chalmers	Kravspecifikation				Dokument
	Projekt				VCC
Utfärdare: Exjobbarna		Skapad: 2026-02-04			
		Modifierad:			
Kriterier	Målvärde	K/ Ö	Vikt (5=Viktigast)	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)
Funktion(er)					
	Skapa rotation hos riggen	K		Se om riggen roterar	VCC
	Testriggen fjärstyrts via ett säkert och enkelt gränssnitt.	K		Testa på flera olika personer	VCC
	Integration av befintiga mjukvaror	Ö	3	Godkännande av anställd	VCC
	Givarna (yttre) ska befinna sig på vänster sida av bilen	K		Visuell avgörning.	
1. Prestanda					
1.1	Lösningen ska ha högre vinkelnoggrannhet än den befintliga.	Ö	5	Precision (mm)	VCC
1.2	Tid från input till klar för test (40 s)	Ö	1	Tidtagning	
1.3	Gradantal 0 19, 155 och 161	K		Mät gradtal.	
2. Miljö (omgivande)					
2.1	Temperatur i användningsmiljö - 10 °C till 30 °C	K		Test och product data	Asta Zero (Dry zone)

2.3	Produkten får inte avge damm, vatten eller rök under drift	K		Mäta damm, vatten, rök	Asta zero och VCC
3 Storlek					
3.1	Riggens dimensioner inom det fordonssnära området (X m) är fastställda	K		Mät (m)	IIHS och VCC
3.2	Elektroniken ska hållas åtskild från fordonet. (X m)	K		Mät (m)	VCC
4 Ergonomi					
4,1	Unvika belastningar vid upprepande manuella inställningar	Ö	2	Enmannajobb	VCC
5 Säkerhet					
5,1	Undvika mänsklig korrigerings av riggen vid tester	K		Enmannajobb	VCC
5,2	Säker vid krock			Fråga erfarna krocktestare- Vi kan inte krocka riggen.	VCC
6 Estetik och ytfinish					
6,1	Ytan ska vara behandlad med matt svart färg.	K		Testa reflektionen	VCC
7 Material					
7,1	Materialet ska vara tillräckligt styvt för att motstå deformation.	K		Stress test	VCC

8 Kvalitet och tillförlitlighet				
Skapar repeterbarhet (Behålla 8,1 samma kvalite)	Ö	4	Jämförande mellan tester	VCC

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH
MARITIMA VETENSKAPER
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2026
www.chalmers.se



CHALMERS