



CHALMERS



Konstruktion av måldragare

Rigg för test av aktiv säkerhet

PPUX03-16-28

LUDWIG ADOLFSSON

LINUS ARNÖ

TED ERIKSSON

KARL-JOHAN HOLM

MATTIAS RAHM

EMIL RYLÉN

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2016

Förord

Följande rapport är skriven som en del av kandidatarbetet *Rigg för test av aktiv säkerhet* (PPUX03-16-28) vid institutionen för Produkt- och produktionsutveckling på Chalmers tekniska högskola. Arbetet motsvarade 15 högskolepoäng och genomfördes av sex teknologstudenter i läsår tre från två civilingenjörsprogram.

Stort tack riktas till AstaZero och Peter Janevik, teknisk chef hos beställaren, som varit projektets grundare och företagshandledare. AstaZero är ett Göteborgsbaserat företag som arbetar med test av aktiva säkerhetssystem hos fordon. Projektet är skapat utifrån beställarens verkliga behov och Janevik har kontinuerligt rådfrågats under projektets gång. Projektets medlemmar fick även möjlighet till studiebesök på beställarens testanläggning i Hälleröd, Borås.

Vidare tackas institutionen för Produkt- och produktionsutveckling på Chalmers tekniska högskola och projektets handledare Gaudi Asbjörnsson. Handledaren har varit mycket hjälpsam, lättillgänglig och driven under projektets gång. Institutionen tillhandahöll även projektets budget som använts vid inköp av komponenter och finansierade transporten till studiebesöket hos AstaZero.

Andra institutioner på Chalmers tekniska högskola som också tackas för deras stöd och svar vid rådfrågningar är Tillämpad mekanik, Signaler och system samt Energi och miljö.

Företaget Automizer AB i Trollhättan distribuerar automationsprodukter och har bidragit med sin kompetens för att gruppen skulle kunna beskriva styrsystemet. Kabetex Kullager & Transmission AB har varit till stor hjälp vid frågor rörande maskinelement. Ingeniörsfirma Bågenfelt & Hellström AB har bidragit med förståelse vid konstruktion och hjälp med kostnadsuppskattning av komponenter. Ovan nämnda företag har även lämnat offert för utrustning till föreslagen prototyp.

Abstract

The aim for this project was to create a concept for a future product that will be able to transport a target across a two lane road in a secure and efficient way. The product will allow testing of vehicles' active safety systems, such as autonomous emergency breaking.

As a methodology for this project's implementation "the Value Model: How to Master Product Development and Create Unrivalled Customer Value" by Jan Burenus and Per Lindstedt (2003) was used. The Value Model is a holistic framework for how to work with customer value creation and innovation in practice. For the project, this meant several developing stages such as defining the project, competitor analysis, brainstorming sessions, concept elimination and more. When a concept was chosen, the components were dimensioned based on mathematical calculations.

The project resulted not only in a mechanical description of the concept and its components, but also a theoretical description of the concept's sequential behaviour. Guidance for further development is also given.

All this together makes up a good foundation and recommendations for future development towards a functioning product.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING.....	1
1.1	BAKGRUND.....	1
1.2	MÅL OCH SYFTE	1
1.3	UPPGIFT	1
1.4	AVGRÄNSNINGAR.....	3
1.5	METODÖVERSIKT.....	3
2	PROJEKTDEFINITION.....	4
2.1	PRODUKTBESKRIVNING	4
2.1.1	Huvudfunktioner	4
2.1.2	Tilläggsfunktioner	4
2.1.3	Stödfunktioner.....	4
2.1.4	Oönskade funktioner.....	5
2.2	VERIFIERING AV FUNKTIONER.....	5
2.3	KRAVSPECIFIKATION.....	6
2.4	KARTLÄGGNING AV MARKNADEN.....	6
2.4.1	Konkurrentanalys.....	6
2.4.2	Kundundersökning	9
3	KONCEPTGENERERING OCH KONCEPTVAL	11
3.1	GENERERING AV HELHETSKONCEPT.....	11
3.2	VAL HELHETSKONCEPT.....	13
3.3	ANALYS AV VALT KONCEPT	14
3.4	DELSYSTEMLÖSNINGAR.....	15
4	KONCEPTKONSTRUKTION.....	21
4.1	FUNKTIONELL MODELL.....	21
4.2	ANALYTISK MODELL.....	22
4.3	UTFORMNING OCH DIMENSIONERING AV KOMPONENTER.....	23
4.4	VERIFIERING OCH UTVÄRDERING AV KONCEPT	30
4.4.1	Simulering i CAD	30
4.4.2	Säkerhetsanalys	40
5	RESULTAT	41
5.1	DELKOMPONENTER.....	42
5.2	SEKVENTIELL BESKRIVNING AV PRODUKTKONCEPTET	46
5.2.1	Installation	46
5.2.2	Referenskörning	47
5.2.3	Beskrivning av start och bufferttid.....	48
5.2.4	Mängddrift av prototypen efter referenskörning	50
6	PROTOTYPUNDERLAG	51
6.1	PROTOTYP NOLL – TEST AV ELEKTRISKA DRIFTSYSTEM	51
6.2	PROTOTYP 1– KOMBINATORISKT TEST	55
7	VIDAREUTVECKLING.....	59
8	DISKUSSION.....	62
9	SLUTSATS OCH REKOMMENDATIONER	64
10	REFERENSER.....	65
Bilaga A-I		

Förkortningslista och definitioner

Förutom vedertagna svenska förkortningar har följande använts under projektet.

<i>FMEA</i>	Failure Modes & Effects Analysis
<i>u.d.</i>	Utan datum. Används för referenser utan känt datum.
<i>PLC</i>	Programmable Logic Controller
<i>HMI</i>	Human-Machine Interface
<i>AC</i>	Alternating Current (Växelström)
<i>DC</i>	Direct Current (Likström)
<i>AEB</i>	Autonomous Emergency Braking
<i>EU</i>	Europeiska Unionen
<i>CAD</i>	Computer Aided Design
<i>GPS</i>	Global Positioning System
<i>SEK</i>	Svenska kronor
<i>CE-märkning</i>	Conformité Européenne. Uppfylld av grundläggande hälso-, miljö- eller säkerhetskrav i EU-direktiv. (Nationalencyklopedin, u.d.)

Följande lista är framtagen för de definitioner som använts.

Matlab

Programvara för matematiska beräkningar från MathWorks. I projektet användes version R2016a.

Inventor

Programvara för CAD-modellering från Autodesk. I projektet används version Proffessional 2016.

Fordon

Marknära fordon utrustade med aktiva säkerhetssystem, exempelvis personbil, lastbil. Testfordon avser det testade fordonet.

Aktiva säkerhetssystem

Teknisk utrustning implementerad i fordon för att automatiskt förutse och undvika olyckor, exempelvis AEB-system som aktivt bromsar fordon vid fara.

Måldragare

Testutrustning som transporterar objekt (mål) över en vägbana.

Mål

Objekt som symboliserar möjliga hinder i trafiken.

Släde

Plattform för placering av mål.

Basenhet

Del av konstruktion innehållande elektronik och drivkälla.

Beställaren

Projektets kund och slutanvändare av produkten.

Är- och börvärde

Verkligt värde respektive önskat värde. Uttryck som används inom reglertekniken.

GPS-tid

Synkroniserad tidsskala som används inom GPS.

Y-kopplat moment

Lågeffektskoppling, sänkt spänning över motorns lindningar.

1 Inledning

I världen dödas omkring 1,25 miljoner människor i trafiken varje år. 90 % av dödsolyckorna förekommer i låg- och medelinkomstländer, trots att dessa länder endast innehar ungefär hälften av världens bilar (World Health Organization, 2015). I Sverige har antalet dödsolyckor i trafiken minskat kontinuerligt sedan 50-talet (Statistiska centralbyrån, 2003) och 2013 noterades minst antal omkomna människor i trafiken sedan andra världskriget (264 stycken) (Rabe, 2014). Den positiva utvecklingen i Sverige kan kopplas till en utvecklad infrastruktur och ett samhälle som anpassats efter en ökad användning av fordon, men även till industrins utveckling mot att tillverka allt säkrare fordon. Trepunktsbältet, ABS-bromsar, krockkudde och antisladd-system är exempel på innovationer som har hjälpt till att sänka trafikdödligheten. Efter att kurvan under 2000-talet har planat ut krävs något nytt för att nå till nästa nivå. Bilindustrins svar på detta är att minska den mänskliga faktorn genom att utrusta bilar med aktiva säkerhetssystem. Systemen känner av sin omgivning med sensorer och agerar innan föraren hunnit reagera, till exempel bromsar in för ett framspringande barn. De allt smartare bilarna har även lett till diskussion kring och utveckling av självkörande fordon som tillåter föraren att helt släppa ratten.

Om självbromsande bilar ska rädda liv och om förarlösa bilar ska gå att lita på är det kritiskt för den industri som genomför denna satsning att allt fungerar utan problem. Produkterna måste därför genomgå tester innan de kan lanseras på marknaden.

1.1 Bakgrund

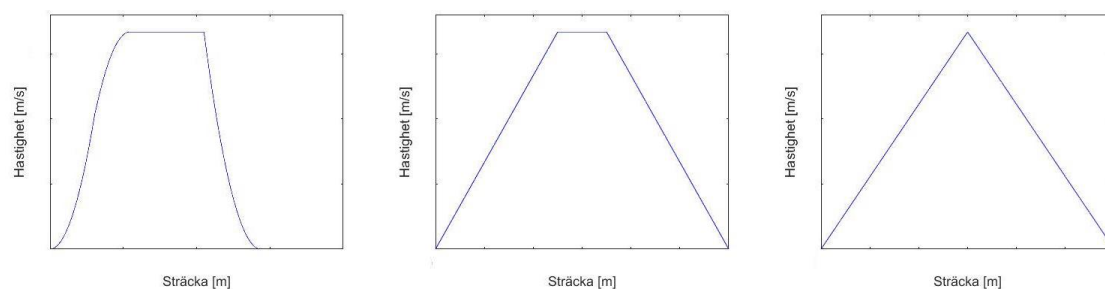
Projektet genomfördes i samverkan med projektets beställare, ett företag som utför tester av avancerade säkerhetssystem för olika trafiksituationer. Beställaren hade för avsikt att utveckla en testutrustning, en så kallad måldragare, som skulle hjälpa dem att förbättra sin verksamhet och följa fordonsindustrins ökade användning av aktiva säkerhetssystem. Måldragaren har för uppgift att föra kollisionsobjekt framför fordon och simulera faror som kan uppkomma i trafiken, till exempel fotgängare, cyklister eller djur. De måldragare som fanns på marknaden vid projektets start uppfyllde inte beställarens krav. Projektet syftar därför till att skapa ett underlag för en måldragare med högre prestanda. Beställaren såg nytta i att ta del av projektets lösning samt att bistå med ett givande kandidatarbete.

1.2 Mål och syfte

Målet med projektet var att ta fram ett produktkoncept för ett system som på ett säkert, tillförlitligt och effektivt sätt kan testa fordons aktiva säkerhetssystem. Produktkonceptet ska vid en vidareutveckling av utrustningen fungera som underlag innehållande genomarbetade förslag och rekommendationer. Projektet syftar i att mer diversifierade och tillförlitliga tester av aktiva säkerhetssystem kan genomföras och därmed främja utvecklingen av framtida system.

1.3 Uppgift

Grundproblemet vilade i att utveckla ett koncept för en måldragare som vid önskat tillfälle skall transportera ett objekt av varierande vikt och storlek över vägen efter en bestämd hastighetsprofil. I *Figur 1* ses tre olika hastighetskurvor som målet kan tänkas följa vid transporten.



Figur 1. Olika hastighetsprofiler för transport av mål

Det skall vara möjligt att transportera målet med konstant hastighet över en sträcka motsvarande bredden av en tvåfilig vägbana. Hastighetsprofilen i den vänstra grafen är lämplig då endast målets konstanta hastighetsfas är intressant. Acceleration och retardation är maximal för att minimera målets totala transportsträcka. I de fall då ett förutsägbart rörelsemönster önskas för att exempelvis underlätta accelerations-, hastighets- och positionsberäkningar för målet lämpas den mittersta hastighetsprofilen. I denna styrs accelerationen och retardationen till linjära kurvor. Vid ett testscenario där endast accelerations- och retardationsfasen är av intresse kan hastighetsprofilen i den högra grafen vara ett lämpligt val för att minimera teststräckan.

För att tydliggöra uppgiften delades den in i flera aspekter. Tillsammans skapar dessa en övergripande bild av de utmaningar som projektets medlemmar stod inför att lösa.

Drivkraft

Behövs för att skapa rörelseenergi som förflyttar målet. Målet skall kunna transporteras framåt och bakåt.

Kraftöverföring

Behövs för att överföra energi från drivkraften till målet.

Positionsfixering

Då målet är i rörelse ska det i en dimension vara inom givna toleranser, med andra ord skall det färdas enligt korrekt hastighetsprofil.

Styrsystem

För att reglera måldragarens hastighet behövs ett system som styr drivkraftens verkan. Förutom att följa olika hastighetskurvor ska måldragaren kunna starta på utsatt GPS-tid.

Körinställningar

Användaren skall kunna ange direktiv till måldragarens styrsystem.

Teststräcka

Teststräckans längd skall kunna varieras.

Portabilitet

Måldragaren skall kunna förflyttas mellan olika platser med hjälp av truck.

Hållbarhet

Produkten ska kunna användas utomhus i varierande väder. Underhåll av produkten skall vara så enkelt som möjligt.

Säkerhet

Det är viktigt att ingen kommer till skada vid hantering av måldragaren. Säkerhetsrisker ska evalueras och motverkas.

1.4 Avgränsningar

Projektet resulterar inte i en färdig slutprodukt. Ingen tillverkning av prototyper genomförs och därför verifieras inte konceptets praktiska egenskaper. De ritningar som tas fram måttsätts inte med toleranser.

Mål, de objekt som skall symbolisera verkliga hinder, undersöks ej inom projektets ramar. Det gäller även för anordning som mål skall fästas i. Detta utelämnas på beställarens begäran. Därför undersöks inte hur mål skall vändas för att möjliggöra transport åt två håll eller hur positionstoleranser i sidled skall uppfyllas. Inte heller problemet med hur energitillförsel till den operativa platsen kommer ske undersöks under projektet. Kundens krav på slutprodukten är att måldragaren skall kunna styras med enkla tekniska medel. Det slutgiltiga grafiska gränssnittet kommer inte att utvecklas inom projektet. Det anses inte tillföra funktion till produktens genomförande, utan endast öka användarvänligheten.

1.5 Metodöversikt

Som metod för genomförandet av projektet användes i stora drag de steg som definieras i the Value Model - How to Master Product Development and Create Unrivalled Customer Value av Jan Burenius och Per Lindstedt (2003). Värde modellen (The Value Model) är en arbetsmodell för att skapa och genomföra projekt där fokus ligger på kundvärde och effektivitet.

Projektet inleddes genom en *projektdefinition* med specificering av intressenter samt en beskrivning av produkten och dess funktioner. Med utgång från projektdefinitionen uppfördes en kravspecifikation. Då initiala idéer dokumenterats genomfördes en kartläggning av marknaden inkluderande en konkurrentanalys och en kundundersökning.

Fortsatt genomfördes *konceptgenerering och konceptval*. Produktens huvudsakliga utformning bestämdes genom att generera ett flertal helhetskoncept med idégenereringsmetoden brainstorming. Elimineringsmatriser användes för att välja ett koncept att vidareutveckla. Konceptet delades upp i delsystem som utvärderades och valdes individuellt.

I *konceptkonstruktionen* redovisas konceptets huvudsakliga utformning och funktion med hjälp av en funktionell modell. De krafter produktens komponenter utsätts för ställdes upp med en analytisk modell, vilken användes som utgångspunkt för att dimensionera de ingående komponenterna. Konceptet verifierades därefter med hjälp av simuleringar och projektets *resultat* presenteras med bland annat CAD-bilder och en ingående beskrivning av produktkonceptets sekventiella beteende.

2 Projektdefinition

Projektet tydliggjordes genom att kartlägga projektets intressenter (*Bilaga A - Intressenter*), beskriva slutprodukts funktioner, bestämma verifieringsmetoder och upprätta en kravspecifikation med krav och önskemål på produkten. Detta för att ge en grund till den framtida utvecklingen och tydliggöra målsättningen för projektet.

2.1 Produktbeskrivning

Produktens egenskaper tydliggjordes i funktioner. Strävan mot att uppfylla önskade funktioner, och minimera eller eliminera oönskade, medförde ett lösningsoberoende språk. Funktionerna kategoriserades i huvudfunktioner, tilläggsfunktioner, stödfunktioner och oönskade funktioner.

2.1.1 Huvudfunktioner

Huvudfunktioner är nödvändiga för att produkten skall uppnå sitt syfte. Kundvärdet hos produkten kan ökas genom att höja prestandan för dessa funktioner.

- Produkten kan transportera mål över vägbana för att illustrera hinder som uppkommer i trafiken. Utförandet är rakt, stabilt och kan upprepas med oförändrat resultat.
- Produkten kan transportera mål efter olika hastighetsprofiler, vilka implementeras av användare.
- Produkten kan starta måltransporten på given GPS-tid.

2.1.2 Tilläggsfunktioner

Tilläggsfunktioner bidrar till ökat kundvärde utan att påverka på huvudfunktionerna. Ökat kundvärde uppnås genom större antal önskade tilläggsfunktioner eller ökad prestanda på redan existerande.

- Produkten kan transportera mål över varierande sträckor för att möjliggöra fler testscenarion, utan att nödvändigtvis använda hela den maximal teststräcka.
- Produkten kan transportera mål med olika vikt och geometri för att möjliggöra fler testscenarion.
- Produkten kan transportera mål i två motsatta riktningar för att möjliggöra ökad testkapacitet och minskad omställningstiden.
- Produktens inställningar kan kontrolleras via ett användargränssnitt.

2.1.3 Stödfunktioner

Stödfunktioner tillför inget kundvärde, men är nödvändiga för produktens funktionalitet.

- Energikälla tillför energi.
- Drivkraft omvandlar ingående energi till rörelseenergi.
- Kraftöverföring överför rörelseenergin till målet

2.1.4 Önskade funktioner

Önskade funktioner kännetecknas av värdeminskande egenskaper hos produkten. Nedan listas hypotetiska önskade funktioner produkten kan tänkas ha. Under projektet eftersträvades att minimera eller helt undvika dessa.

- Produkten förbrukar energi.
- Produkten kan skada personer i sin omgivning.
- Produkten kräver underhåll för att fungera oförändrat under en bestämd livslängd.
- Produkten kan skada vägbanan.
- Produkten kan ha önskad påverkan på testfordonets säkerhetssystem.
- Produkten kan skada fordonet vid kollision.
- Produkten kan producera höga ljud och/eller vibrationer.

2.2 Verifiering av funktioner

Verifieringsmetoder för respektive funktion fastställdes för att garantera att funktionernas uppfyllnadsgrad kan verifieras. I *Tabell 1* redovisas verifieringsmetoder som kan användas för att utvärdera hur väl slutkonceptet uppfyller huvudfunktioner och tilläggsfunktioner, samt hur väl påverkan av stödfunktioner och önskade funktioner har minimerats. Verifiering med fysiska tester genomfördes inte. Funktionerna i *Tabell 1* är tagna från avsnitt 2.1 *Produktbeskrivning*.

Tabell 1. Verifiering av funktioner

Huvudfunktioner	Verifiering
Produkten transporterar mål	Utförande och utvärdering av testkörning
Produkten verkställer given hastighetsprofil	Upprepade testkörningar och mätning av hastigheten med sensorer
Transport av mål startar på GPS-tid	Upprepad kontroll av den faktiska starttiden med annan tidsindikator vid testkörning
Tilläggsfunktioner	
Produkten transporterar mål olika långt	Kontroll av målets minimala och maximala transportsträcka
Produkten klarar av mål med olika storlek	Utförande och utvärdering av testkörning med olika typer av mål
Produkten transporterar mål framåt och bakåt	Utförande och utvärdering av testkörning i båda riktning
Inställningar görs via användargränssnitt	Jämförelse mellan indata och respons
Stödfunktioner	
Energikälla tillför energi	Utförande och utvärdering av testkörning

Drivkraft omvandlar energi	Utförande och utvärdering av testkörning
Kraftöverföring överför rörelseenergi	Utförande och utvärdering av testkörning
Oönskade funktioner	
Produkten kräver underhåll	Analys av livslängd för respektive komponent hos produkten under normalt slitage och underhåll
Produkten förbrukar energi	Mätning av energiförbrukning
Produkten skadar personer	Kan ej verifieras*
Produkten skadar vägbanan	Visuell avsyning av vägbanan och utvärdering från beställaren
Produkten stör systemet för aktiv säkerhet	Testkörning utan mål
Produkten skadar testfordonet	Krocka med mål och kontrollera eventuella skador visuellt och tekniskt
Produkten producerar obehaglig ljud- och vibrationsnivå	Mätning vid upprepad testkörning och kontroll mot bestämda gränser

* Säkerhetsåtgärder bör utföras och CE-märkning genomföras för att minska risken

2.3 Kravspecifikation

Kravspecifikationen redogör för krav och önskemål som ställdes på slutprodukten. Innehållet grundades i beställarens direktiv och utökades därefter. Önskemål viktades mellan ett och fem, där fem motsvarar viktigare önskemål än ett. Kravspecifikationen anger även hur verifiering av uppsatta krav och önskemål kan utföras. Slutgiltig kravspecifikation tillgås i *Bilaga B – Kravspecifikation*.

2.4 Kartläggning av marknaden

Kartläggning av marknaden genomfördes för ökad förståelse angående produktens syfte och användning. Konkurrerande måldragarutrustningar undersöktes även för inspiration och undvikande av att "uppfinna hjulet på nytt", samtidigt för att undvika patentintrång. På grund av projektets inriktning mot specifik beställare fokuserades kartläggningen på beställarens behov samt konkurrerande lösningar. Fullständig marknadsanalys ansågs inte nödvändig. Resultatet av kartläggningen användes vidare som underlag för konceptgenereringsfasen.

2.4.1 Konkurrentanalys

Då fäste och testdockor, s.k. dummies, avgränsats från projektet fokuserades konkurrentanalysen på system som transporterar testdockor i samband med AEB-tester. För att finna sådana system genomfördes internetsökningar efter företag aktiva inom branschen.

Under sökningen upptäcktes tre företag med produktlösningar till liknande uppgifter som projektets produkt syftar att utföra.

Anthony Best Dynamics

Anthony Best Dynamics utvecklar system för säkerhetstester inom fordonsindustrin. Ett av systemen simulerar en fotgängare som korsar vägbanan och liknar således projektscenariot. Systemet består av mål fäst på släde driven över vägen med planrem, se *Figur 2*. Remmen drivs av elmotor. Släden är platt och remmen löper tätt intill marken vilket medför att fordon kan köra över utrustningen utan komplikationer. Remmen spänns upp över vägbanan mellan drivande enhet och trissa som hålls på plats med tyngder. Systemet kan kontrolleras på tre sätt. Transport av mål startas när testfordon bryter laserstråle, på förbestämd GPS-tid eller med positionsreglering i förhållande till fordonet. Systemet kan föra en totalvikt på 15 kg över vägbanan i 20 km/h.

Sammanfattningsvis:

- Portabelt system som är lätt att montera och demontera
- Går att köra över utan skada på fordonet
- Max hastighet mål (15 kg) - 20 km/h
- Kan starta med laser, GPS-tid eller synkronisering mellan bil och mål



Figur 2. Testkonstruktion för fotgängare (Anthony Best Dynamics, u.d.)

4ActiveSystems

4ActiveSystems tillhandahåller tre huvudsakliga typer av testsystem för AEB varav två efterliknar fotgängare som korsar vägen. Ena varianten är mobil (4activeSB), andra en stationär rigg (4activeEX). Tredje varianten drivs målet längs med körriktningen (4activeLD).

4activeSB

Anordningen utför test med dummies som korsar vägen framför testfordonet. Målet drivs med rem som matas av batteridrivna motorenhet i ena änden och vänder med trissa i andra. Systemets egenvikt förankrar anordningen under test. Släden är överkörbar upp till fordonshastigheter på 60 km/h, även under inbromsning. Systemet är utrustat med sensor som ser till att målet släpper släden innan kollision.

Sammanfattningsvis:

- Möjlig att frakta i personbil
- Installeras av två personer på 30 min
- Maxhastighet fordon 60 km/h
- Maxhastighet mål 20 km/h
- Målacceleration $\pm 4 \text{ m/s}^2$
- Plattformens höjd 25 mm

- Positionstolerans ± 3 cm
- Möjlig att styra genom WiFi-utrustad kontrollpanel



Figur 3. Testkonstruktion för fotgängare (4ActiveSystems, u.d.)

4activeEX

Systemet består av en ställning över vägbanan, se *Figur 4*. Testanordningen är till 95 procent tillverkad i fiberkomposit vilket påstås minska ställningens inverkan på fordonets radarsystem. Fordonet kommer aldrig i kontakt med målet under testet. Systemet har inbyggd sensor som ser till att målet förflyttas ur kollisionskurs. Vid hastighet på 80 km/h är 3,5 m mellan fordon och mål innan målet accelereras. Detta möjliggör högre hastigheter vid test utan skada på mål eller fordon.

Sammanfattningsvis:

- Max hastighet fordon 80 km/h
- Max hastighet mål 20 km/h
- Dimension för ställning 26x7x2 m
- Tidskalibrering med GPS-tid



Figur 4. Testkonstruktion för fotgängare (4ActiveSystems, u.d.)

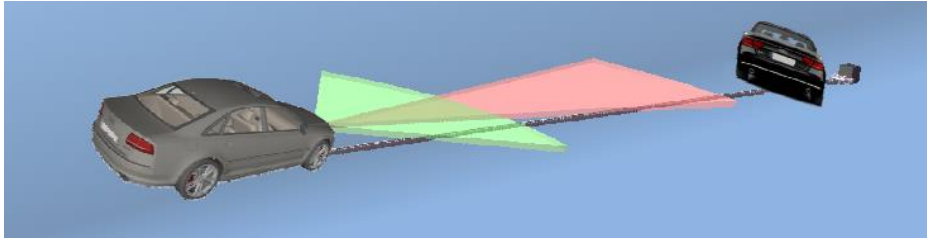
4activeLD

Målet, här i form av bakändan på en bil, drivs längs med testfordonets körbana, se *Figur 5*. Testet sker i enlighet med Euro NCAP (Euro NCAP, 2014). Målet rör sig enligt fördefinierat rörelsemönster och är konstruerat för att absorbera luftmotstånd. Innan kollisionsögonblicket ser sensorer till att målet lossnar från släden för att undvika skada på system eller testfordon. Likt 4activeEX är anordningen tillverkad i fiberkomposit för liten påverkan på fordonssystem.

Sammanfattningsvis:

- Maxhastighet fordon 80 km/h
- Maxhastighet mål 50 km/h

- Tidsskalibrering med GPS-tid
- Maximal teststräcka 160 m
- Upp till 80 test per dag



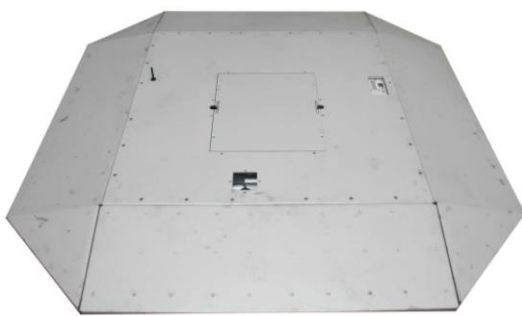
Figur 5. Testkonstruktion för bil bakifrån (4ActiveSystems, u.d.)

Dr. Steffan Datentechnik

Företaget arbetar med säkerhet inom bilindustrin och tillhandahåller roboten Ultra Flat Overrunable (UFO), se *Figur 6a*. På UFO fästs mål som transporteras efter inprogrammerad bana. UFO är helt frigående och är således lätt att installera och transportera. Utformningen är platt med ramper fästa på sidorna för mjuk överkörning, se *Figur 6b*. Drivkällan är ett utbytbar batteri med cirka en timmes laddtid. Maxhastigheten för roboten ligger omkring 70 km/h.

Sammanfattningsvis:

- Kan användas till olika mål
- Maxhastighet mål 70 km/h
- Höjd 98 mm
- Programmerbar körbana, ± 15 mm precision
- Överkörningsbar
- Enkelt batteribyte
- Avtagbara ramper
- Sammansatt vikt 170 kg
- Max acceleration $3,9 \text{ m/s}^2$
- Max inbromsning $7,4 \text{ m/s}^2$



a



b

Figur 6. UFO – Ultra Flat Overrunable (Dr. Steffan Datentechnik, u.d.)

2.4.2 Kundundersökning

För att anskaffa bredare kunskapsbas gällande användningen av produkten genomfördes en kundundersökning riktad till de personer på provbanan som kan komma att nyttja den.

Syftet var att kartlägga användares önskemål och synpunkter för att skapa en användarvänlig, effektiv och säker produkt. Undersökningen utfördes genom en enkät som distribuerades av beställaren efter instruktioner.

Kundundersökningsenkäten besvarades endast av banchefen hos beställaren. Den svarande såg produktivitet och driftsäkerhet som viktiga egenskaper hos produkten och efterfrågade korta ställtider samt korta återställningstider mellan testkörningar. För att minska risker för personskador bör användarprocesser tas fram. Processerna innefattar en checklista som kontrolleras innan produkten aktiveras.

Den svarande beskrev att test normalt utförs av två personer där ena hanterar produkten och andra testfordonet. Önskvärt är att test kan varieras med olika hastigheter på fordon och mål. Det bör även vara möjligt att variera träffpunkt samtidigt som hastigheten på mål och fordon bibehålls.

Slutligen så önskade den svarande att fokus under utvecklingen läggs på användarvänlighet samt att produkten baseras på standardkomponenter så reservdelar återfinns på marknaden. De fullständiga enkätsvaren redovisas i *Bilaga C - Kundundersökning*.

3 Konceptgenerering och konceptval

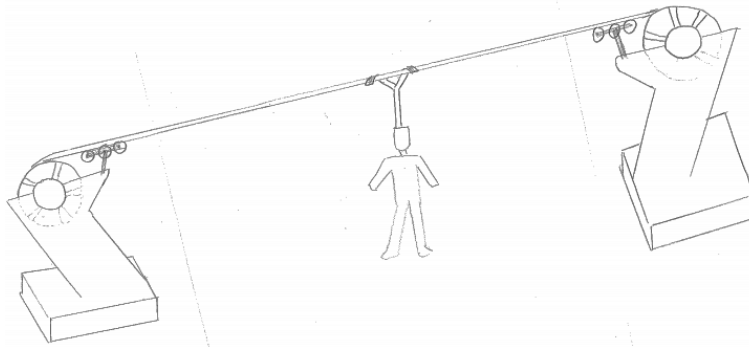
Avsnittet redogör för generering och val av det koncept som kom att beskriva produktens generella konstruktion. Konceptet löste hypotetiskt problemen i avsnitt 1.3 *Uppgift* och uppfyllde kraven i *Bilaga B - Kravspecifikation*. Konceptgenereringen utgick ifrån att skapa helhetskoncept för att bestämma bästa sättet att utforma produkten. Helhetskonceptet bröts sedan ner i delsystem för att vidare bestämma produktens ingående komponenter.

3.1 Generering av helhetskoncept

Helhetskoncept framtoogs genom idégenereringsprocessen brainstorming. Processen medverkade till att skapa diskussion och nya tankevägar till innovativa idéer. Med syfte att inte begränsa tankegångar till redan existerande lösningar användes processen innan konkurrentanalysen. Med inspiration från konkurrentanalysen användes den sedan ännu en gång. Utifrån den mängd idéer som togs fram i de två stegen valdes de som ansågs genomförbara att gå vidare med.

Skidlift

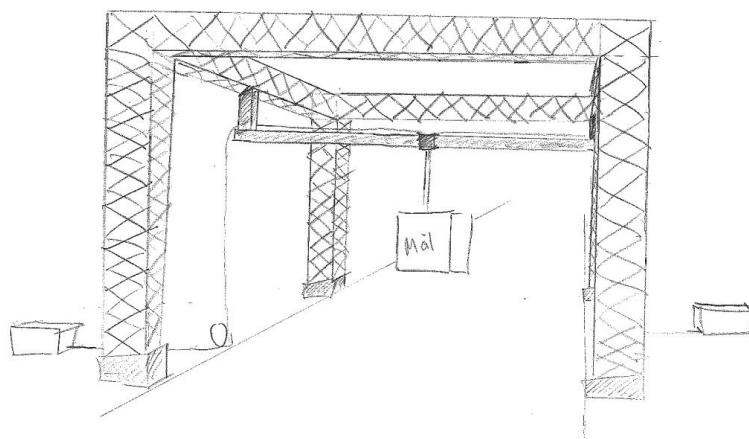
Konceptet efterliknar en skidlift, se *Figur 7*. Två motordrivna enheter för lina uppspänd över vägen. Mål fästes på linan genom styv axel. Ett styrsystem kommunicerar med motorerna genom kabel som spänns över banan, läggs över vägen eller alternativt genom en trådlös anslutning. Fördel med konceptet är att vägbanan hålls fri från oönskade hinder. Svagheter finns dock i målets stabilitet och precision.



Figur 7. Skidlift

Ställning över väg

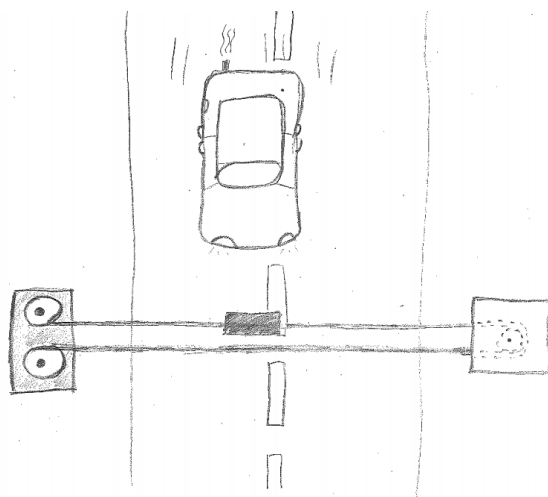
Konceptet innefattar fackverkskonstruktion uppbyggd över vägbanan, se *Figur 8*. Två motordrivna enheter placeras på vardera sidan om konstruktionen. Motorerna för lina längs fackverkets kontur. Linan styr fästanordning löpande längs konstruktionens horisontella del. Mål monteras i fästanordning med styv axel. Konceptet tillåter lina, och kablar löpa över vägbanan och lämnar testzon fri från oönskade hinder. Konceptets styrkor ligger i stabilitet och precision. Detta sker dock på bekostnad av portabilitet, installations-tid och anpassning av målets transportsträcka.



