

## **Utveckling av en styr- och transportmodul för att underlätta förflyttningen av Molle-vagnen på GöteborgsOperan**

Kandidatuppsats vid institutionen för industri- och materialvetenskap.

Jasmine Björk  
Kajsa Magnusson  
Sofia Rosén



KANDIDATUPPSATS

**Utveckling av en styr- och transportmodul för att  
underlätta förflyttningen av Molle-vagnen på  
GöteborgsOperan**

Kandidatuppsats vid institutionen för industri- och  
materialvetenskap.

JASMINE BJÖRK  
KAJSA MAGNUSSON  
SOFIA ROSÉN



**CHALMERS**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för industri- och materialvetenskap  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2019

## Sammanfattning

På GöteborgsOperan visas flera föreställningar parallellt vilket innebär att den stora scenen varje dag byggs om från repetition av en produktion till föreställning av en annan. När scenen byggs om transporteras rekvisita och dekor av varierande storlek. De största dekorväggarna transporteras och lagras på Molle-vagnen vilken är byggd i GöteborgsOperans egna verkstad. Molle-vagnen transporteras idag med hjälp av en eller två dragtruckar där den dras eller puttats till rätt position. Molle-vagnen är stor och svårnavigerad vilket leder till att många anställda är inblandade när vagnen används.

Syftet med projektet är att förbättra transporten av Molle-vagnen så att styrning och manövrering av vagnen sker på ett enklare och mer effektivt sätt. Förbättringsprocessen sker genom att först definiera vilka funktioner vagnen uppfyller för att sedan genomföra en kundundersökning där de upplevda problemen med Molle-vagnen identifieras. Resultatet av kundundersökningen sammanställs i en kundbehovslista vilken sedan används för att skapa en kravspecifikation för Molle-vagnen. Med utgångspunkt i kravspecifikationen genereras olika lösningar för att transporten av Molle-vagnen skall underlättas. De olika helhetslösningarna sällas ned tills dess att endast ett koncept kvarstår.

Resultatet blev ett koncept som består av två enheter vilka placeras i varsin ände på Molle-vagnen. Enheterna är sammankopplade och styrs med hjälp av en trådlös kontroll. Mekanismen som gör att Molle-vagnen kommer kunna åka i alla riktningar utgörs av två hjul per enhet som gör att enheten kan snurra runt sin egen axel och därmed placeras i alla horisontella riktningar. Enheterna som placeras på Molle-vagnen kallas för styr- och transportmoduler.

Konceptet konstrueras som en CAD-modell för att sedan utvärderas med hjälp av en funktionsmodell för att genomföra en måluppfyllnad. Genom att utföra tester med funktionsmodellen verifierades att samtliga mål uppfylldes. Genom att utföra tester blev det tydligt att konceptet gör det möjligt för Molle-vagnen att transporteras i alla horisontella riktningar. Därtill kunde det konstateras att endast en person krävs för att styra styr- och transportmodulerna med kontrollen men att en ytterligare person bör närvara för att hjälpa till att hålla uppsikt på vagnen för att minimera risken för kollision. Konceptet är även möjligt att applicera på majoriteten av vagnarna på GöteborgsOperan.

Konceptet har potential men kräver vidareutveckling inom framförallt programmering innan det kan tas i bruk. Det krävs även ytterligare beräkningar alternativt tester för att säkerställa att golvet inte tar skada av styr- och transportmodulens mekanism. Konceptets utformning bör också optimeras så att konceptet blir mindre och lättare.



## Abstract

At the Gothenburg Opera, several performances are shown parallel, which means that the stage is rebuilt every day to change from one performance to another. When the scene is rebuilt, props and decor in varying size are transported. The largest decor walls are transported and stored on the Molle wagon which is built at the opera. The Molle wagon is today transported by means of one or two trucks that navigates the wagon to the right position. The wagon is large and difficult to navigate, which means that many employees are involved when the wagon is being used.

The purpose of the project is to improve the transport of the Molle wagon so that steering and maneuvering of the wagon takes place in a simpler and more efficient way. This is done by first defining the problem and then conducting a customer survey to create a specification of requirements. Based on the specification of requirements, various solutions are generated for the transport of the Molle wagon to be facilitated. The various solution proposals are then screened down until only one concept remains.

The resulting concept consists of two units which are placed in each end of the Molle wagon. The devices are interconnected and controlled using a wireless control. The mechanism that enables the Molle wagon to travel in all directions is made up of two wheels per unit, which means that the unit can spin around its own axis and thus be placed in all horizontal directions. The units that are placed on the wagon are called control- and transportmodules.

The concept is designed as a CAD model and then evaluated using a functional model. The concept makes it possible to move the Molle wagon forward with the help of only two persons and makes the wagon easily move in all horizontal directions. With the intended control mechanism only one person is necessary for steering and another person to keep an eye around the wagon due to its size. The concept is also applicable on other wagons at the Gothenburg Opera.

The concept has potential but requires further development within, above all, programming before it can be put to use. Further calculations and tests are necessary to ensure that there will not be any damage to the floor caused by the control- och transportmodule. The concept's design should also be optimized so that the concept becomes smaller and less heavy.

## Förord

Denna rapport är resultatet av ett genomfört kandidatarbetet vid institutionen för industri- och materialvetenskap på Chalmers tekniska högskola under våren 2019. Rapporten beskriver ett produktutvecklingsprojekt som genomförts på Molle-vagnen på GöteborgsOperan. Examinator för kandidatarbetet är professor Johan Malmqvist och handledare är doktorand Maria Siiskonen som vi vill tacka för stort engagemang och uppmuntrande ord. Vidare vill vi tack Anders Boström som tog sig tid att förklara mekanik och Jonas Fredriksson som vi fick låna Arduinorobotar av för att skapa en funktionsmodell.

Kandidatgruppen vill också tacka Stora teatern, Malmö Opera, Dramaten, Kungliga Operan och Den Norske Opera & Ballett som låtit oss besöka deras verksamheter och förklarat hur de arbetar. Inte minst riktas ett stort tack till GöteborgsOperan och deras anställda som ställt upp på intervjuer och tillåtit en genomskinlig kommunikation när data har inhämtats för att kunna genomföra arbetet. Sist men inte minst vill vi tacka Ola Lindstedt som välkomnat oss till GöteborgsOperan och engagerat sig i vårt arbete.

Jasmine Björk, Kajsa Magnusson och Sofia Rosén  
Göteborg, Maj 2019

# Innehåll

<b>Ordlista</b>	<b>ix</b>
<b>Figurer</b>	<b>xi</b>
<b>Tabeller</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.2 Problemanalys . . . . .	4
1.3 Uppdragsbeskrivning . . . . .	6
1.4 Syfte . . . . .	6
1.4.1 Mål . . . . .	6
1.5 Avgränsningar . . . . .	7
<b>2 Metod</b>	<b>9</b>
2.1 Problemundersökningsfas . . . . .	9
2.1.1 Identifiering av befintlig produkt . . . . .	9
2.1.2 Kartläggning av kundens röst . . . . .	11
2.1.3 Kravspecifikation . . . . .	13
2.2 Utvecklingsfas . . . . .	13
2.2.1 Konceptgenerering . . . . .	13
2.2.2 Val av koncept . . . . .	15
2.2.3 Konstruktion av koncept . . . . .	17
2.2.4 Utvärdering av koncept . . . . .	19
<b>3 Resultat</b>	<b>21</b>
3.1 Problemundersökningsfas . . . . .	21
3.1.1 Identifiering av befintlig produkt . . . . .	21
3.1.2 Kartläggning av kundens röst . . . . .	22
3.1.3 Kravspecifikation . . . . .	25
3.2 Utvecklingsfas . . . . .	28
3.2.1 Konceptgenerering . . . . .	29
3.2.2 Val av koncept . . . . .	40
3.2.3 Konstruktion av koncept . . . . .	51
3.2.4 Utvärdering av koncept . . . . .	60
<b>4 Diskussion</b>	<b>65</b>

4.1	Syfte och Mål . . . . .	65
4.2	Metod . . . . .	65
4.3	Färdigt koncept . . . . .	66
4.4	Samhällsnytta och etik . . . . .	69
<b>5</b>	<b>Slutsats och vidareutveckling</b>	<b>71</b>
5.1	Slutsats . . . . .	71
5.2	Vidareutveckling . . . . .	71
	<b>Referenser</b>	<b>73</b>
	<b>Bilagor</b>	<b>I</b>
<b>A</b>	<b>Intervjufrågor</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Kundbehovslista</b>	<b>V</b>
<b>C</b>	<b>Fri idégenerering</b>	<b>VII</b>
<b>D</b>	<b>Första konceptkatalogen</b>	<b>IX</b>
<b>E</b>	<b>Elimineringsmatris</b>	<b>XIII</b>
<b>F</b>	<b>Pughs konceptvalsmatris 1 och 2</b>	<b>XV</b>
<b>G</b>	<b>Ritningar på konceptet</b>	<b>XVII</b>
<b>H</b>	<b>DFA-analys</b>	<b>XXIII</b>
<b>I</b>	<b>MHU</b>	<b>XXVII</b>
<b>J</b>	<b>FMEA</b>	<b>XXXI</b>

# Ordlista

**Dekor** - används på scen för att skapa den miljö som föreställningen utspelar sig i. I denna rapport är det framförallt dekorväggar som benämns vilket är dekor som ska se ut som väggar.

**Duka scenen** - kallas det när dekor och rekvisita ställs fram på scenen inför en kommande föreställning.

**Pundare** - en vikt. Den används oftast för att skapa stabilitet på till exempel vagnar.

**Riva scenen** - kallas det när dekor och rekvisita till en föreställning plockas bort efter att repetitionen eller föreställningen är slut.

**Rå** - de stänger som dekorväggarna hängs upp i, dessa är monterade i scenrummets tak och går att fira upp och ner.

**Sidoscen** - på båda sidor om scenen finns stora utrymmen som kallas sidoscen. Här lagras dekor mellan föreställningarna för de produktioner som är i gång.

**Straffa** - att spänna fast dekor mot en vagn så att den inte välter.

**Teatergatan** - en stor korridor som binder ihop kontorsdelen med verkstad och scenområde, där Molle-vagnen står då den inte brukas.



# Figurer

1.1	En typisk A-vagn lastad med en tunn dekorvägg. . . . .	2
1.2	En liten A-vagn för mindre dekor. . . . .	2
1.3	GöteborgsOperans Molle-vagn som används vid transport av stora dekorväggar. . . . .	3
1.4	Tallrikshjulen som sitter monterade på Molle-vagnen. . . . .	4
1.5	Molle-vagnens rörelse från teatergatan in på scen. . . . .	5
2.1	Flödesschema över arbetsprocessen som har delats in i två övergripande faser, en problemundersökningfas och en utvecklingsfas. . . . .	10
3.1	Funktionell modell av Molle-vagnen. . . . .	22
3.2	Funktionsträd som visar huvudfunktionen uppdelad i delproblem. . . . .	29
3.3	Helhetskonceptet Multimover. . . . .	30
3.4	Helhetskonceptet Visual act series (Visual act, 2019). . . . .	31
3.5	Testbygge av en Visual act enhet på Norske Opera og Ballet. . . . .	31
3.6	Helhetskonceptet Move-e-star (Move-e-star, 2019). . . . .	32
3.7	Helhetskonceptet KUKA omniMove (KUKA, 2019). . . . .	33
3.8	Helhetskonceptet KUKA Mobile Platform 1500 (KUKA, 2019). . . . .	33
3.9	Helhetskonceptet Omron LD series (OMRON, 2019). . . . .	34
3.10	Patent EP 06775827.6, ett hjul av KUKA (Espacenet, 2019). . . . .	35
3.11	Patent US4223753A, en transportanordning (Google Patents, 2019). . . . .	35
3.12	Patent US6581703B2, en transportanordning (Google Patents, 2019). . . . .	36
3.13	Ritning av vinnande koncept H. . . . .	51
3.14	Kontrollen som styr koncept med hjälp av knappar och en display. . . . .	51
3.15	Systemarkitektur för konceptet baserat på funktionsträdet. . . . .	52
3.16	Konstruerad bottenplatta i rostfritt stål. . . . .	54
3.17	Det skyddande locket till konceptet. . . . .	54
3.18	Konceptet med det skyddande locket. . . . .	54
3.19	Konceptet med alla ingående komponenter, utan locket. . . . .	54
3.20	Termisk ledning mot hårdhet för lämpliga metaller till bottenplattan. . . . .	56
3.21	Densitet mot pris för lämpliga metaller till bottenplattan. . . . .	56
3.22	Densitet och pris för lämpliga material för locket. . . . .	57
3.23	Elasticitetsmodulen mot priset för materialen till locket. . . . .	58
3.24	Sträckgränsen mot priset för material till locket. . . . .	58
3.25	Tillverkningskostnad för locket i blått och bottenplattan i rött. . . . .	59
3.26	Roboterna är placerade så att vagnen kan åka framåt eller bakåt. . . . .	62
3.27	Roboterna är placerade så att vagnen kan snurra kring sin egen axel. . . . .	62

3.28 Robotarna är placerade så att vagnen åker diagonalt. . . . . 62



# Tabeller

3.1	Kravspecifikation för Molle-vagnen med förbättrad transportlösning .	27
3.2	Kvarvarande lösningsförslag efter en första sällning. . . . .	37
3.3	En översiktlig beskrivning av de kvarvarande lösingsförslagen för delfunktionen <i>Tillgodose mobilitet</i> . . . . .	38
3.4	Morfologisk matris med lösningsförslag för varje delfunktion. . . . .	41
3.5	Beskrivning av de koncept som kvarstod efter att elimineringsmatrisen och multiröstningen hade genomförts. . . . .	44
3.6	Pughmatris nr. 3 genomförd med koncept L som referenslösning. . . .	48
3.7	Genomförd konceptpoängsättningsmatris med de resterande koncepten. . . . .	50
3.8	Komponentlista som visar vad som skall tillverkas eller köpas in, komponenternas vikt samt hur många som krävs för en styr- och transportmodul. . . . .	53
3.9	Kostnad för vardera komponent samt total kostnad för ett helt koncept.	59
3.10	Resultat av DFA analys. . . . .	60



# 1

## Inledning

Att gå på GöteborgsOperan har sedan länge varit en central del av Göteborgs kulturliv. GöteborgsOperan är ett hus för alla med en blandning av opera, dans, musikal och konsert som får publiken att drömma sig bort i ett enastående äventyr. År 2017 gavs 372 föreställningar av varierande genre på GöteborgsOperan och siffran är fortsatt hög idag (GöteborgsOperan, 2019). Det stora antalet föreställningar medför att scenen varje dag byggs om från repetition av en produktion till föreställning av en annan vilket skapar hög tidspress. Varje år körs flera olika produktioner parallellt med egen rekvisita och dekor som måste lagras och tas fram mellan föreställningarna. GöteborgsOperan arbetar för att upprätthålla en ergonomisk, säker och effektiv scenkonst. När dekorer blir större och tyngre ställs högre krav på transporten till och från scen för att arbetet ska fortlöpa på ett säkert och smidigt sätt.

Kapitel 1.1 presenterar bakgrunden till kandidatuppsatsen, där förflyttning av dekorelement i form av dekorväggar beskrivs och analyseras. Vidare i avsnitt 1.2 görs en problemanalys där problemen med dagens förflyttning identifieras. I kapitel 1.3 beskrivs uppdraget som sedan följs upp av syftet i kapitel 1.4 och målet med projektet i kapitel 1.4.1. I avsnitt 1.5 beskrivs de avgränsningar som gjorts.

### 1.1 Bakgrund

Några av de största dekorelementen är dekorväggar. I dagsläget transporteras dekorväggar på GöteborgsOperan med hjälp av olika typer av vagnar. I figur 1.1 och 1.2 visas de vanligt förekommande vagnarna, A-vagn och halv A-vagn. Den så kallade A-vagnen i figur 1.1 påminner om ett A och drivs av människokraft. Dessa vagnar belastas med dekorväggar och kräver minst fyra scentekniker för att på ett enkelt och ergonomiskt sätt driva och styra vagnen. Vagnen är belastad med pundare som stabiliserar för att undvika att vagnen välter vid förvaring samt förflyttning. Andra mindre dekorväggar transporteras på halva A-vagnar, se figur 1.2. Vagnen transporteras på länkhjul och även dessa kräver kroppskraft för att driva och styra vagnen.



**Figur 1.1:** En typisk A-vagn lastad med en tunn dekorvägg.



**Figur 1.2:** En liten A-vagn för mindre dekor.

De betydligt större dekorväggarna förvaras på den tredje typen av vagn, den så kallade Molle-vagnen, se figur 1.3. Enligt O. Lindstedt (Personlig kommunikation, 30 januari 2019) är Molle-vagnen döpt efter Molle Molin som tillsammans med Per-Åke Svensson konstruerat vagnen på GöteborgsOperan. Inspiration till vagnen har, enligt M. Molin (Personlig kommunikation, 30 januari 2019), hämtats från operorna i Rom och Köpenhamn där liknande vagnar används men Molle-vagnen har moderniserats efter GöteborgsOpernas krav och behov vad gäller storlek och utförande.

GöteborgsOperan tillverkade vagnen för att möjliggöra en effektiviserad förflyttning samt förvaring av dekorväggar då dagens föreställningar kräver fler samt mer robust dekor. Tidigare förflyttades dekorväggar med hjälp av A-vagnarna och en höj- och sänkbar vagn för att möjliggöra upphängning av dekorväggar i rå. Då A-vagnarna enbart möjliggjorde förflyttning av en dekorvägg i taget, på grund av viktgräns, tog detta moment lång tid att genomföra och krävde mycket kraft från scentekniker. Molle-vagnen tillverkades inför en specifik föreställning som krävde många dekorväggar. Molle-vagnen möjliggjorde inte bara snabbare förflyttning av dekorväggar utan skapade även lagringsplats. Efter att föreställningsperioden var slut valde GöteborgsOperan att behålla vagnen eftersom den förenklade arbetet med att kunna transportera samt förvara fler och större dekorväggar. Tack vare att man nu kunde förvara större dekorväggar fortsattes tillverkningen av dessa.



**Figur 1.3:** GöteborgsOperans Molle-vagn som används vid transport av stora dekorväggar.

## Molle-vagnen

Molle-vagnen, som visas i figur 1.3, används i dagsläget för att transportera och förvara stora dekorväggar som hängs i rå i taket. Den är 8 meter hög, 2.7 meter bred, 18 meter lång och väger olastad 1300 kg. En dekorvägg väger mellan 350-500 kg och vagnen kan maximalt lastas med 6000 kg men lastas sällan med mer än 4000 kg. Vagnen består av en aluminiumram och ett fundament i trä. På fundamentet finns 24 tallrikshjul, i figur 1.4 visas ett tallrikshjul. Tallrikshjulen möjliggör förflyttning i alla horisontella riktningar samt rotation kring egen axel vilket har varit ett krav för att kunna få upp rätt dekorvägg i rätt rå då det förekommer att vagnen måste kunna rotera på scen.