Figur 8. Ställning över väg

Släde på väg

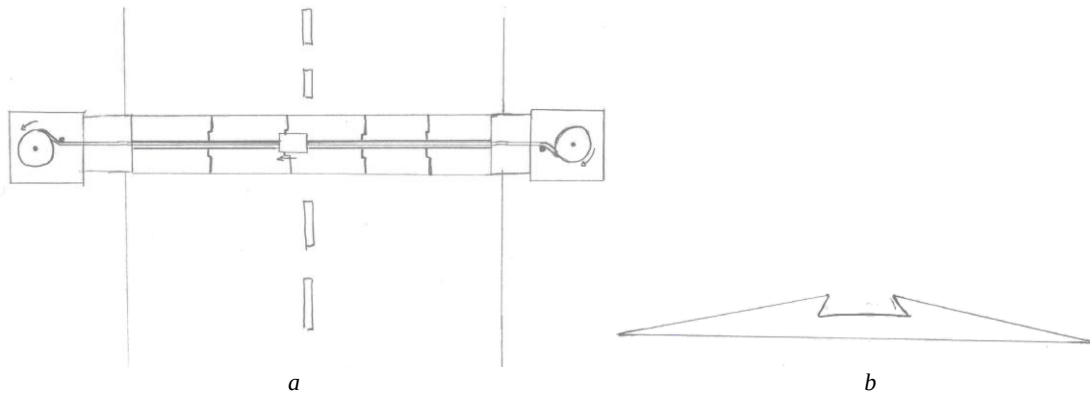
Mål placeras på släde som förs över väg med lina driven av motor, se *Figur 9*. Släden är tunn och linan löper tätt intill marken vilket tillåter testfordonet att köra över utan komplikationer. Linan spänns upp över vägbanan där den drivande enheten står på ena sidan och vändpunkt i form av trissa placeras på andra sidan. Lina samlas och matas ut i drivande enhet. Konceptets styrka ligger i enkelhet och låg komplexitet ledande till god portabilitet och installation. Konceptet anses lätthanterligt med de marknära enheterna.



Figur 9. Släde på väg

Skena på väg

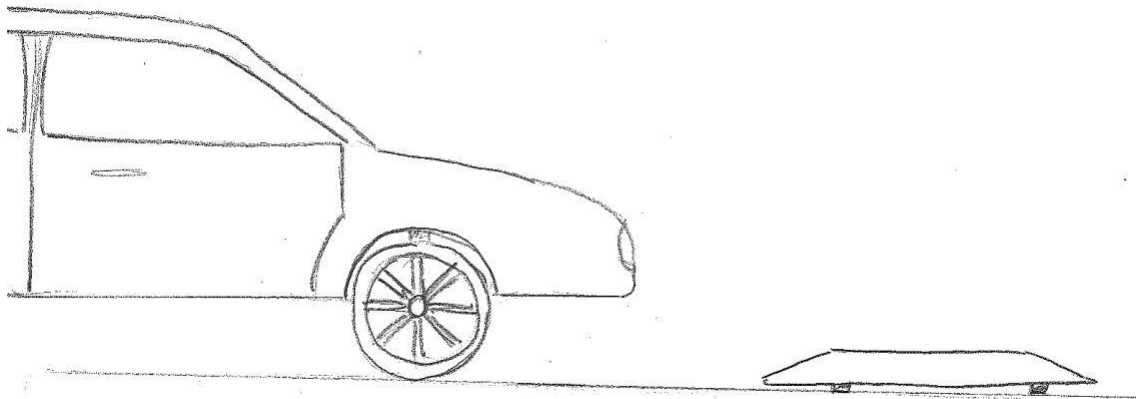
Skena utformad i stil med *Figur 10a* placeras över vägbana enligt *Figur 10b*. Skenan är uppdelad i sektioner för lättare hantering och variering av målets transportsträcka. Mål fästs i anordning som löper i skenspåret. Fästanordningens rörelse längs skenan bestäms av två linor fästa på vardera sidan. Linorna löper på insidan av spåret och drivs av varsin motor placerade på sidan av skenan. Ett styrsystem kommunicerar med motorerna genom kabel som kan placeras under skenan. Konceptets styrkor ligger i stabilitet och precision. Detta sker dock på bekostnad av portabilitet, installationstid och anpassning av målets transportsträcka.



Figur 10. Skena på väg

Frigående robot

Mål fästs på hjulförsedd robot programmerad att följa bestämd bana. Roboten har platt design som kan köras över och drivs av intern motor, se *Figur 11*. Konceptets styrkor ligger i kompakt storlek och stor variation av testscenarion. Svagheter finns i komplexitet, avancerad programmering i flera dimensioner och repeterbarhet i tester. Säkerheten är även svår att garantera då roboten saknar anslutning till fast punkt.



Figur 11. Frigående robot

3.2 Val helhetskoncept

Med Pugh-matriser jämfördes koncepten utifrån bestämda kriterier. Koncepten användes som jämförande referens varsin gång. Relevanta kriterier valdes utifrån kravspecifikationen och listas nedan.

- Varierande transportsträcka
- Portabilitet
- Precision vid testkörning
- Installation
- Risk för störning av sensorer
- Fysisk påverkan på vägbanan
- Risk att skada testfordon

Pugh-matriserna resulterade i att koncept 5 *Frigående robot*, ansågs vara det bästa alternativet att gå vidare med. Konsultation med beställaren ledde dock till ytterligare kriterier som ansågs viktiga. Arbetet med Pugh-matriserna itererades med nedan tillförda kriterier.

- Komplexitet
- Testkapacitet/dag
- Säkerhet
- Underhåll

Då koncept 5 hade mycket hög komplexitet, låg testkapacitet samt höga säkerhetsrisker ändrades utfallet. Utifrån helhetskoncepten i avsnitt 4.1 *Funktionell modell* valdes nu koncept 3, *Släde på väg*, där målet förs över marken med hjälp av en motordriven lina. I *Bilaga D - Kriterier för Pughmatriser* presenteras underlag för jämförandet av koncepten utefter kriterierna. Samtliga itererade Pugh-matriser presenteras i *Bilaga E - Pughmatriser*.

3.3 Analys av valt koncept

Vid vidare analys av valt koncept diskuterades tre olika sätt att variera konceptet på. Dessa följer nedan.

En motor - öppet system

Ursprungligt koncept, beskrivet i avsnitt 4.1 *Funktionell modell*. En motor är fördelaktigt med avseende på energitillförsel och signalbehandling. Däremot krävs komplexa mekaniska lösningar för att styra linenheter på skilda sätt så önskad förspänning i linan och hastighetsprofil på släden uppnås.

En motor - slutet system

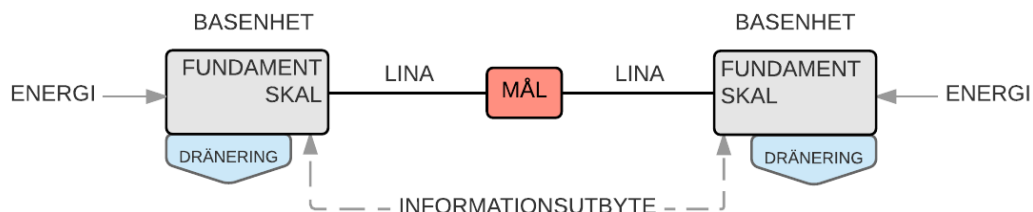
Möjligheten finns också att använda ett slutet system där linlängden är fix och drivs runt av en motor. Variation av teststräckan kan uppnås genom kopplingar som möjliggör förändring av linlängden med fixa länkar. Systemet är enkelt och minst komplext men försvårar variation av teststräcka och önskas därför inte av beställaren.

Två motorer - öppet system

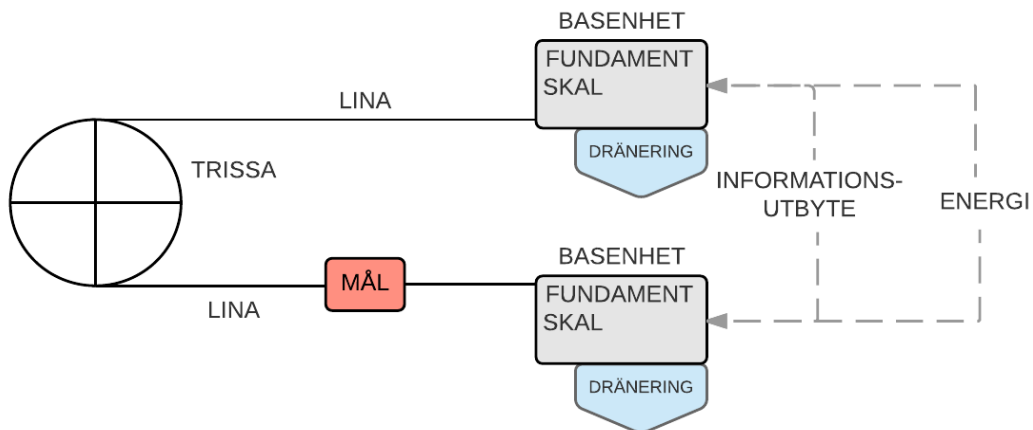
Svårigheter som uppkommer genom öppet system med en motor kan motverkas genom att låta linenheter drivas av varsin motor. Linenheter kan då accelereras och bromsas enskilt med hjälp av respektive drivkälla. Ena motorn kan arbeta drivande medan andra styr hastigheten och linspänningen genom bromsverkan.

I ett system med två motorer som driver varsin lin enhet kan basenheter delas upp i två skilda enheter. Basenheter är identiskt utformade och innehåller båda alla nödvändiga komponenter. Dessa kan placeras på varsin sida om målet och med detta eliminera behovet av en trissa samtidigt som antalet linor över vägbanan halveras. Negativa aspekter tillkommer dock så som försvårad kommunikation och samspel mellan motorer samt att energitillförsel krävs till två platser istället för en.

Tillverkningsmässigt är det fördelaktigt att dela på motorerna då de skilda enheterna kan konstrueras på samma sätt. Systemet kan även varieras och användas med basenheter både på varsin respektive samma sida vägbanan. I det senare fallet tillkommer en trissa där linan vänder. De båda alternativen redovisas principiellt i *Figur 12* och *Figur 13*.



Figur 12. Konceptvariant 1: Två motorer på varsin sida om vägen



Figur 13. Konceptvariant 2: Två motorer på samma sida om vägen

3.4 Delsystemlösningar

Det valda helhetskonceptet delades upp i delsystem för att möjliggöra analys och val av ingående komponenter. Till respektive delsystem listades möjliga lösningar. Sakkunniga personer på Chalmers tekniska högskola bidrog till lösningarna. Det genomfördes även efterforskning på Internet där existerande dellösningar i andra applikationer undersöktes och återförsäljare kontaktades.

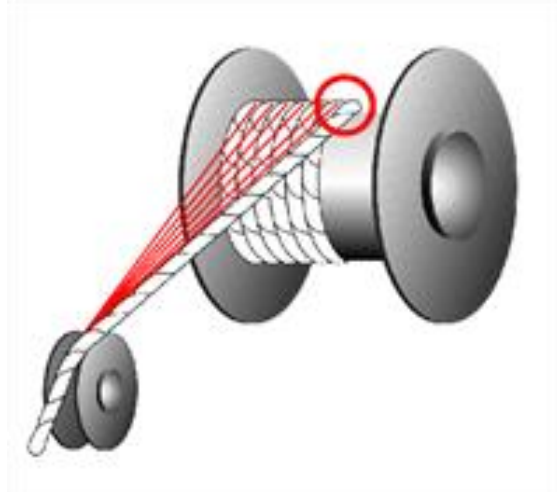
Val av delsystem grundades i *Bilaga B - Kravspecifikation*. I detta avsnitt presenteras helhetskonceptets valda delsystem. Då konceptet innefattar två identiska basenheter beskrivs delsystemen för en av dessa. Samtliga potentiella lösningar som utvärderats presenteras i *Bilaga F - Samlade delsystemlösningar*. Vidare utformning och dimensionering av komponenterna presenteras i avsnitt 4.3 *Utformning och dimensionering av komponenter*.

Lina

Koppling mellan basenhet och mål krävs för att driva målet. I *Bilaga B - Kravspecifikation* ställs krav på att systemet inte skall skada vägbanan samtidigt som produkten skall kunna användas i olika väderlekar. Ur dessa hänseenden presterar fiberlina tillverkad i polymer bättre än stålvarer. Fiberlinan har även goda egenskaper i form av stumhet och valdes därför som ingående komponent.

Uppsamling av lina

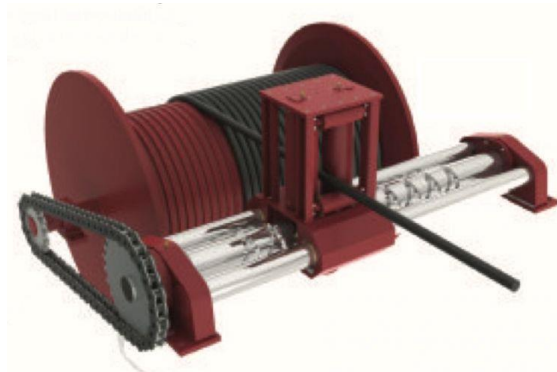
För att undvika trassel på linan krävs en väl utformad uppsamlingskonstruktion. I *Bilaga B - Kravspecifikation* anges snäva positionstoleranser. Linan får därför inte placeras lager på lager då detta kan leda till ett ryckigt och oberäkneligt system. Med detta i åtanke bedömdes en bred enkellindad trumma, likt *Figur 14*, vara en välanvänd teknik där inspiration och lösningar kunde hämtas från existerande applikationer.



Figur 14. Trumma och trissa med lina (Certex, u.d.)

Linstyrning

Linan kräver god styrning för att lindas kontinuerligt på trumman och undvika ett oförutsägbart beteende. Valet föll på en linstyrningskonstruktion likt *Figur 15*. Med konstruktionen sker styrningen mekaniskt och anpassas efter trummans hastighet. En omarbetning av konstruktionen ansågs dock lämplig för optimering mot projektets ändamål.



Figur 15. Linstyrningsenhet, transmissionsväxel, lina och trumma (Heavy Lift News, u.d.)

Drivkraft

I avsnitt 1.3 *Uppgift* beskrivs behovet av en drivkraft för att förflytta målet. Med hänsyn till projektets uppgift och funktioner som beskrivs i avsnitt 2.1 *Produktbeskrivning* framkom en elektrisk motor som det rimliga valet. Med lågt slitage och snabb reglering kräver elmotorn mindre underhåll och ger större möjlighet att klara hastighetstoleranser (*Bilaga B - Kravspecifikation*) än alternativen. Det finns olika typer av elmotorer och tillhörande styrsystem. Val av elektrisk drivkraft och styrning presenteras nedan.

Kombinatoriskt val av motor, växellåda, servoförstärkare och styrsystem

Det beslutades under projektets gång att motor, växellåda, servoförstärkare och styrsystem bör väljas kombinatoriskt, vilket ansågs kostnadseffektivt jämfört med om komponenterna inhandlats var för sig.

Motor

Som typ av elektrisk drivkraft valdes AC-motor. AC-motorn var inte bäst lämpad ur ett kostnads- och komplexitetsperspektiv men kräver lite underhåll och tillåter snäva hastighetstoleranser vilket var ett kritiskt krav för produkten (*Bilaga B - Kravspecifikation*).

Motorstyrning

Servomotormekanism är ett relativt dyrt alternativ men föredrogs ändå som lösning till erforderlig motorstyrning. Servomotorn är platseffektiv i jämförelse med stegmotorn som alternativ lösning. Den ämnas bra för hastighetsstyrning i höghastighetsapplikationer och använder sig av återkoppling för god precision (Pickfield, u.d.). Önskade ljud och vibrationer i konstruktionen bedömdes även bli lägre gentemot alternativet.

Deltas motorer i serien ECMA 400 V är AC-servomotorer som är permanent magnetiserade, och tillhandahålls av Automizer AB i Sverige. Motorerna i serien finns i effekter från 750 W till 7,5 kW. Axel är möjlig att välja baserat på axelkopplingens utformning.

Styrsystem

Valet av styrsystem föll på PLC vilket lämpar sig för servomotormekanism och som dessutom är en robust och standardiserad styrdator.

Styrningssekvens

Produktens målhastighet är väsentlig, vilket definieras i krav E-01 i *Bilaga B - Kravspecifikation*. Styrning som sker baserat på hastighet är av den anledningen att föredra. Positionsreglering ansågs olämpligt eftersom chansen är större för hastighetsavvikelser. Vid övergång mellan hastighetsfaser uppskattades risk för ryck i linan. Risken minskar om båda motorerna förspänner linan innan start, vilket regleras med momentstyrning, och hastighetsreglering sker genom att motorn på startsidan bromsar.

Programmeringsspråk

För det reglertekniska program som bestämmer produktens beteende krävs en mjukvara. Projektet tog fram underlag anpassat till programmeringsspråket IEC 61131-3, vilket lämpar sig väl till programmets uppbyggnad, se avsnitt 5.2 *Sekventiell beskrivning av produktkoncept*. Valet minskar behovet av förstudier då språket är enkelt att hantera, även med låg förkunskap. System som använder språket har också generellt lägre kostnad i förhållande till andra programvaror med samma användarvänlighet, vilket ytterligare motiverar valet av IEC 61131-3.

Mätning av sträcka och hastighet

Position och hastighet kan ske genom inbyggda funktioner i den reglerande servomotorn, vilket också valet föll på. Valet motiverades genom den låga komplexiteten, i form av ytterliga komponenter, samt de få fördelarna med ett ytterligare system.

Mätning av linspänning

Delsystem som fjädrar linan vid mätning av spänning valdes bort på grund av att oberäkneliga ryck i systemet ville undvikas. Valet föll då på att använda inbyggda funktioner i servomotorn på grund av lägre komplexitet jämfört med att tillföra externa komponenter.

Reglerande bromsverkan

Hastighetsregleringen som valdes medförde att bromseffekten var nödvändig att ta i beaktning. Genom att låta den bromsande motorn gå i generatordrift, vilket var en del av det tänkta reglersystemet, bedömdes den mekaniska effekten kunna omvandlas till elektrisk effekt. Effekten ansågs inte kunna återföras till elnätet, på grund av sin karaktär, utan valdes istället att kylas bort i en resistor som i sin tur valdes att placeras under en kylfläns, se *Figur 16*, för att öka den effekt som är möjlig att kyla bort.



Figur 16. Kylfläns (Electrokit, u.d.)

Det ansågs finnas ett flertal fördelar med den elektromekaniska lösningen framför helt mekaniska lösningar. Fördelarna är bland annat att regleringen av hastigheten kan ske med elmotorn, underhållet minskar på grund av minskat mekaniskt slitage, färre komponenter, vilket minskar komplexiteten och ljud och vibrations amplituder under körningen uppskattas bli lägre i förhållande till andra lösningar. Vid elektromekaniska lösningen behöver placeringen av kylflänsen ske så att inte människa eller egendom inte riskerar att skadas.

Valet föll alltså på att den reglerande bromsverkan sker med elmotor som kopplas till en resistor och tillhörande kringutrustning, en så kallad bromschopper. (SiGBi, u.d.)

Positionering av basenheter

Då mål skall färdas rakt inom satta positionstoleranser krävs att basenheter placeras linjärt. Exakta uppgifter om enheternas avstånd till varandra är även avgörande för måltransportens reglering. Inexakta uppgifter kan leda till kollision mellan basenhet och mål. För utvärdering av basenheternas relativa position valdes lasermätning i två punkter se *Figur 17*. Med laser kan läget utvärderas kontinuerligt och en varningslampa tändas om inte enheterna är korrekt placerade. Lasermätning ger hög precision vid rätt inställningar.



Figur 17. Lasermätning för rätt vinkel och avstånd mellan basenheterna

Mobilitet

Basenheterna skall under test vara stabila och låsta i sin position för att erhålla önskvärda precisionstoleranser. Det ansågs räcka med egenvikten hos vardera basenhet för att hålla dem på plats, vilket dock behöver utvärderas genom fysiska tester. För att minska krävd egenvikt kan ökad friktion skapas med gummibelagd kontaktyta mot mark. Gummit förhindrar även skador på vägbanan, vilket står som krav C-04 i *Bilaga B - Kravspecifikation*, samt minska vibrationer. Användning av basenheternas egenvikt medför att inget extra arbete i form av att installation av kringutrustning behövs.

Ytterligare mobilitetskrav ges av G-06 i kravspecifikationen som säger att systemet ska vara möjligt att förflytta med gaffeltruck. Därför valdes att integrera hål för truckgafflar i ramen.

Skydd av enhet

För att skydda utrustningen från väta och smuts valdes att placera ett skal över basenheterna. Skalet bedömdes vara i behov av gångjärn för att förenkla åtkomst av ingående komponenter.

Rengöring av lina

Systemet ansågs vara mer känsligt för smuts än för väta. Därav valdes ett system med större fokus kring borttagning av smuts. En vajerborste är en enkel lösning som bedömdes kunna utföra uppgiften på ett effektivt sätt, se *Figur 18*. I projektet verifierades detta som en möjlig lösning för projektets ändamål efter kontakt med ML Borstteknik AB.



Figur 18. Vajerborste (Skogma, u.d.)

Vattenutförsel

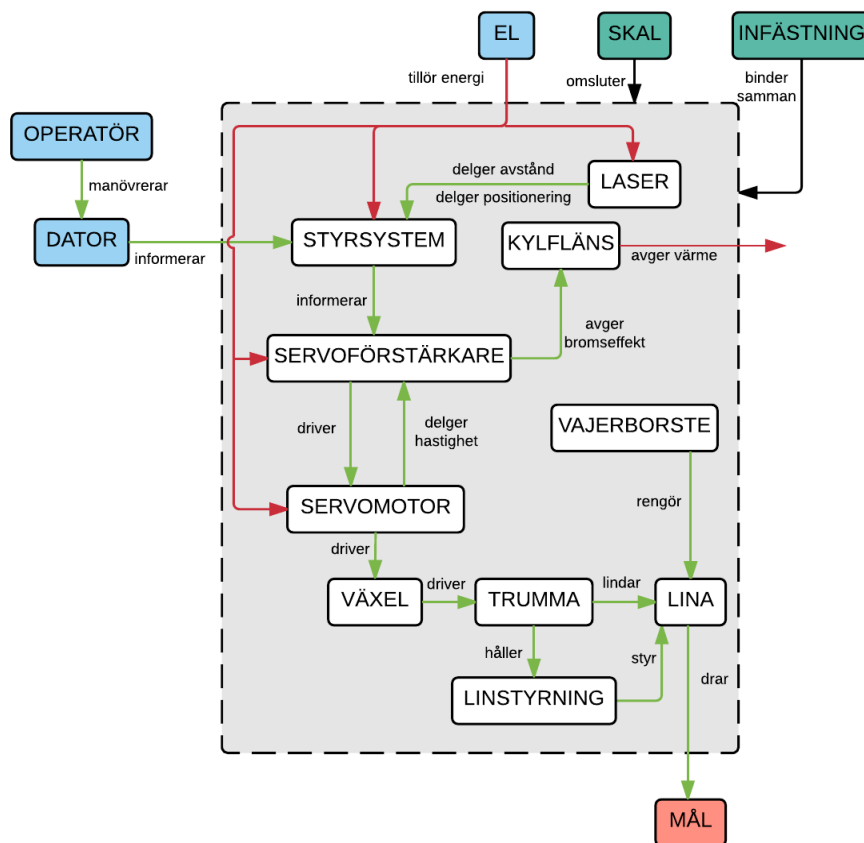
På grund av det skyddande skalet utsätts systemet endast av den väta som följer linan in i basenheterna. Vätemängden bedömdes ringa i och med vajerborsten som blockerar en del av den inkommande vätan. För att inte kvarhålla vatten som ändå följer med in under skalet lämnas ramen öppen under trumman för avrinning på vägbanan.

4 Konceptkonstruktion

I avsnittet nedan beskrivs helhetskonceptet med delsystem enligt avsnitt 3.4 *Delsystemlösningar*. Eftersom helhetskonceptet valdes till att bestå av två identiska basenheter fokuseras det i detta avsnitt endast på beskrivning och presentation av en av dessa. Delsystemen utformades och dimensionerades utefter en analytisk modell som beskriver de krafter som verkar på komponenterna. Efter konstruktionen modellerats i CAD genomfördes hållfasthetsberäkningar i Inventor. Det utfördes även en analys av produktens säkerhet.

4.1 Funktionell modell

I *Figur 19* illustreras den funktionella modell som skapats utifrån delsystem som tidigare definierats. Röda pilar motsvarar funktioner som av användaren anses vara negativa och gröna pilar representerar positiva funktioner. Infästningen och skalet till basenheten placerades utanför systemgränsen då de samverkar med samtliga delsystem innanför systemgränsen. I övrigt markerar modellens systemgräns vilka delsystem som verkade inom projektets ramar.



Figur 19. Funktionell modell

De delar som ses i *Figur 19* beskrivs mer ingående senare i rapporten där även samverkan mellan komponenterna presenteras.

4.2 Analytisk modell

Den analytiska modellen baserades på de krav som ställts upp gällande körhastigheter, sträckor och vikter. Målet skall transporteras över en sträcka $S_{kör}$, motsvarande en tvåfilig vägbana, med den maximala hastigheten V_{max} . Det har en maximal vikt på m kg. Acceleration och retardation antas vara linjär. Med dessa data erhöles sträckor enligt nedan.

$$\text{Accelerationssträcka: } S_a = \frac{V_{max}^2}{2a}$$

$$\text{Körsträcka i maxhastighet: } S_{kör}$$

$$\text{Retardationssträcka: } S_r = \frac{V_{max}^2}{2r}$$

$$\text{Total körsträcka: } S_{tot} = S_a + S_{kör} + S_r$$

Modellen byggdes upp i MATLAB där programmets syfte var att beräkna körsträckan, linkraften samt de momentkrafter och effekter som krävdes för att uppfylla de krav som ställdes på transport av målet. Utdata gav därmed underlag för dimensionering av bland annat trumma och motor. Senare kan det tänkas att modellen kan användas i motsatt ändamål och beräkna möjliga köregenskaper hos produkten utifrån befintliga komponenter.

För att göra modellen så verklighetstrogen som möjligt togs hänsyn till luftmotstånd, rullmotstånd, friktion och rotationströgheter i systemet. Vissa förenklingar utfördes, men modellen utvecklades hela tiden konservativt för att inte leda till underdimensionering av komponenter.

Alla sifferresultat som beräknats är de maximala krafter, moment med mera som uppstår under tänkt körning. Beräkningar utfördes för hela körningen, men endast de maximala resultaten är intressant för dimensioneringen och visas därför här.

Luftmotstånd

För att kunna göra relevanta beräkningar av luftmotståndet undersöktes målets anatomi. Förenklingar utfördes med hjälp av dimensioner från ett förenklat tänkt mål. Utifrån uppmätta mått beräknades luftmotståndet enligt följande formel $F_d = \frac{1}{2} \rho C_d A V_{max}^2$ där $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ representerar luftens densitet.

Beräkningarna ansågs konservativa då det faktiska utseendet för målet är betydligt mer strömlinjeformat än den förenklade modellen som användes och målet har i verkligheten ett lägre luftmotstånd än det som beräknats i modellen. Antaganden gjordes även om turbulent strömning eftersom höga Reynoldstal beräknades för den maximala transporthastigheten.

Linkraft

Rullmotsåndet ges av formeln: $F_r = C_r N$, där C_r var rullmotståndskoefficient och N den normalkraft som uppstår till följd av målets egenvikt. Slutligen beräknades accelerationskraften utifrån: $F_a = ma$, där m representerar målets totala massa och a den bestämda accelerationen.

När nödvändiga krafter tagits fram beräknades den maximala kraften i linan, som krävs för att driva målet framåt, enligt: $F_L = F_d + F_r + F_a$.

Då beräkningarna utfördes konservativt kan det garanteras att linan klarar de påfrestningar som uppstår i verkligheten, eftersom dimensionering gjordes med marginal mot resultatet.

Trumma

Trummans storlek beräknades utifrån hur mycket lina som var möjlig att linda upp, utan risk för dubbellindning, samt hur hög rotationshastighet den maximalt tilläts ha. Enligt tidigare beräkningar blev den totala körsträckan S_{tot} och den maximal hastighet V_{max} . Motorn antogs rotera med n rpm, som baserades på ett vanligt arbetsvarvtal för motorer, vilket ger erforderlig radie på trumman enligt $r = \frac{V_{max} 60}{n 2\pi}$. Längden L på trumman beräknades utifrån diametern d på linan och med formeln:

$L = \frac{S_{tot}}{2r\pi} d$. Detta gjordes först efter att linan hade dimensionerats i avsnitt 4.3 *Utformning och dimensionering av komponenter*. Tjockleken på trumman valdes efter rekommendation från Ingeniörsfirma Bågenfelt & Hellström AB som konsulterades angående tillverkning.

Rotationströghet

När trummorna roterar uppstår tröghetsmoment. Detta beräknades med hjälp av formeln:

$I = 2 \left(\frac{1}{2} m_c (r_1^2 + r_2^2) + 2 \left(\frac{1}{2 m_v r_v^2} \right) \right)$ där m_c representerar massan för trummans cylindrisk del, r_1 trummans innerradie, r_2 trummans yterradie, m_v massan för trummans sidoväggar och r_v väggarnas yterradie.

Moment och effekt

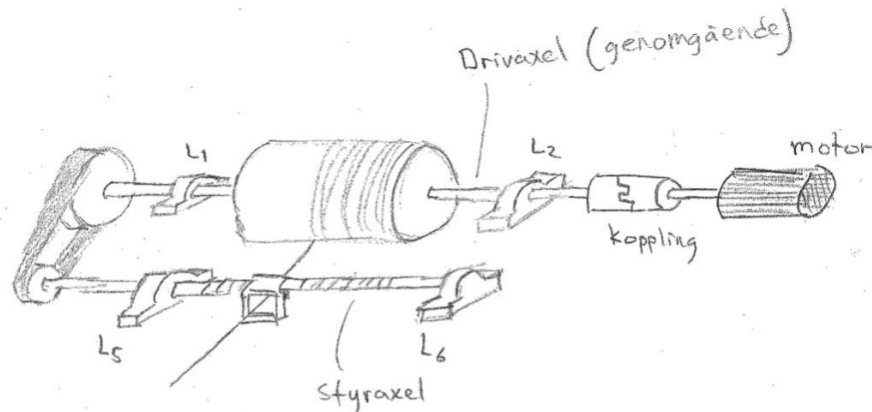
Det moment som krävs för att linda upp linan i önskad hastighet beräknades utifrån tröghetsmomentet i rullarna och den önskade linkraften. Formeln som används är: $M_d = I\dot{\omega} + F_{lina}r_2$ där $\dot{\omega}$ representerar den önskade rotationsaccelerationen, I det beräknade tröghetsmomentet, F_{lina} den beräknade linkraften och r_2 trummans yterradie. Detta resulterade i ett maximal drivande moment på trumman M_{dmax} .

När momentet beräknats gavs effekten som krävs från motorn av $P = M_{dmax}\omega$. Med konservativt beräknad effekt kunde motorerna senare väljas och dimensioneras för att garantera att produkten klarar av de ställda kraven på hastighet och acceleration med marginal.

4.3 Utformning och dimensionering av komponenter

Några av de delsystem som valdes i avsnitt 3.4 *Delsystemlösningar* behövde utformas vidare för att passa in i produkten. Slutlig presentation av samtliga delsystem sker under avsnitt 5 *Resultat*. I *Figur 20* ses en skiss över hur några av delsystemen samverkar, vilken även var utgångspunkt för kommande resonemang. Den kvadratisk formade enheten som går längs med styraxeln benämns vidare i texten som rullstyrning. Hela anordningen med

stålager, styraxel och rullstyrning benämns som linstyrningsenhet. I skissen saknas stabiliseringsaxel för rullstyrningen.



Figur 20. Skiss över gränssnitt mellan komponenter

Lina

Enligt avsnitt 4.2 *Analytisk modell* beräknades linkraften och därefter kunde lina med önskad brottgräns väljas. De viktigaste egenskaperna hos linan var att den skulle vara slitstark och ha låg töjning. Valet föll på en Dyneema Globe 5000 lina.

Trumma

Trummans längd dimensionerades med avseende på lindiametern. Likt beskrivningen i avsnitt 4.2 *Analytisk modell* användes formeln $L = S_{tot}d/2r\pi$ vilket gav en nödvändig längd.

Utöver den cylindriska delen som linan lindas upp på behövdes även två sidoplatror för att linan inte ska kunna trilla av och för att trumman ska kunna fästas på en axel. Dessa utformades efter att ha tittat på befintliga konstruktioner och består av två runda plattor med stabiliserande ekrar och hål i mitten för drivaxeln. Utanpå sidoplattorna fästs ett nav som även presspassas på drivaxeln.

För att hålla nere trummans tröghetsmoment och minska effektbehovet valdes aluminium på grund av den låga vikten.

Axlar

Drivaxeln utformades i fem segment med tre diametrar för att enkelt kunna fästa trumma, lager och kuggremsskiva. Styraxeln utformades i tre segment, där mittersta består av trapetsgänga och de yttersta segmenten är blanka för att kunna fästa lager och kuggremsskiva. Båda axlar dimensionerades enligt beräkningar nedan.

Dimensionering av axlar

Ekvationer och formuleringar för att dimensionera driv- och styraxel ställdes till en början upp för hand, tillsammans med skissen i Figur 20, men samtliga beräkningar utfördes sedan i MATLAB.

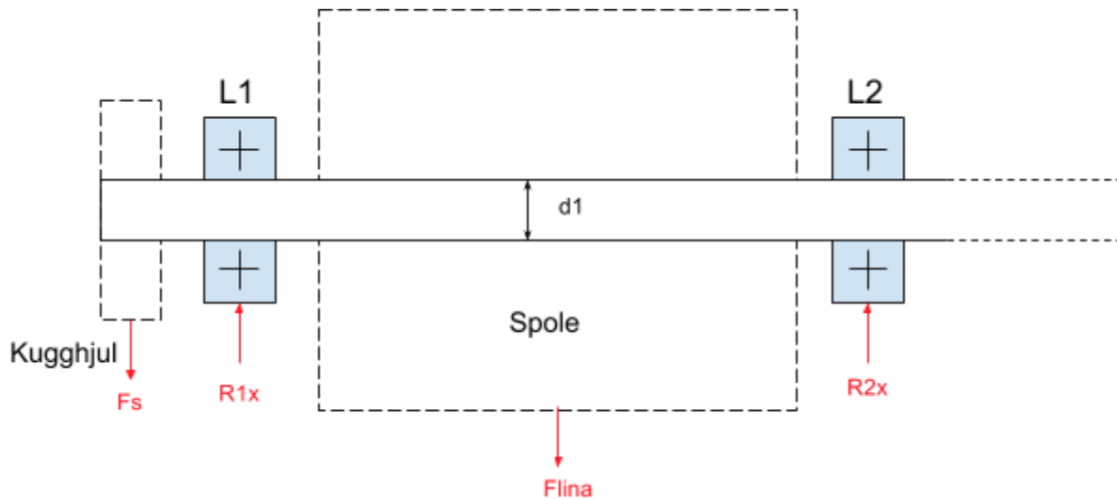
Böjmomentet M_b var nödvändigt att räkna ut eftersom det ingick i de ekvationer som ledde fram till de kritiska diametrarna för axlarna. Snitt utfördes, för att erhålla de numeriska värden för de böjmoment som axlarna utsätts för, i enlighet med den teori som följer ur hållfasthetslära. Vridmomentet M_v ingick också i de ekvationer som ledde fram till den kritiska diametern för axlarna. Denna beräknades utifrån det drivande momentet som spolen kräver för specificerade parametrar så som hastighet, sträcka och acceleration, se avsnitt 4.2.