Transportsträckan från och till scen är maximalt 100 meter. Molle-vagnen är placerad i teatergatan och för att förflytta vagnen till scenområdet används en dragtruck samtidigt som en person går bredvid och ser till att kollision ej inträffar. När vagnen befinner sig på scenområdet används i dagsläget en eller två truckar som knuffar vagnen i scenens djupled för att positionera den mot rätt rå. Det förekommer även att scentekniker med hjälp av kroppskraft puttar vagnen. Vagnens utförande och design medför att den måste hanteras med försiktighet då den är tung samt inte klarar av skarpa svängar. Då det fanns ett önskemål att utveckla Molle-vagnen samt att styrning och förflyttning anses vara omständligt valde projektgruppen att titta specifikt på dessa moment.



**Figur 1.4:** Tallrikshjulen som sitter monterade på Molle-vagnen.

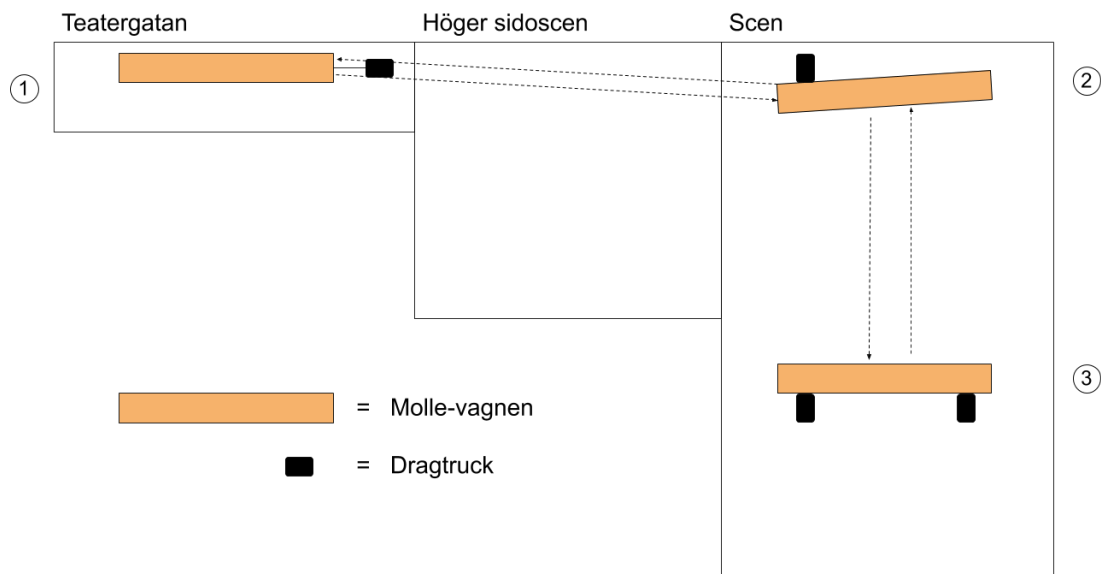
## 1.2 Problemanalys

Dagens drivning av Molle-vagnen är problematisk då vagnen är stor och otymplig. I dagsläget drivs och styrs den av en eller två truckar. Om vagnen är belastad med minst en dekorvägg på vardera sida medför det att sikten blir dålig eftersom den som kör trucken inte kan se vad som sker på andra sidan av vagnen.

Vagnen transporteras med startpunkt från teatergatan, genom höger sidoscen och vidare in på scen för att sedan skjutas i djupled. Rörelsen visas i figur 1.5 och har delats in i tre moment. I moment 1 visas förflyttningen från teatergatan till scen som kräver minst två personer varav en kör trucken som driver Molle-vagnen framåt och den andra ser till att vagnen inte åker in i något. Moment 2 visar när vagnen befinner sig på scen och förflyttas i djupled med hjälp av en truck. Trucken får då putta en sida av vagnen i taget tills dess att vagnen har förflyttats den önskade sträckan. Alternativet till att en truck puttar vagnen i djupled är att två truckar används, vilket visas i moment 3.

När vagnen förflyttas i djupled är minst sex personer involverade, men det är vanligtvis fler. Många gånger står det människor i vagnen under förflyttningen. Det är därför viktigt att truckarna kör med försiktighet när de puttar vagnen för att minimera risk för personskada och att vagnen välter. Med snabba och hårda knuffar riskerar vagnen att välta. Avståndet mellan truckarna är 16 meter vilket försvårar kommunikationen mellan förarna. Av detta skäl används oftast en truck då det ur ett säkerhetsperspektiv upplevs vara bättre för de som kör. Människorna som står i vagnen väntar på att Molle-vagnen ska befinna sig vid rätt rå så att de på snabbast och enklast sätt kan lossa dekorväggarna och hänga upp dessa i rå.

Eftersom styrning med hjälp av en eller två truckar kan vara besvärlig medför det att resterande personer hjälper till för att undvika krock och rätta till vagnen så att den står på rätt plats vid rätt tillfälle. Då vagnen är åtta meter hög och riskerar att kollidera med detaljer som hänger ned från taket brukar en person vara ansvarig för



**Figur 1.5:** Molle-vagnens rörelse från teatergatan in på scen.

att se över enbart de detaljer som hänger i taket.

När Molle-vagnen används stannar övrigt arbete upp då det krävs fullt fokus på att kommunikationen ska fungera mellan de inblandade för att vagnen ska bli korrekt navigerad. Inget annat arbete går att uträtta på scenområdet då Molle-vagnen används utan scentekniker står och väntar på att få bygga om scenen inför kommande föreställning. Utöver problemet med styrning av vagnen i djupled så är Molle-vagnen bra då den underlättar tungt arbete för scentekniker som inte behöver utföra hela momentet med kroppskraft. Tiden det tar att förflytta Molle-vagnen är märkbart kortare i jämförelse med när A-vagnarna användes. Däremot är detta ett moment som kan förenklas och effektiviseras. Molle-vagnen i sig är stor och otymplig men då den kan lagra upp till sju dekorväggar samtidigt möjliggör vagnen att stor yta på GöteborgsOperan kan användas till annat.

Med snäva tidsramar är säkerheten alltid viktigare än att applicera den senaste teknologin vilket leder till att beprövade metoder gärna återanvänds. På grund av att tidsbristen har begränsat utvecklingen finns det förbättringsmöjligheter för Molle-vagnen som tidigare inte har prioriterats även om kunskapen finns tillgänglig på arbetsplatsen. Uppgiften är att kartlägga användarnas önskemål för en förbättrad Molle-vagn vilket skapar goda förutsättningar för att utveckla en innovativ lösning.

Sammanfattningsvis presenteras följande problem som har identifierats med Molle-vagnen.

Transporten av Molle-vagnen:

- är osäker eftersom vagnen riskerar att åka in i saker på grund av dålig sikt.
- kräver många involverade då vagnen är svår att styra på grund av dess otymplighet.
- är tidskrävande då momentet att förflytta vagnen i sidled kräver precision och noggrannhet.
- är svår att manövrera vid byte av riktning. Detta på grund av att tallrikshjulen är tröga vid start och kräver stor kraft.
- är tidskrävande då många behöver involveras och rörelsen drivs av en till två truckar som måste byta plats beroende på vilken riktning som önskas.

### 1.3 Uppdragsbeskrivning

Den nuvarande hjul- och driftslösningen gör att Molle-vagnen är svårmanövrerad då truck krävs för att styra och förflytta den. Projektgruppen valde därför att fokusera på problemen kring transport och styrning av Molle-vagnen. Vidareutveckling av dessa områden kommer resultera i en enklare och mer tidseffektiv förflyttning. En effektivisering av transporten skulle minska tidspressen vilket i sin tur skulle resultera i en mindre stressande arbetsmiljö för scentekniker. Intressenter för projektet är Chalmers tekniska högskola, vid vilken kandidatarbetet skrivs, GöteborgsOperan där lösningen kommer att beprövas samt scenteknikerna på GöteborgsOperan som kommer att arbeta med lösningen.

### 1.4 Syfte

Syftet med projektet på GöteborgsOperan är att vidareutveckla den befintliga Molle-vagnen för att åstadkomma en förbättrad transportlösning av dekorväggar. Målsättningen är att på ett enklare och mer effektivt sätt hantera styrning och manövrering av vagnen.

#### 1.4.1 Mål

Målet med projektet är att ta fram ett koncept för att förbättra transporten av Molle-vagnen. Lösningförslaget kommer att presenteras till GöteborgsOperan som en prototyp i form av en funktionsmodell och en CAD-modell (Computer-aided design) .

En vidareutvecklad styr-och transportmodul för Molle-vagn ska:

- Kunna förflyttas i alla horisontella riktningar.
- Medföra att det endast krävs två personer närvarande vid förflyttning av vagnen.
- Medföra att det endast krävs en person för styrning av vagnen.
- Kunna appliceras på övriga vagnar på GöteborgsOperan.



## 1.5 Avgränsningar

Projektet är inriktat på att främst finna en förbättrad transportlösning av Mollevagnen. Inom transport inkluderas styrning och drivning vilka är de aspekter som förväntas kunna åstadkomma att höja kundvärdet mest. Scentekniker utsätts ofta för en stressad arbetsmiljö då byte sker mellan olika föreställningar. Transporten i djupled på scen var de moment som var mest tidskrävande. Genom en effektivisering av detta moment skulle tid kunnat optimeras och därför höja kundvärdet.

Vidare fokuserar projektet på att hålla en hög standard vad det gäller säkerhet då sannolikheten för olyckor ska hållas låg. Projektgruppen kommer att föreslå en lösning på det mekaniska problemet men kommer ej utforma en färdigprogrammerad lösning som går att applicera på Mollevagnen. Då byggtiden är begränsad till tre veckor kommer helhetskonceptet presenteras i form av en funktionsmodell och en CAD-modell, vilka kommer att bidra till att krav och mål verifieras.