Friläggning av drivaxel

En förenkling genomfördes i detta projekt genom att låta L_1 ta upp hela F_s och samtidigt räkna L_2 som ändpunkt till höger, det vill säga inga påverkande krafter till höger om L_2 . Detta visas i en schematisk bild i *Figur 21*. Den förspänning F_s som kuggremsväxeln spänns upp med antogs till F_s , vilket var ett väl tilltaget värde och därmed fungerade detta som en säkerhetsmarginal. I och med denna förenkling var det endast relevant att beräkna böjmomentets variation mellan L_1 och L_2 .

De situationer som låg till grund vid snitt av drivaxeln var:

- Linan är längst åt vänster på spolen. L_1 beräknas då ta upp hela F_{lina} .
- Linan är mellan L_1 och L_2 . En fraktion av F_{lina} beräknas, vilken tas upp av L_1 och L_2 . De olika snitten blev:
 - Snitt mellan L_1 och linan
 - Snitt mellan linan och L_2
- Linan är längst till höger. L_2 beräknas då ta upp hela F_{lina} .



Figur 21. Friläggning av drivaxel.

Val av material och dimensionering av drivaxel

Formler och data som presenteras i detta avsnitt har tagits ur *Handbok och formelsamling i Hållfasthetslära* (Sundström, 1998). Materialet till driv- och styraxeln valdes till normaliserat kolstål med beteckning 141650-01. Stålet har vid böjande moment en sträckgräns på $\sigma_s = 390 \text{ MPa}$. Den maximala spänning σ_{max} som axeln utsätts för får givetvis inte uppnås, det vill säga $\sigma_s > \sigma_{max}$.

Det gäller att $\sigma_{max} = k_t \sigma_{nom}$, där k_t är en formfaktor för det givna lastfallet. I detta fall är $\frac{D}{d} = 1$ och $\frac{\rho}{d} \rightarrow 0$, vilket ger ett $k_t = 2$.

För att hitta σ_{nom} användes von Mises flytvillkor $\sigma_{vM} = \sigma_{nom}$ och von Mises definition $\sigma_{vM} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau_v^2}$ där $\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$ representerar böjspänningen och $\tau_v = \frac{M_v}{W_v}$ representerar skjuvpänningen.

De variabler som då saknades var vridmoment $M_v = I\dot{\omega} + F_{lina}r_2$, böjmotstånd $W_b = \frac{\pi r^3}{4}$ och vridmotstånd $W_v = \frac{\pi r^3}{2}$. M_v beräknades matematisk utifrån givna parametrar, se

avsnitt 4.2, medan M_b var känt från beräkning ur föregående avsnitt *Friläggning av drivaxel*.

Med en säkerhetsfaktor på 20 % blev sträckgränsen σ_s och efter omskrivningar med ovan nämnda ekvationer erhöles att diametern på drivaxeln skall uppfylla ekvationen

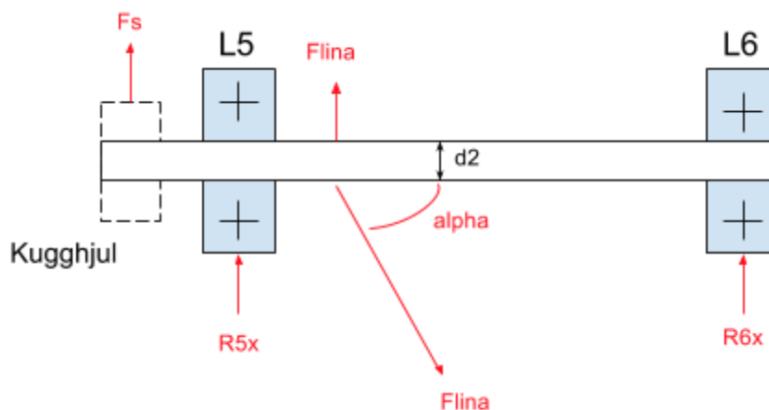
$$d > \left(\frac{16k_t}{\sigma_{vM}\pi} \sqrt{4M_b^2 + 3M_v^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Friläggning av styraxel

Även i detta fall gjordes en förenkling genom att låta L_5 ta upp hela F_s . Mellan spolen och linstyrningen går linan rakt, men mellan linstyrningen och en centreringspunkt som ligger placerad framför styraxeln uppstår en vinkel α , vilket illustreras i *Figur 22*. För att begränsa den axiella belastning som uppstår av F_{lina} bestämdes att α inte får understiga 45° då linan är längst till vänster på spolen och inte överstiga 135° då linan är längst till höger på spolen.

De situationer som låg till grund vid snitt av styraxeln var:

- Linan är längst åt vänster
- Linan är mellan L_5 och L_6 . De olika snitten blir:
 - Snitt mellan L_5 och linan
 - Snitt mellan linan och L_6
- Linan är längst åt höger



Figur 22. Friläggning av styraxel.

Val av material och dimensionering av styraxel

Detta gjordes på liknande sätt som för drivaxeln med undantaget att M_v sattes till noll eftersom styraxeln inte driver något och därmed inte utsätts för ett motriktat lastmoment.

Sammanfattningsvis

Genom att snitta axlarna på beskrivet vis, och samtidigt loopa beräkningarna längs med axlarna, kunde de böjmoment som axlarna utsätts för tas fram. På detta vis erhöles en nödvändig diameter för axlarna i varje delsegment. Det som ligger till grund för dessa diametrar är det maximala böjmoment som varje del av axlarna kan tänkas utsättas för vilket, tillsammans med säkerhetsfaktorn som tidigare nämnts, ger en god säkerhetsmarginal.

Diametern på styraxeln ändras bestämdes enligt lagerdimensioneringen som presenteras senare i detta avsnitt. För att inte understiga dimensionskravet för styraxeln, och samtidigt möjliggöra enkel montering av rullstyrningen, valdes en trapetsgänga med passande dimensioner. Stigningen på gängorna valdes efter rekommendation från Ingenjörskontor Bågenfelt & Hellström AB.

Linstyrning

Linstyrningsenheten utformades likt Mechanical level winder, som presenterades i avsnitt 3.4 *Delsystemlösningar*. Det som skiljer de båda enheterna åt är

- Kuggremsväxel istället för kedjetransmission. Transmissionen behöver inte överföra stora krafter. Tillsammans med lägre underhållsarbete motiverade detta en kuggremsväxel.
- Trapetsgängad stång i en riktning istället för två riktningar. Då dubbellindning av linan inte är önskvärd var det endast relevant med trapetsgänga i en riktning.
- En stabiliseringsaxel istället för två för rullstyrningen. I och med de relativt små krafter som belastar rullstyrningen ansågs denna inte vara i behov av två styraxlar för att förhindra rotation.
- Slät trumma istället för spårad för att förenkla tillverkning. Det antogs inte vara nödvändigt med spår i och med den linstyrning som utformats. För att verifiera detta behöver fysiska tester utföras.

Plattan som linstyrningen placeras på utformades med spår och ramen undertill med skruvhål för att fästa linstyrningen i. Denna utformning möjliggör enkel på- och avmontering av kuggremmen.

Kuggremsväxel

Det nämndes tidigare att kuggremsväxeln inte behöver överföra större krafter och detta medförde att rembredden inte behövde dimensioneras nämnvärt. Kontakt togs med företaget Kabetex Kullager & Transmission AB för att få expertutlåtande i ämnet. Efter att ha beskrivit problematiken och de krafter som påverkar systemet rekommenderades en HTD-rem, som är en typ av kuggrem.

Längden på kuggremmen valdes genom mätning utifrån uppritad konstruktion i CAD, se avsnitt 4.4.1 *Simulering i CAD*, där övriga komponenters dimensioner och placering togs i beaktande. Detta var även en standardiserad längd hos leverantören.

Utväxlingen för kuggremsväxeln bestämdes, utifrån linbredden och stigningen hos den gängade axeln.

Lager

Formler, tillvägagångssätt och data som presenteras i detta avsnitt har tagits ur SKFs produktkatalog. Det behövdes fyra lagerenheter bestående av lager och lagerhus för att hålla de båda axlarna på plats. Beräkningar utfördes för att dimensionera lagren, men valet av lagerhus lämnades till extern leverantör.

Dimensionering av lager

Först beräknades en nödvändig livslängd för axlarna ut som baserades på förväntad körtid för enheterna. Detta gjordes enligt

$$10 \text{ år} * 220 \text{ dagar} * 4 \text{ timmar} * 1000 \text{ rpm} * 60 = 528 \text{ miljoner varv} \quad (1)$$

Lagren för drivaxeln utsätts inte för några axiella krafter och relativt små radiella krafter. Med detta i åtanke, samt önskemål om att använda stålagerhus för lättare montering, valdes två sfäriska kullager. Först undersöktes vilken livslängd de starkaste lagren gav. Sedan fortgick arbetet genom att mindre kraftiga lager testades, fram tills att en livslängd nära den krävda livslängden uppnåddes. Samma lager valdes till både L_1 och L_2 eftersom det ansågs smidigt ur beställnings- och underhållsperspektiv. Utifrån det lager från SKF erhöles följande konstanter

Innerdiameter: d

Ytterdiameter: D

Dynamiskt bärighetstal: C

Utmattningsbelastning: P_u

Med dessa värden beräknades livslängd för L_1 och L_2 med 90 % säkerhet enligt SKFs nya livslängdsteori:

$$L_{10m} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P} \right)^p \text{ miljoner varv}$$

där $p = 3$ för kullager och $a_1 = 1$ med 90 % säkerhet.

Eftersom $F_a = 0 \text{ N}$ på drivaxeln blir den ekvivalenta dynamiska lagerbelastningen $P = F_r$, där F_r är den radiella kraft som verkar på lagret. Den maximala lasten för L_1 sker då det tar upp hela F_s samt hela F_{lina} vilket ger $P_1 = F_s + F_{lina}$. Den maximala lasten för L_2 sker då det tar upp hela F_{lina} vilket ger $P_2 = F_{lina}$.

För att få fram a_{SKF} behövdes, förutom det som redan var framtaget, η_c och κ .

η_c är en faktor som tar hänsyn till smörjmedlets föroreningsnivå. Med en medeldiameter för lagret på $d_m = \frac{d+D}{2} < 100 \text{ mm}$ och antagande om något förorenade förhållanden valdes $\eta_c = 0.5$.

$\kappa = \frac{\nu}{\nu_1}$ är ett viskositetsförhållande där $\nu \text{ mm}^2/\text{s}$ är smörjmedlets verkliga viskositet vid driftstemperatur och $\nu_1 \text{ mm}^2/\text{s}$ är smörjmedlets erforderliga viskositet, vilken beror på medeldiameter och varvtal.

a_{SKF} togs fram utifrån ovan data och från diagram med hjälp av kvoten $\frac{\eta_c P_u}{P}$ och κ .

Genom att alla nödvändiga data, för att få fram livslängden, samlats in erhöles en livslängd L_{10m} . Den kombinerade livslängden, livslängd för överlevnadssannolikhet L_R , för de båda lagren gavs till slut av

$$(L_R)^k = \frac{\ln(R_{tot})}{\ln(0,9) \sum (L_{10}^{-k})_i} \rightarrow L_R = 9000 \text{ miljoner varv}$$

där $k = 3/2$. Detta blev, med god säkerhetsmarginal, över den livslängd som beräknades i ekvation (1).

På liknande vis utfördes beräkningar även för de båda lagren till styraxeln L_5 och L_6 , där dock en axiell belastning var tvungen att tas hänsyn till.

Ram

Basenhetens ramkonstruktion bestämdes utifrån placering av ingående komponenter. Egenvikten för ramen önskades vara hög för att öka stabiliteten och eliminera behovet av att tillföra extern tyngd. Därav konstruerades den av fyrkantsprofiler i stål, vilka är kostnadseffektiva standardkomponenter. Ramen måttsattes utifrån övriga komponenter. För infästning av motor och lagerenheter valdes bockad plåt som en lösning. Ramen placerades på fötter med gummibeläggning för att öka friktion och skydda vägbanan samtidigt som vibrationer motverkas. För att förenkla förflyttning av enheterna implementerades även uttag för gaffeltruck. En skiljevägg konstruerades för att avskärma elektriska komponenter från smuts och vattenstänk.

Skydd av enhet

I projektet lades inte fokus på att utforma det omslutande skalet, men ett konceptskal togs fram för att visa hur det skulle kunna se ut. Det utformades som ett ihåligt räbblock som fästs i ramens ena kortsida med gångjärn. För att enkelt kunna öppna det utformades ett handtag som löper runt motsatt sida på skalet. Ett jalusigaller placerades där motorn ska sitta för att ventilerar ut värme. Toppen på skalet gjordes i transparent plexiglas för att kunna se in i systemet utan att avlägsna skalet.

Kombinatoriskt val av motor, växellåda, servoförstärkare och styrsystem

Nedan sammanställs det material som erfordrades för att utföra det kombinatoriska valet.

Diameter för trumma

Verkningsgrad växellåda (antagen)

Tröghetsmoment för motor

Högsta erforderliga motormomentet

Erforderligt varvtal för trumma

Maximal erforderlig motoreffekt

För att styrsystemet skulle klara av att utföra sekvensen som beskrivs i avsnitt 5.2 *Sekventiell beskrivning av produktkonceptet* utformades en lista över erforderliga krav för styrsystemet.

Tabell 2. Krav för styrsystem

Inputs
2st tryckgivare
Enhet som anger GPS-tid
Hastighetmätning
Indirekt mätning av moment
Manuell inmatning av siffervärden för tidskonstanter eller vikter
3st knappar för kvitteringsdosan
Kommunikation till enheten från servoförstärkaren
Outputs
Styrsignal till två stycken motorer. (Digitalt)
Kommunikation HMI

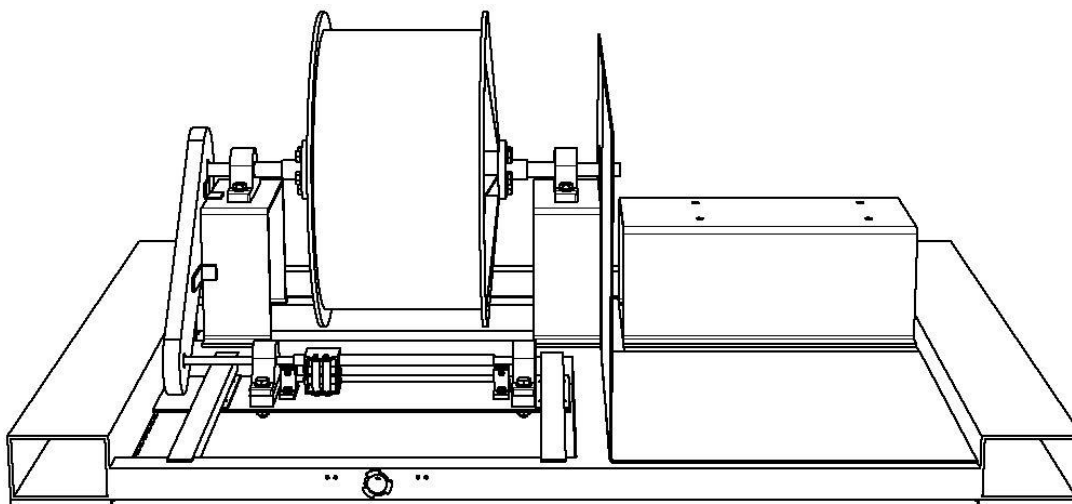
Systemet är möjligt att programmera med IEC 61131-3 kod
Display finns att köpa i standardutförande tillhörande systemet
Systemlösningen kan skapa linjära accelerationsfaser
Systemet kan koppla om så att motor kan köra generatordrift.
God väderbeständighet

4.4 Verifiering och utvärdering av koncept

I avsnittet presenteras det tillvägagångssätt som använts för att verifiera och utvärdera gränssnitt mellan komponenter samt de hållfasthetssimuleringar som utförts. Det redovisas även potentiella risker och förslag på förbättringar.

4.4.1 Simulering i CAD

För att verifiera valet av koncept skapades CAD-modeller på de viktigaste komponenterna för att ge en bild av hur produkten bör se ut i verkligheten. Alla de mått som användes grundade sig på beräkningarna från avsnitt 4.2 *Analytisk modell* och 4.3 *Utformning och dimensionering av komponenter*. Simuleringarna är avgränsade till att undersöka gränssnitt, dynamik och hållfasthet. Parametrar som inte betraktas är vibrationer, utmattning och möjliga krafter i form av ryck i linan. *Figur 23* visar en övergripande bild över de komponenter som är viktigast att ta i beaktning gällande hållfasthet. Komponenterna som ses är drivaxeln, trumman, linstyrningsenheten samt ram för infästning av komponenterna.



23 Översiktsbild över hållfasthetskritiska komponenter

På CAD-modellen utfördes först en interferensanalys där gränssnitten mellan samtliga delkomponenter utvärderades för att upptäcka fel i modelleringen. Analysen visade inga kollisioner mellan komponenter.

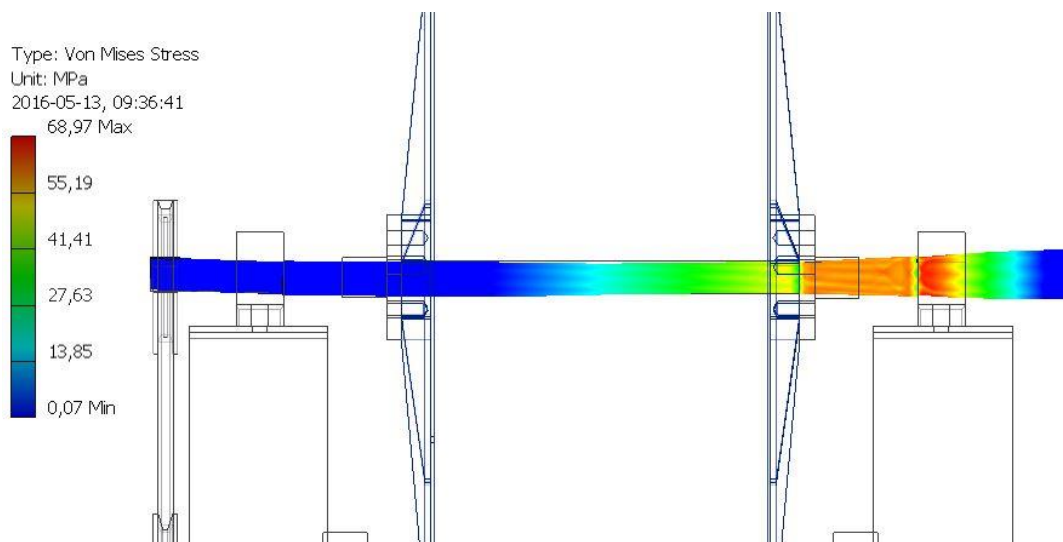
CAD-modellen genomgick sedan en dynamisk simulering där det mekaniska systemet evaluerades. I det mekaniska systemet ingår rotationssambandet mellan trumman och linstyrningen. Det är viktigt att linstyrningen lindar upp linan symmetrisk på trumman. Efter bekräftat rotationssamband läggs verkande krafter in i modellen. Scenariot som utvärderas är accelerationsfasen upp till sluthastighet, eftersom största moment som verkar på systemet uppkommer under denna fas. Simulering gjordes utifrån begynnelsepositionen på enheten, alltså den position där trumman börjar linda upp och linstyrningen är i sitt yttersta läge.

Den analytiska modellen gav maximalt drivande moment från motor till axel. Kraften som verkar på rullstyrningen vid begynnelsepositionen ansattes till den horisontella kraftkomposant linan bidrar med. Eftersom accelerationsfasen sker snabbt hinner inte linans infallsvinkel mot rullstyrningen ändras märkvärt och anses vara konstant 45 grader vilket blir den största kraften under en körning. Den pålagda kraften ansattes därför till $F_{linamax} \cos 45^\circ$. Den motverkande kraften som linan bidrar till mot trumman ansattes till ett moment, det eftersom linan anses styv. Motverkande momentet blev $F_{linamax} r_T$, där r_T är trummans radie. På axeln applicerades även en pålagd rotationsacceleration, det utifrån att linan ska accelereras konstant upp till sluthastighet.

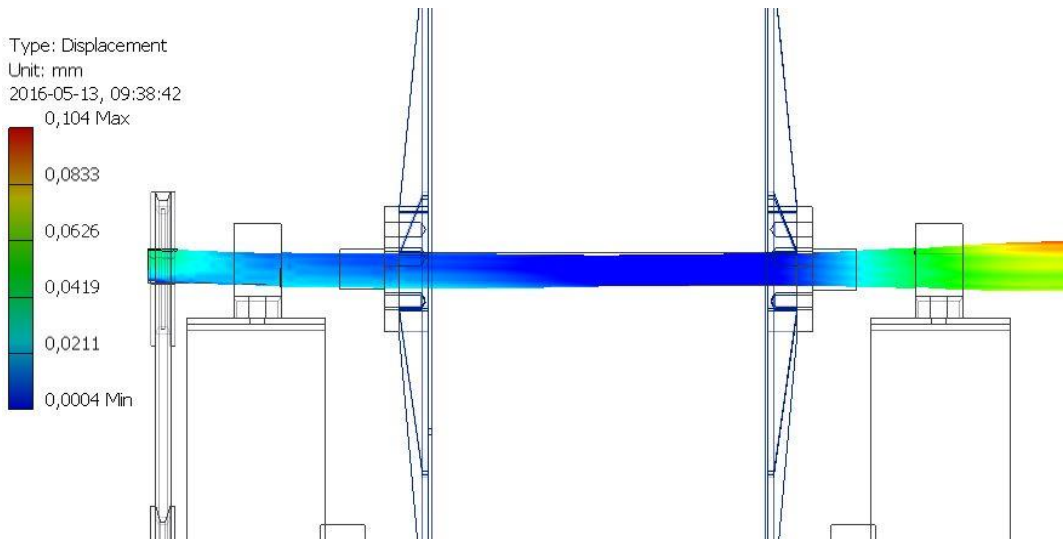
Den dynamiska simuleringen gav underlag för vidare statisk FEM-analys av de komponenter som ingår i det mekaniska systemet. I FEM-analysen importerades fullständiga krafter och moment som uppkommer vid accelerationsfasen utifrån den dynamiska simuleringen och dess antaganden som gjorts. De data som valts att analysera är von Mises spänning och förskjutning. Detta för att kontrollera att komponenterna håller för de belastningarna som uppkommer och för att upptäcka kritiska punkter. Trumman har analyserats i aluminium med E-Modul 70 GPa och sträckgräns på 275 MPa. Samtliga andra komponenter har analyserats i rostfritt stål med E-Modul på 210 GPa och sträckgräns på 250 MPa. Nedan ses simuleringsresultaten för de ingående delarna.

Drivaxel

Drivaxeln utsätts för ett vridande moment vilket syns i *Figur 24* och *Figur 25* där största spänning uppkommer i det högra lagersätet. Med hänsyn till sträckgräns kommer axeln att hålla trots de spänningar som uppkommer. Förskjutningen som uppkommer beror på att axeln har analyserats som om den endast sitter fast i lagren, alltså inte fast i koppling med motorn. I modellen används inte riktiga lager, istället har en förenkling gjorts där axeln endast roterar kring ett ihåligt fast lagerhus, därmed tar inte lagren upp önskad kraft och större än verkliga spänningar kommer uppstå.



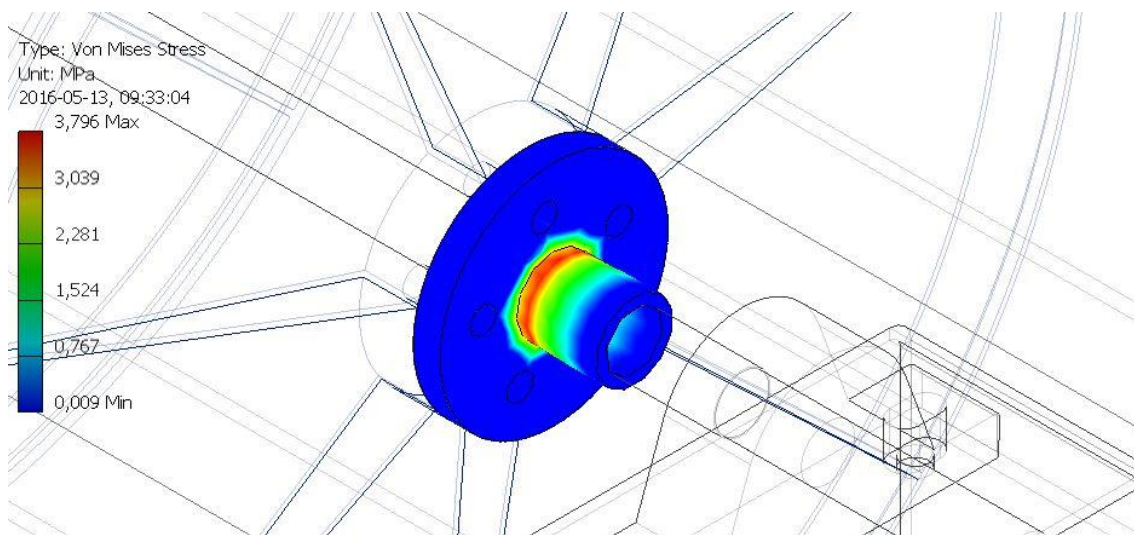
Figur 24. Von Mises spänning på Axel



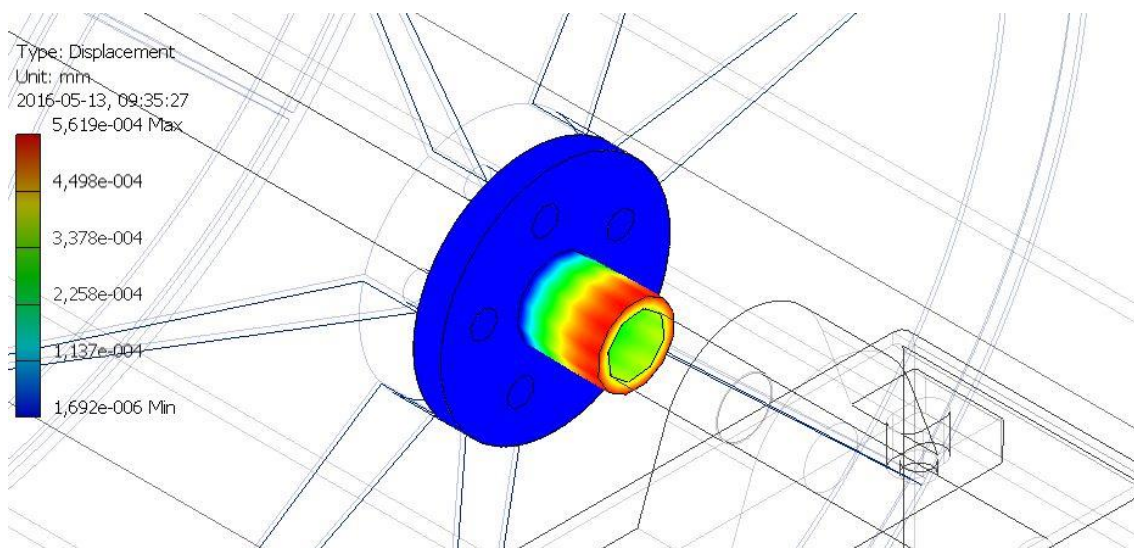
Figur 25. Förskjutning på Axel

Nav

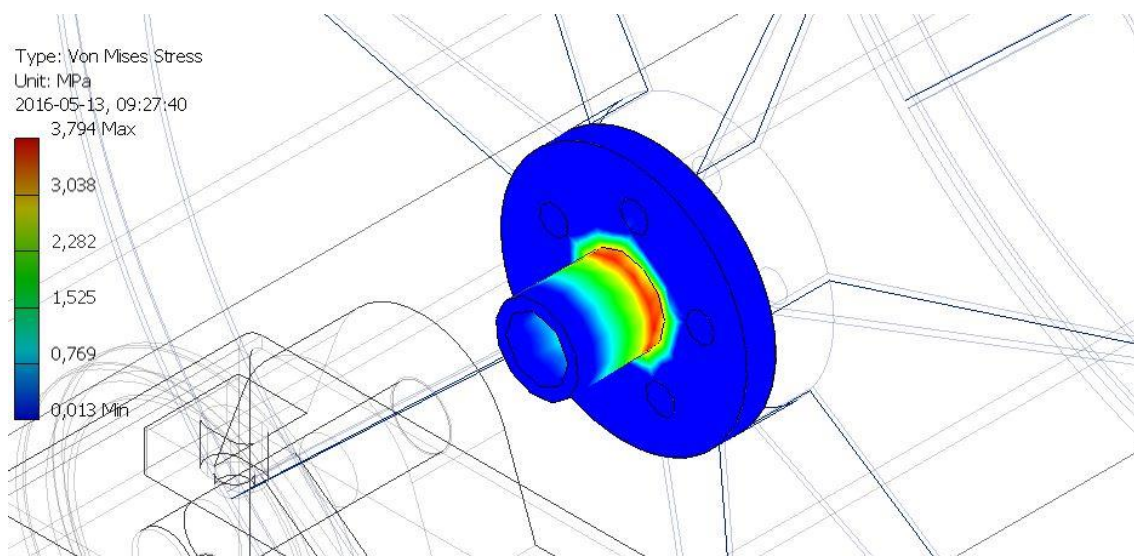
De två naven belastas med liknade krafter och som graferna i Figur 26 – 29 visar uppgår spänningar och förskjutningar till nästan samma värden. De största spänningarna uppkommer i de skarpa hörnen (90 grader), det kan åtgärdas enkelt genom att göra en radie. Med ansatta material klarar dock båda naven krafterna.



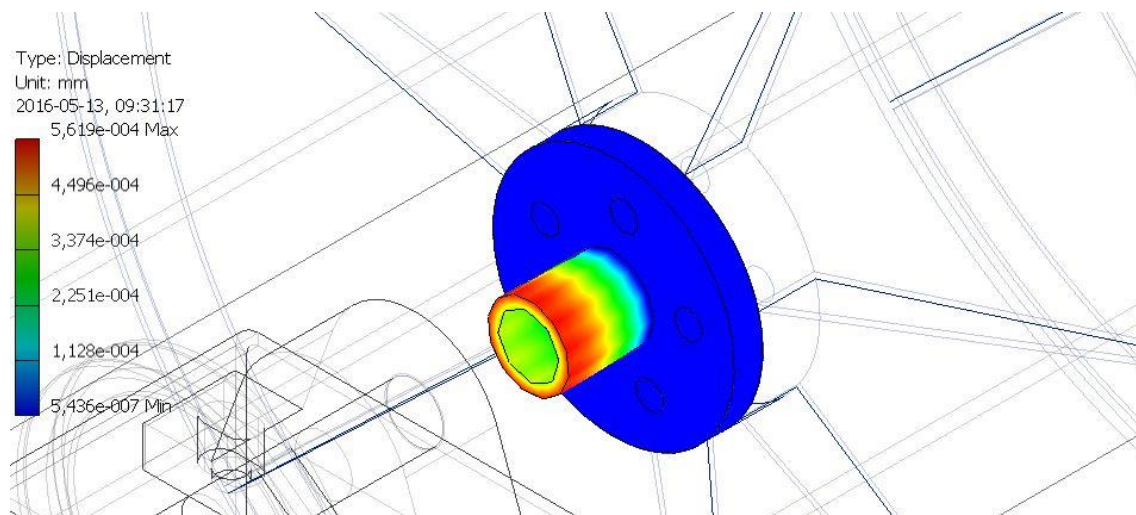
Figur 26. Von Mises spänning på höger Nav



Figur 27. Förskjutning på höger Nav



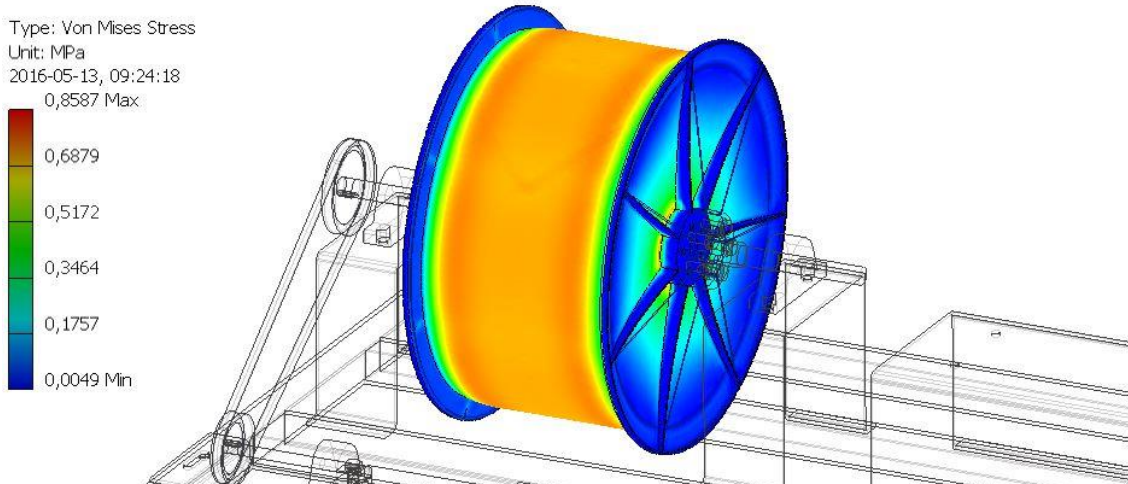
Figur 28. Von Mises spänning på vänster Nav



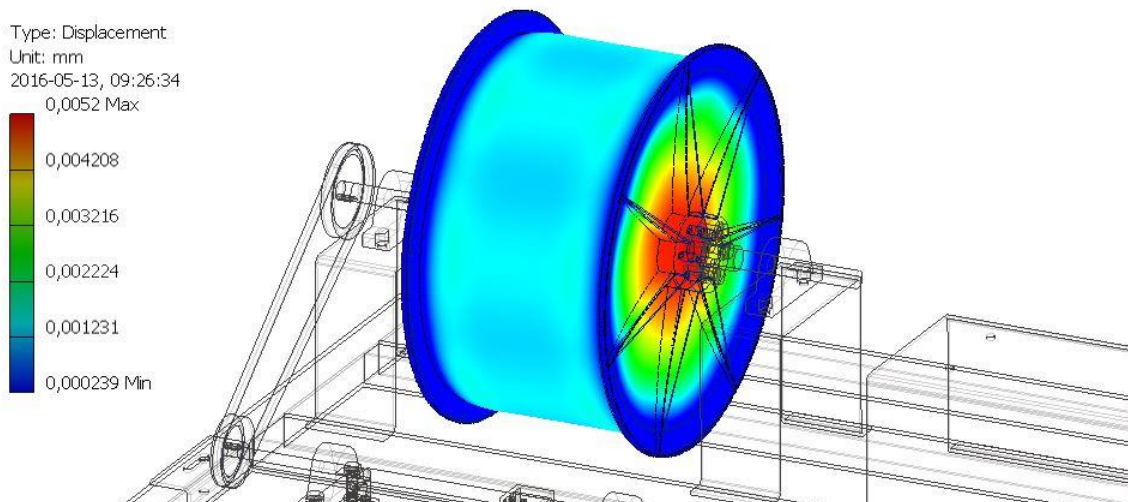
Figur 29. Förskjutning på vänster Nav

Trumma

Trumman har enligt antagande om linans styvhet belastats med ett symmetriskt fördelat moment mot ytan där linan rullas upp. Det egentliga momentet kommer bero på var linan befinner sig på trumman. De resulterande spänningarna och förskjutningarna som syns i *Figur 30* och *Figur 31* är små och kommer inte påverka konstruktionen.