# 2

## Metod

Detta kapitel beskriver vilken metodik som har använts för att genomföra projektet. I figur 2.1 visas ett flödesschema över metodiken där varje aktivitet som projektet har delats upp i redovisas. För varje aktivitet visas ingående moment samt resultatet av den genomförda aktiviteten som utgående moment. Utgående moment från en aktivitet tjänar som ingående moment i nästa. Dessutom visas vilken information som har tillförts för att aktiviteten ska kunna genomföras samt metoden för att utföra aktiviteten.

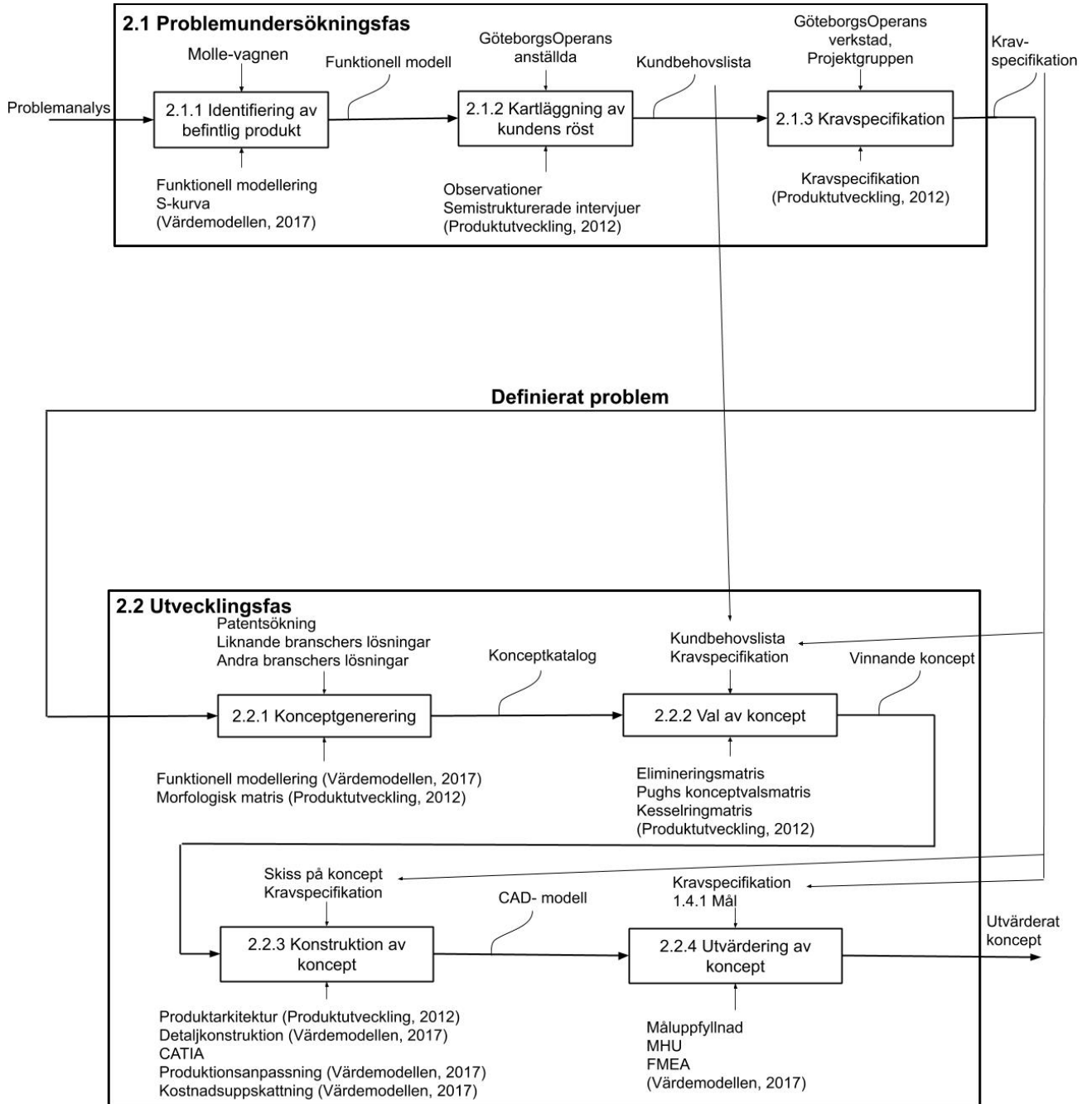
Eftersom projektets inriktning inte var känd vid projektets start har arbetsprocessen delats in i två övergripande faser: en problemundersökningsfas vilken beskrivs i kapitel 2.1 och en utvecklingsfas vilken beskrivs i kapitel 2.2. Under problemundersökningsfasen identifieras problem med den befintliga produkten och kundens röst kartläggs för att avgöra vad projektet ska inrikta sig mot för att höja kundvärdet mest. Som sista aktivitet i problemundersökningsfasen skapas en kravspecifikation för produkten vilken används under utvecklingsfasen. Utvecklingsfasen använder informationen som inhämtas under problemundersökningsfasen för att omformulera problemet till en huvudfunktion uppdelad i delfunktioner. Koncept genereras som ska uppfylla huvudfunktionen för att därefter sällas till ett koncept vilket sedan konstrueras och utvärderas.

### 2.1 Problemundersökningsfas

Under problemundersökningsfasen identifieras vilken funktion som projektet skall inrikta sig mot för att höja kundvärdet mest genom att identifiera den befintliga produkten i kapitel 2.1.1. Därefter kartläggs kundens röst i kapitel 2.1.2 för att slutligen skapa en kravspecifikation i kapitel 2.1.3.

#### 2.1.1 Identifiering av befintlig produkt

Det första ledet i att förbättra en produkt är att beskriva den befintliga produkten och därigenom hitta var kundvärdet kan höjas. En produkts kundvärde kan definieras som en kvot mellan *Tillfredsställelse av kundens behov* och *Förbrukning av kundens resurser* och är avgörande för att det framtagna konceptet ska bli framgångsrikt (Värdemodellen, 2017). Den ovanstående kvoten resulterar i att täljaren kan ökas genom att tillfredsställa behoven på ett bättre sätt än den befintliga lösningen gör eller att nämnaren minskas genom att reducera kundens resursförbruk-



**Figur 2.1:** Flödesschema över arbetsprocessen som har delats in i två övergripande faser, en problemundersökningsfas och en utvecklingsfas.

ning för att skapa ett högre kundvärde. Genom att förstå den befintliga produkten framgår var kundvärdet kan höjas och vad projektet således bör inrikta sig mot i kommande aktiviteter.

Identifieringen av den befintliga produkten görs genom att skapa en funktionell modell och genomföra en analys av produktens placering på S-kurvan.

### **Funktionell modell**

För att kunna identifiera på vilket sätt kundens behov kan tillfredsställas bättre och resursförbrukningen minskas definieras produktens befintliga funktioner. En funktionell modell skapas där de befintliga funktionerna hos produkten tydliggörs genom att produkten delas upp i sina funktionsbaserade fysiska beståndsdelar. De ingående delarna kopplas sedan samman med hjälp av ett verb som beskriver hur en beståndsdel förhåller sig till en annan och vad som krävs för att beståndsdelens ska kunna uppfylla sin funktion. Från modellen går det att se när kundens resurser krävs för att en beståndsdel ska kunna uppfylla sin funktion. Delar där kunden är inblandad är möjliga att utveckla så att kundens resursförbrukning minskar. Den funktionella modellen ger också en förtydligad bild av vilka beståndsdelar som krävs för att den befintliga produkten ska möjliggöra sin funktion (Värde modellen, 2017).

### **Produktens placering på S-kurvan**

En förståelse för produktens plats på marknaden är avgörande för att fokus under utvecklingsfasen ligger på rätt sak. Det skiljer sig stort mellan en produkt som precis har lanserats och en produkt som har funnits på marknaden länge och där många företag producerar samma sak. För en nylanserad produkt är det huvudfunktionen som är intressant och hur väl produkten genomför denna. För en produkt som har funnits på marknaden länge blir tilläggfunktioner vid sidan om huvudfunktionen och priset intressant för att produkten ska fortsätta vara konkurrenskraftig. Tilläggfunktioner är funktioner som bidrar till ett högre kundvärde genom att fler kundbehov kan tillfredsställas utöver huvudfunktionen hos produkten. Var en produkt befinner sig på marknaden brukar beskrivas med hjälp av en teknologisk S-kurva som beskriver produktprestanda över tid. S-kurvan används som hjälpmedel för att hitta vad som bör utvecklas för att kundvärdet ska höjas som mest. När en ny produkt har lanserats och befinner sig i början på S-kurvan läggs fokus på prestanda vilket innebär att det framförallt är huvudfunktionen som utvecklas medan det i slutet av S-kurvan handlar om att pressa priset för att höja kundvärdet (Värde modellen, 2017).

### **2.1.2 Kartläggning av kundens röst**

För att säkerställa en attraktiv produkt för kunden genomförs en kundundersökning. Från kapitel 2.1.1 hämtas vilken typ av funktioner som bör förbättras för att höja kundvärdet. Funktionerna används för att anpassa kundundersökning så att den kommande produktutvecklingen blir framgångsrik. I samband med kundundersökningen skapas en förståelse för produktens användningsområde och vilka

av kundens behov som produkten tillfredsställer och inte tillfredsställer (Produktutveckling, 2012). Kartläggningen av kundens röst genomförs genom att först definiera kunden för att därefter genomföra observationer och intervjuer för att samla in rådata vilken används för att skapa en kundbehovslista. Kundbehovslistan används för att skapa en kravspecifikation men återkommer under projektets gång för att säkerställa att det framtagna konceptet blir attraktivt för kunden.

### **Definiera kund**

Det första steget för att genomföra en relevant kundundersökning är att förstå vem som är kund. Detta görs genom att definiera marknadssegmentet som den nya produkten ska utvecklas för. Ett marknadssegment består av kunder som är homogena vilket innebär att de har samma uppfattning av kundvärde, har tillräcklig köpkraft och går att bearbeta i den betydelse att det ska gå att kommunicera och leverera produkten till dem (Värde modellen, 2017).

### **Observationer**

När kunden är definierad genomförs observationer av produkten när kunden använder den vilket bidrar med viktig information om kundbehov. Observationer kan genomföras helt passivt, genom att endast stå bredvid och se på eller innebära arbete sida vid sida med kunden. Det senare tillåter projektgruppen att få egna erfarenheter av produktens användning. Observationerna skall helst genomföras i det aktuella användningsområdet.

### **Intervjuer**

Parallellt med observationerna genomförs semistrukturerade intervjuer med den definierade kunden där projektgruppen tillsammans med kunden diskuterar behov. Att intervjuerna är semistrukturerade innebär att det finns förutbestämda frågor som ställs till alla som intervjuas men att följdfrågor varierar beroende på vad kunden berättar. På så sätt uppmuntras egna reflektioner (Academic Work, 2019). Frågorna som ställs baseras på observationer som gjorts och kompletteras med generella frågor kring arbetet. För att få en bred förståelse för produkten inkluderas åsikter från beställaren av projektet såväl som de som ska tillverka och avveckla produkten.

### **Kundbehovslista**

Data från kundundersökningen översätts till behov och sammanställs i en kundbehovslista som innehåller såväl explicit uttryckta som latent behov. De latent behoven kan antingen vara behov som kunden tar för givet eller behov som kunden inte tror är möjliga att uppfylla (Produktutveckling, 2012). Kundbehoven uttrycks i termer av *vad* produkten ska göra istället för *hur* den ska göra det. Behoven delas därefter in i kategorier beroende på vilken funktion behovet avser. Behov som liknar varandra slås ihop till övergripande behov som inkluderar fler aspekter. Utifrån behoven som har analyserats tillsammans med observationer som projektgruppen har gjort och intressenters åsikter tas beslut om vilken funktion som har potential

att höja kundvärdet mest genom att utvecklas. Kundbehovslistan används för att skapa kravspecifikationen och återkommer vid sållning av koncept.

### 2.1.3 Kravspecifikation

När kundbehovslistan har sammanställts används den som utgångspunkt för att skapa en kravspecifikation som centreras kring den valda funktionen. I kravspecifikationen delas de listade behoven upp i krav och önskemål men kompletteras också med krav och önskemål från projektgruppen samt andra intressenter såsom tillverkare och de som utför underhåll av den befintliga produkten. Krav är funktioner eller prestanda som konceptet måste uppfylla för att det ska vara aktuellt att använda medan önskemål höjer kundvärdet men inte är nödvändiga. Önskemålen viktas även för att avgöra vilka önskemål som höjer kundvärdet mest och därför prioriteras under konceptvalet när koncepten jämförs med varandra. Krav och önskemål delas upp i kategorier för att sammanställa de krav och önskemål som berör samma område. Varje krav och önskemål har ett måttetal för att det ska vara möjligt att verifiera om krav respektive önskemål har uppnåtts av det genererade konceptet. Vidare kompletteras kravspecifikationen med önskemålets viktning, verifieringsmetod samt kravställare. Kravspecifikationen används i allt från konceptgenerering och konceptval till att verifiera att det framtagna konceptet faktiskt uppfyller de krav som ställts.

## 2.2 Utvecklingsfas

När projektet har avgränsats till en huvudfunktion påbörjas utvecklingsfasen. Utvecklingsfasen utgår från informationen som har inhämtats och kravspecifikationen som har utformats i problemundersökningsfasen för att generera olika koncept i kapitel 2.2.1. De genererade koncepten sållas sedan ned tills dess att ett vinnande koncept kvarstår i kapitel 2.2.2. Därefter konstrueras konceptet i kapitel 2.2.3 och för att till sist utvärderas i kapitel 2.2.4.

### 2.2.1 Konceptgenerering

Utifrån kundundersökningen har en huvudfunktion att förbättra identifierats. Med utgångspunkt i de krav som konceptet ska uppfylla skapas en ny funktionell modell i form av ett träd-diagram där huvudfunktionen bryts ned i delfunktioner. Därefter genomförs en extern och en intern idégenerering för att hitta lösningar till huvudfunktionen och delfunktionerna. De genererade lösningsförslagen syntetiseras för att till sist kombineras och generera så många principiellt tänkbara helhetskoncept som möjligt i en morfologisk matris vilket resulterar i en första konceptkatalog.

#### Träd-diagram

Innan konceptgenereringen påbörjas görs en ny funktionell modell i form av ett träd-diagram som är begränsad till den valda huvudfunktionen. I träd-diagrammet bryts huvudfunktion ned i delfunktioner som gör det möjligt för konceptet att uppfylla

de krav som ställts i kravspecifikationen. Varje delfunktion beskrivs i form av ett verb och ett substantiv. Genom att visa delfunktionerna som konceptet ska innehålla kan idégenereringen ske för såväl huvudfunktion som delfunktioner för att kraven ska uppfyllas (Produktutveckling, 2012).

### **Extern idégenerering**

En extern idégenerering genomförs för att hitta befintliga lösningar till huvudfunktionen såväl som delfunktionerna (Produktutveckling, 2012). Huvudfunktion och delfunktion hämtas från trädigrammet i kapitel 2.2.1 för att därefter användas som utgångspunkt vid idégenereringen. Den externa idégenereringen består av studier kring liknande verksamheters lösningar, lösningar inom andra branscher samt en patentsökning vilka resulterar i inspiration inför den interna idégenereringen. Genom att undersöka vilka lösningar som redan finns går det att undvika att tid läggs på att uppfinna något som redan existerar vilket skulle göra att den investerade tiden inte gav utdelning.

#### Liknande verksamheters lösningar

Liknande verksamheter undersöks eftersom de hanterar samma typ av problem. Intervjuer och observationer genomförs på arbetsplatsen för att hitta likheter och skillnader i arbetssätt och lösningar jämfört med den miljö som produkten används i. Genom att undersöka lösningar hos liknande branscher går det att upptäcka lösningar som fungerar bra men även lösningar som inte har fungerat så bra som förväntat och varför de inte har fungerat. På så sätt går det att ta hänsyn till vad som hade kunnat göras bättre och ta med det som en input till konceptgenereringen.

#### Andra branschers lösningar

Andra branscher undersöks eftersom samma problem kan förekomma i andra miljöer och där produkten har ett annat syfte men fortfarande löser samma problem. Genom att undersöka andra branscher finns möjligheten att hitta ett koncept som inte tidigare har testats i den arbetsmiljö som projektet utförs i. För att hitta andra branscher med liknande problem genomförs en sökning på internet.

#### Patentsökning

Patentsökningen genomförs med hjälp av patentdatabaser och resulterar både i inspiration inför konceptgenereringen men säkerställer även att hjulet inte uppfinns på nytt. De olika delfunktionerna ligger till grund för undersökningen men sökning genomförs även för helhetslösningar.

### **Intern idégenerering**

Den interna idégenereringen genomförs både individuellt och i grupp. Idégenereringen genomförs genom att gå igenom en delfunktion från trädigrammet i kapitel 2.2.1 i taget. Varje gruppmedlem förbereder sig genom att fundera på lösningar till delfunktionerna innan idégenereringsmötet påbörjas. Under mötet diskuteras en funktion i taget och de olika lösningsförslagen antecknas på papper och skissas vid behov tills dess att idéerna sinar.



## Syntetisering av lösningar

När de olika lösningsförslagen till varje delfunktion från den externa och interna idégenereringen har sammanställts i en tabell, sällas de lösningar bort som inte är genomförbara. Detta kan till exempel bero på att de är för tekniskt avancerade eller inte är applicerbara i den miljö där de ska användas. Genom att i ett tidigt stadium sälla bort de lösningsförslag som tydligt inte är realiserbara förenklas den kommande konceptgenereringen. Mängden genererade helhetskoncept minskar men har också större sannolikhet att vara framgångsrika. De kvarvarande lösningsförslagen beskrivs i större detalj för att öka förståelsen innan de används i den morfologiska matrisen.

## Morfologisk matris

Den morfologiska matrisen utgår från den sållade tabellen med lösningsförslag. Varje delfunktion sätts in i den morfologiska matrisen tillsammans med sina respektive lösningar. Syftet med den morfologiska matrisen är att generera så många principiellt tänkbara lösningar som möjligt genom att systematiskt kombinera lösningar till de olika delproblemen (Produktutveckling, 2012). För varje delfunktion väljs ett lösningsförslag vilket kombineras med ett lösningsförslag för nästa delfunktion tills dess att ett lösningsförslag för varje delfunktion har valts. De kombinerade lösningsförslagen skapar tillsammans ett helhetskoncept där samtliga delfunktioner uppfylls. Varje genererat helhetskoncept noteras. Metoden tar dock ingen hänsyn till vilka lösningsförslag som är kompatibla med varandra och kommer därför generera ett större antal helhetskoncept än vad som är genomförbart. Koncept som inte är realiserbara tas därför bort innan en konceptkatalog skapas. Konceptkatalogen sällas tills dess att ett vinnande koncept kvarstår.