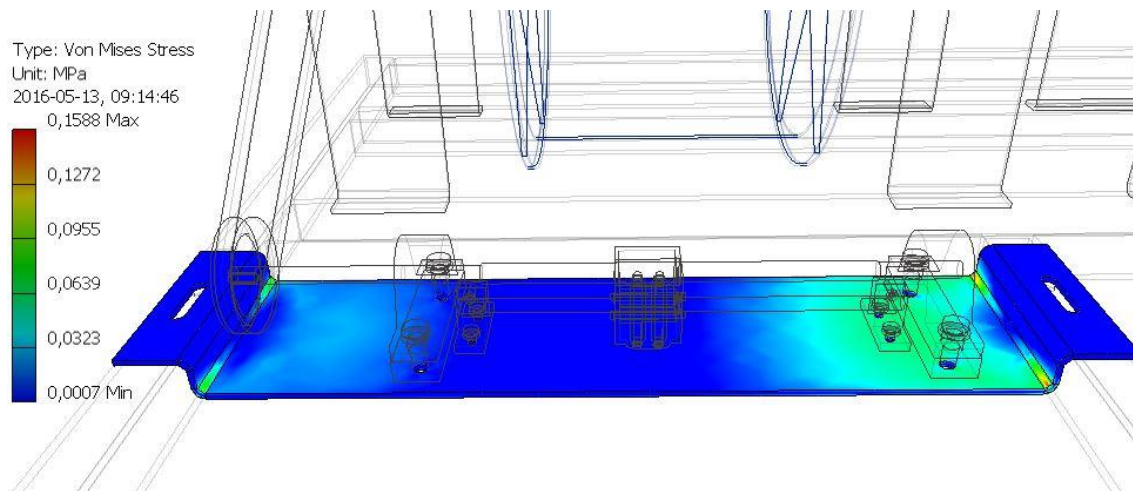
Figur 30. Von Mises spänning på Trumman



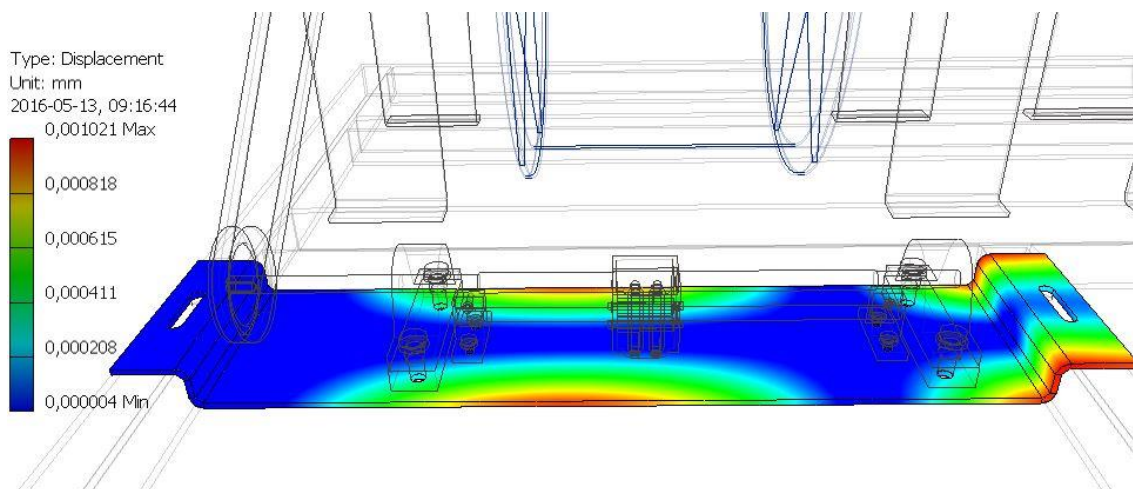
Figur 31. Förskjutning på Trumman

Infästningsplatta för linstyrning

Plattan där linstyrningsanordningen fäster har simulerats med bockade kanter, se *Figur 32* och *Figur 33*. Det har senare konstruerats om till att vara en plan platta utan kanter och med fästpunkter i skenor istället för bultar. Omkonstruktionen gjordes på grund av att fästpunkter för pallgafflar integrerades och därmed kunde inte plattan fästas på samma sätt. Simuleringen anses dock vara användbar eftersom den nya konstruktionen är identisk med enda skillnad att den inte kan få spänningar i de bockade gavlarna och därmed mindre påfrestning med hänsyn till de redan låga spänningarna.



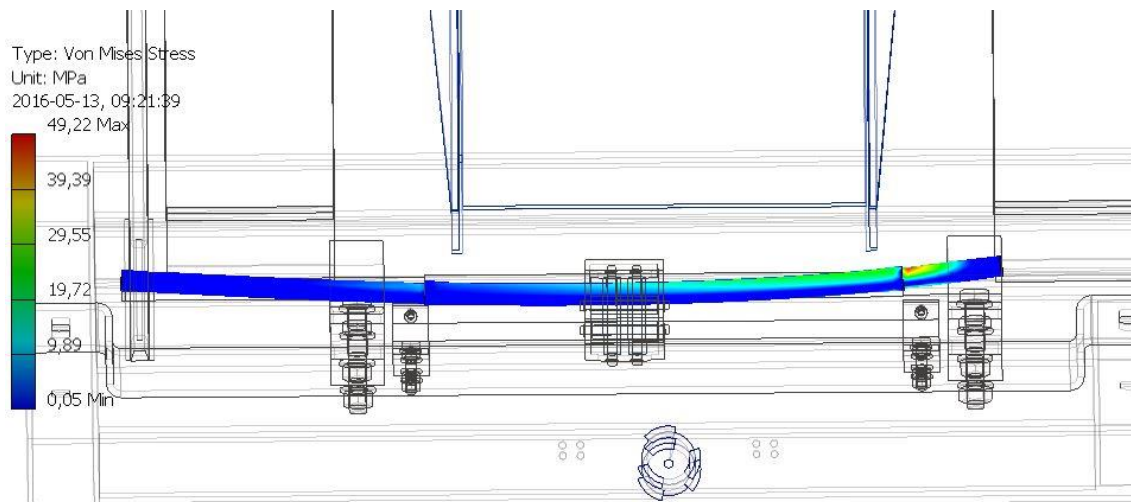
Figur 32. Von Mises spänning på Infästningsplattan för linstyrning



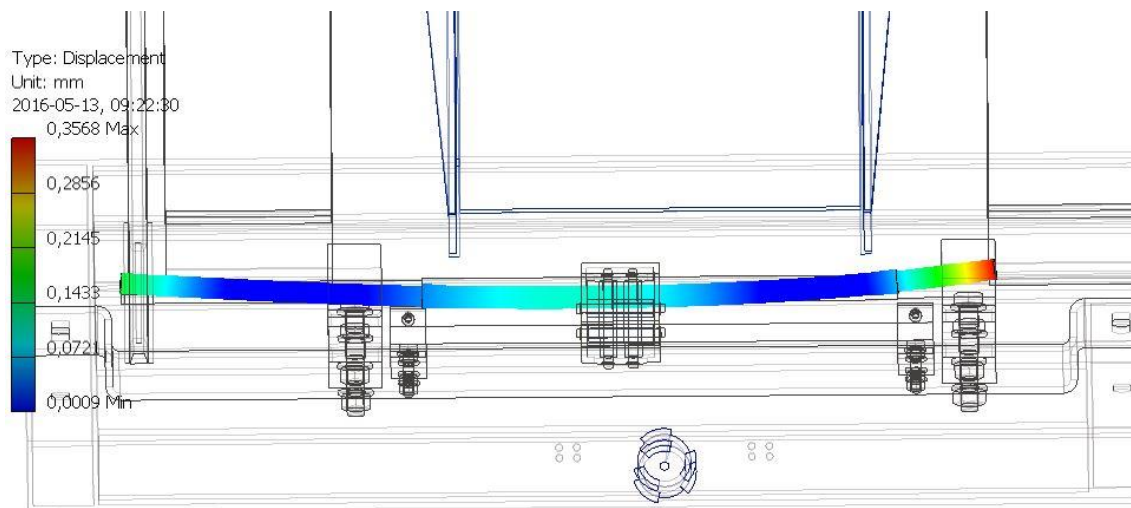
Figur 33. Förskjutning på Infästningsplattan för linstyrning

Styraxel

Den trapetsgångade styraxeln får störst spänning i de skarpa radieövergångarna där den gångade delen övergår till solid axel, se *Figur 34* och *Figur 35*. Likt naven kan det åtgärdas med en mjukare radieövergång. Lagren är även här förenklade och kommer inte ta upp krafter på rätt sätt, vilket leder till att förskjutningar och spänningar i verkligheten kommer att bli mindre. Förskjutningarna är dock relativt stora, det beror troligtvis på den långa hävarmen från remskivans infästning till det vänstra lagret. Vid fortsatt konstruktion är det nödvändigt att förminska detta avstånd och därmed få ner förskjutningarna. Det är också viktigt vid fortsatt konstruktion att gångornas belastning analyseras, det säger inte den här simuleringen någonting om.



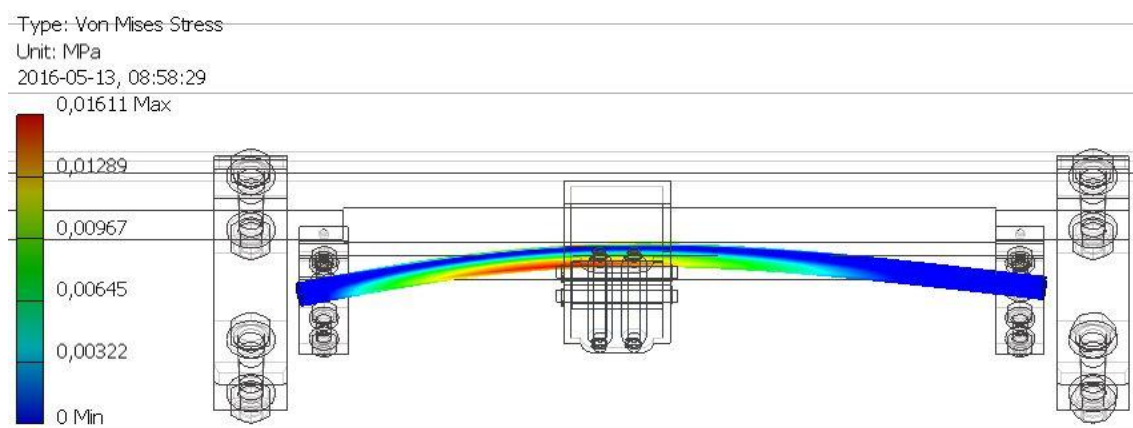
Figur 34. Von Mises spänning på Styraxeln



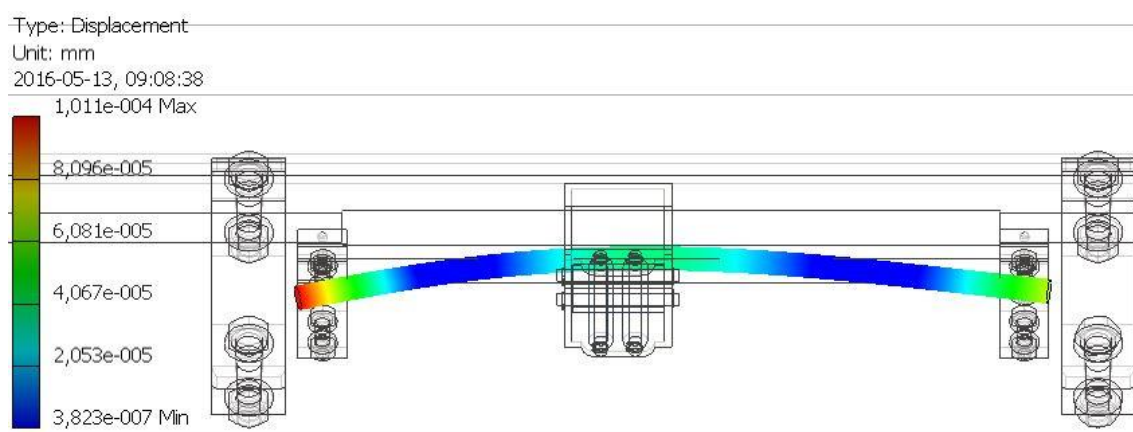
Figur 35. Förskjutning på Styraxeln

Stabiliseringsaxel

Stabiliseringsaxeln som endast håller rullstyrnigen i rätt position får inga stora belastningar och får därmed väldigt små spänningar och förskjutningar, se *Figur 36* och *Figur 37*. Tillskillnad mot den trapetsgångade styraxeln sitter stabiliseringsaxeln i glidlager och krafterna tas framförallt upp i den gångade axeln.



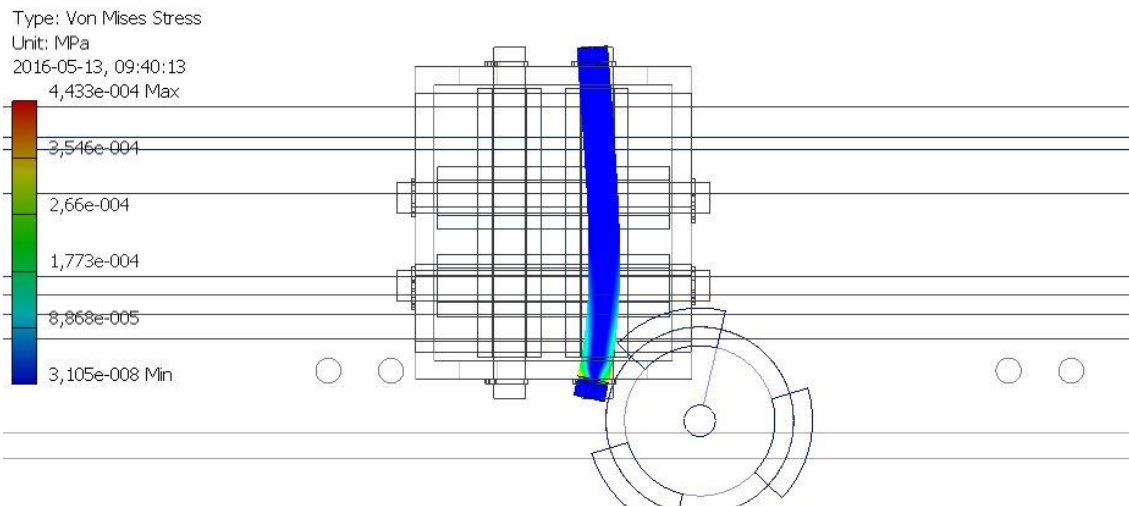
Figur 36. Von Mises spänning på Stabiliseringsaxeln



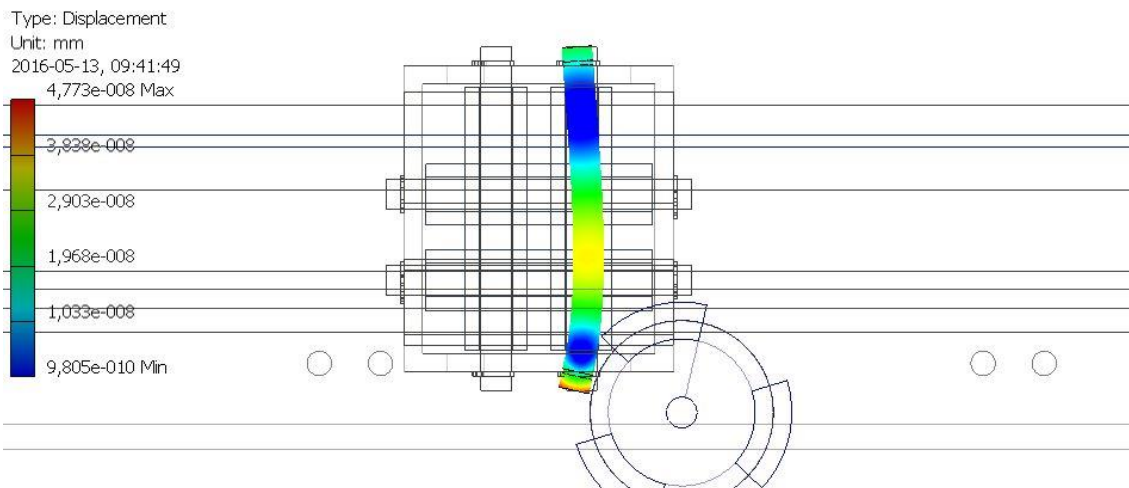
Figur 37. Förskjutning på Stabiliseringsaxeln

Rullstyrning

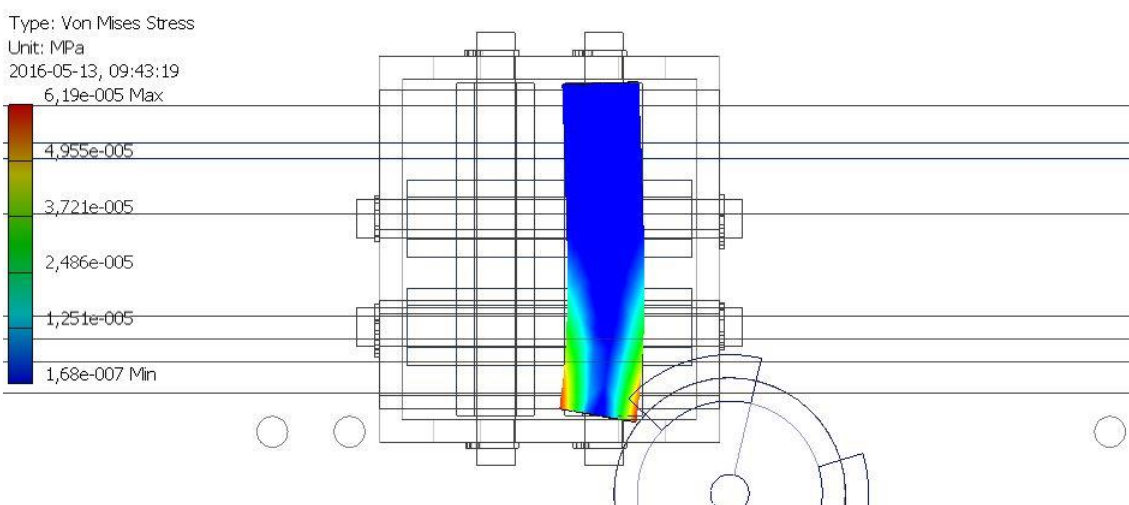
Av rullstyrningen har simulering endast gjorts på en axel och en rulle, det eftersom linans största komponent endast tas upp av en av de fyra axlarna med rulle. Simuleringen utgår från rullstyrningens begynnelseposition till vänster och därmed belastar linan den högra vertikala axeln och rullen. Endast en liten del tas upp av den nedre horisontella axeln och rullen. Eftersom axlarna och rullarna är utformade på samma sätt har endast en simulering gjorts och resultatet blev små spänningar och förskjutningar med liten påverkan, se *Figur 38-41*.



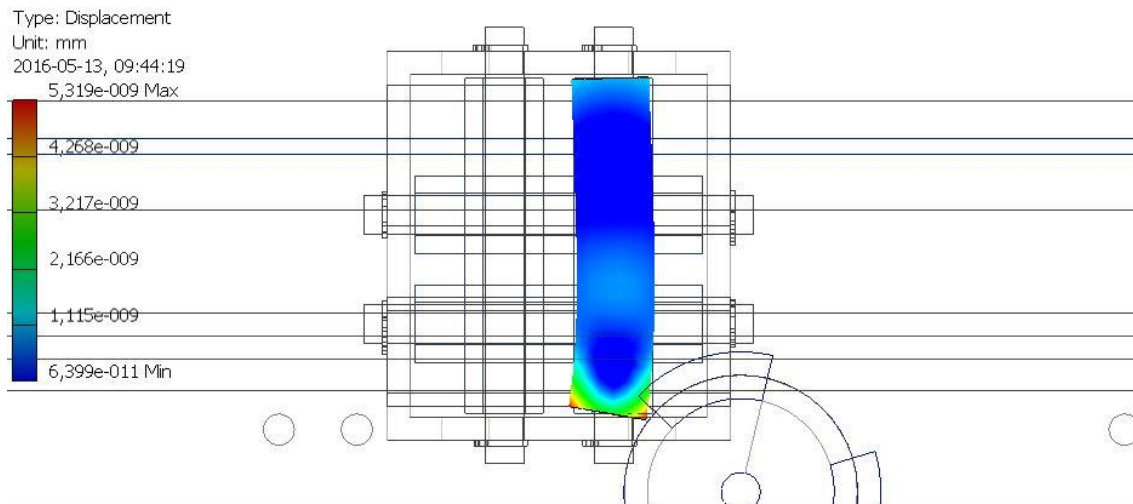
Figur 38. Von Mises spänning på rullens axel



Figur 39. Förskjutning på rullens axel



Figur 40. Von Mises spänning på Rullen



Figur 41. Förskjutning på Rullen

4.4.2 Säkerhetsanalys

I konstruktionsstadiet genomfördes även en säkerhetsanalys med avsikt att lyfta fram möjliga säkerhetsrisker hos konceptet. Det finns många regler som berör hur en produkt ska utformas vad gäller säkerhetsaspekter för att bli godkänd för försäljning inom EU. Då detta koncept klassas som en maskin gäller Maskindirektivet (Swedish Standard Institute, u.d.). Direktivet innebär att risker ska minimeras och undanröjas i största möjliga mån. Detta medförde många olika åtgärder och tillägg på konceptet, till exempel ska ingen obehörig kunna starta maskinen och operatören måste kvittera för start tidigast två minuter innan tänkt start för att inte tappa uppmärksamheten.

Utöver att gå igenom Maskindirektivet utfördes även en FMEA där möjliga risker för konceptets funktion analyserades och poängsattes efter sannolikhet, allvarlighetsgrad och chans till upptäckt där varje feltyp fick ett sammanlagt risktal. Till varje feltyp togs förslag till åtgärder fram där vissa implementerades direkt på konceptet och andra lämnades till vidareutveckling. Den feltyp som fick högst risktal var överhettning av motor. Risken kan minimeras med extra kylning vid behov, men lämnades till vidareutveckling då det krävs tester för att se vilken kylning som behövs.

Fullständig FMEA finns att läsa i *Bilaga G - FMEA* där även risker för personskador och relevanta delar ur Maskindirektivet finns listade.

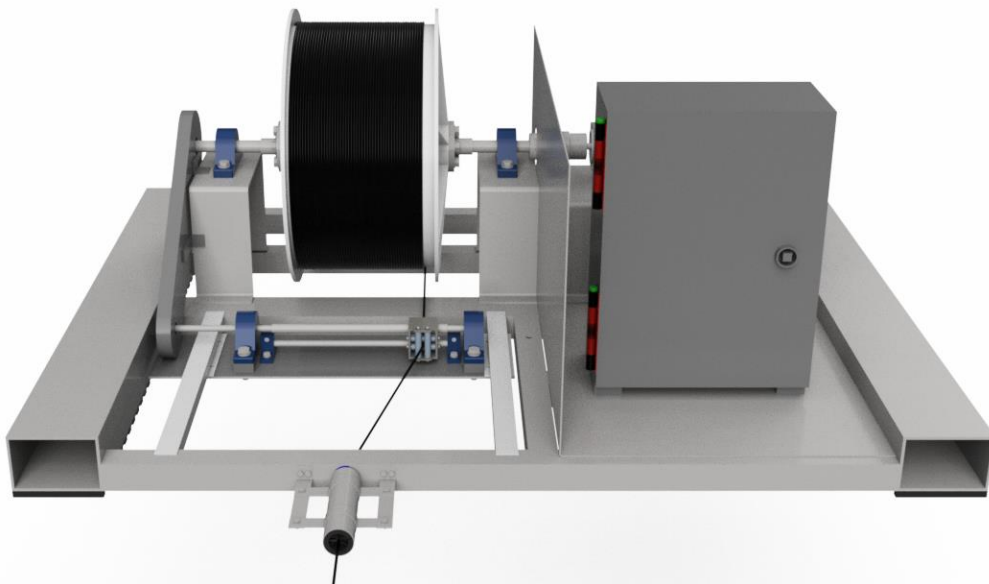
5 Resultat

I avsnittet redovisas det produktkoncept som undersökts och utvecklats under projektet. Produktkonceptet gavs namnet COFFEE - Controlled Objekt For Fast Emergency Evasion. Det följer även en ingående beskrivning om COFFEE:s sekventiella beteende och de indata som ges av användaren vid framtida bruk. *Figur 42* illustrerar COFFEE:s utformning med en fotgängare som mål.

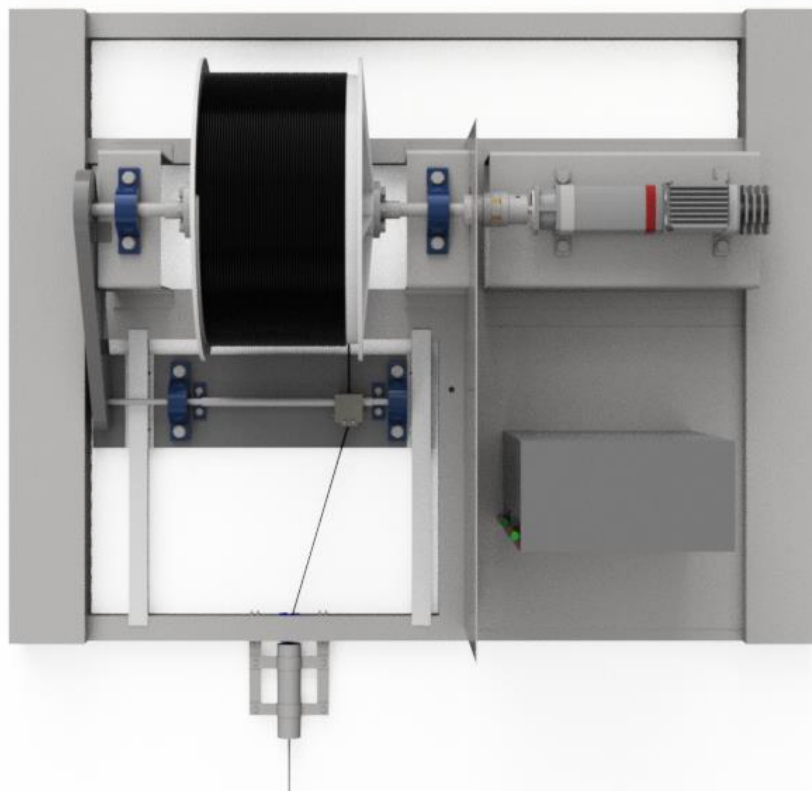


Figur 42. Produktkonceptet med en fotgängare som mål

Figur 43 och *44* visar de sammansatta delkomponenterna som behandlas i avsnittet. Figurerna är ett resultat med merparten av de beskrivna komponenterna som finns i avsnitt 4.3 *Utformning och dimensionering av komponenter*. Vissa illustrativa delar har tillkommit, exempelvis elskåp till höger i *Figur 43*.



Figur 43. Överblicksbild över en basenhet, vy framifrån



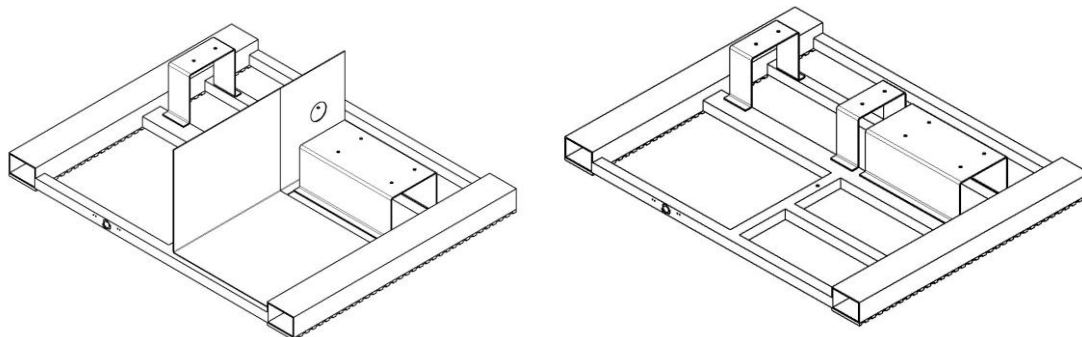
Figur 44. Överblickbild över en basenhet, vy ovanifrån

5.1 Delkomponenter

De framtagna komponenterna beskrivs i detta avsnitt ingående med egenskaper och tänkt användning. Även bilder av respektive komponent redovisas. Kompletterande CAD-bilder finns i *Bilaga I - Kompletterande CAD-bilder*.

Ram

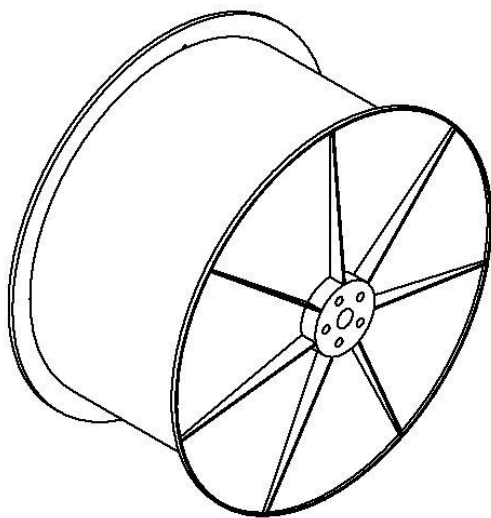
Ramen, som ses i *Figur 45*, är uppbyggd av fyrkantsprofiler i stål. De två profilerna på kortsidorna ger utrymme för truckgafflar. I den främre fyrkantsprofilen finns ett timglasformat centreringshål som lina löper genom. För infästning av komponenter är bockade stålplåtar fastsvetsade i ramen. Liknande plåtar utgör även skiljeväggar för att förhindra smuts från att spridas i systemet. Kontaktyta mot mark är gummibelagd.



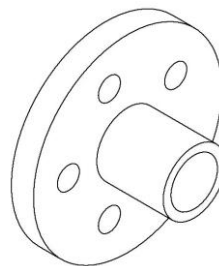
Figur 45. Ram med (a) och utan skiljevägg (b)

Trumma

Trumman, som ses i *Figur 46*, är tillverkad i aluminium. Utanpå trumman fästs ett nav som presspassas på drivaxeln. Navet ses i *Figur 47*.



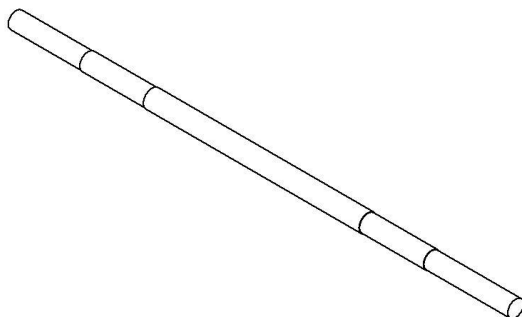
Figur 46. Trumma



Figur 47. Nav för fästning av trumman på drivaxeln

Drivaxel

Drivaxeln, som ses i *Figur 48*, är tillverkad i stål och består av fem segment med tre olika diametrar för att enkelt kunna fästa trumma, lager och kuggremshjul. Mellan drivaxel och motoraxel sitter en klockoppling.



Figur 48. Drivaxel

Lager

För att hålla fast axlarna används sfäriska kullager i stålagerhus som fästs i ramen.

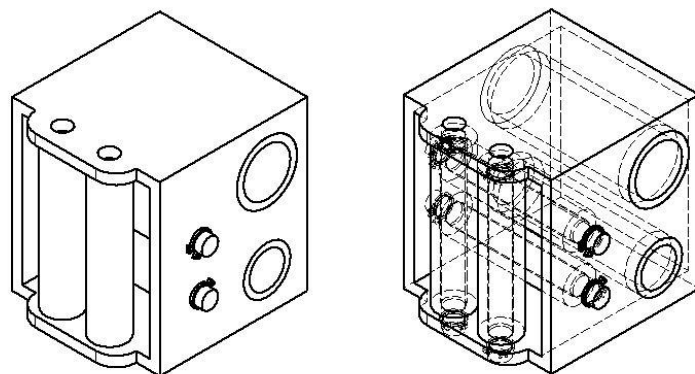
Lina

Linan som drar målet är en dyneemalina med ett ytterskikt av flätat polyestersilke. Linan suger inte åt sig vatten, är slitstark och har en låg töjning.

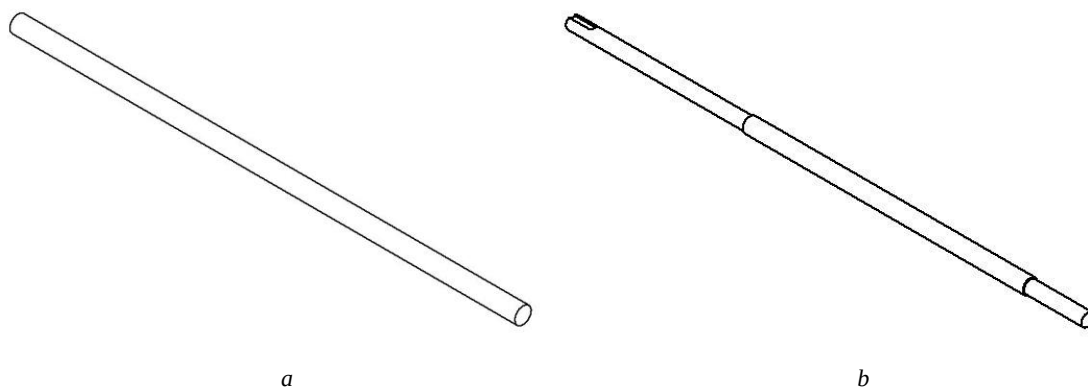
Linstyrning

Rullstyrningen, se *Figur 49*, är uppbyggd av en ram med fyra rullar, med genomgående axlar, som kan rotera när linan dras emot dem, på så sätt slits inte linan. Rullstyrningen har även två genomgående rör där ett utav dem är gängat och sitter på den trapetsgångade styraxeln. Styraxeln roterar med en hastighet som är direkt beroende av drivaxelns hastighet på grund av kuggremsväxeln. Det finns även en blank stabiliseringsaxel som går

genom det nedre röret i rullstyrningen så att den inte kan rotera vilket gör att rullstyrningen förflyttar sig längs med trumman. Kuggremsväxeln har en utväxling på 4:3 och trapetsgången en stigning på 3 mm. Styraxeln och stabiliseringsaxeln ses i *Figur 50*.