### 2.2.2 Val av koncept

För att sälla bland koncepten och få fram det bästa används tre olika metoder: en elimineringsmatris, Pughs konceptvalsmatris och en konceptpoängssättningsmatris. Syftet med metoderna är att det bästa konceptet ska väljas objektivt och på så sätt säkerställa en framgångsrik produkt (Produktutveckling, 2012). Innan konceptkatalogen från elimineringsmatrisen används i Pughs konceptvalsmatris görs en sållning av koncepten vilket skapar en ny konceptkatalog. Den nya konceptkatalogen vidareutvecklas för att förenkla kommunikationen inom gruppen innan den används i Pughs konceptvalsmatris. När de tre metoderna har genomförts kvarstår ett koncept vilket beskrivs utförligt.

## Elimineringsmatris

En elimineringsmatris används för att sälla bland alla koncept som tagits fram i samband med den morfologiska matrisen. Koncepten som inte uppfyller alla krav som finns med i kravspecifikationen elimineras. Ytterligare sållningskriterier är att konceptet är för avancerat för att det ska vara möjligt att genomföra, inte passar företaget eller att tillräckligt med information saknas (Produktutveckling, 2012). Efter att elimineringsmatrisen genomförts uppdateras konceptkatalogen så att den endast inkluderar de koncept som inte eliminerades.

### **Vidare sällning av koncept**

Om konceptkatalogen innehåller fler än tolv koncept kan multiröstning användas för att snabbt välja fram cirka tolv koncept (Produktutveckling, 2012). Multiröstning genomförs för att begränsa antalet koncept som utvärderas i Pughs konceptvalsmatris. När en multiröstning genomförs röstar varje projektgruppsmedlem på de tre till fem koncept som de tycker bäst om. De koncept med flest röster samlas i en ny konceptkatalog.

### **Vidareutveckling av koncept**

För att redovisa alla koncept på en lika stor detaljnivå och på så sätt bidra till att ett objektivi val genomförs, skapas en grafisk representation av konceptkatalogen efter multiröstning. Den grafiska representationen görs genom att skissa koncepten för att förtydliga dessa för projektgruppsmedlemmarna och underlätta vid intern kommunikation under sällningsprocessen. När koncepten förtydligats förs de vidare till Pughs konceptvalsmatris (Produktutveckling, 2012).

### **Pughs konceptvalsmatris**

Efter vidareutveckling av de kvarvarande koncepten från elimineringsmatrisen utförs Pughs konceptvalsmatris. I Pughs konceptvalsmatris jämförs varje koncept mot ett referenskoncept med avseende på kriterier som hämtas från kravspecifikationen (Produktutveckling, 2012). Referenskonceptet ska vara ett koncept som förväntas prestera bra. För varje kriterium jämförs koncepten mot referenslösningen och tilldelas +, - eller 0 beroende på om koncepten är bättre, sämre eller lika bra som referenslösningen. När alla kriterier har utvärderats summeras antalet -, + och 0 vilket ger koncepten en total poäng. För att förtydliga vilket koncept som är bäst skapas en rangordning baserad på konceptens poäng. Matrisen genomförs med varierande referenslösning tills dess att resultatet av matrisen konvergerar. Koncept som uppenbart presterar sämre än referensen elimineras mellan de olika genomförandena av Pughs konceptvalsmatris. När konvergens har nåtts elimineras de koncept med lägst poäng och de kvarvarande skapar en uppdaterad konceptkatalog vilken tas vidare till konceptpoängsättningsmatrisen.

### **Konceptpoängsättningsmatris**

Som sista metod i konceptvalsprocessen används en konceptpoängsättningsmatris. Urvalskriterierna väljs så att resultatet ska skilja mellan koncepten och har sitt ursprung i kravspecifikationen. För att välja kriterier som gör att resultatet skiljer sig åt mellan koncepten tas hänsyn till vilka dellösningar koncepten består av och hur dessa skiljer sig från varandra. Kriterierna viktas enligt deras relativa betydelse genom att jämföras mot varandra så att det kriterium som anses viktigast också ger högst poäng (Produktutveckling, 2012). Varje kriterium tilldelas en poäng mellan ett och fem där fem innebär att kriteriet anses viktigt och ett att det anses mindre viktigt.

Varje koncept tilldelas därefter en poäng mellan ett och fem beroende på hur väl

konceptet presterar på ett kriterium där fem innebär att konceptet presterar bra och ett att det presterar dåligt. Konceptets tilldelade poäng multipliceras med kriteriets viktade värde vilket ger en viktad poäng. Den viktade poängen för varje kriterium summeras till en total poäng för samtliga koncept. Den totala poängen jämförs sedan mellan konceptet och beslut tas om vilket koncept som ska väljas för vidareutveckling. Det slutgiltiga konceptet väljs med kritisk granskning av vilka kriterier som koncepten har presterat bra i och inte. Granskningen görs eftersom vissa kriterier anses viktigare än andra och syftet med metoden är att framhäva koncept som presterar bra på de viktigare kriterierna. Till exempel kan den totala poängen hos ett koncept vara högre än hos ett annat men det andra konceptet uppfyller det viktigaste kriteriet bättre och kan därför väljas.

### **Valt koncept**

Efter att sällningsprocessen har avslutats med konceptpoängssättningsmatrisen har ett vinnande koncept tagits fram. En utförlig beskrivning av hur det vinnande konceptet ser ut görs för att öka förståelsen innan konceptet konstrueras.

### **2.2.3 Konstruktion av koncept**

Konceptet konstrueras genom att först skapa en systemarkitektur där konceptet identifieras i form av moduler och ingående komponenter samt hur dessa interagerar med varandra. När de ingående komponenterna har identifierats skapas en detaljkonstruktion där alla ingående komponenter beskrivs. Utifrån detaljkonstruktionen och dess ingående komponenter görs en kostnadsuppskattning för att till sist genomföra en produktionsanpassning.

### **Systemarkitektur**

En systemarkitektur skapas för att få en tydligare bild över konceptets uppbyggnad. Huvudfunktion och delfunktioner hämtas från trädigrammet i kapitel 2.2.1. Varje delfunktion delas in i moduler som möjliggör funktionen. Därefter delas varje modul in i de komponenter som krävs för att modulen ska fungera. Syftet med att skapa en systemarkitektur är att underlätta vid produktion, installation, service och underhåll (Värde modellen, 2017). Eftersom varje modul uppfyller en viss funktion blir det enklare att felsöka om något havererar. På samma sätt bidrar moduleringen till enklare produktion och installation då varje modul produceras för sig innan modulerna sätts ihop. Att modulerna produceras för sig gör att komponenternas placering och lättillgänglighet kan optimeras internt istället för att ta hänsyn till alla komponenter på en gång.

Från systemarkitekturen går det även att besluta vilka komponenter eller moduler som kan produceras in-house och vilka som bör köpas in. Om komponenter eller moduler kan produceras in-house eller behöver köpas in blir avgörande när kostnadsuppskattningen görs i kapitel 2.2.3. Slutligen används systemarkitekturen för att skapa en detaljkonstruktion.

### **Detaljkonstruktion**

Detaljkonstruktionen genomförs för att koppla samman alla komponenter och moduler från systemarkitekturen till en helhet. I detaljkonstruktionen beslutas även vilken specifik produkt som ska köpas in med avseende på märke och prestanda. Det är här som en första bild av det färdiga konceptet skapas. Detaljkonstruktionen skapas som en CAD-modell. CAD-modellen behövs för vidare prototypbygge och produktion men ger även en förståelse för om något behöver förbättras eller designas om (Värde modellen, 2017). Med utgångspunkt i CAD-modellen skapas en komponentlista vilken innehåller samtliga komponenter som konceptet består av och som måste införskaffas antingen genom att köpa in eller produceras in-house.

För att bestämma vilka tillverkningsmetoder som är lämpliga måste materialet vara känt och därför genomförs ett materialval. Materialvalet baseras på vilken funktion komponenten har och hur den är integrerad med de andra komponenterna. För att sälla bland olika material används databasen CES EduPack (GRANTA, 2017) där krav kan sättas på materialet såsom hårdhet,  $CO_2$  - avtryck och densitet. När materialet har valts används samma databas för att hitta lämpliga tillverkningsmetoder för att producera komponenterna.

### **Kostnadsuppskattning**

I kostnadsuppskattningen bedöms den totala kostnaden för att köpa in samt tillverka komponenter. Vilka komponenter som köps in direkt respektive tillverkas definierades i systemarkitekturen för att senare preciseras i detaljkonstruktionen. Kostnadsuppskattningen för de komponenter som ska tillverkas görs med hjälp av CES EduPack (GRANTA, 2017). Kostanden uppskattas genom att valt material, tillverkningsmetod och batch-storlek definieras varpå mjukvaran beräknar en uppskattad kostnad. För komponenter som köps in uppskattas kostnaden i samarbete med behörig personal för att ge så exakta värden som möjligt. Kostnaden för varje ingående komponent sammanställs och summeras för att ge den totala kostnaden på det färdiga konceptet.

### **Produktionsanpassning**

Produktionsanpassningen görs genom att anpassa detaljkonstruktionen av konceptet för montering med hjälp av en DFA-analys (Design for assembly). DFA-analysen görs för att designen av konceptet ska vara kostnadseffektiv genom att på ett strukturerat sätt arbeta med design, produktion och kvalitet (Ljung, 2018). För att genomföra DFA:n används programvaran AviX (Solme AB, 2018).