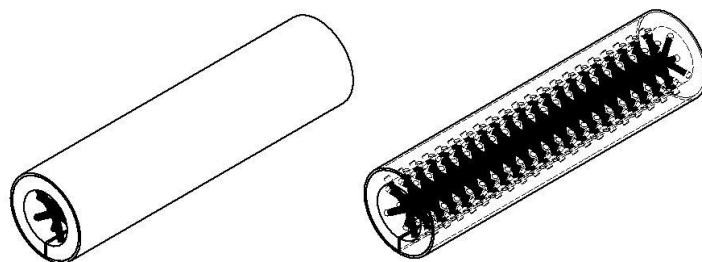
Figur 49. Rullstyrning, en genomsnittlig vy till vänster



Figur 50. Stabiliseringsaxel (a) och trapetsgängde styraxel (b)

Borste

Borsten, som ses i *Figur 51*, är 150 mm lång och består av en mjuk rektangulär matta med borstar i som rullas ihop och placeras i ett cylindriskt aluminiumskal. Infästningen är provisoriskt utformad men är i nuläget gjord av vinkeljärn och halvklämmor.



Figur 51. Borste, en genomskinlig vy till vänster

Kombinatoriskt val av motor, utväxling och reglering för COFFEE

Beskriver valet av motor, utväxling och reglering för COFFEE och baseras på konceptkonstruktionen.

Val av motor

Inget specifikt val utfördes eftersom prototyperna inte verifierats men baserat på beräkningarna i den analytiska modellen ansågs de två motorerna i *Figur 52* vara lämpliga eftersom kan driva den teoretiska produkten på ett önskvärt sätt. Båda motorerna är hämtade ur ECMA-serien från Delta.

Model: ECMA Series	L118		
		55	75
Rated output power (kW)		5.5	7.5
Rated torque (N-m) ¹		35.01	47.74
Maximum torque (N-m)		87.53	119.36
Rated speed (r/min)	1500		
Maximum speed (r/min)	3000		
Rated current (A)		22.37	27.3
Maximum current (A)		56	68.3

Figur 52. Utdrag av de rekommenderade motorernas prestanda (Delta, u.d.)

Val av växellåda

Högsta möjliga utväxlingen för de ovanstående motorerna med nuvarande val av trumma är 3.75:1 som är förhållande mellan ingående och utgående axel. Högsta varvtalet för de föreslagna motorerna är 3000 rpm, enligt *Figur 52*, vilket begränsar den möjliga utväxlingen. Ingen kostnad för växellåda har tagits fram eftersom denna beror på motorvalet, vilket inte är slutgiltigt utan endast ett förslag.

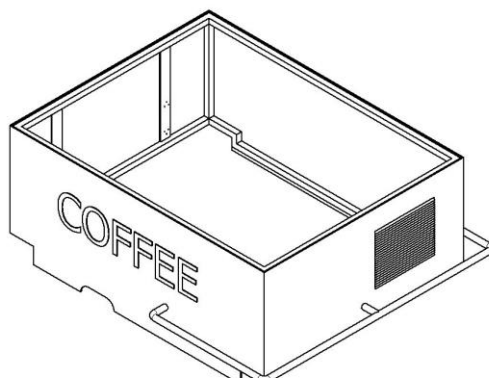
Val av styrsystem

Baserat på kraven på styrsystemet, som bygger på hur COFFEE skall bete sig, valdes PLC-systemet DVP10SX11R från Delta. PLC-systemet är kompatibelt med de tänkta servoförstärkarna och HMI-enheten. GPS-klocka finns enligt Automizer i flera varianter med RS485-kommunikation som PLC-systemet använder sig av.

Skal

Det skyddande skalet, som ses i *Figur 53*, är gjort i plast med en stabiliserande ram inuti. För att kunna öppnas har det försetts med gångjärn och ett handtag. Ett jalousigaller

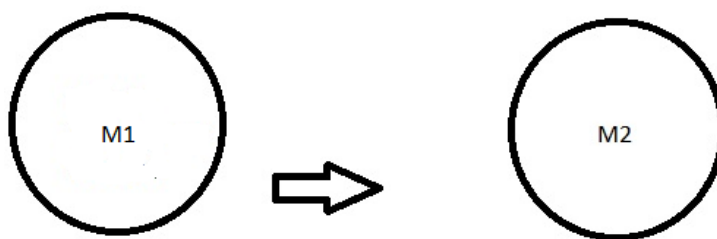
är placerat vid motorn för att ventilerat ut värme. Toppen på skalet är gjort i plexiglas för att kunna se in i systemet utan att avlägsna skalet.



Figur 53. Skal

5.2 Sekventiell beskrivning av produktkonceptet

För att uppfylla tänka funktioner hos COFFEE skall flera delsekvenser genomföras vid testkörning, vissa mer komplicerade än andra. Nedan följer en utförlig beskrivning av dessa delsekvenser och övergångsvillkoren mellan dem. Avsnittet fungerar som underlag vid framtida programmering och byggde grund för val av hårdvara och mjukvara eftersom systemets alla delar beskrivs ingående. Det nämns även hur produkten kommunicerar och styrs av användaren. Användaren kommer kontinuerligt ge COFFEE instruktioner och information för att styra produktens beteende. Delar av de komponenter som beskrivs här är inte färdigutvecklade och finns därför även med i nästa avsnitt som handlar om förslag till vidareutveckling. I *Figur 54* ses motorerna i respektive basenhet vilka namnges till M1 för referensenheten och M2 för basenhet 2.



Figur 54. Referensenhet M1 och basenhet M2

5.2.1 Installation

- 1 Utrustningen placeras på testområdet.

El ansluts till båda basenheterna och styrsystemen sammankopplas med en kommunikationskabel som dras över vägbanan.

Styrsystem: Kontrollerar att kommunikationskabeln är korrekt kopplad, om inte ges en indikation till användaren.

- 2 Basenheterna placeras linjärt på önskat avstånd.

Avståndsmätningen mellan enheterna sker med hjälp av två lasrar, se *Figur 55*, med tillhörande mottagare som även visar att enheterna är placerade linjärt mot varandra.



Figur 55. Två lasrar som avgör basenheternas position

Läget utvärderas kontinuerligt och en varningslampa tänds om inte enheterna är korrekt placerade.

Styrsystem: Kontrollerar att enheterna är korrekt placerade, om inte tänds en varningslampa. Informationen om avståndet mellan enheterna skickas även till styrsystemet.

5.2.2 Referenskörning

Referenskörning kommer behöva genomföras innan produkten skall testköras och skall vara möjlig att utföra på 10 min. Eftersom förändringar i miljön kan påverka hur transporten av målet sker är det av högst vikt att referenskörningen genomförs korrekt. Exempelvis kan vind och lutning på vägbanan påverka hastighet och transportsträcka och leda till att målet kolliderar med någon av basenheterna i hög hastighet.

- 1 Användaren definierar om referenskörning önskas

Styrsystem: Vill användaren använda maskinens tidigare inställningar?

Om svaret är ja:

Hoppa över referenskörning och vänta på att målet är i position. Används då maskinen har kalibrerats tidigare.

Om svaret är nej:

Alla inställningar nollställas för ny referenskörning. Fordonets data kommer inte matas in i programmet. Målets position vid viss tidpunkt kommer istället att vara riktmärke för fordonets inställningar.

- 2 Användaren ställer in måldragarens önskade beteende

Input till styrsystemet:

Flera starttider kan placeras i ett kösystem för när körning skall inledas. Motsvarar GPS tiden.

Målets önskade maxhastighet

Vilken sida som är referens och då även innehåller M1-motorn

- 3 Användaren ställer in målets parametrar

Input till styrsystemet:

Målets vikt

Målets typ exempelvis cyklist eller fotgängare.

Parametrarna påverkar systemets beräknade drivkraft eftersom motstånd i form av tröghet och luftmotstånd varierar utifrån det möjliga valet. Det kan tänkas att det finns

exempelvis tre fördefinierade parametrar för de mål som används ofta, men att användaren även kan mata in egna exakta parametrar för andra typer av mål.

Styrsystemet: Om inte sträckan mellan de två enheterna räcker för att utföra testkörningen informerar systemet användaren om detta och ber om nya parametrar.

4 Första GPS tiden läses in från kö och användaren kvitterar testkörningen

Styrsystemet: Är det mindre än 2 minuter till GPS-tid?

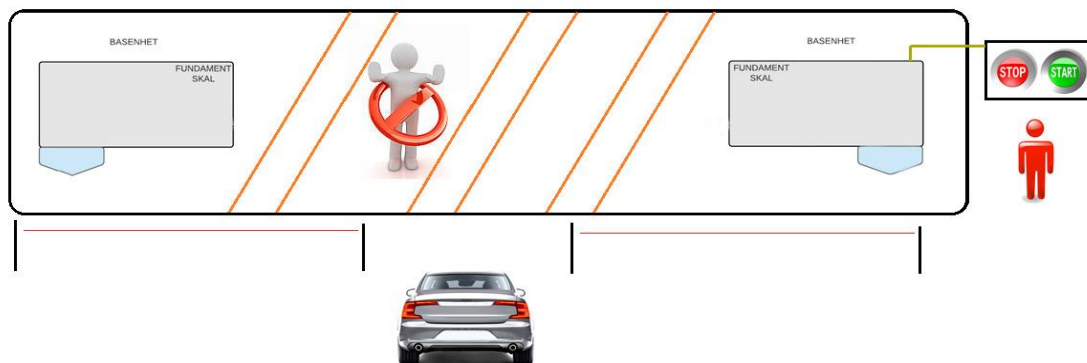
Om svaret är ja:

Visa användaren att produkten är redo för start och tillåt användaren att kvittera för starten med en kontrollenhet.

Om svaret är nej:

Invänta ny GPS tid och iterera.

Kontrollenheten kan bestå av en trådlös enhet, ex mobiltelefon, eller finnas på basenheternas användargränssnitt. Det går inte att kvittera start mer än två min före GPS-tiden på grund av säkerhetsrisker. Längre tidsintervall mellan kvittering och start ökar risken för att användaren inte är uppmärksam på om någon utomstående har beträtt säkerhetszonen. Användaren kan sedan när som helst avbryta testet och bör ha god uppsyn över området under hela testet. *Figur 56* visar säkerhetszonen, användarens placering och ett inkommande fordon.



Figur 56. Visar att användaren (i rött) kan avgöra om någon befinner sig i säkerhetszonen

Ett kompletterande säkerhetssystem är de inritade ljusburarna. Ljusstrålar kan brytas och då aktiveras en stoppsignal om någon går in i säkerhetszonen, dock finns ett visst utrymme för fordonet att passera igenom, där även personer skulle förbli oupptäckta.

En funktion som gör att inte maskinen går att köra då kontrollenheten är bortplockad skulle vara ett skydd mot att obehöriga använder maskinen.

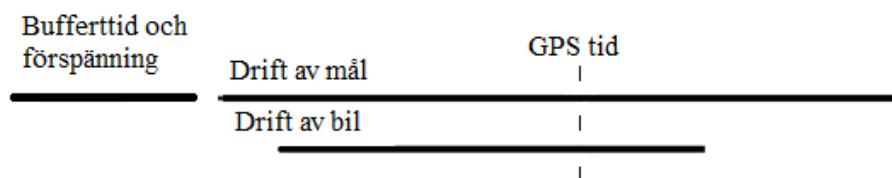
5.2.3 Beskrivning av start och buffertid

Utsatt tid, den så kallade GPS-tiden, är den tidpunkt då målets och fordonets banor skall korsa varandra. För att kunna korsa fordonets bana behöver därför målet börja sin färd en tidsperiod före den utsatta träfftiden.

För att kunna tillhandahålla detta beteende behöver kvittering ske senast vid:

$$\text{Tid [s]} = (\text{GPS-tid}) - (\text{buffertid} + \text{drifftid till målposition}) - 2\text{min}$$

COFFEE blir på detta sätt oberoende av fordonets inställningar eftersom ingen kommunikation sker med fordonet. Under referenskörningen uppmäts drifttid till träffpositionen, se *Figur 57*.



Figur 57. Tidsinställningar för COFFEE och fordonet

Både fordonets och målets hastighet måste uppnås före dem korsar varandras banor, därför kan starttiderna för de två objekten skilja sig åt, se *Figur 58*. Möts inte fordonet och målet korrekt kan buffertiden anpassas, vilket ökar maskinens flexibilitet. Positioneringsproblem uppstår eftersom målet skall kunna startas från båda sidor av vägen. Exempelvis kan lutningen på vägbanan mellan basenheterna medföra att accelerationskrafterna blir olika beroende på startsida. Detta kan även kompenseras med hjälp av varierande buffertider.



Figur 58. Fordonets och målets hastighet i förhållande till varandra

- 5 Målet positioneras korrekt för kommande start. Detta sker mot en platta framför fundamentet med tryckgivare som verifierar att målet är i rätt position. Målet transporteras med en låg hastighet tills det befinner sig i kontakt med plattan. Målets position och måtenheten nollställs sedan.
- 6 Motorerna förspänner linan genom att M1, motorn på referenssidan, drar med en något större kraft än M2. Kraften mot den ovan nämnda positionsplattan kommer aldrig bli högre än skillnaden mellan linkrafterna om motorerna ökar spänningen likartat. Detta gör att den totala linspänningen som uppnås innan start kan ökas utan att basenheterna kan ta skada, men även att målet förbli stilla under uppspänningen.

Systemet: Larmar om motorn står för länge utan att uppnå önskad linspänning pga. risk för överhettning.

- 7 Motorerna ökar till det maximala moment som kommer behövas under testet. Detta sker några få sekunder innan den beräknade starttiden.

- 8 Målet åker iväg med önskad hastighet genom att M1 minskar sitt bromsande moment. Ett lågt moment finns alltid kvar för att säkerställa att linan är spänd på båda sidor om målet.
- 9 Då den önskade maxhastigheten uppnås (hastigheten mäts med en givare på motoraxeln) sparas körsträckan och tidpunkten då maximal transporthastighet uppnåtts.
- 10 M1 reglerar accelerationen genom att bromsa mer och avslutar därmed accelerationsfasen. M2 behåller dock ett högre moment än M1 för att kompensera för förluster så som luftmotstånd och rullmotstånd, vilket gör att hastigheten blir konstant.
- 11 När målet har transporterats med önskad maxhastighet över den önskade sträckan ökar M1 sitt bromsande moment för inleda retardationsfasen. M2 minskar samtidigt sitt moment, men måste fortfarande behålla ett moment som gör att linan inte slackar. Målet skulle annars riskera att åka iväg okontrollerat från den tänkta körbanan. Det finns även risk för komplikationer vid linupprullningen om linan inte är spänd.
- 12 När målet har stannat fördelas momenten från de båda motorerna lika så att mål förblir stilla. Data som behövs från testkörningen ges till användaren via användargränssnittet. Det är tid och sträcka för accelerationsfasen, sträcka körd med maximal konstant hastighet, tid och sträcka för retardationsfasen, samt den totala körsträckan och körtiden.

Styrsystem: Skedde mötet mellan mål och fordon på önskat tid?

Om svaret är nej:

Ber systemet användaren att mata in ny bufferttid.

Styrsystem: Användaren får valet att avsluta referenskörningen eller genomföra den på nytt med nya parametrar om användaren är missnöjd med resultatet.

5.2.4 Mängddrift av prototypen efter referenskörning

När referenskörningen är genomförd är produkten redo att testköras med ett inkommande fordon. De steg som då genomförs är punkt 4-12 från föregående avsnitt.

Efter varje genomförd testkörning kan användaren välja mellan tre alternativ:

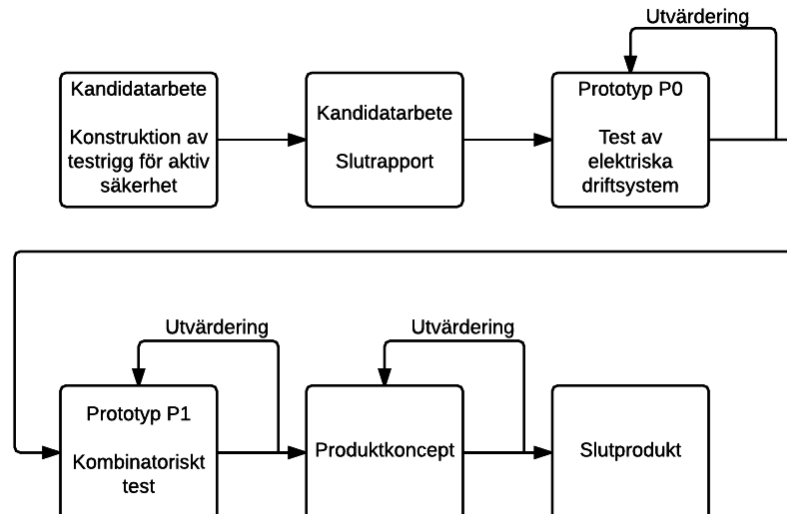
- Ange att testet är avslutat och inga fler test vill genomföras. Motorerna släpper då på linspänningen och produkten förbereds för demontering.
- Ange att testkörningen skall upprepas. Målet transporteras då långsamt tillbaka till ursprungsläget mot positionsplattan och är därmed redo för punkt 4 igen.
- Ange att testkörningen skall utföras från motsatt sida. Målet måste då vändas av användaren manuellt innan målet långsamt kan åka mot den andra startplattan på nya sidan. Användaren har även möjligheten att begära en ny referenskörning från denna sida.

6 Prototypunderlag

Under projektet skapades underlag för olika prototyper som kan användas till att verifiera konceptets genom fysiska tester. Tids- och kostnadsbegränsningar ledde emellertid till att inga fysiska tester utfördes under projektet och därmed, efter godkännande av beställaren och handledaren på Chalmers tekniska högskola, avgränsades projektet från prototyp-tillverkning och fysiska tester. Innan projektets slutkoncept kan vidareutvecklas till en färdig produkt finns därmed behov av att utföra dessa tester. I *Figur 59* illustreras den teoretiska utvecklingskedjan från projektstart till slutprodukt.

För att minska risken för dyra felbeställningar var det önskvärt att använda deltester som begränsas till att utvärdera specifika funktioner hos konceptet. Då deltester ger tidiga indikationer över huruvida systemet fungerar som tänkt ansågs detta kunna användas som underlag för motivering gällande inköp av påbyggnadsdelar för vidare testning. När en specifik funktion testats och utvärderats utifrån en prototyp kan ytterligare komponenter köpas in och läggas till efter hand. Genom att använda komponenter i en serie som kan användas i slutprodukten kommer testerna systematiskt leda fram till en prototyp som liknar slutprodukten.

Delprototyper P0 och P1 önskades tillverkas under projektets utvecklingsarbete men flyttades av ovanstående anledning till att utvärderas efter projektavslut. Vidare i avsnittet redogörs för hur delprototyper P0 och P1 var tänkt att genomföras under projektet samt kostnadsuppskattningar för dessa. Produktkonceptet avses tillverkas och utvärderas innan slutprodukt, konceptet redovisas i avsnitt 5 *Resultat*. Avsnittet kan användas som inspiration och rekommendation vid vidare steg mot en slutprodukt.



Figur 59. Blockdiagram för prototypförslag i slutrapporten och förslag på hur ett framtida projekt kan arbeta för att skapa slutprodukten

6.1 Prototyp noll – Test av elektriska driftsystem

Syftet med prototyp noll (P0) är att testa styrprincipen och ge inblick i hur en lina beter sig främst under övergången mellan de olika accelerationsfaserna där risken för betydande problem såsom ryck i linan antas kunna uppkomma. Prototypen är kostnadseffektiv att utföra och ger indikationer på om lina och elmotorer är lämpliga designval. Inget mål

används för att förenkla testerna och reducera linans längd. Prototyp noll innefattar inte heller tidsstyrning eftersom bl.a. Automizer AB kan leverera en enhet med ex GPS-klocka. Tidsstyrningen kan därför implementeras tillsammans med de mekaniska komponenterna i senare prototyper.

Specifikationer för P0

Med det kombinatoriska system som valdes i *avsnitt 3.4 Delsystemlösningar* kan samma PLC-system användas till samtliga prototyper och därmed även för prototyp noll. Motorn har valts ut en motorserie där även motorer finns som har de effekter som beräknas behövas för slutprodukten. Valet av motor anpassades efter det minsta som antas kunna driva P1 initialt. Motorn benämns fortsättningsvis som M1 och har följande specifikationer.

Typ: ECMA-C10604RS

Effekt: 400 W

Anpassad servoförstärkare är ASD-A2-0421-M.

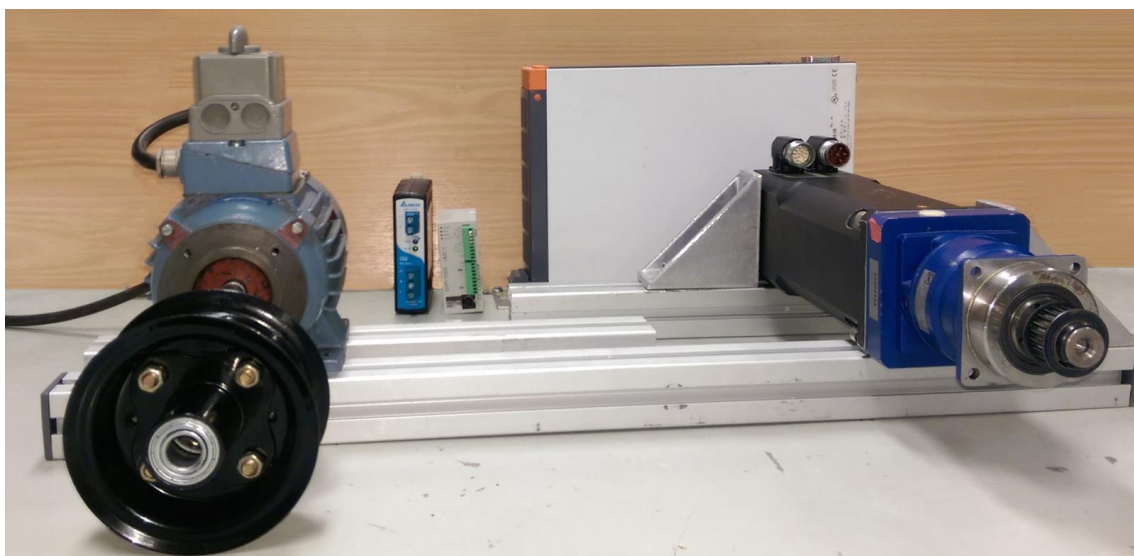
I Produkt- och produktionsutvecklingslabbet på Chalmers tekniska högskola fanns tillgång till en motor från Elmo Flen Sweden. Genom att utnyttja den skulle kostnaden för P0 kunna minskas. Motorn benämns fortsättningsvis i avsnittet som M2 och har följande specifikationer:

Typ: RS63 B/6

Effekt: 110 W

RS63-motorn kan köras i Y-drift för att utföra tester vid lägre moment.

P1 kan ha olika hastighetsprofiler beror bland annat på val av trummor och inställningarna på M1 som är reglerbar. Flera tester är möjliga med denna prototyp och ingen mer ingående beskrivning av utväxling och trummor kommer att göras eftersom detta kan variera beroende på testscenario. *Figur 60* illustrerar hur systemet skulle kunna se ut. I figuren visas endast huvudkomponenterna som är följande: PLC, servoförstärkare, servomotor med växellåda, RS63-motorn samt förslag på trumma och aluminiumprofil för infästning av motorerna. Inkopplingsschema för servomotorn med ett reglersystem tillhörande M1 presenteras i *avsnitt 6.2 Prototyp 1* under elsystem.



Figur 60. Överblick av huvudkomponenterna i P0. M1 till höger och M2 till vänster

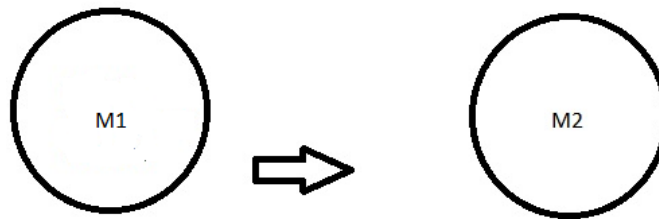
Mekaniska komponenter i P0

Till trumman krävs styvt material, så som metall eller plast, på grund av momentkrafter. Drivrullar till transportband, som kan ta upp stora momentkrafter, uteslöts för P0 på grund av kostnad. Fälgkonstruktionen som valdes (se *Bilaga H - Prototypofferter*) är ett billigt alternativ som uppnår syftet för prototypen. Monteringens beskrivs inte mer ingående eftersom denna skulle anpassas under testerna beroende på tidigare test resultat exempelvis efter första motorkörningen kan spolen behöva bättre stabilitet.

Sekventiell beskrivning av P0:s beteende

Huvudsyftet är att testa styrprincipen och sekvensen som presenteras i avsnittet avgränsas därefter.

Under körningen agerar M1 som bromsande motor och M2 som drivande motor i enlighet med styrsekvensen i avsnitt 3.4 *Delsystemlösningar*. I *Figur 61* ses M1 och M2 samt en markering för linans rörelseriktning.

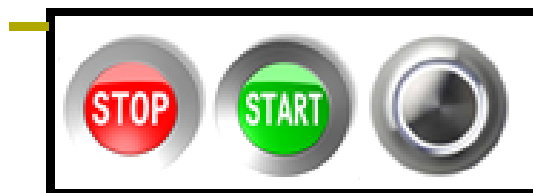


Figur 61. Motoruppställning och rörelseriktning

Tre digitala ingångar på PLC systemet kan nyttjas till kvitteringsdosa, se *Figur 62*, enligt följande:

- Stoppknapp (röd)
- Kvitteringsknapp (grön)
- Funktionsknapp (silver)

Samma dosa kan användas för P1.



Figur 62. Kvitteringsdosan som kommer att användas till P0. Stoppknappen är i detta fall ett nödstopp

Förberedelse:

Linan fästes i båda trummor och lindas manuellt upp på trumma tillhörande M1 inför första starten.

Mängddrift:

- 1 Systemet läser in den förinställda sträckan som är 8 m, vilket baseras på rullarnas utformning.
Styrsystem: Har kvittering på både start- och funktionsknapp skett? (Se *Figur 63*).
- 2 Motorerna förspänner linan åt vardera hållet med motsvarande M2:s Y-kopplade moment.
Styrsystem: Har 0,5 s passerat?
- 3 M1:s moment minskar vilket gör att linan accelereras.
Styrsystem: Loop enligt nedan med indata från givare på bromsande motoraxel
Hastighet < målhastighet? Minska bromsmoment på M1
Hastighet > målhastighet? Öka bromsmoment på M1
Sträcka med målhastighet > 1 m? Gå ur loop
- 4 M1 bromsar linjärt
Styrsystem: Loop enligt nedan med indata från givare på bromsande motoraxel.
Hastighet < önskad hastighet? Minska bromsmoment på M1
Hastighet > önskad hastighet? Öka bromsmoment på M1
Hastigheten <= 0? Gå ur loop
Styrsystem:
Har 0,2 s passerat? Stäng av M2
- 5 Stäng av M1
Styrsystem: Har 0,1 s passerat? För att reläet skall hinna släppa.
Användare lindar tillbaka linan manuellt på trumma M1 för att repetera testet.

Både start och funktionsknapp behöver tryckas in i steg 1 för att säkerställa att inte maskinen startar oavsiktligt. Det kritiska för styrsystemet är fasövergångarna, bland annat mellan målhastighets- och retardationsfasen eftersom chansen för ryck i linan då är stor. Fasen antas vara kortare än 0,2 s. RS63-motorn fortsätter i Y-driften under 0,2 s efter det att retardationsfasen inleds så att fasen kan studeras exempelvis med höghastighetskamera.

Inköpslista P0

Ingående delar i prototyp noll har nu presenterats. I detta avsnitt skattas utgifterna där de huvudsakliga posterna är:

- PLC
- Servomotor
- Servoförstärkare
- Installationsarbete
- Kablage

En mer ingående inköpslista för P0 med komponenter, arbete, inköpsställe och utgifter presenteras i *Bilaga H - Prototypofferten*.

Totala utgifter för P0 beräknas till <14 200 SEK.

6.2 Prototyp 1– Kombinatoriskt test

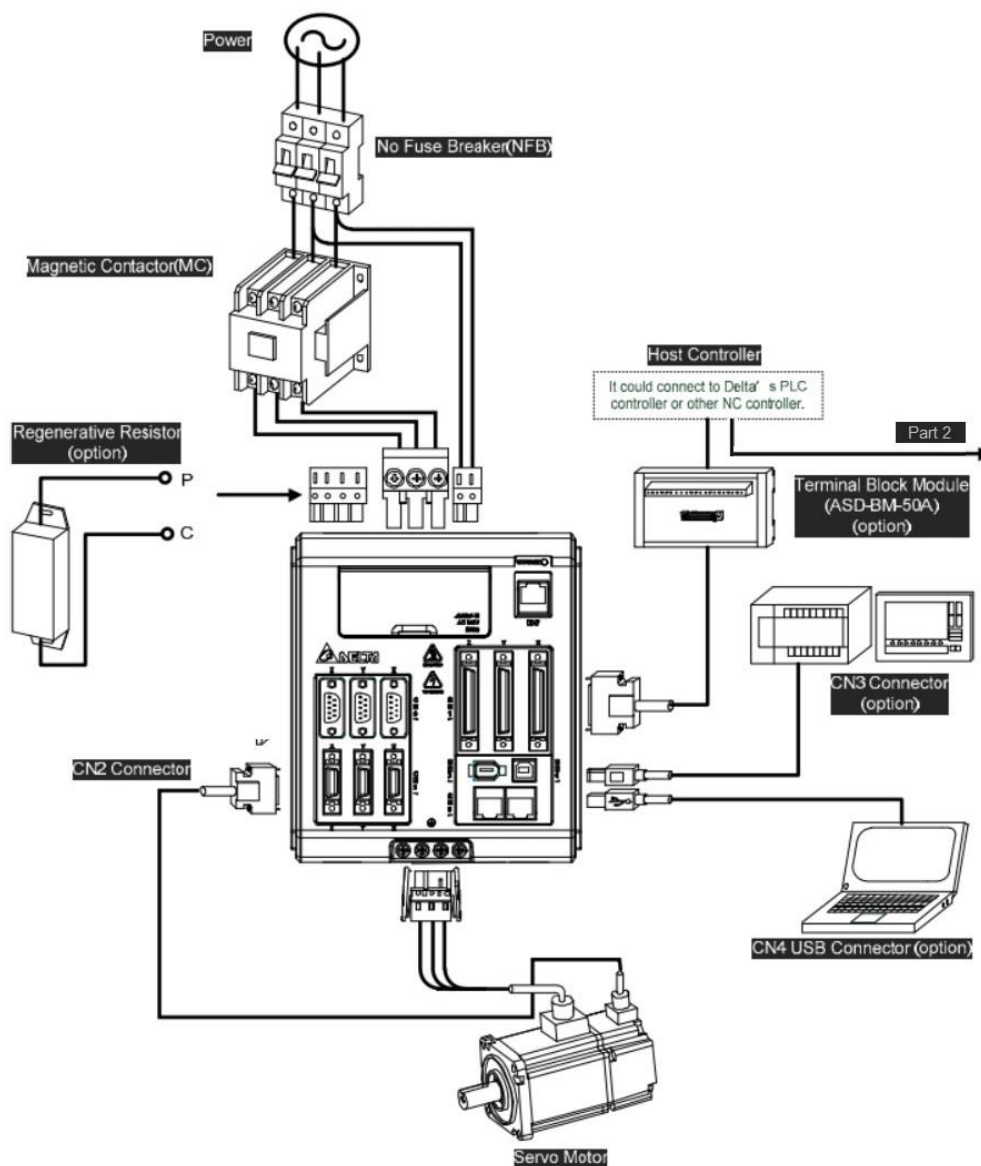
Syftet med prototyp 1 (P1) är att kombinera ett utökat elektriskt system från P0 med mekaniska komponenter. P1 innefattas av två basenheter med linor i varsin ände av ett provisoriskt mål. Det som ämnas testas med P1 är det elektriska systemet, drivaxel med trumma, linstyrningsenhet, kuggremsväxel samt ram med plattformar. Nödvändiga komponenter så som stålagerenheter, axelkopplingar samt kablar tillkommer. För att minska kostnaderna för P1 implementeras linstyrningen endast på en basenhet. Systemet utökas, från P0:s ena motor, till två motorer med styrning för att möjliggöra test i två riktningar. Det är lämpligt att utöka systemet med möjligheten att starta på GPS-tid.

Specifikationer för P1

Ett mål kommer användas under testerna. För prototypen rekommenderas högsta målshastighet till 15 km/h för att de önskvärda testerna skall kunna utföras. Låg hastighet på målet innebär mindre risk för människa och egendom och underlättar testerna. Prototypen skall testas vid högsta acceleration och retardation som tillåts av motorerna för kunna studera systemets beteende vid de kritiska fasövergångarna.

Elsystem

Avsnittet beskriver elsystemet som används i prototypen. *Figur 63* visar hur motor M1 skall kopplas in. Part 2 motsvarar M2 inkopplingen som sker likvärdigt. HMI-enhet och terminalblocksmodul avgränsas från P1 men kommer att användas i slutprodukten.



Figur 63. Kopplingsschema för elsystem (Delta, u.d.)

Mekaniskt system

Det mekaniska systemet består av två basenheter, vardera innehållande ram, trumma, axel, lager och kopplingar. På den ena basenheten drivs linstyrning av en remväxel mellan trumman och den trapetsgångade styraxeln. De mekaniska komponenterna presenteras ingående i avsnitt 5 Resultat. Släden kan enkelt konstrueras av en lastpall med hjul. Alternativt testas släden som utvecklas av beställaren.

Användning av P1

Mekaniska verifieringar som är önskvärda är bland annat att basenheterna håller för de påfrestningar som uppstår och att linstyrningen lindar upp linan på trumman korrekt. Målets hastighets- och positionstoleranser kan verifieras med extern mätutrustning. Slutsatser kan dras kring erforderlig förspänning av lina för att målet skall uppnå givna toleranser. Testet kan även utföras flertalet gånger för att verifiera kontinuitet hos prototypen och öka sannolikheten för att ej önskvärda beteenden hos produkten åskådliggörs.

P1 kan köras med P0 programmet (avsnitt 6.1 *Prototyp noll*) som grund, utökat med sekvenser från avsnitt 5.2 *Sekventiell beskrivning av produktkoncept*. En fullständig lista presenteras inte då programmet kan testas enligt "trial and error"-princip och utökas eller reduceras efter önskad testtyp. Exempel kan vara om inte målet når korrekt hastighet kan programmet behöva modifieras för att produkten skall fungera som tänkt. Under tester bör säkerhetsåtgärder vidtas och ordentligt säkerhetsavstånd hållas. För att skydda prototypen kan sandsäckar eller liknande ställas upp framför dragande enhet då risk för krock med släde kan uppstå.

Inköp

För att skapa en uppskattning kring hur mycket den tänkta konceptprototypen kan komma att kosta har tre företag kontaktats: Kabetex Kullager & Transmission AB, Bågenfelt & Hellström AB och Automizer AB. Vardera företag besitter varsitt kompetensområde och har efterfrågats offerter för relevanta komponenter. Offerterna presenteras utifrån vilket företag som beställningen gäller och vilka komponenter som berörs.

Från Kabetex Kullager & Transmission AB har följande komponenter evaluerats:

- Axelkopplingsenheter
- Kuggremsväxlar
- Stålagerenheter

Totalkostnaden för dessa komponenter var 3738 SEK exklusive moms. Offerten med ingående komponenter och listpriser finns i *Bilaga H - Prototypofferter*.

Från Automizer AB har följande komponenter evaluerats:

- Servosystem
- Programmerbart styrsystem (PLC)
- Nätaggregat
- Operatörspanel, HMI
- Kablage

Totalkostnaden var 27 977 SEK exklusive moms med förlängd kommunikationskabel från 1,5 till 8 m. Konstrueras P0 som tänkt kan komponenterna återanvändas till P1 vilket totalkostnaden. Till offerten är kostnader för elskåp och arbete av fackman (elinstallation) exkluderade. Offerten med ingående komponenter och listpriser finns i *Bilaga H - Prototypofferter*.

Från Ingeniörsfirma Bågenfelt & Hellström AB har följande komponenter evaluerats:

- Trumma med genomgående drivaxel
- Linstyrningsenhet
- Ram med plattformar för motor, stålagerenheter samt linstyrningsenhet

Offert för komponenterna presenteras i *Bilaga H - Prototypofferter*, där "Drum" syftar till trummor med genomgående drivaxlar och "Winder" är resterande delar. Totalkostnaden på 52 000 SEK exklusive moms innefattar tillverkning och montering av de presenterade komponenterna ovan, men även montering av de komponenter Kabetex Kullager & Transmission AB tillhandahåller.

Den lina som använts kostnadsuppskattas på Hjertmans Båttillbehörs hemsida. Kostnaden är 13,60 SEK/m exklusive moms. Vid anskaffning av en lina med en längd på 25 m blir den totala kostnaden för linan 340 SEK. Listpris för linan ligger i *Bilaga H - Prototypofferter*.

Totalt blir kostnaden för prototyp P1 med två basenheter, utan elskåp, elektriker och eventuella fraktkostnader inräknat, 83 123 SEK exklusive moms.

Kostnaden kan reduceras genom att se över materialvalet. Att byta exempelvis trummans material från aluminium till stål kan dra ner den totala kostnaden med cirka 5000 SEK, vilket motsvarar 6,6 %, på given tillverkningsoffert. Ett annat sätt att dra ner kostnaden är att tillverka och montera vissa delar av prototypen internt. Då fokus legat på produkt-konceptets teoretiska utveckling har detta alternativ valts bort, men bör ses över i en eventuell tillverkning av en prototyp i framtiden.

7 Vidareutveckling

I detta avsnitt presenteras förslag på faktorer som bör arbetas vidare med för att erhålla en komplett slutprodukt. Anledningar till att det som visas i avsnittet inte har utförts under projektets gång är dels begränsade ekonomiska medel, men även begränsad arbetstid, vilket gjorde att vissa delar prioriterades bort.

Inrullning

Vid demontering av produkten och förflyttning till nytt testområde behöver linan rullas upp på spolarna för vardera enhet. Om inte linan är spänd när den rullas upp finns risk för att nästkommande körning blir ryckig. En möjlig lösning på detta problem skulle kunna vara att låta motorn föra in linan, med den förspänning som eftersträvas, genom att manuellt hålla emot i linänden med en dynamometerliknande lastcell.

Utgångshål för lina

Det har i avsnitt 5.1 *Delkomponenter* beskrivits att linborsten sitter fast på utsidan av skalet med vinkeljärn. Problem skulle kunna uppstå om linan på något sätt inte längre åker rakt in i borsten, till exempel om målet blir påkört. Risken finns då att borstens infästning knäcks, eller att linan nöts av. Det bör därför utvecklas en infästning för borsten som är ledad och låter borsten följa linans riktning.

Den timglasformade komponent som agerar centreringspunkt ut från linstyrningsenheten, och tillåter linan att genomlöpa fyrkantsröret i ramen tätt mot marken, är frihandsutformad. Det behöver därför hittas någon lämplig standardkomponent för detta. Ett möjligt alternativ är att använda en rullstyrning, likt den som används i linstyrningsenheten.

Skal

Då det nuvarande skalet endast är ett konceptskal för att visa på en designidé krävs en vidareutveckling av detta. Om det slutgiltiga skalet ska likna nuvarande design behöver utformning utvärderas för att möjliggöra tillverkning samtidigt som det är vattentätt och det behöver analyseras hur kablage ska dras inuti och ut ur skalet. Det borde även utformas ett fack för dokumentation såsom bruksanvisning och underhållsrutiner.

Överhettning av basenheter

När den slutgiltiga produkten körs på maximal effekt vid varma och torra väderförhållanden finns det risk för att temperaturen innanför skalet stiger högre än önskat. I värsta fall kan detta medföra att brand uppstår, men det finns även risk för slitage, deformation och att andra okända fel uppstår. En grundlig testkörning bör därför genomföras i extrem miljö, där mätning av temperatur genomförs. Om testet visar på för höga temperaturer bör åtgärder vidtas. Förslagsvis kan skalet förändras för att öka luftgenomströmningen. I dagsläget finns endast jalusigaller för ventilation monterat. Skulle inte detta vara tillräckligt kan även installation av en extern fläkt innanför skalet utvärderas.

Mobilitet

Utöver de gaffelhål som integrerats i ramen kan handtag tillföras för att möjliggöra manuella lyft till placering på till exempel släpvagn. Handtag bidrar även till enklare justering vid utplacering av enheter.

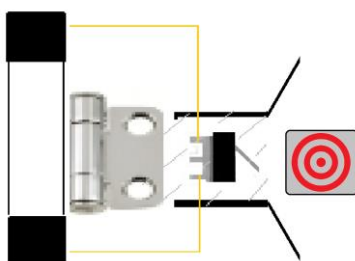
Inställningsmöjligheter på basenheten

Positions kontroll av basenheterna ska ske med lasermätning. Det behöver dock utvärderas vilken typ av lasermätning som ska användas och hur den ska kommunicera med styrsystemet.

Om basenheterna inte är placerade rakt mot varandra måste i nuläget trucken lyfta upp enheterna igen och försöka placera dem bättre. En lösning på problemet kan vara att införa en anordning som kan lyfta ramen med en manuell spak och fälla ner hjul. Det skulle underlätta finjustering av positionen. En annan utvecklingsmöjlighet skulle vara att justeringar för endera basenhet utförs genom att korrigera utgångspunkten för linan, vilket är smidigare än att försöka finjustera positionen av hela basenheten.

Platta för startpositionering

I avsnitt 5.2.2 *Referenskörning* beskrivs hur COFFEE är tänkt att fungera. Där nämns en positionsplatta som används för att kontrollera att målet har rätt position innan start av testkörning. Plattan måste utvecklas och utvärderas vidare. Det som behöver tas i beaktning är att målet skall positioneras korrekt inför starten genom att tryckas mot en trattliknande konstruktion, se *Figur 64*, som rätar upp målet i önskad riktning. Tratten ser även till att målet inte kan skada resten av enheten.



Figur 64. Målet positioneras inför start mot plattan

Elektronik

Det diskuterades i avsnitt 5.2.1 *Installation* att de båda basenheterna sammankopplas med en kommunikationskabel, vilket kräver någon form av kabellinda eftersom sträckan mellan enheterna varierar beroende på vald teststräcka. En utvecklingsmöjlighet för detta skulle kunna vara att istället använda trådlöst kommunikationsutbyte mellan basenheterna.

Hos COFFEE har inte konstruktion med hänsyn till invändigt kablage tagits. Det kan därmed behöva utföras mindre förändringar i den inre konstruktionen för att möjliggöra plats för kablagen.

Det har under projektet inte utförts några definitiva val på elskåp för COFFEE på grund av att inte alla elektriska komponenter testats och utvärderats. En vidareutveckling blir således att välja ett elskåp som möjliggör plats för de elektriska komponenterna och sluter tätt för att förhindra att fukt tränger in.

Upphängning

På grund av den snabba rotationshastigheten kan det krävas en dämpande upphängning av trumman för att minska vibrationer i systemet. För att konstruera denna dämpning krävs beräkningar och simuleringar innan lösningen kan tillverkas.

GPS-tid

I avsnitt 5.1 *Delkomponenter* redogjordes det för att GPS-klocka finns i flera varianter med kommunikation som valt PLC-system använder sig av. Ett slutligt val av denna behöver utföras där det behöver verifieras att kommunikation fungerar utan fördröjningar, så att synkronisering mellan testfordonet och COFFEE möjliggörs.

Kod

Ett viktigt steg i vidareutvecklingen är att översätta den sekventiella beskrivning som finns i avsnitt 5.2 *Sekventiell beskrivning av produktkonceptet* till kod som kan implementeras i styrsystemet. Tillägg kan behöva göras innan en fungerande kod är möjlig att använda.

FMEA

Förslag på lämpliga säkerhetsåtgärder som presenterats i avsnitt 4.4.2 *Säkerhetsanalys* bör implementeras och beredas plats för hos slutprodukten. De upptäckta riskerna och dess åtgärder utvärderas återigen i en FMEA för att styrka produktens säkerhet.

Växellåda

Det har inte utförts ett definitivt val av växellåda för de servomotorer som rekommenderades i avsnitt 5.1 *Delkomponenter*, eftersom prototyperna inte verifierats fysiskt utifrån den analytiska modellen. I de bilder som visas på COFFEE har en provisorisk servomotor med tillhörande växellåda valts. Dessa har dimensioner likt de som gäller för de rekommenderade motorerna vilket gör att den platta som utformats för servomotor och växellåda bör räcka till. Det kan dock krävas mindre omkonstruktioner om det visar sig att det slutliga valet har dimensioner som överstiger den illustrativa servomotorn med växel. Dessa potentiella omkonstruktioner behöver endast utföras på den sida som motorn är placerad på och påverkar således inte resterande komponenters placering.

Korrosionsbehandling

Då de ingående komponenterna i ramen är gjorda i stål behöver dessa korrosionsbehandlas för att produkten ska vara väderbeständig. Detta kan till exempel ske genom lackering av komponenterna. Ett annat alternativ är att göra materialbyte till ett redan korrosionsbeständigt material. Skulle ett lättare material väljas kan externa vikter behöva tillföras.

8 Diskussion

Vid projektets uppstart lämnades av beställaren en öppen projektbeskrivning som innebar att projektets medlemmar själva fick avgränsa projektets omfattning för lämplig arbetsbörda. Målet var att skapa ett produktkoncept som skulle fungera som underlag för vidareutveckling mot slutprodukt. För att uppnå målet valdes att fokusera på huvudsaklig konstruktion av koncept med utformning, dimensionering och specificering av endast de mest kritiska delarna. Dessa resulterade i ram, trumma, nav, drivaxel, lager, lina, linstyrning, borste motor, utväxling och styrsystem vilka presenteras i avsnitt 5 *Resultat*. Delar som beskrivs i avsnitt 7 *Vidareutveckling* är mindre kritiska eller beroende av de redan behandlade delarna och avgränsades på grund av tidsbegränsningen. Projektet anses därför ha genomförts i korrekt följd. I projektet skapades dessutom underlag för tillverkning av två prototyper. Tillverkning av dessa uteblev på grund av ekonomiska begränsningar. Arbetet som lades ned på prototyperna kunde emellertid redovisas i avsnitt 6 *Prototyp-underlag* som rekommendation för fortskridning av utvecklingsarbetet.

Den kundundersökning som genomfördes under projektet besvarades endast av en person. Det hade varit önskvärt med fler svarande för en samlad bild av åsikter att jämföra mot varandra. Fler svar hade kunna förbättra produktkonceptet. Enkäten besvarades av chefen som har ett övergripande ansvar och kunskap om de anställda, därför användes enkäten fortsatt i utvecklingsarbetet. Bättre beslutsunderlag hade kunnat uppnås genom tydligare uppgifter till beställaren gällande önskat antal svarande, alternativt att projektets medlemmar hade tagit ansvaret för distributionen av enkäten.

I projektet togs ett beslut att utgå ifrån en högre maximal acceleration och retardation än den initialt givna av beställaren. Beställarens uppgifter var hypotetiska och visade sig ge en onödigt lång teststräcka. Motorerna dimensionerades efter de moment och effekter som följde av beräkningar med antagen acceleration och retardation. Parametrarna har emellertid inte kunnat utvärderas ur hållfasthetsperspektiv. Då teststräckan, som under höghastighetstest i begränsat utrymme behöver vara liten, beror direkt av dessa parametrar är det önskvärt att systemet kan accelereras och bromsas snabbt. För att öka denna prestanda behöver det utvärderas hur höga påfrestningar systemet klarar av och begränsa styrning och motorprestanda efter detta.

Flera aspekter, så som motortoleranser, pris, utrymme och energiförbrukning, måste tas i beaktning vid ett framtida slutgiltigt val av motorer.

De hållfasthetsberäkningar som hanterades under projektet var dimensionering av axlar och lager samt simuleringar i statisk spänningsanalys med hänsyn till krafter som uppkommer vid rotation. Resultatet av simuleringarna ger information om hållfasthet under en viss analyserad tidsperiod men säger ingenting om utmattning över lång tid. Resultatet gav att konstruktionen håller för den största påfrestningen, vilket sker under accelerationsfasen. I vidare analys är det intressant och även nödvändigt att simulera en hel körning, då både acceleration, konstant hastighet och retardation ingår. Därefter bör en analys av utmattning hos konstruktionen utvärderas. Simuleringen ger ett resultat av en perfekt körning i en perfekt miljö, den tar inte hänsyn till verkliga krafter och förhållande som kan uppkomma vid exempelvis en kollision mellan mål och fordon då krafter på grund av ryck kan uppstå. Det är därför viktigt att god marginal erhålls i konstruktionen. Simuleringarna gav underlag för att konstruktionen klarar de tänkta belastningarna. Därmed har konceptet verifierats, det återstår att simulera med varierande parametervärden på komponenterna. Genom att variera dimensionerna på de komponenter som klarar be-

lastningarna med hög säkerhetsfaktor kan konceptets materialmängd optimeras och därmed minskas överdimensionering. Eftersom produktkonceptet inte ska masstillverkas är detta inte nödvändigt för projektet då tillverkningskostnaden för en enskild produkt inte avsevärt påverkas.

För att erhålla en effektiv produkt som kan utföra ett stort antal tester per dag anpassades det tänkta beteendet hos produktkonceptet, se 5.2 *Sekventiell beskrivning av produktkoncept*. Delar som effektiviserats är bland annat att avståndet mellan basenheterna mäts med laser, att användaren kan ange flera starttider, att flera testkörningar kan genomföras utan avbrott och att maskinen kan driva målet från båda basenheterna.

Produktkonceptet som presenteras i avsnitt 5 *Resultat* har inte säkerhetsanpassats i sitt utförande. Med vidtagande av de åtgärder som rekommenderas i *Bilaga G - FMEA* bör produkten klara kraven för att CE-märkas och kan då uppfylla målet med en säker produkt. Säkerhetsrisker kan dock aldrig helt uteslutas, vilket gör att korrekt användning och stora säkerhetsavstånd är väsentliga för användandet av produkten.

9 Slutsats och rekommendationer

Projektet har uppfyllt sitt mål med ett omfattande underlag för framtida konstruktion av en måldragare för test av aktiva säkerhetssystem hos fordon. Vid införande av rekommenderade vidareutvecklingsåtgärder (avsnitt 7 *Vidareutveckling*) anses produktkonceptet kunna utvecklas till en slutprodukt som möjliggör säkra, tillförlitliga och effektiva tester. Konstruktionen tillåter även varierade testscenarion som kan användas vid utveckling av framtida säkerhetssystem.

De simuleringar som utfördes på det mekaniska systemet vid tänkt accelerationsfas visade på ett fungerande gränssnitt, god dynamik och hållfasta komponenter, vilket påvisar tillförlitlighet. Vidare analys behöver göras för hela körningar, där accelerationsfas, fas med konstant hastighet och retardationsfas ingår, då även med hänsyn till utmattning. En analys av vibrationer och potentiella ryck i linan har inte beaktats då simuleringarna avgränsats, men det är i vidare konstruktion intressant att även utföra simuleringar på dessa parametrar och senare utföra fysiska tester för att verifiera produktens funktionalitet. Rekommendationen är att framskrida med utvecklingen genom att genomföra prototypstillverkningsstegen beskrivna i avsnitt 6 *Prototypunderlag* för att verifierar uppfyllnad av de önskade funktionerna i avsnitt 2.1 *Produktbeskrivning*.

10 Referenser

4ActiveSystems, u.d. [Online]

Available at: <http://www.4activesystems.at/images/downloads/media/sb-en.pdf>;
<http://www.4activesystems.at/images/downloads/media/fgs-en.pdf>;
<http://www.4activesystems.at/images/downloads/media/ld-en.pdf>

[Använd 10 Februari 2016].

Anthony Best Dynamics, u.d. *abd.uk.com*. [Online]

Available at: [http://www.abd.uk.com/upload/files/2014-08-01_12-49-06_SP6030%20issue%204%20\(pedestrian%20target\).pdf](http://www.abd.uk.com/upload/files/2014-08-01_12-49-06_SP6030%20issue%204%20(pedestrian%20target).pdf)

[Använd 12 Februari 2016].

Burenius, J. & Lindstedt, P., 2003. *The Value Model - How to master product development and create unrivalled customer value*. Ödesborg: Nimba.

Certex, u.d. [Online]

Available at:

http://certex.dk/Temp/4224131bfdb58ec645a0f6a98217b769_afdac7d85adb37e094708a843b20a5be.png

[Använd 6 Mars 2016].

Delta, E., u.d. *Delta Ultimate Integrated AC Servo Drive with Excellent Performance, ASDA-M Series User Manual*, u.o.: Delta electronics.

Dr. Steffan Datentechnik, u.d. [Online]

Available at:

http://www.dsd.at/index.php?option=com_content&view=article&id=259:ufo35&catid=16:crash-facilities&lang=en

[Använd 16 Februari 2016].

Electrokit, u.d. [Online]

Available at: <http://www.electrokit.com/kylflans-100x37-5x15mm.51970>

[Använd 13 Maj 2016].

Euro NCAP, 2014. [Online]

Available at: <http://www.euroncap.com/sv/fordonssaekerhet/foerklaring-av-betygen/foerarstoedsystem/aeb-interurban/>

[Använd 10 02 2016].

Heavy Lift News, u.d. [Online]

Available at: <http://www.heavyliftnews.com/cranes/importance-fleet-angles-fix>

[Använd 8 Mars 2016].

Nationalencyklopedin, u.d. [Online]

Available at: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/ce-märkning>

[Använd 9 Juni 2016].

Pickfield, S., u.d. *Vickers Warnick*. [Online]

Available at: <http://www.vickers-warnick.com/news/choosing-the-right-motor-stepper-motors-and-servo-motors/>

[Använd 27 04 2016].

Rabe, M., 2014. [Online]

Available at: <http://teknikensvarld.se/landerna-dar-flest-omkommer-i-trafiken-167259/>

[Använd 5 Februari 2016].

SiGBi, u.d. [Online]

Available at: <http://www.sigbi.se/system/Teknik/Handbok-Drivsystem/Elmotordrifter/Bromsning>
[Använd 13 05 2016].

Skogma, u.d. [Online]

Available at:

<http://www.skogma.se/b2c/Servlet?page=11&anr=203147&parent=s2020&parentIndex=null>
[Använd 20 Mars 2016].

Statistiska centralbyrån, 2003. [Online]

Available at: <http://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Transporter-och-kommunikationer/Vagtrafik/Vagtrafikskador/10521/2003M00/Dodade-i-vagtrafikolyckor-/>
[Använd 5 Februari 2016].

Sundström, B., 1998. *Handbok och formelsamling i Hållfasthetslära*. Stockholm: Institutionen för Hållfasthetslära KTH.

Swedish Standard Institute, u.d. [Online]

Available at: <http://www.sis.se/tema/maskinsakerhet/Maskindirektivet>
[Använd 3 Maj 2016].

TrafficSafe, 2014. [Online]

Available at: <http://trafficsafe.org/index.php/volvo-use-astazero-testing-ground-help-achieve-crash-free-vision-8219/>
[Använd 8 Februari 2016].

World Health Organization, 2015. [Online]

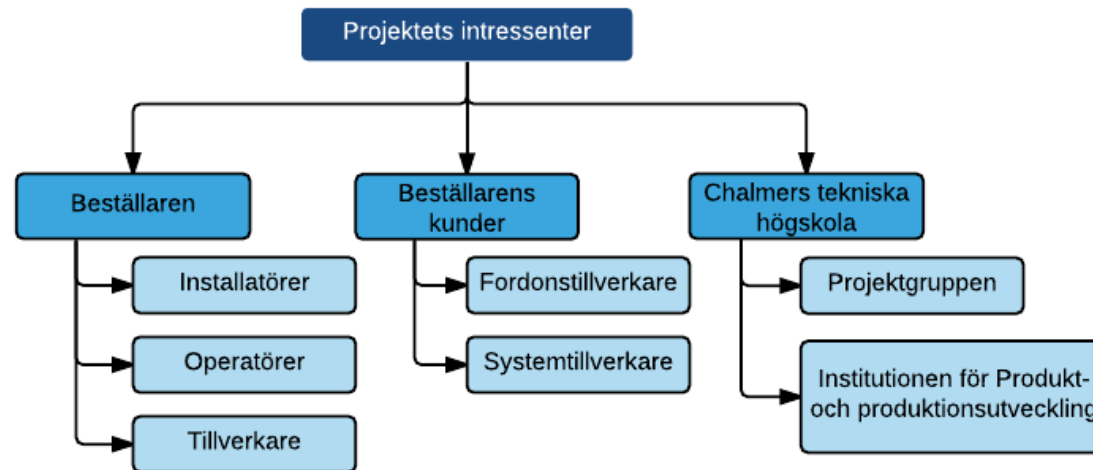
Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/en/>
[Använd 5 Februari 2016].

Katalog

SKF Produktkatalog. Skolutgåva.

Bilaga A – Intressenter

I bilagan belyses projektets intressenter med en utförlig beskrivning för respektive intressents betydelse och koppling till projektet. Intressenterna delades in i två huvudgrupper med ett antal direkt påföljande intressenter för respektive huvudintressent. En överblick visas i *Figur A1*.



Figur A1. Överblick över projektets samtliga intressenter.

Beställaren

Beställaren av produkten är huvudintressent till projektet. Säker, okomplicerad och pålitlig installations-, användnings- och demonteringsprocess samt låg tillverkningskostnad efterfrågas. Användare av produkten, så som installatörer och operatörer, skall arbeta i trygg och säker miljö.

Beställarens kunder

Fordonstillverkare är kunder till beställaren och efterfrågar tillförlitliga upprepade tester med jämförbara testresultat. Testerna ska vara tids- och kostnadseffektiva utan säkerhetsrisker. Systemtillverkare är tillverkare av aktiva säkerhetssystem och intresseras av att tekniken genomgår pålitliga praktiska tester.

Chalmers tekniska högskola

Projektets andra huvudintressent är Chalmers tekniska högskola som efterfrågar ett lyckat projekt och samarbete med beställaren. Detta skapar en bra bild av högskolan för näringslivet, andra högskolor och framtida studenter. Projektgruppens medlemmar ses också som intressenter eftersom ett lyckat projekt är meriterande att presentera för framtida arbetsgivare. Projektet bidrar dessutom till kunskapsberikning för individerna. Institutionen som projektet genomförs i samarbete med är produkt- och produktionsutveckling. De är intressenter av samma anledning som Chalmers och även av akademiska skäl då de bedriver forskning inom ny teknik.

Bilaga B – Kravspecifikation

Tabell B1. Kravspecifikation

Nr:	Kriterier	Mätetal	Enhet	Målvärde	K/Ö**	Verifiering
Huvudfunktioner						
A-01	Transport av mål	Uppfyllnad	Ja/Nej	Ja	K	Testkörning
A-02	Transport vid olika hastighetsprofiler	Uppfyllnad	Ja/Nej	Ja	K	Testkörning
A-03	Start på GPS-tid	Uppfyllnad	Ja/Nej	Ja	K	Testkörning
Tilläggsfunktioner						
B-01	Varierande teststräcka	Längdspann	m	Värde från beställaren	K	Testkörning
B-02	Körsträcka i maxhastighet	Längd	m	Värde från beställaren	K	Testkörning
B-03	Transport av mål framåt & bakåt	Uppfyllnad	Ja/Nej	Ja	K	Testkörning
B-04	Varierande vikt & geometri på mål	Uppfyllnad	Ja/Nej	Ja	K	Testkörning
B-05	Användargränssnitt	Uppfyllnad	Ja/Nej	Ja	K	Testkörning
Oönskade funktioner						
C-01	Energiförbrukning	Effekt	W	Lågt värde*	Ö2	Mätning
C-02	Underhåll - rengöring	Tid	min	<60	Ö3	Tidtagning
C-03	Underhåll - allmänt (periodvis)	Antal/Tid	Antal/vecka	<=1	Ö5	Mängdtest
C-04	Skada vägbanan	Uppfyllnad	Ja/Nej	Nej	K	Testkörning
C-05	Ljud	Ljudvolym	decibel	<80 (Konst), <135 (Topp)***	Ö2	Mätning
C-06	Vibration			Ej utmattning	K	Testkörning
C-07	Skada bilen	Visuell besiktning	Antal	0	K	Kontrollerad kollision

C-08	Störa bilens sensorer	Uppfylld	Ja/Nej	Nej	K	Testkörning utan mål
C-09	Skada person	Uppfylld	Ja/Nej	Nej	K	CE-märkning
Kostnad						
D-01	Tillverkningskostnad	Pris	Sek	Värde från beställaren	Ö2	Beräkning
Prestanda						
E-01	Maxhastighet	Hastighet	Km/h	Värde från beställaren	K	Mätning vid test
E-02	Hastighetstoleranser	Hastighet	Km/h	Värde från beställaren	K	Mätning vid test
E-03	Positionstolerans (x, y, z)	Längd	mm	Värde från beställaren	K	Mätning vid test
E-04	Maxacceleration x-led	Acceleration	m/s ²	Värde från beställaren	K	Mätning vid test
E-05	Maxacceleration y-led	Acceleration	m/s ²	Värde från beställaren	K	Mätning vid test
E-06	Maxacceleration z-led	Acceleration	m/s ²	Värde från beställaren	K	Mätning vid test
E-07	Accelerationsstolerans (x, y, z)	Acceleration	m/s ²	Värde från beställaren	K	Mätning vid test
E-08	Väderbeständig	Ska kunna köras i varierande väder.	Ja/Nej	Ja	K	Testkörning i våta förhållanden
E-09	Livslängd	Tid	År	10	K	Beräkning och uppskattning
E-10	Målvikt (inklusive släde)	Vikt	Kg	Värde från beställaren	K	Testkörning
Material						
F-01	Återvinningsbara material	Återvinningsbarhet	viktprocent	Hög andel*	Ö2	Materialval
F-02	Ej miljöfarliga material	Uppfylld	Ja/Nej	Ja	K	Materialval
F-03	Korrosionsbeständig produkt	Uppfylld	Ja/Nej	Ja	K	Materialval och ytbehandling
Användning						

G-01	Reset-tid (utan träff)	Tid	Min	1	K	Testkörning
G-02	Reset-tid (med träff)	Tid	Min	3	K	Testkörning
G-03	Setup-tid (Programmering)	Tid	Min	10	K	Test av setup
G-04	Setup-tid (Montering)	Tid	Min	60	K	Test av setup
G-05	Tid för att färdigställa testdata	Tid	Min	10	K	Testkörning
G-06	Portabel med gaffeltruck	Uppfyllnad	Ja/Nej	Ja	K	Test av förflyttning
Modularisering						
H-01	Slitagedelar utbytbara	Uppfyllnad	Ja/Nej	Ja	K	Konstruktion
H-02	Löstagbara drivande källor	Uppfyllnad	Ja/Nej	Ja	Ö4	Konstruktion
Tillverkning						
I-01	Använd standardkomponenter	Antal	Styck	Högt antal*	Ö3	Konstruktion

* Inga specifika krav ställda, eftersträvas i största mån möjligt.

** Krav eller önskemål.

*** Krav som ställs av arbetsmiljöverket, bullernivån får under konstant daglig exponering inte överstiga 80 decibel samt ej ha impulstoppar på över 135 decibel.

Bilaga C – Kundundersökning

Under projektets gång utfördes en kundundersökning som riktade sig till de personer som kommer arbeta närmast produkten. Syftet var att kartlägga användarens krav och synpunkter för att skapa en användarvänlig, effektiv och säker produkt. Nedan följer resultatet av undersökningen.

Vad är din uppgift på testbanan?

Provningschef/banchef

Vilka egenskaper anser du vara viktiga för produkten?

Produktivitet och driftsäkerhet. Inom begreppet produktivitet ingår korta ställtider och repeterbarhet. Det är viktigt att test inte behöver göras om p.g.a. brister i testsystemet.

Vilka säkerhetsrisker ser du kan uppkomma?

I och med att vi kommer ha ett föremål som rör sig i höghastighet utmed marken är det risk för att personer blir påkörda. För att minimera riskerna kan användarprocesser tas fram, dvs vad ska vara checkat innan de är ok att trycka på start.

Hur många personer deltar normalt under ett test och vad har de för uppgifter?

Normalt är det två personer som deltar i denna typ av test. En person som hanterar mid-speed och en som hanterar provfordonet.

Beskriv kort ungefär hur ett test kommer genomföras.

Ett fall är en fotgängare som ska korsa en väg, 90 grader mot provfordonets färdriktning. Den kollisionspunkten på bilen med fotgängaren är centrum på provfordonet. Varieras genom olika hastigheter på fotgängaren och provfordonet med bibehållen träffpunkt. Det går även att variera träffpunkt och bibehålla hastigheterna på båda enheterna.

Är det något som du vill att vi tänker på vid utvecklingen av måldragaren?

Tänk på användarvänligheten. Det ska vara lätt att jobba med utrustningen. Titta på liknade applikationer som använder inspänd vajer som kontrolleras med hjälp av två motorer. Välj färdiga komponenter så att det är lätt att finna reservdelar.

Bilaga D – Kriterier för Pughmatriser

I denna bilaga diskuteras hur de olika koncept som beskrivs i avsnitt 4.1 hanterar de kriterier som används för att jämföra koncepten i Pugh-matriser. Koncepten har numrerats enligt följande:

1. Skidlift
2. Ställning över väg
3. Släde på väg
4. Skena på väg
5. Frigående robot

Varierande transportsträcka för mål

Här avses hur målets önskade transportsträcka kan varieras.

1. Genom att flytta enheterna närmre respektive längre ifrån varandra kan önskad transportsträcka erhållas genom att anpassa linlängden efter avståndet. Linlängden tillåts variera med ett öppet system, d.v.s. att linan kan matas ut och samlas oberoende på båda enheterna. Alternativt kan linan delas upp i förbestämda länkar som går att ta isär och sätta ihop. Portabiliteten försvårar förflyttningen av enheterna.
2. För att variera transportsträckan krävs att fackverkskonstruktionen förlängs eller förkortas med extra komponenter. Linlängden tillåts variera enligt (1) ovan.
3. Transportsträckan kan varieras genom att placera linans vändpunkt olika långt ifrån motorn. Linlängden tillåts variera enligt (1) ovan.
4. Transportsträckan kan varieras på samma sätt som (3) ovan, med tillägg att även skenans längd måste variera. Detta löses genom sektioner som kan läggas samman för att uppnå önskad längd. Sektionernas längd bestämmer hur exakt transportsträckan kan varieras.
5. Transportsträckan varieras enkelt genom att ändra programinställningarna för roboten.

Portabilitet

Här avses hur koncepten förflyttas mellan olika testplatser.

1. Konceptet kan förflyttas med gaffeltruck. För att inte behöva flytta båda enheterna samtidigt kan linan kopplas från släden. Höjden leder till ökad instabilitet vid förflyttning.
2. Konceptet kan förflyttas med gaffeltruck efter demontering av fackverkskonstruktionen.
3. Konceptet kan förflyttas med gaffeltruck eller transportbil efter uppdelning i drivenhet-släde-vändpunkt. Systemets enheter kan var för sig lyftas av två personer.
4. För att förflytta systemet krävs att skenans sektioner tas isär, släden plockas av och linan lossas från släden. De olika komponenterna går sedan att förflytta enligt (2) ovan.
5. Konceptet består av en enhet som kan lyftas av två personer. Kan förflyttas med gaffeltruck eller transportbil.

Precision vid testkörning

Här avses hur väl målets positionstoleranser kan hållas.

1. Precisionen för detta koncept är problematiskt då målet hänger fritt i luften. Toleranserna blir svåra att hålla i både höjd- och sidled. Linan kräver således ordentlig förspänning, även

krav på styv montering av målet i linan. God förspänning är dock inte tillräckligt för att förhindra att målet rör sig i en båge med lägsta höjd i mitten av teststräckan.

2. Då målet följer en fixerad bana erhålls god precision. För att förhindra att målet svajar krävs ett styvt fäste mellan målet och den överliggande konstruktionen.
3. Målet är i direktkontakt med underlaget vilket gör att precisionen endast riskeras i sidled och systemet erfordrar därför ordentlig förspänning och en släde med god precision.
4. Skenan säkerställer att målet inte avviker position i bilens körriktning eller i höjddled vilket ger god precision. Detta tillåter snabba accelerationsförändringar utan positionsavvikelse.
5. God precision vid rätt angiven input samt ett styrsystem med en bra positionsreglering vid antagande om liknande egenskaper som Ultra Flat Overrunable (UFO) (se 3.5.1 Konkurrentanalys). Vid avsaknad av detta finns dock risk att roboten kör långt utanför tänkt teststräcka och får då istället väldigt låg precision.