I AviX utvärderas varje komponent för sig utifrån vilka fysiska moment som behöver utföras för att konstruera konceptet. Frågor angående komponenternas utformning som underlättar vid montering besvaras. Frågorna berör bland annat om hål där skruvar skall placeras har en fasning för att underlätta sikte av skruven och om andra komponenter behöver flyttas eller hållas undan för att en vis komponent ska kunna monteras. Varje fysisk aktivitet tilldelas en av tre poängnivåer: nio poäng till-

delas om aktiviteten fungerar bra, tre poäng om aktiviteten kan bli bättre och ett poäng om aktiviteten genomförs dåligt. Poängen summeras och redovisas som agg time och agg score. Agg time är den tid i sekunder som krävs vid montering utöver den tid som krävs vid montering av en perfekt utformad produkt. Detta värde ska vara så lågt som möjligt. Även Agg score ska vara så lågt som möjligt då det är det DFA index som används vid val av vilka komponenter som ska omformas för att underlätta montering.

AviX gör det även möjligt att jämföra olika koncept med hjälp av agg time och agg score för att avgöra vilket som är mest effektivt och kräver minst tid att använda.

När konceptet har konstruerats med hänsyn till samtliga av ovanstående kriterier finns tillräckligt med information för att konceptet ska kunna verifieras och utvärderas utifrån målen i kapitel 1.4.1.

## 2.2.4 Utvärdering av koncept

Utvärderingen av konceptet görs genom en måluppfyllnad med hjälp av en funktionsmodell, därtill görs en miljöutvärdering och en feleffektsanalys. Under utvärderingen av konceptet återkopplas det framtagna konceptet med de mål som sattes i början av projektet samt kravspecifikationen som sammanställdes under problemundersökningsfasen.

### Måluppfyllnad

Under måluppfyllnaden analyseras om de mål som specificerades i kapitel 1.4.1 och de krav som valideras med hjälp av prototyp i kravspecifikationen har uppnåtts genom att utföra tester (Värde modellen, 2017). Att bygga ihop produkten i sin helhet, med rätt tillverkningsprocess och material blir både dyrt och tidskrävande, framförallt om det visar sig att produkten inte fungerar som förväntat. För att undvika detta skapas istället en prototyp i form av en funktionsmodell som kan användas för att validera måluppfyllnaden. Prototypen byggs för att testa om huvudfunktionen går att genomföra och undersöka vilka mål som konceptet uppfyller.

### Miljöpåverkansanalys

För att avgöra om det framtagna konceptet har lika stor eller lägre miljöpåverkan än den befintliga produkten genomförs en matris för bedömning av miljöpåverkan och resursanvändning (Lundqvist, 2016). I matrisen jämförs det nya konceptet med den befintliga produkten. Matrisen tar hänsyn till begränsningar i tre olika kategorier: *Tillgång på material och energi*, *Tillgång på yta* samt *Emissioner*. I varje kategori listas vilka ämnen eller resurser som påverkar begränsningen. De ämnen och resurser som påverkar kategorin är viktade beroende på hur stor deras negativa inverkan på miljön är.

Det framtagna konceptet och den nuvarande produktens livscyklar analyseras i följande faser: *Utvinning och tillverkning av material*, *Tillverkning av produkt*, *Användning* och *Resthantering*. Det nya konceptet jämförs med den gamla produkten. I matrisen markeras -1 när det gamla konceptet bedöms vara sämre än det nya, på samma sätt tilldelas +1 om det gamla konceptet bedöms vara bättre än det nya. Om det nya och gamla konceptet anses likvärdigt tilldelas kategorin 0. Den tilldelade siffran multipliceras därefter med den viktade poängen för kategorin för att ge en viktad poäng. Till sist summeras poängen i matrisen. Ett resultat lägre än noll innebär att det nya konceptet är bättre än det nuvarande, om resultatet är lika med noll är konceptet lika bra och om resultatet blir mer än noll är det gamla konceptet bättre än det nya (Lundqvist, 2016).

### Feleffektsanalys

En feleffektsanalys genomförs på konceptet för att verifiera att kraven på säkerhet i kravspecifikationen uppnås. Genom att utföra en feleffektsanalys under konstruktionsprocessen är det möjligt att identifiera och värdera vad som kan gå fel med konceptet och vad effekten av felet kan bli. På så sätt identifieras alla tänkbara sätt som konceptet kan felfungera eller haverera under användning.

Feleffektsanalysen genomförs i form av en FMEA (failure mode and effects analysis). Metoden bygger på att granska varje ingående komponent och identifiera möjliga fel, orsaker och effekter (Gustavsson, 2018). I matrisen beskrivs även vilka tester som idag genomförs för att förebygga att felet uppstår. Varje komponent tilldelas därpå ett risktal.

Metoden ger ett risktal baserat på tre kriterier: hur stor sannolikheten är att felet uppstår, hur stora möjligheterna är att upptäcka felet innan de orsakar problem är samt hur allvarliga konsekvenserna blir om felet inträffar (Gustavsson, 2018). Varje komponent bedöms utifrån de tre kriterierna och tilldelas en siffra mellan ett och tio beroende på hur stor sannolikheten är att det inträffar, hur allvarligt felet är samt hur stor sannolikheten är att felet upptäcks i tid. En etta innebär att sannolikheten respektive allvarligheten är låg och en tia att den är hög. Siffrorna för varje kriterium multipliceras därefter ihop och ger ett totalt risktal. Risktalet kan som mest bli 1000 för varje fel och om det är över 100 bör åtgärder vidtas för att förebygga felet.

Efter genomförd FMEA finns en uppfattning av vilka fel som kan uppstå samt hur dessa kan förebyggas. Från matrisen går det även att se om det finns några svaga komponenter som borde bytas ut eller förbättras vid vidareutveckling.

# 3

## Resultat

I följande kapitel beskrivs hur problem med Molle-vagnen på GöteborgsOperan har undersökts för att därefter generera ett koncept som förbättrar det valda problemområdet. Resultatet följer metodiken som beskrevs i kapitel 2 och är likt metodiken indelad i en problemundersökningsfas som beskrivs i kapitel 3.1 där en funktion att förbättra analyseras och en utvecklingsfas som beskrivs i kapitel 3.2 där ett koncept som genomför funktionen genereras och utvärderas.

### 3.1 Problemundersökningsfas

Problemundersökningsfasen är uppdelad i kapitel 3.1.1 där Molle-vagnen i sin nuvarande form undersöktes och kapitel 3.1.2 där kundens röst undersöktes genom observationer och intervjuer med scenteknikerna som arbetade med vagnen för att skapa en kundbehovslista. Som sista aktivitet användes kundbehovslistan för att skapa en kravspecifikation i kapitel 3.1.3. Problemundersökningsfasen resulterade i att ett problem med Molle-vagnen valdes för vidareutveckling.

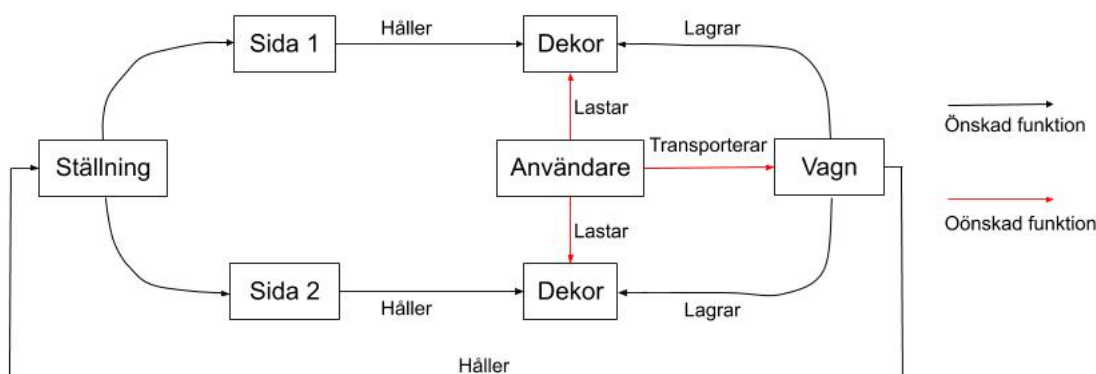
#### 3.1.1 Identifiering av befintlig produkt

Identifieringen av den befintliga produkten gjordes genom att skapa en funktionell modell där Molle-vagnen delades upp i sina olika funktioner. Därefter identifierades Molle-vagnens placering på S-kurvan vilket bidrog till en förståelse för vilka funktioner som skulle utvecklas för att höja kundvärdet mest.

#### Funktionell modell

För att få en större förståelse för vilka funktioner Molle-vagnen har, skapades en enkel funktionell modell. I figur 3.1 visas vagnens roll när scenen byggs eller rivs och dekorväggar transporteras och lagras på Molle-vagnen. Figuren visar vagnens övergripande delar där vagnen håller upp ställningen som består av två sidor där dekorväggar kan lagras. För att dekorväggarna ska hamna på vagnen måste användaren placera dessa där och för att vagnen ska kunna röra sig mellan scenområdet och teatergatan krävs att användaren transporterar vagnen.

Pilarna i figur 3.1 beskriver interaktionen mellan delarna. De tre röda pilarna representerar de oönskade funktioner där scenteknikerna antingen lastar dekor eller transporterar vagnen, alltså där kunden förbrukar sina resurser.



**Figur 3.1:** Funktionell modell av Molle-vagnen.

För Molle-vagnen definierades två huvudfunktioner; att lagra och transportera dekorväggar. Tilläggfunktioner som analyserades var att det gick att fästa dekor i rå direkt från vagnen utan att behöva ytterligare maskiner eller moment.