Installation

Här avses den tid som konceptet förväntas ta att installera och förbereda för test efter att ingående komponenter transporterats till testplatsen.

1. Vardera linände fästs i målet och hissas därefter upp genom att motorerna sakta körs igång i motsatt riktning. Viss förberedelse kan krävas i den höjdnivå som målet kommer köras i.
2. Installationen kompliceras av den krävda monteringen av fackverkskonstruktionen.
3. Installation sker likt (1), men i marknivå vilket förenklar.
4. Skenan byggs samman och de båda basenheterna placeras på vardera sida av vägen. Installationen av produkten är något besvärlig då den innefattar att bygga samman skenan.
5. Installationen för det här konceptet är nästan obefintlig. Det stora arbetet sker innan installationen i form av laddning av batterier och programmering av de körbanor som roboten ska följa.

Risk för störning av sensorer

Här avses hur stor risk koncepten har att påverka fordonets sensorer, med undantag från testobjektet. Under intervju med Jonas Fredrikson, från institutionen för Signaler och System, framkom att stationära föremål registreras av bilens sensorer långt innan ankomst till testområdet och bortses ifrån. Då det inte finns någon garanti för att det ska fungera rankades koncepten utifrån deras storlek.

Fysisk påverkan på vägbanan

Här avses sannolikheten att konceptet lämnar skador på vägbanan efter utfört test.

1. Vägbanan påverkas inte om enheterna står av egentyngd, skulle inte det räcka till kan stabilisering med vajrar fästa i vägbanan bli nödvändig. Konceptet har större behov av infästning än andra koncept. Lina och mål genererar dragkrafter långt från fundamenten och skapar moment som kan dra omkull enheterna.
2. Konstruktionen är stabil och fixeras med egenvikt samt eventuella externa fundament.
3. Enheterna kan fixeras med hjälp av egenvikt samt eventuella externa fundament och kommer därför inte påverka vägbanan.
4. Enheterna fixeras enligt (3) ovan. Den sektionssupplade skenan ska hållas rak och stabil en lång sträcka, ca. 60 m. För att konceptet ska vara genomförbart måste detta ske utan att

sektionerna fixeras i vägbanan. I och med den svårigheten rankades konceptet ner gentemot andra.

5. Konceptets påverkan av vägbanan ska vara obefintlig.

Risk för skada av testfordon

Här avses hur stor risk det är för testfordonet att ta skada av koncepten, under förutsättning att fordonets uppgift utförs utan komplikationer.

1. Då målet hänger i luften krävs en styv infästning som kan skada bilen vid kollision.
2. Likt (1) ovan kräver målet en styv infästning som kan skada bilen vid kollision.
3. Släden och linan går tillräckligt nära marken för att kunna köras över utan att skada testfordonet.
4. Det finns komplikationer i att konstruera en överkörbar fästanordning till målet som inte hotar att skada testobjektet. Den plattform som målet fästes på kan inte bilda en vinkel mot skenan. I och med den svårigheten rankades konceptet ner gentemot andra.
5. Roboten är tillräckligt platt för att inte skada testfordonet vid en överkörning.

Komplexitet

Koncepten rankades här utefter mängd ingående komponenter.

Underhåll

Koncepten rankades här utefter uppskattad omfattning av underhåll samt hur komplicerat underhållningsarbetet uppskattas vara.

1. Skidliften är en stor konstruktion som har många delar och således riskerar att kräva mycket underhåll.
2. Ställning över väg är en stor konstruktion som har många delar och således riskerar att kräva mycket underhåll.
3. Släden på väg är väldigt utsatt för smuts och slitage från vägbanan vilket gör att underhåll kommer behövas.
4. Skena på väg är väldigt utsatt för smuts och slitage från vägbanan vilket gör att underhåll kommer behövas.
5. Roboten är relativt underhållsfri eftersom det är en stängd enhet. Det kan tänkas att den behöver byta batteri eller fylla på vätskor men detta är enkelt att utföra.

Säkerhet

Här avses risken för personskador i samband med hantering av koncepten.

1. Skidliften är en fast och stor konstruktion som därmed riskerar att skada bil och förare om bilen skulle kollidera med konstruktionen.
2. Skidliften är en fast och stor konstruktion som därmed riskerar att skada bil och förare om bilen skulle kollidera med konstruktionen.
3. Släden på vägen har en styrd bana och riskerar därför inte att åka iväg okontrollerat. Däremot kan det tänkas att målet kan lossna från linan och då vara en fara.
4. Skena på vägen är väldigt säker eftersom målet är helt fast och inte riskerar att åka iväg. Målets transportväg är också förbestämt och synligt.
5. Roboten skulle kunna åka iväg okontrollerat och ta oväntade banor om den ställts in fel vilket gör att den riskerar att köra på andra delar och människor.

Testkapacitet per dag

Här avses enkelheten i att utföra en stor mängd test per dag med avseende på resettid och omställningstid. Det som analyserats här är att roboten måste ställas om efter varje testkörning och därför har en begränsad testkapacitet per dag.

Bilaga E – Pughmatriser

Koncept → Kriterier ↓	1	2	3	4	5
Varierande transportsträcka	R E F E R E N S	-	+	-	+
Portabilitet		-	+	+	+
Precision vid testkörning		+	+	+	+
Installation		+	+	+	+
Risk för störning av sensorer		-	+	+	+
Fysisk påverkan på vägbanan		S	+	-	+
Komplexitet		-	+	-	-
Underhåll		S	+	+	-
Säkerhet		+	+	+	-
Testkapacitet/dag		S	S	S	-
Risk för skada av testfordon		S	+	+	+
Summa +	N/A	3	10	7	7
Summa -	N/A	4	0	3	4
Summa S	N/A	4	1	1	0
Summa totalt	0	-1	10	4	3

Koncept → Kriterier ↓	2	1	3	4	5
Varierande transportsträcka	R E F E R E N S	+	+	+	+
Portabilitet		+	+	+	+
Precision vid testkörning		-	-	S	-
Installation		S	+	+	+
Risk för störning av sensorer		+	+	+	S
Fysisk påverkan på vägbanan		S	+	-	+
Komplexitet		+	+	+	-
Underhåll		S	+	+	-
Säkerhet		-	+	+	-
Testkapacitet/dag		S	S	S	-
Risk för skada av testfordon		S	+	+	+
Summa +	N/A	4	9	8	4
Summa -	N/A	2	1	1	5
Summa S	N/A	4	1	2	1
Summa totalt	0	2	8	7	-1

Koncept→ Kriterier↓	3	1	2	4	5
Varierande transportsträcka	R E F E R E N S	-	-	-	+
Portabilitet		-	-	-	+
Precision vid testkörning		-	+	+	+
Installation		-	-	-	+
Risk för störning av sensorer		-	-	S	-
Fysisk påverkan på vägbanan		-	-	-	+
Komplexitet		-	-	-	-
Underhåll		-	-	-	-
Säkerhet		-	-	+	-
Testkapacitet/dag		S	S	S	-
Risk för skada av testfordon		-	-	+	-
Summa +	N/A	0	1	3	5
Summa -	N/A	10	9	6	6
Summa S	N/A	1	2	3	1
Summa totalt	0	-8	-8	-3	-1

Koncept→ Kriterier↓	4	1	2	3	5
Varierande transportsträcka	R E F E R E N S	+	-	+	+
Portabilitet		-	-	+	+
Precision vid testkörning		-	S	-	-
Installation		-	-	+	+
Risk för störning av sensorer		-	-	S	S
Fysisk påverkan på vägbanan		+	+	+	+
Komplexitet		+	-	+	-
Underhåll		-	-	+	-
Säkerhet		-	-	-	-
Testkapacitet/dag		S	S	S	-
Risk för skada av testfordon		-	-	-	S
Summa +	N/A	3	1	6	4
Summa -	N/A	7	8	3	5
Summa S	N/A	1	3	3	3
Summa totalt	0	-4	-7	3	-1

Bilaga F – Samlade delsystemlösningar

I denna bilaga presenteras samtliga potentiella lösningar för de olika delsystem som redovisas i avsnitt 4.4 *Delsystemlösningar* tillsammans med för- och nackdelar.

Transport av mål

Lina

Då det är viktigt att linan är stark och stum finns det framförallt två olika material som projektgruppen har identifierat som potentiella lösningar, antingen stål eller fiber som tillverkas av polymer.

Tabell F1. Transport av mål

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Medför enkel upprullning, kan hamna upp och ner utan att försvåra	Kan trassla sig vid frånvaro av bra linstyrning
Enkel att rengöra	Risk för att linan slirar
Formbar, kan böjas	Kan korrodera om linan är en stålvajer
Billig	
Stark i förhållande till sin vikt	
Om linan brister går den av styckvis i och med att den är uppbyggd av flera trådar	

Rem

Remmen är uppbyggd av kordor som täcks med gummi, där korden vanligast är tillverkad av glasfiber eller stål. Flatrem, kilrem eller skårrem är de tre huvudsakliga utföranden som finns. (NE Nationalencyklopedin , 2016) (OEM Motor, 2016)

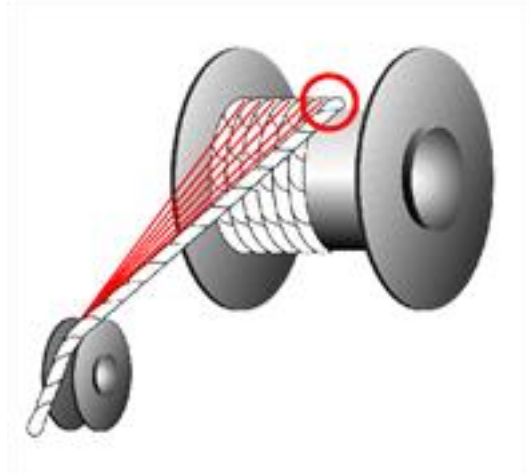
Tabell F2. Rem

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Om remmen brister går den av styckvis i och med att den är uppbyggd av flera kordor	Upprullning kan försvåras om remmen tvinnar sig. Kräver bra styrning.
Korrosionstålig	UV-känslig
Bra grepp, liten risk för att remmen slirar	

Uppsamling av lina

Trumma

Linan samlas runt en roterande trumma, enligt *Figur F1*, som bestämmer hastigheten på uppsamlingen eller utmatningen av lina.



Figur F1. Trumma, (Certex, 2016)

Tabell F3. Trumma

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Lätt att styra matningshastigheten med en motor	Kräver linstyrning för jämn uppsamling av lina
Hög kapacitet	
Välanvänd teknik	
Fungerar väl med lina	

Filmrulle

Linan samlas på en roterande trumma vars höjd endast tillåter en linbredd. Trumman är platt med en stor radie enligt *Figur F2*.



Figur F2. Filmrulle, (The World, u.d.)

Tabell F4. Filmrulle

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Välanvänd teknik	Begränsad kapacitet, kräver stor radie
Lätt att styra matningshastigheten med en motor	Utväxlingen förändras med mängd lina på trumman
Låg risk för trassel	Kan bli ryckigt eftersom linan ligger i lager
Fungerar med lina	

Linstyrning

Haspelrulle

Trumman rör sig mekaniskt på ett sådant sätt att linan rullas upp jämt fördelad över trumman.



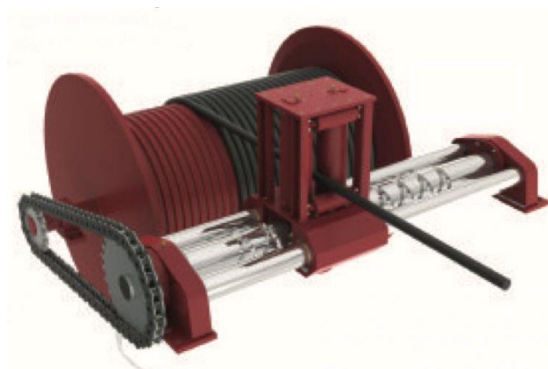
Figur F3. Haspelrulle, (Abu Garcia, 2013)

Tabell F5. Haspelrulle

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Mekanisk lösning	Kan försämra stabiliteten i trumman
Metod som är beprövad, dock i annat sammanhang	Kan leda till vibrationer och förslitning samt utmattning
	Trumman behöver vara lång för att inte linan skall dubbellindas

Mechanical level winder

Trumman är fixerad i x-, y- och z-led. En transmissionsväxel överför rotation från trumman till en axel med korsade självreverserande spår. Linan löper genom en öppning på den enhet som styrs fram och tillbaka över spåren.



Figur F4. Linstyrningsenhet, transmissionsväxel, lina och trumma, (Heavy Lift News, 2013)

Tabell F6. Mechanical level winder

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Mekaniskt system	Trumman behöver vara lång för att inte linan skall dubbellindas
Beprövat inom industrin	
Klarar höga linspänningar	

Rolling ring drive

Trumman är fixerad i x-, y- och z-led. Mekaniskt styrsystem från företaget Uhing.

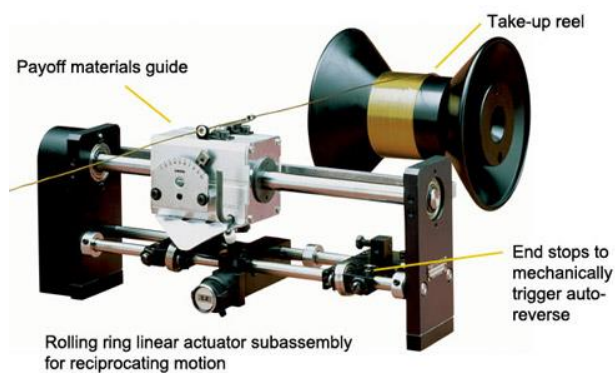


Fig. 1 —Schematic drawing of basic take-up system.

Figur F5. Rolling ring drive från Uhing, (Amacoil, u.d.)

Tabell F7. Rolling ring drive

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Mekaniskt system	Komplex
Färdigutvecklat system som passar för ändamålet	Punkt för riktningsändring ställs in manuellt och följer ej spolens rotationsriktning.

Styrning med rullar

Linan styrs med rullar som ger en begränsad ingång till trumman.



Figur F6. Rullstyrning, (Verktyg för alla, u.d.)

Tabell F8. Rullstyrning

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Klarar stora/höga linspänningar.	Ger ej exakt styrning
Beprövad teknik som används vid fordonsvinschar	
Enkel konstruktion, passiv styrning	

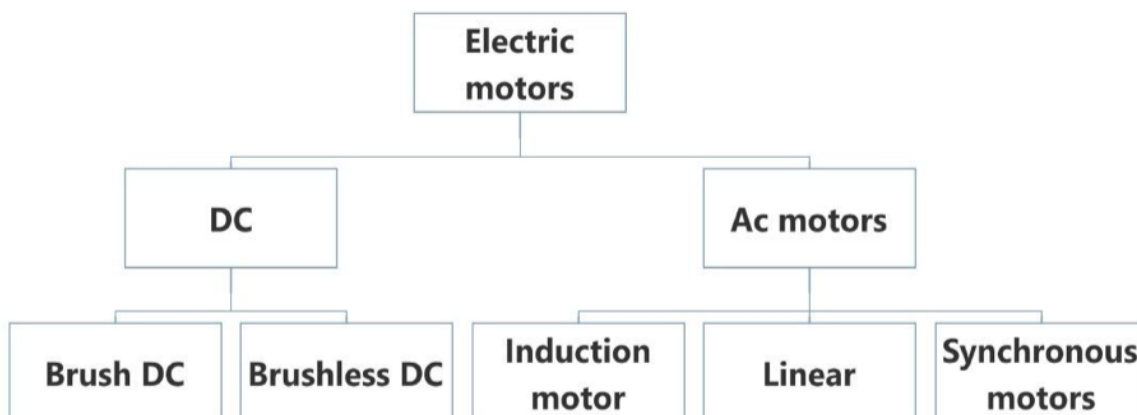
Drivkraft

Pneumatiska lösningar kräver rör på marken, reglersystem samt aktuator för att bromsa målet. Precision uppnås på bekostnad av slitage. Övriga motorer som arbetar med tryckdifferenser har liknande svårigheter, exempelvis skulle en förbränningsmotor ha svårt att snabbt kunna kompensera för den ojämna effektkurvan.

Elmotor framkom av ovanstående som det rimliga valet. Slitaget blir lägre och reglering sker snabbare, vilket är önskvärt med tanke på användningsområdet och uppsatta toleranser.

Elektrisk drivkraft

Figur F7 ger en överblick över kategorier av de elektriska motortyper som beaktades. Kategorierna baseras på den grundläggande skillnaden mellan likspännings- (DC) och växelströmsmotorer (AC).



Figur F7. Överblick av elmotorer

Linjära motorer, där ett spår för drivningen av släden eller motsvarande används, uteslöts direkt då inget fick befinna sig ovan eller på vägbanan. Motortypen hade inte heller lämpat sig för att skjuta iväg målet vid starten. Likströms och växelströms motorer har en del olika egenskaper som nu kommer utredas närmare.

Motorn skulle, enligt krav A-02 (Bilaga B), klara att följa en hastighetskurva. Arbetspunkten för motorn skulle därför vara möjlig att justera med hjälp av reglering eftersom målet ska ha olika arbetspunkter beroende på inställning. Nedan presenteras för- och nackdelar med AC-motorer respektive DC-motorer som underlag för utredning av vilken motortyp som skulle vara lämplig.

Tabell F9. AC-motor

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Billigare och enklare underhåll	Hastigheten är svårare att styra
Producerar mindre friktion och värme	Komplex kommunikation
Lång livslängd	Hög ljudnivå
Högt startmoment	

Tabell F10. DC-motor

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Enkel att styra	Styrningen blir inte precis
Hastighet och moment kan regleras i ett stort intervall	Även vid jämn belastning kan hastigheten variera
Start och stopp kan ske snabbt	Prestandan kan försämrans av damm, värme etc.
Kostnadseffektiv	Kräver mycket underhåll

Källa Elektrisk drivkraft: (Vickers Warnick, u.d.)

Motorstyrning

Stegmotorer är borstlösa likströmsmotorer som delar in hela motorvarvet i steg som axeln kan positioneras enligt. Detta ger en god positionering men inte lika bra hastighetsstyrning eftersom det bestäms indirekt. En servomekanism eller servo är en automatisk enhet som använder återkoppling för att korrigera prestandan på en mekanism. Motorn kan köras på antingen växelspanning eller likspänning beroende på önskat användningsområde. Servomotorer är bland annat lämpliga för höghastighetsapplikationer.

Tabell F11. Servomotor

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Platseffektiv	Dyr
Högt vridmoment	Antalet val kan bli överväldigande
Högt moment även vid höga varvtal	Kräver säkerhetselektronik
Högt startmoment	Frekvent underhåll
Tyst vid höga hastigheter	Kräver kalibrering
God precision	Svårt att kombinera olika typer av system

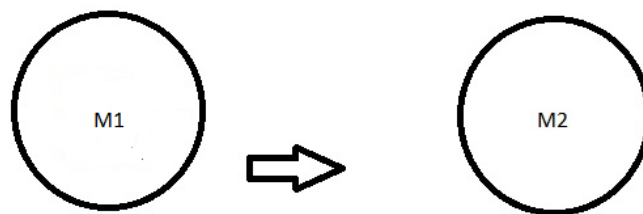
Källa Motorstyrning: (Vickers Warnick, u.d.)

Styrningssekvens

Syftet här är att förklara hur styrningssekvensen av maskinen kan se ut. Under projektet beaktades tre faser: acceleration, målhastighet och retardation. För styrning av motorerna valdes mellan följande tre parametrar, eller kombinationer av dem.

Positionsstyrning: Signal om önskad position, hastighet definieras indirekt.
Hastighetsstyrning: Signal om den önskade hastigheten.
Momentstyrning: Signal som talar om för motorn vilket moment den ska leverera.

För att förenkla kommande resonemang införs beteckningen motor 1 (M1) och motor 2 (M2) enligt Figur F8. Målet färdas från M1 till M2 i kommande beskrivning.



Figur F8. Överblick av motorer.

Sekventiellt förslag 1

I detta exempel utnyttjas främst positionsstyrning av motorerna.

1 Linan förspänns av båda motorerna med ett moment för att undvika att linan är slak vid start. Momentet för M1 är något högre än M2 för att inte målet skall åka iväg.



Figur F9. Spänd lina

2 M2 får insignal om önskad position och drar målet mot sig baserat på given information, vilket gör att målet accelererar. M1 begränsar framfarten av målet.

3 Målhastighet uppnås. Figur Y visar slutet av sekvensen.



Figur F10. Målet före retardationsfas med ospänd lina mot M1

4 Motor M1 bromsar målet genom att momentet på M1 ökar för att hålla emot M2.

5 Målet stannar. Positionen i accelerations- och målhastighetsfasen får god tolerans. Med nuvarande systemval fås ett ärvärde som är högre än börvärdet, vilket leder till att momentutfallet på M2 blir kraftigt negativ. Detta skulle kunna reducera hastigheten för M2 så mycket att linan inte samlas upp som kan leda till att linan lägger sig i flera lager när motorn återigen börjar köra. Det största problemet med sekvensen är fasövergången mellan målhastighet och retardation. Linan kommer i övergången inte att vara spänd mot M1 och motorn når en viss hastighet innan målet påverkas, vilket kommer resultera i ett oönskat ryck. Även under målhastighetsfasen kan detta scenario uppstå om M1 börjar bromsa släden.

Sekvensen innebär att referenskörning, som används för att mäta upp en hastighet efter viss tid och sträcka, blir överflödigt eftersom positionen ställs in.

Tabell F12. Sekventiellt förslag 1

<u>Fördelar</u>	<u>Nackdelar</u>
Positionen känd	Svårt att reglera hastigheten eftersom det sker indirekt Ryck kommer att uppstå i linan
Referenskörning överflödigt	

Sekvensiellt förslag 2

I detta exempel utnyttjas främst hastighetsstyrning av motorerna.

1 Linan förspänns av båda motorerna, där momentet i M1 är något högre än i M2 för att målet inte skall åka iväg. Se Figur F11.



Figur F11. Spänd lina

2 M1 minskar sitt moment, vilket sätter målet i rörelse eftersom M2 fortfarande drar

3 M1 reglerar hastigheten med ett bromsande moment, vilket gör att linan förblir spänd. M2 drar hela tiden med konstant moment.

4 Målhastighet uppnås.

5 M1 ökar sitt moment för att bromsa ner målets hastighet. M2 minskar sitt moment.

6 Målet stannar.

Vid starten kommer målet tryckas mot M1 och linan vara spänd. Detta gör att inget ryck uppstår vid starten, M2 behåller sitt moment konstant. M1 bromsar sedan målet som M2 drar, vilket gör att linan alltid är spänd på båda sidor om målet. M2 kan minska sitt moment utan att ett ryck uppstår vid övergången till retardationsfasen. Detta minskar komplexiteten i produkten eftersom lösningar så som dämpade övergångar mellan faserna inte är nödvändiga. Styrningen sker baserat på hastighet vilket, beroende på utrustningen, kan göra en referenskörning nödvändig.

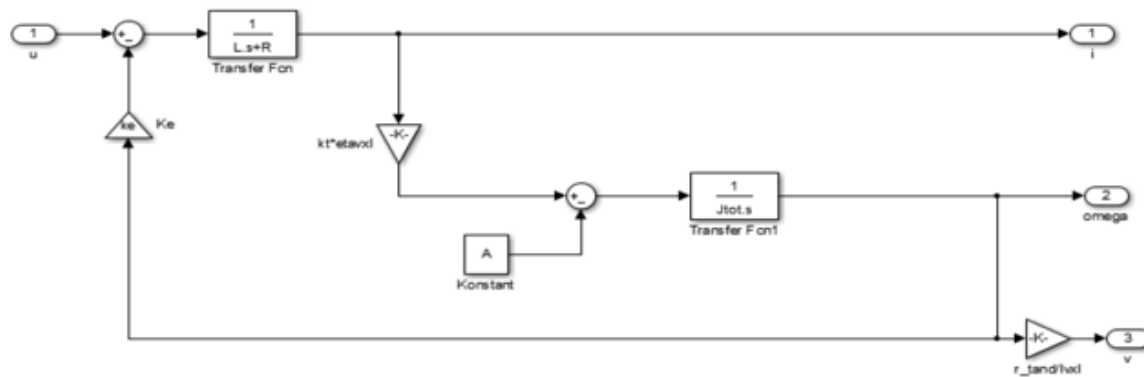
Tabell F13. Sekventiellt förslag 1

<u>Fördelar</u>	<u>Nackdelar</u>
Styrningen sker baserat på hastighet	Referenskörning kan vara nödvändigt
Enkelt att reglera eftersom inga ryck uppstår	Positionen när målhastighet uppnås beräknas eller mäts fram

Programmeringsspråk

Simulink

Simulink är en programmeringsmiljö där blockdiagram används. Programmet är utgivet av Mathworks och kan användas till flera olika typer av simulationer. Figuren nedan visar ett utdrag ur ett program. Programmet är integrerat med MATLAB.



Figur F12. Simulink modell för att driva ett transportband med servomotor

LabVIEW

LabVIEW är en programmeringsmiljö där en grafisk miljö, liknande Simulinks, används för att skapa programmet. Programmet kan användas tillsammans med hårdvara bland annat för att styra, analysera data, presentera resultat och distribuera system. Till LabVIEW finns även hårdvara som kan implementera koden direkt. LabVIEW är lämplig för både simuleringar och körningar av program. Det är även grafiskt och kopplat till MATLAB som är ett utbrett program, men har en högre kostnad än alternativa programvaror.

C-Programmering

Ett av huvudsyftena med C är att förenkla implementation av effektiva program. Fortfarande är C ett av de viktigaste programmeringsspråken och används i allt från små inbyggda system till superdatorer. Kompilatorer för C finns för i princip alla operativsystem och processorer. C används ofta när programmen behöver vara säkra eftersom kompilatorerna oftast är mycket beprövade. C-språket har nackdelen att mer tid hade behövt läggas av gruppen på förstudier och lärande innan skapandeprocessen och dessutom skulle programmet bli svårare att överblicka. (NE Nationalencyklopedin, u.d.)

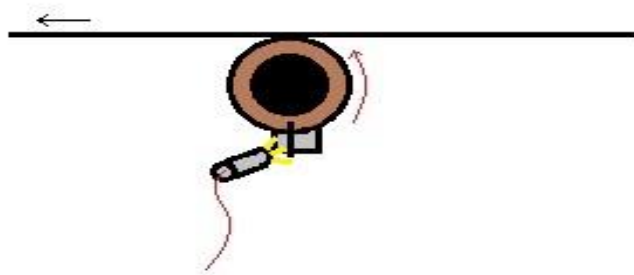
IEC 61131-3

Standard för PLC-programmeringsspråk som består av 5 olika programmeringsspråk: IL (Instruktionslista), LD (Ladderdiagram), FBD (Funktionsblocksdiagram), ST (Strukturerad Text) och SFC (Sequential Function Chart). Standarden ger en bra överblick eftersom flera av programmeringsspråken är grafiska. Dessutom kan alla som deltar i projektet bidra med kod eftersom koden skapas på ett språk som de har vana att arbeta med. (Industrial Electrical Engineering and Automation)

Mätning av sträcka och hastighet

Hjul och fotocell

Linan dras över en rulle eller ett hjul vars yttre rand då snurrar med samma hastighet som linan. Med hjälp av en fotocell kan hastighet och sträcka mätas på rullen.



Figur F13. Lina över hjul samt fotocell

Tabell F14. Hjul och fotocell

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Inbyggt i basenheten → utsätts inte för väder	Om lanan slirar på rullen/hjulet kommer mätningen inte bli exakt
Bra upplösning	Fler mekaniska delar i rörelse
Enkel mätning	

Markeringar på lina samt givare

En givare läser av markeringar på lanan och räknar ut hastighet och sträcka utifrån informationen, enligt Figur F14.



Figur F14. Lina med markeringar samt givare

Tabell F15. Markering på lina samt givare

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Enkel mätning	Måste sätta markeringar på lanan
Inbyggt i basenheten	Smuts och slitage kan påverka markeringarna
	Kräver många markeringar för att få en bra mätning

Givare på motoraxel eller drivaxel

En givare som mäter hur fort motorn eller trumman snurrar och räknar om denna till motsvarande hastighet för linan, enligt *Figur F15*.



Figur F15. Drivaxel och rumma med upplindad lina samt givare

Tabell F16. Givare på motoraxel eller drivaxel

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Påverkas inte av smuts på linan eller liknande	Om mätning sker på motorn måste hänsyn till utväxling tas
Enkel mätning	

Lasermätning

Avstånd och hastighet fås fram med hjälp av en lasermätare som sitter på basenheten och mäter mot släden.

Tabell F17. Lasermätning

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Kontinuerlig mätning	Får ej blockeras
Exakt	Dyr
	Komplex

Mätning i servomotor

En servomotor har inbyggd varvräknare som kan skicka information direkt till styrsystemet.

Tabell F18. Mätning i servomotor

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Krävs inga externa komponenter	Behöver ta hänsyn till utväxling för att få hastigheten på linan

Mätning av linspänning

Rörlig rulle som mäter motriktad kraft

Linan går in i basenheten till trumman som i detta fall inte är stationär. Linspänningen tas fram med hjälp av en lastcell i form av en dynamometer kopplad till trumman som mäter motriktad kraft.

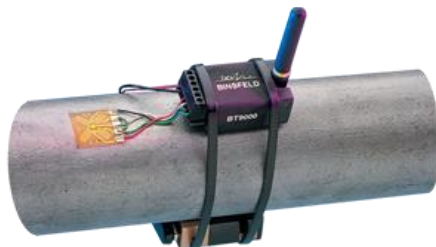
Tabell F19. Mätning av linspänning

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Billig	Sliter på linan
Simpel konstruktion	Kan störa systemet genom fjädring

Mät vridmomentet i motorn

Mäts genom att antingen placera lastceller i form av töjningsgivare på motoraxeln och relatera töjningen till vridmomentet som axeln utsätts för eller genom att låta servomotor utföra mätning internt. Det senare alternativet sker i enlighet med vad som tidigare beskrivits i Avsnitt 4.3.7.

Det första alternativet beräknas genom systemets utväxling fram till rullen som linan är upplindad kring. Systemet behöver inte vara trådlöst som i *Figur F17* nedan i och med att drivaxeln är placerad i basenheten och därmed i anslutning till styrsystemet.



Figur F17. Mät vridmoment i motorn, (Accusystech, u.d.)

Det andra alternativet kräver inga givare eller andra externa komponenter. Allting sköts med hjälp av informationsutbyte mellan motor och styrsystemet.

Tabell F20. Mät vridmoment i motorn

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Inga externa komponenter, om alternativ två används	Hänsyn behöver tas till utväxling, vilket kan ge komplicerade beräkningar
Stör ej konstruktionen i form av t.ex. fjädring och ryck i släden	Om lastceller, enligt alternativ ett, används måste de placeras ordentligt
Beprövad teknik, båda alternativen	

Töjningsgivare på linan

Lastceller i form av givare placeras på linan och spänningen beräknas utifrån töjningen av linan i längsgående led. Information skickas lämpligast till basenheten trådlöst.

Tabell F21. Töjningsgivare på linan

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Mätning sker direkt på önskat område	Givarna tar stryk vid överkörning och vid kontakt med underlaget
	Givarna påfrestas av väderlek, t.ex. korrosion som ger högre resistans i givarna eller fukt som ger alternativa vägar för strömmen att vandra
	Kräver trådlös information till basenheten
	Lastcellerna måste placeras ordentligt för att undvika felaktiga mätningar

Dynamometer mellan släde och lina

Dynamometern mäter hur mycket kraft som svarar mot kraften i linan och placeras mellan släden och linan. Information skickas trådlöst till basenheten.



Figur F18. Dynamometer, (Champion Scale, u.d.)

Tabell F22. Dynamometer mellan släde och lina

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Direkt mätning av kraft som linan utsätts för, utan mellanled	Kräver trådlös information till basenheten
	Systemet kan bli ryckigt i och med fjädern

Positionering av basenheter

Laser

Den linjära placeringen sker med hjälp av lasermätning, där två lasrar och tillhörande mottagare används för att avgöra om fundamenten är korrekt placerade. Lasrarna tillåter justering om det skulle krävas vid lutande väglag. Avståndet mäts genom att lasern skickar signaler och ser hur lång tid det tar innan dessa kommer tillbaka. Lösningar för detta finns på marknaden.



Figur F19. Lasermätning för rätt vinkel och avstånd mellan basenheterna

Tabell F23. Laser

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Enkelt att avgöra om enheterna är linjärt placerade samt avståndet mellan enheterna	Komplexiteten ökar
Användaren kan avgöra om enheterna har rört sig efter ett test.	Dyrt
Goda toleranser	

Mäthjul

Genom att korsmäta enheterna med ett mäthjul kan användaren skatta om enheterna står linjärt. Avståndet mellan modulerna kan utläsas från mät hjulet genom att användaren går med hjulet mellan enheterna.



Figur F20. Mätinhjul, (Jula, u.d.)

Tabell F24. Mäthjul

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Billigt	Låga toleranser (lämpligt för prototyper)
Låg komplexitet	Tidskrävande arbetsuppgift

Mobilitet

Tungt fundament

Med en tillräckligt stor egenvikt behöver systemet inte någon ytterligare infästning. Fundamentet består lämpligtvis av en gjuten platta där övrig utrustning placeras ovanpå, likt pumpen med tillhörande motor i *Figur F21*, men kan även endast bestå av systemets egenvikt. Vikten beräknas utifrån den förspänning systemet kräver.



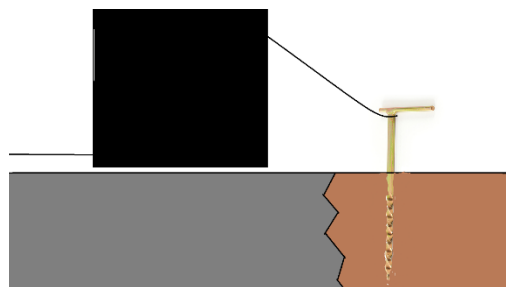
Figur F21. Tungt fundament, (Goulds Pumps, u.d.)

Tabell F25. Fundament

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Billig lösning	Kan skada asfalten vid för låg vikt som leder till glid
Enkelt att montera basenheterna ovanpå	Vid stor förspänning blir fundamentet tungt och besvärligt att finjustera
Bra skydd mot vibrationer	
Enkelt att flytta med truck	

Jordinfästning

Basenheterna låses fast genom att spänna fast systemet med linor i jorden utanför vägen, enligt *Figur F22*.



Figur F22. Illustration över jordinfästning

Tabell F26. Jordinfästning

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Konstruktionen behöver ingen stor egentyngd och blir därmed mer portabel	Kräver närhet till jord för att kunna användas
	Kräver ny fästpunkt vid varje förflyttning

Handtag

Flera handtag fästes i ramen på vardera basenhet och kan genom detta förflyttas för hand till en truck eller skåpbil för vidare transport inom testområdet.



Figur F23. Handtag, (Clas Ohlson, u.d.)

Tabell F27. Handtag

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Simpel utformning	Operatör kan skada sig vid lyft
Båda basenheterna kan lyftas på trucken och köras iväg samtidigt	Kan vara i vägen och förhindra åtkomst av andra delar i produkten
Lätt att använda	Går ej att lyfta långa sträckor i och med basenheternas tyngd

Gaffeluttag för truck

Vardera basenhet konstrueras med uttag för truckgafflar.



Figur F24. Truckgafflar (Sagro, u.d.)

Tabell F28. Truckgafflar

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Manuell förflyttning, och därmed mellansteg, undviks	Uttagens placering kan öka på basenhetens dimensioner
Om uttagen placeras bra kan båda basenheterna förflyttas vid samma körning	Manuell förflyttning ej möjlig
	Risk för att trucken skadar konstruktionen

Hjul och kulkoppling

Vardera basenhet utrustas med hjul på ena sidan och en kulkoppling på andra sidan. Hjulen är ej i kontakt med underlaget vid stationärt läge, men aktiveras då kulkopplingen lyfts upp och installeras på dragkroken.



Figur F25. Kulkoppling, (Autoexperten , u.d.)

Tabell F29. Hjul och kulkoppling

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Endast fordon med dragkrok behövs	Ökar på basenhetens dimensioner på två sidor
	Går endast att förflytta en basenhet i taget

Rengöring av lina Vajerborste

Figur F26 visar hur vajerborsten rengör vjern med hjälp av borstar som är placerade i den genomgående cylindern.



Figur F26, (Skogma, u.d.)

Tabell F30. Vajerborste

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Standardkomponent, finns redan att köpa	Något dyr om byte behöver ske frekvent
Rengör effektivt linan i 360 graders vinkel	

Valsborstar finns att beställa hos Borstteknik AB, (Borstteknik , u.d.)

Tryckluft

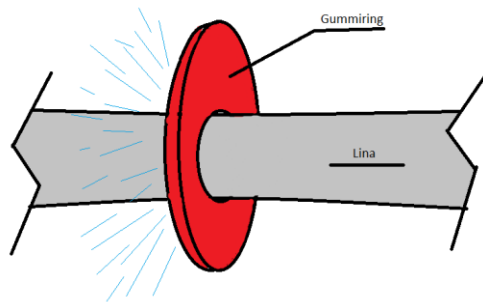
Med hjälp av en tryckluftskompressor med slang riktad mot linan avlägsnas smuts och vatten.

Tabell F31. Tryckluft

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Kan även användas för att kyla motorn	Dyrt och mer komplext med en kompressor
Förlänger livslängden på linan och systemet	
Fullständig rengöring, varken smuts eller vätska kommer att följa med in i systemet	

Gummiring

Lösningen efterliknar den cylinderformade borsten i Figur F27, skillnaden är att inga borstar finns, istället ligger gummit tätt mot linan.



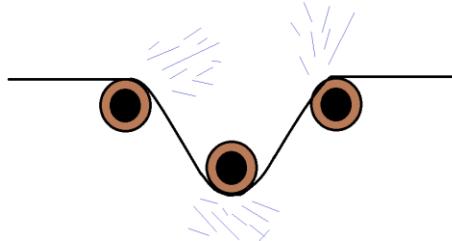
Figur F27. Gummiring

Tabell F32. Gummiring

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Billigt med gummiringar, finns mycket standard-komponenter	Kommer att slitas väldigt fort på grund av hög friktion
Smuts och vatten avlägsnas effektivt eftersom gummiringen är mindre än lina	

Knyck på lina med några hjul

Med hjälp av trissor kan skarpa svängar skapas för lina som medför att vatten och smuts slungas av i svängarna.



Figur F28. Knyck på lina med hjul

Tabell F33. Knyck på lina med hjul

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Enkel lösning med trissor som håller länge och är billiga	Garanterar inte att all smuts och vätska avlägsnas

Kemikalisk rengöring

Kemikalisk beläggning som gör att smuts och vatten inte fastnar, (Ny Teknik , u.d.).

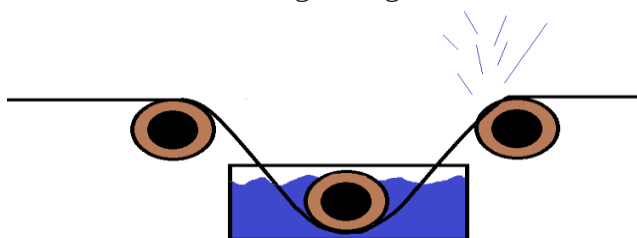
Tabell F34. Kemikalisk rengöring

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>

Inga extra komponenter behöver tas med i konstruktion, det enda som krävs är behandling av linan	Kräver flera behandlingar av linan eftersom den kommer glida mot trumman, trissor och eventuellt marken
	Eventuellt sämre för miljön
	Garanterar inte att smuts avlägsnas

Vattenbad

För att avlägsna smuts och vätska leds linan först ner i vätska för att sedan med en skarp sväng, i den högra trissan i *Figur F29*, låta vattnet slungas iväg.



Figur F29. Vattenbad

Tabell F35. Vattenbad

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Enkel lösning med trissor som håller länge och är billiga	Linan riskerar att förbli våt och föra med vatten in i systemet
Linan hålls ren	Vätskan behöver bytas ut när den blir smutsig

Vattenutförsel

Tratt med bortledning

En tratt placeras under uppsamlingsenheten för att samla upp vatten som förs in i systemet via linan för att sedan föra bort det ur systemet.

Tabell F36. Vattenutförsel

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Samlar upp allt inkommande vatten	Extra komponent i form av en tratt

Pump

En pump används för att pumpa ut vatten. För att denna lösning skall fungera krävs någon form av uppsamlingskärl under trumman.

Tabell F37. Pump

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Det är enkelt att föra ut oönskat vatten med slang till önskvärd plats	Kräver viss vätskenivå för att kunna pump ut vatten

Fläkt

En fläkt, torkfläkt eller avfuktare, placeras nära trumman för att bli av med oönskat vatten.

Tabell F38. Fläkt

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Eftersom vattennivåerna förhoppningsvis är små kan vatten enkelt avlägsnas likt en avfuktare där vatten samlas i en behållare	Sämre resultat om stora mängder vatten följer med in i systemet
Minimerar risk för motorn att påverkas av fukt.	Nödvändigt att systemet är slutet så att inte luften utanför avfuktas

Lutande plan

Genom att konstruera fundamentet sådant att vatten ansamlas och leds ut genom exempelvis en skåra, fastnar inget vatten inne i systemet.

Tabell F39. Lutande plan

<u>Fördelar:</u>	<u>Nackdelar:</u>
Inga extra komponenter behövs, det räcker att konstruera fundamentet rätt	Viss fukt kan kvartstå eftersom endast gravitation leder ut vattnet

Referenser – Bilaga F

Abu Garcia. (2013). Hämtat från <http://www.eu.purefishing.com/blogs/sv/anders-forsberg/2013/06/10/grunda-med-nylon/> den 06 Mars 2016

Accusystech. (u.d.). Hämtat från http://www.accusystech.com/products/wireless/torquetrak_9000.html den 06 april 2016

Amacoil. (u.d.). Hämtat från <http://www.amacoil.com/> den 08 Mars 2016

Autoexperten . (u.d.). Hämtat från <https://www.autoexperten.se/reservdelar/slapvagn-och-husvagn/paskjutsbroms/kulkopplingar/ak-160-dia-35-40-2h/> den 09 maj 2016

Borstteknik . (u.d.). Hämtat från <http://www.borstteknik.se/produkter/industri/borstvalsar.htm> den 01 maj 2016

- Certex*. (2016). Hämtat från http://www.certex.se/se/lintrumma---linforingsvinkel__22830 (hämtad 2016-03-06) den 06 Mars 2016
- Champion Scale*. (u.d.). Hämtat från <http://www.championscale.com/products/msi-7200-dynalink-digital-dynamometer/> den 01 mars 2016
- Clas Ohlson*. (u.d.). Hämtat från <http://www.clasohlson.com/se/Handtag/31-3141> den 06 maj 2016
- Goulds Pumps*. (u.d.). Hämtat från https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Instruction%20and%20Operation%20Manuals/Numerical/InstallationOperationMaintenance_3180_sv_SE.pdf?ext=.pdf den 09 maj 2016
- Heavy Lift News*. (2013). Hämtat från <http://www.heavyliftnews.com/cranes/importance-fleet-angles-fix> den 08 Mars 2016
- Industrial Electrical Engineering and Automation*. (u.d.). Hämtat från <http://www.iea.lth.se/eief05/pdf/IEC61131-3.pdf> den 05 maj 2016
- Jula*. (u.d.). Hämtat från <http://www.jula.se/catalog/verktyg-och-maskiner/matinstrument/matverktyg/mathjul/mathjul-161011/> den 06 maj 2016
- NE Nationalencyklopedin*. (u.d.). Hämtat från <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/c> den 05 maj 2016
- NE Nationalencyklopedin* . (2016). Hämtat från [http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/rem-\(3\)](http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/rem-(3)) den 24 Februari 2016
- Ny Teknik* . (u.d.). Hämtat från http://www.nyteknik.se/nyheter/innovation/forskning_utveckling/article3620668.ece den maj 01 2016
- OEM Motor*. (2016). Hämtat från <http://www.oemmotor.se/Produkter/Remtransmission/501492.html> den 24 Februari 2016
- Sagro*. (u.d.). Hämtat från <http://www.sagro.se/sv/artiklar/truckgaffel-for-tar244-frontlastare.html> den 09 maj 2016
- Skogma*. (u.d.). Hämtat från <http://www.skogma.se/b2c/Servlet?page=11&anr=203148&parent=sHABEGGER&parentIndex=159> den 01 maj 2016
- The World*. (u.d.). Hämtat från <http://theworld.bloggplatsen.se/2010/05/04/2926364-filmtajm/> den 06 Mars 2016
- Verktyg för alla*. (u.d.). Hämtat från <http://www.verktygforalla.se/product.html/vinsch-roller-30cm> den 08 Mars 2016

Vickers Warnick. (u.d.). Hämtat från <http://www.vickers-warnick.com/news/part-two-choosing-the-right-motor-dc-motors-and-ac-motors/> den 05 Maj 2016

Vickers Warnick. (u.d.). Hämtat från <http://www.vickers-warnick.com/news/choosing-the-right-motor-stepper-motors-and-servo-motors/> den 05 Maj 2016

Bilaga G – FMEA

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis - Feleffektanalys)

Huvudsystem/Main system		Artikelbenämning/Part name		Ritn nr/Dwg No.		Und											
Måldragare						AstaZero											
Funktion/Function		Datum/Date	Utförd av/Issued by		Uppföljningsdatum		Projekt/Project	Utgåva/Issue									
Förflyttning av mål		2016-04-11	Linus Arnö		2016-05-10		PPUX03-16-28	1									
ARTIKEL/PART		FELKARAKTÄRISTIK/CHARACTERISTICS OF FAILURE				RATING			ÅTGÄRD-STATUS/ACTION-STATUS								
Komponent/Component	Funktion/Function	Feltyp/ Failure mode	Felorsak/ Causes of failure	Feleffekt på komponent/syst.	Proving/ Testing	Po	S	Pd	RPN	Rekommenderad åtgärd/ Recommendations	Åtgärd på koncept	Beslutad åtgärd/ Decisions taken	Po	S	Pd	RPN	Signatur
1. Drivaxlar	Överföra moment från motorer till spolar	Kopplingar släpper	Fel vid montering, överbelastning	Kan inte överföra moment från motorer till spolar		2	7	4	56	Regelbundna kontroller							
		Axeln går sönder (brott)	Överbelastning eller utmattnings	Kan inte överföra moment från motorer till spolar		1	8	9	72	Regelbundna kontroller för att upptäcka sprickor som kan leda till brott. Automatisk brytare som frisläpper systemet (trumman rullar fritt) för den dragande motorn vid för höga moment. Den bromsande motorn stannar målet.							
		Axeln deformeras (utan brott)	Överbelastning	Skapar instabilitet		2	5	10	100	Automatisk brytare som frisläpper systemet (trumman rullar fritt) för den dragande motorn vid för höga moment. Den bromsande motorn stannar målet.							
		Lagerfel	Slitage/smuts/fukt	Högre belastningar på motorer		3	2	7	42	Regelbundna kontroller och rengöring/byte av lager							
2. Trumma	Uppsamling och utmatning av lina	Deformation	Utmattnings, överbelastad, slag	Instabilitet		1	6	8	48	Regelbundna kontroller							
3. Motorer	Skapa drivande moment	Överhettning	Otillräcklig kylning och/eller för höga moment	Motorn går sönder		7	8	9	504	Bra kylsystem och varning för överhettning med automatisk brytare							

		Brand	El-fel	Motorn går sönder		2	9	10	180	Kontrollerad korrekt elanslutning. Placera ej produkten nära brandfarliga material						
		Kortslutning	Fukt	Motorn går sönder		2	7	10	140	Avskärma motorn från trumma, täck produkten med skyddande vattentätt skal. Förvara torrt mellan körningar.	Avskärmning samt skal					
4. Kuggremmar	Överföra moment mellan drivaxel och linstyrningsaxel	Remmen går av	Utmattning	Felaktig upprullning, kan orsaka trassel		2	4	5	40	Regelbundna kontroller						
		Remmen lossnar	För liten förspänning	Felaktig upprullning, kan orsaka trassel		2	4	5	40	Regelbundna kontroller						
		Låsning i rotation	Föremål i rotationsbana	Kan leda till överbelastning av motorn		1	8	7	56	Skydda	Remskydd					
		Remmen slirar	Förslitning av rem eller remskiva	Felaktig upprullning, kan orsaka trassel		1	4	3	12	Regelbundna kontroller						
5. Linstyrningsaxlar	Förflytta linstyrning	Axeln går sönder (brott)	Överbelastning eller utmattning	Felaktig upprullning, kan orsaka trassel		1	6	10	60	Regelbundna kontroller						
		Axeln deformeras (utan brott)	Överbelastning	Felaktig upprullning, kan orsaka trassel		2	5	10	100	Regelbundna kontroller						
		Lagerfel	Slitage/smuts/fukt	Högre belastningar på motorer		3	2	7	42	Regelbundna kontroller och rengöring/byte av lager						
6. Linstyrningar	Styra linans position på spolar	Förslitning av gångor/Låsning av mutter	Smuts etc.	Felaktig position eller stopp i systemet		7	6	5	210	Stänkskydd och avskärmning om nödvändigt, kontroller. Rengöring vid behov.						
7. Lina	Förflytta mål	Brott	Överbelastning p.g.a. ryck vid acceleration eller överkörning av fordon. Brottrisken ökar vid sliten lina.	Kan ej förflytta mål		2	9	7	126	Regelbunden kontroll av lina.						
		Trassel	Fel på linstyrning, för slak lina vid upprullning	Fel position på mål, kan fastna. Systemet måste stannas och linan fixas		3	4	8	96	Tydliga instruktioner för användning.						
8. Borste	Rengöra lina	Nedsatt funktion	Sliten, för smutsig, trasig	Smuts kommer in i systemet		6	6	3	108	Rengör eller byt borste regelbundet.						
9. Helhetssystem		Skador	Vibrationer	Trasig produkt		3	7	2	42	Placera gummimatta/fötter under fundament	Gummifötter					

		Skador	Mål/lina fastnar i bil	Trasig produkt		2	9	10	180	Utlösning av lina vid helt utrullad. Stäng av motor vid för högt motstånd. Fäste mellan lina och släde släpper vid för hög belastning på den dragande sidan.						
		Skador	Mål kör in i basenhet	Trasig produkt		3	9	10	270	Sensor, systemet bromsar målet tvärt om målet kommer förbi en gräns						
Personskador		Person kolliderar med mål/släde i hög hastighet	Person befinner sig i testområdet under körning.							Tydliga säkerhetsinstruktioner . Säkerhetsavstånd. Startspärr. Nödbroms på släde.	Säkerhetsavstånd.					
			Maskinen startar oväntat efter strömbrott							Programmet ska nollställas vid strömförlust.						
			Maskinen startas oavsiktligt							Startspärr. Checklista måste gås igenom före start.						
			Linbrott vid hög hastighet.							Säkerhetsavstånd. Systemet autostoppas vid grov avvikelse från hastighetskurva. Autobroms på släde	Säkerhetsavstånd.					
			Person är uppmärksam							Kvittens för start kan tidigast ske max x min före tänkt start för att inte tappa uppmärksamheten.	Kvittens för start.					
		Person i kontakt med lina i hög hastighet	Person befinner sig i testområdet under körning							Tydliga säkerhetsinstruktioner . Säkerhetsavstånd. Startspärr.	Säkerhetsavstånd.					
		Person bränner sig på överhettad produkt	Dålig kylning av motorn och/eller bortföring av värme							Inför extra kylning, skal som inte leder värme. Varningstexter.						
		Person får elektrisk stöt	Personen hanterar insidan av produkten då elanslutning är ikopplad. Högre risk för fara med fukt i systemet							Säkerhetsinstruktioner .						

		Person skadar sig på roterande delar inuti produkten	Person kommer i kontakt med roterande delar under körning						Inte kunna köra produkten utan skal på.						
Krav från Maskindirektivet		Direktivskrav							Rekommenderad åtgärd						
		Enkel och säker transport av produkt							Montera handtag på ramen. Montera håll för truckgafflar. Inga lösa komponenter. Låsning för trumma.	Handtag					
		Information om risker, tydliga instruktioner om användning.							Bruksanvisning, varningstexter på produkt.						
		Ergonomi							Ljdsignal vid lång inaktivitet. Operatör bestämmer arbetstakten via startkommando. Tydliga gränssnitt.	Startkommando					
		Styrsystem ska vara tillverkat så att riskfyllda situationer inte ska kunna uppstå							Maskin måste starta på kommando. Inte kunna starta med öppet lock. Nödstopp. Inte kunna ändra efter kvittens för start.	Startkommando					
		Manöverdon ska vara säkert och enkelt att använda							Ska kunna användas på avstånd. Tydligt gränssnitt. Skyddade knappar för att undvika oavsiktliga tryck.	Avstånd					
		Produkten ska kunna stoppas säkert							Nödstopp ska finnas. Alla stopp ska vara överordnade start. Broms på spolar vid stopp. Nödstopp bromsar så hårt som möjligt utan risk för linbrott etc.						
		Fel i kraftförsörjning får inte leda till riskfyllda situationer							Vid kontaktfel bromsar släden. Vid strömbrott nollställs indatan. Stoppkommandon får inte avbrytas.						

Bilaga H - Prototypofferter

Prototyp P0

Tabell H1. Komponenter prototyp P0

Komponent och arbete	Inköpsplats	Pris (SEK)
PLC (DVP10SX11R)	Automizer	1745
Nätaggregat (DRP024V060W)	Automizer	280
Motor (ECMA-C10604RS)	Automizer	3134
Servoförstärkare (ASD-A2-0421-M)	Automizer	4866
Motorkabel A2 med kontaktdon 3M	Automizer	537
Encoderkabel A2 med kontaktdon 3M CN2	Automizer	218
ASD-A2/B2 EMC-filter 1-fas 230V (<750W)	Automizer	537
Manöveranslutning A2 kontaktdon CN1 löd	Automizer	157
Kabel PC servoförstärkare ASD-A2/ASD B2 3M CN3	Automizer	185
Manöveranslutning A2 kontaktdon 2xRJ45 RS485-anslutning	Automizer	179
Automizer RS485-flatkabel 3m	Automizer	200
2st fälgar för trumma, 41111	Biltema	100 (50/st)
Lina	Biltema	25
Styrningsrelä 3-fas för R63	Modern Elteknik AB	x<300
Elskåp för styrutrustning	Modern Elteknik AB	x<500
Dosa för kvittering	Modern Elteknik AB	x<500
Kilar för att sätta ihop axlar	Lånade av PPU-labb	0
Motor R63	Lånad av PPU-labb	0

Lastpall för montage	Lånad av PPU-labb	0
Aluminium profil för montage	Lånda av PPU-labb	0
Elektriker arbete	Elfiness, tjänst	800 (2/3 arbetsdag)

Konceptprototyp

Kabetex Kullager & Transmission AB

Artnr	Benämning	Enh	Antal	å-pris
Bico*70BLI	Axelkoppling (1008)	st	1	162,00
Bico*70BLU	Axelkoppling (1008)	st	1	152,00
Bico*70E	Gummielement	st	1	95,00
1008*20	Taper Lock bussning	st	2	175,00
HTD*600*5M*15	HTD-Rem	st	1	219,00
HTD*32*5M*15	HTD-Remskiva	st	1	265,00
HTD*16*5M*15	HTD-Remskiva	st	1	152,00
RASEY*20	Lagerenhet INA	st	4	466,00
RASEY*12	Lagerenhet INA	st	2	479,00

Figur H1.Kabetex

Automizer AB

Produktnr.	Produktbeskrivning	Antal	Enhet	Antal lev.	Pris
	SERVO				
ASD-A2-0421-M	Servoförstärkare A2 400W 230VAC 1-Fas CANopen	2,00	St	2,00	5 725,00
ECMA-C10604RS	Servomotor A2 400W 1,27/3,82 Nm 3000/5000rpm Ink Enc	2,00	St	2,00	3 688,00
ASD-ABPW0005	Motorkabel A2 med kontaktdon 5M	2,00	St	2,00	420,00
ASD-ABEN0005	Encoderkabel A2 med kontaktdon Ink. Encoder 5M .	2,00	St	2,00	644,00
	TILLBEHÖR				
RF007S21AA	ASD-A2/B2 EMC-Filter 1-Fas 230V (<750W)	1,00	St	1,00	537,00
ASD-CNSC0050	Manöveranslutning A2 kontaktdon CN1 Löd	2,00	St	2,00	202,00
ASD-IF-SC5020	Manöveranslutning A2 kontaktdon CN1 Plint	0,00	St	0,00	441,00
ASD-BM-50A	Manöverkabel A2 kontaktdon & plintmodul 0,5M CN1	0,00	St	0,00	1 458,00
ASD-CNIE0B06	Manöveranslutning A2 kontaktdon 2xRJ45 RS485 CN3	2,00	St	2,00	179,00
	PLC				
DVP10SX11R	PLC 4DI, 2DO relä, 2AI, 2AO, 8K, Max 230 I/O .	1,00	St	1,00	2 053,00
	NÄTAGGREGAT				
DRP024V060W1NZ	Nätaggregat 230VAC/24VDC/2,5A Boost 150% 22-28V DIN Plast	1,00	St	1,00	330,00
	OPERATÖRSPANEL				
DOP-B03S211	HMI 4,3" 480x272 TFT 65536 Färger	1,00	St	1,00	2 194,00
DOP-CA232DP	A/AE/AS/B-PLC Kommunikationskabel 1,5M RS232	1,00	St	1,00	215,00
	BESKRIVNING				
	<i>Fria programmeringsverktyg.</i>				
	<i>2 st Servosystem 400W.</i>				

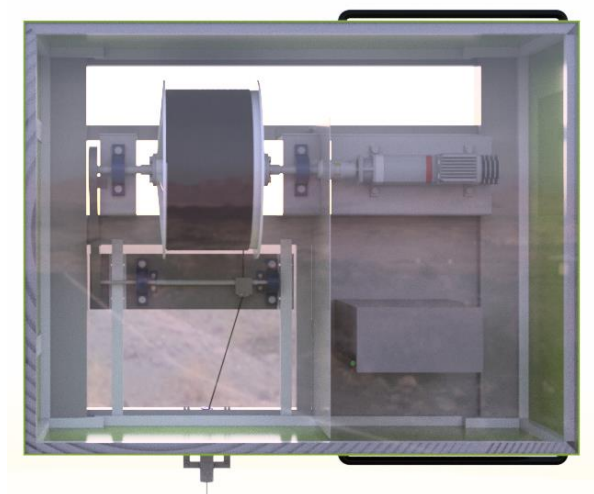
Figur H2. Automizer

Ingeniörsfirma Bågenfelt & Hellström AB

Tillverkning & Montering		
Antal:	Benämning:	Ritning:
2st.	Drum	Enl.Mail 26/4
2st.	Winder	Enl.Mail 26/4
TOT = 52.000:- Exkl. köpekomponenter.		

Figur H3. Bågenfelt & Hellström AB

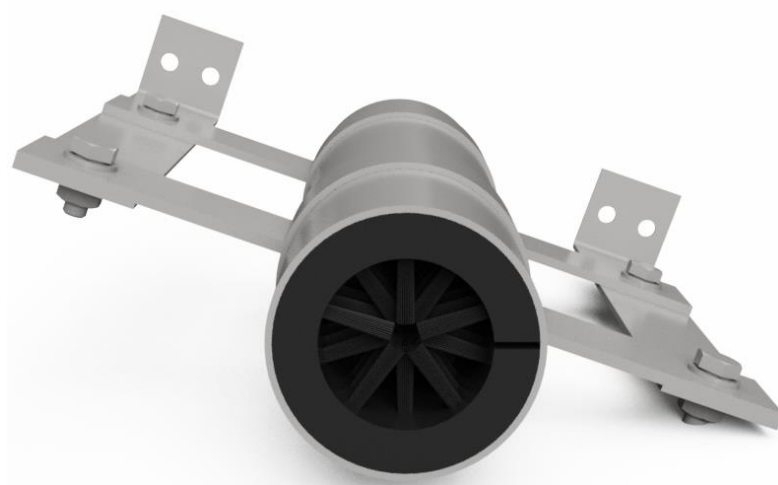
Bilaga I – Kompletterande CAD-bilder



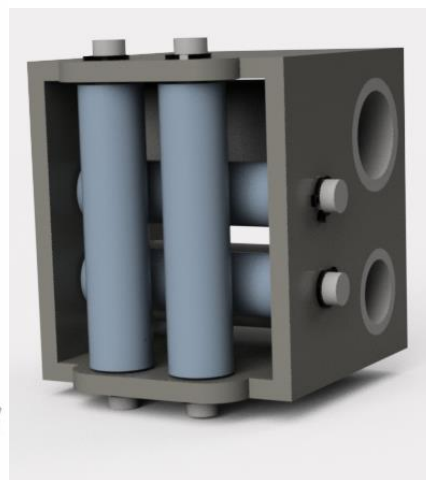
Figur I1. COFFEE, sett ovanifrån



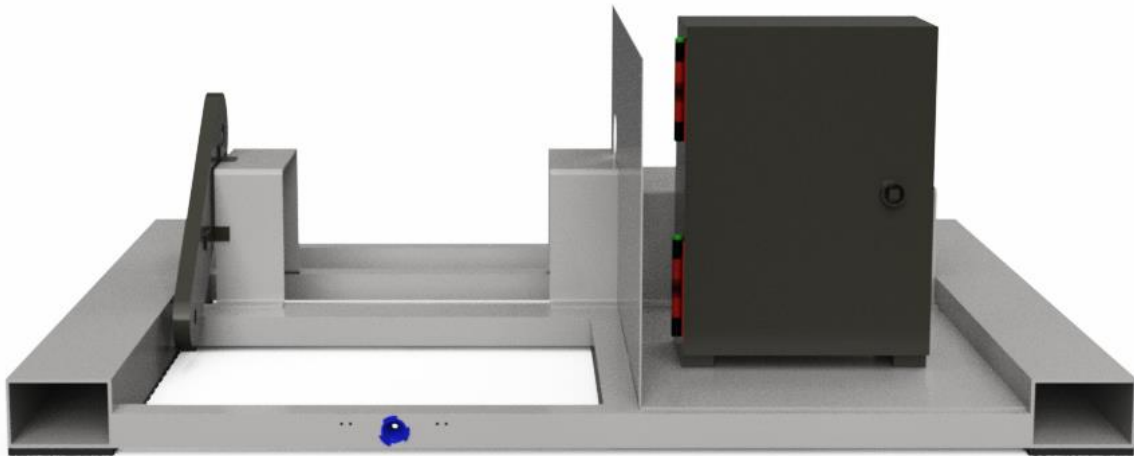
Figur I2. Sammansättning av trumma, axel och nav



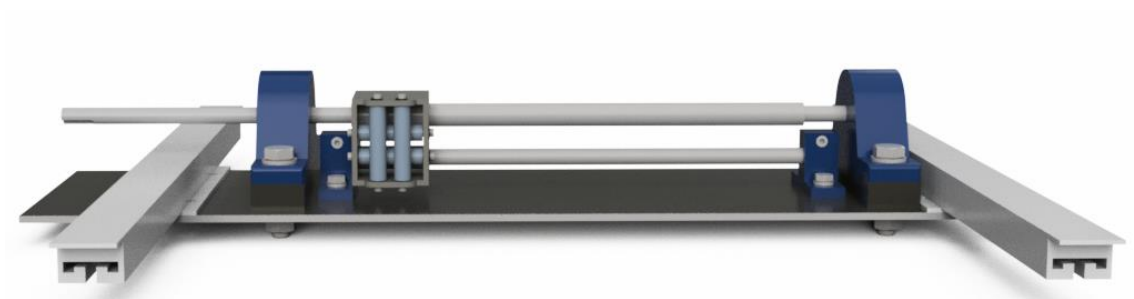
Figur I3. Sammansättning av borsten



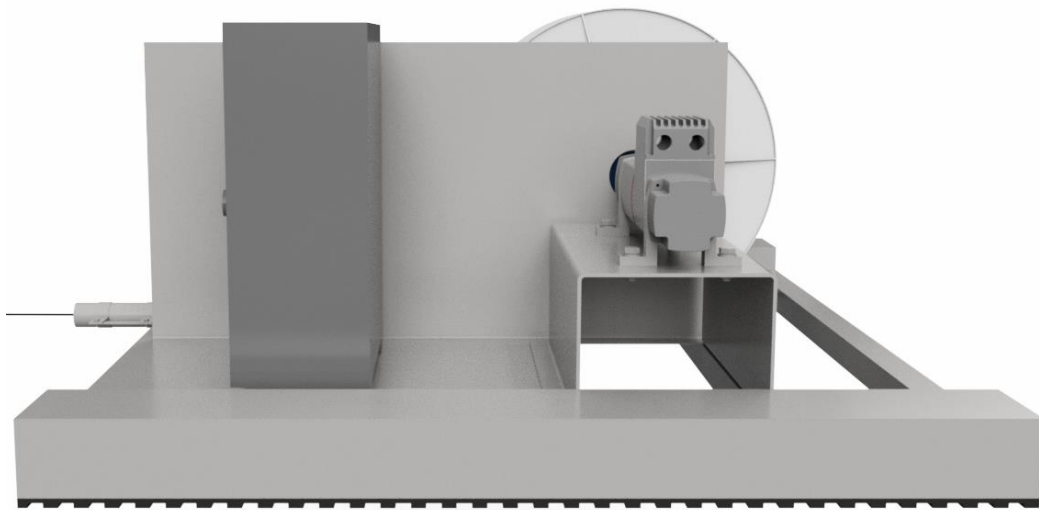
Figur I4. Sammansättning av rullstyrningen



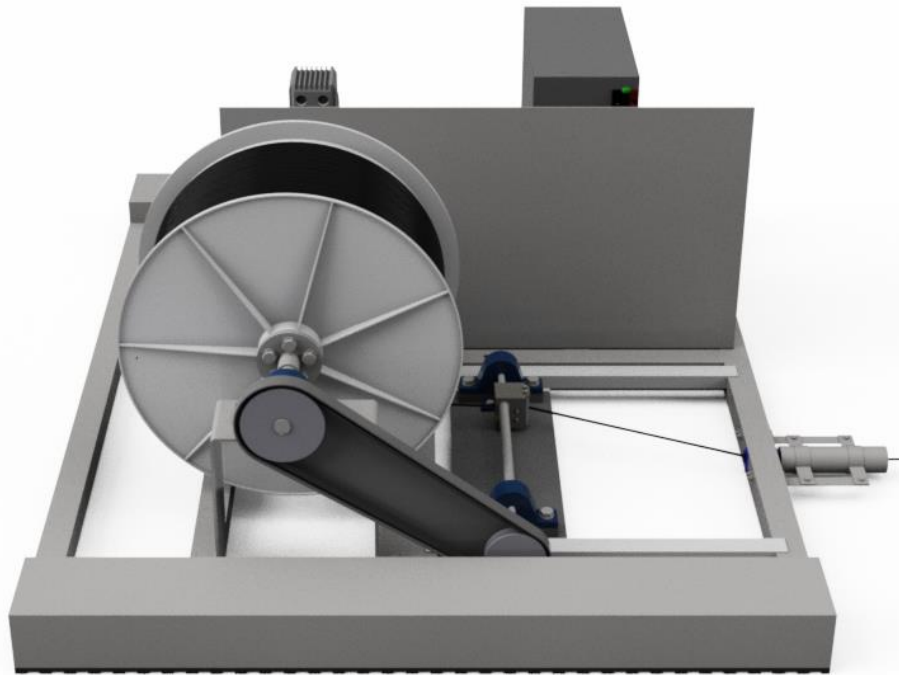
Figur I5. Sammansättning av ramens delar med elskåpet och remskydd



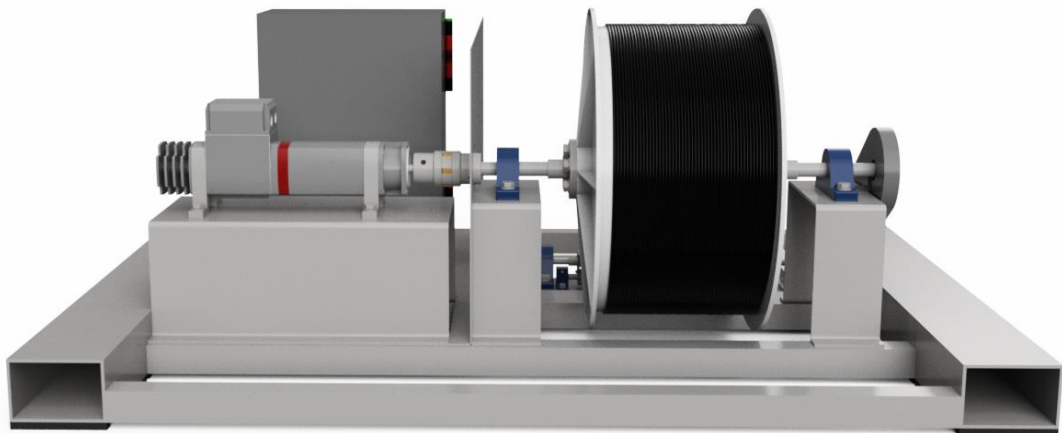
Figur I6.. Sammansättning av rullstyrningen med lager, platta och glidskenor



Figur I7. COFFEE sett från höger



Figur I8. COFFEE sett från vänster



Figur I9. COFFEE sett bakifrån