### Produktens placering på S-kurvan

Det finns endast kännedom om två vagnar till i Europa som liknar Molle-vagnen. Dessutom är det inte en produkt som går att köpa in utan verkar byggas av egen verkstad när behovet uppstår och ingen specifikation för hur dessa skall byggas har påträffats. På GöteborgsOperan byggdes den för en specifik föreställning där lagring och att kunna förflytta dekorväggar till och från scen var i fokus. När vagnen blev kvar kompletterades den med tilläggfunktioner för att till exempel göra den säkrare att arbeta i. Huvudfunktionernas prestanda har dock inte ändrats nämnvärt under tiden som den har använts.

Eftersom det verkade finnas en begränsad mängd vagnar i världen som liknar Molle-vagnen och det inte finns ett vedertaget sätt att konstruera den i kombination med att dess huvudfunktion inte har utvecklats under tiden den har funnits på GöteborgsOperan, bedömdes Molle-vagnen vara placerad som barndom på sin S-kurva. Enligt Värde modellen (2017) innebär detta att störst potential för att höja kundvärdet är att förbättra huvudfunktionerna.

Den funktionella modellen tillsammans med Molle-vagnens placering på S-kurvan visade att en minskning av kundens förbrukning av sina resurser samt en förbättring av huvudfunktionerna är de moment som framförallt kan höja kundvärdet och som projektet därför bör fokusera på.

#### 3.1.2 Kartläggning av kundens röst

Kartläggning av kundens röst gjordes genom att först identifiera kunden för att därefter genomföra observationer när Molle-vagnen används och intervjuer med scenteknikerna. Observationer och intervjuer genomfördes parallellt för att öka förståelsen för hur vagnen användes och vilka behov den fyllde. Behoven låg till grund vid valet



av den funktion som projektet skulle förbättra för att höja kundvärdet och samlades sedan i en kundbehovslista.

### Definiera kund

För att definiera kunden analyseras marknadssegmentet som konceptet skulle vara intressant för. Då det endast finns en Molle-vagn och målet är att förbättra denna blir det tydligt att de som arbetar med vagnen utgör ett starkt kundunderlag. De som arbetar med Molle-vagnen är scentekniker och scenmästare på GöteborgsOperan. Scenmästaren är ansvarig för ombyggnationen av scenen och utför den tillsammans med scenteknikerna.

### Observationer

Observationerna genomfördes passivt genom att stå bredvid och se på när Molle-vagnen användes för att transportera dekor till och från scen men även sitta vid sida genom att klättra i vagnen med några av de anställda. På så sätt skapades egna erfarenheter av arbetet i Molle-vagnen vilket bidrog till förståelsen av hur den används och de upplevda svårigheterna som framkom vid intervjuerna.

Observationer som gjordes:

- Minst sex personer är inblandade när Molle-vagnen skjuts i djupled på scenen för att justera, se till att den hamnar rätt och inte åker in i något.
- Personen som kör trucken kan inte ha uppsikt på vagnen samtidigt.
- Dragtruckarna åker många korta sträckor för att navigera vagnen till rätt position.
- När Molle-vagnen ska justeras förekommer det att personal puttar på vagnen.
- Det krävs mest kraft för att flytta Molle-vagnen när den står stilla och alla hjul ska ställa in sig i en ny riktning.
- Allt arbete på scenen stannar upp när Molle-vagnen används vilket innebär att cirka åtta personer blir sysslösa.
- När Molle-vagnen används krävs tystnad på scen för att kommunikationen skall fungera, framförallt när två truckar används.
- Anställda står i vagnen medan den förflyttas.
- Repen för att straffa dekor fästs godtyckligt.
- Den mesta av tiden när Molle-vagnen används går åt till att hänga upp dekorväggarna i rå.
- Det är trångt att klättra upp till översta våningen i Molle-vagnen.

### Intervjuer

Den kvalitativa kundundersökningen bestod av semistrukturerade intervjuer med personal som arbetade på och kring scen. Intervjufrågorna finns listade i bilaga A. Tio intervjuer genomfördes med anställda i olika åldrar, med olika bakgrund och erfarenhet för att inkludera så många åsikter som möjligt. Intervjuerna spelades in för att därefter transkriberas. Åtta av de intervjuade arbetade som scentekniker och två arbetade som scenmästare.

Överlag verkade Molle-vagnen uppskattad då den gjorde det möjligt att på ett relativt smidigt sätt transportera och lagra stora dekorväggar, vilket är en förutsättning för att stora dekorväggar ska kunna användas i produktioner. Vagnen ansågs dock ha rum för utveckling och från intervjuerna framkom det att vilket problem som ansågs vara störst med Molle-vagnen varierade mellan tre områden; straffning av dekorväggar, positionering av vagnen och klättring i vagnen.

Gällande straffning upplevdes det att det inte fanns ett vedertaget och allmänt sätt att straffa dekorväggarna utan att det varierade från person till person samt att det inte fanns tillräckligt med bra fästpunkter. Transporten kändes tidskrävande och upplevdes som ett stressmoment under pågående rivning och dukning av scenen. När stegarna användes för att klättra i vagnen upplevdes utrymmet trångt och risken för att verktygsbältet som scenteknikerna bär skulle fastna och att verktyg således skulle trilla ur upplevdes som stor. Det ska även uppmärksammas att en återkommande åsikt var att Molle-vagnen fungerade bra som den var och därför inte behövde ändras.

#### **Kundbehovslista**

Samtliga behov som kommit fram vid observationer och intervjuer sammanställdes i en kundbehovslista vilken finns redovisad i bilaga B. Kundbehov som liknade varandra slogs samman till ett behov som var mer övergripande. Behoven delades upp i fyra övergripande kategorier: fäste av dekorväggar, dekorväggar och vagn-relation, transport av vagn och klättringssystem. I kundbehovslistan togs även hänsyn till hur ofta ett behov framkom vid intervjuerna. Om flera personer lyfte samma behov noterades detta för att senare uppmärksammas i kravspecifikationen och vid viktningen av önskemål.

Den kategori där flest hade uttryckt samma behov fanns i kategorin *Klättringssystem* men den kategori som hade störst antal olika behov var *Transport av vagn*. I den funktionella modellen som visas i figur 3.1.1 är det lastmomentet och transporten av vagnen som sticker ut som moment där kundens resurser förbrukas. Lastmomentet inkluderar såväl klättring som straffning av dekor eftersom båda dessa moment utförs när dekorväggar ska tas ned från rå och placeras på vagnen. Att både lastningen och transporten lyfts fram i kundundersökningen tyder på att kundundersökningen förstärker den analys som gjorts i kapitel 3.1.1 och att det är huvudfunktionerna som fortsatt bör stå i centrum.

För att avgöra vilket av problemområdena som projektet skulle inrikta sig mot analyserades den funktionella modellen som visas i figur 3.1 och beställaren av projektet kontaktades. Att behandla flera större problem skulle bidra till att mindre tid lades på varje enskilt problem och öka risken för att problemen inte blev grundligt undersökta, därför togs ett beslut att ett problem skulle väljas för det fortsatta arbetet. Vid valet togs hänsyn till behov som uttryckts men även latent behov som observerats eller framkommit vid intervjuer. Till dessa hörde att det ofta är stressigt när scenen byggs om och att utmattningsskador hos personalen förekommer då

tunga vagnar och dekorer förflyttas.

När Molle-vagnen ska positioneras är det inte ovanligt att flera personer antingen håller emot medan trucken kör eller att de själva puttar för att få den att åka de sista centimetrarna. Att minska skador och stress vägde tungt vid beslutet. Problemen med klättring och straffning ansågs vara enklare att lösa på plats då de anställda hade en tydlig bild av hur problemen kunde lösas. Dessutom hade beställaren för avsikt att det var problem vid transport som skulle utredas och således valdes transport av vagn som funktion för vidare arbete.

Trots att en huvudfunktion valdes för utveckling beslutades att alla behov skulle finnas kvar i kundbehovslistan för att inte missa behov som passade in på flera kategorier eller var övergripande.

### 3.1.3 Kravspecifikation

Utifrån kundbehovslistan och de praktiska krav som ställs på vagnen skapades en kravspecifikation som finns redovisas i tabell 3.1. I kravspecifikationen har hänsyn tagits till intressenter som GöteborgsOperans tekniska avdelning samt verkstaden som kommer att producera och underhålla den färdiga produkten. Som ytterligare tillägg finns även krav som inte har lyfts av kunden utan kommer från projektgruppens observationer eller är betydande för projektgruppen, ett exempel på detta är miljöaspekten och konceptets livslängd.

I kravspecifikationen finns både krav och önskemål. Önskemålen har viktas och tilldelats en siffra mellan ett och fem där ett innebär låg prioritet och fem hög prioritet. I kravspecifikationen viktades fem önskemål med värdet fem och prioriterades därför högst under projektets gång.

Att konceptet skulle kunna appliceras på fler vagnar än Molle-vagnen lyftes av beställaren tidigt i projektet. Om konceptet skulle vara applicerbart på fler vagnar hade det underlättat arbetet då vagnar som A-vagnen kräver runt fyra inblandade för att den ska kunna förflyttas. Det sågs dock inte som ett krav eftersom Molle-vagnen är den enda vagn som behöver en dragtruck för att kunna transporteras och därför har ett större behov av en förenklad transportlösning.

Från projektgruppen sattes tre önskemål på konceptet med värdet fem: att konceptet ska kunna styras av en person istället för två vilket är kravet, att konceptets livslängd ska vara 20 år istället för 15 år vilket är kravet samt att det ska vara nära risk för krock uppstår. De första önskemålen var för att de kunde ge ett ökat kundvärde genom att prestera bättre än förväntat och det sistnämnda för att bidra med en ny aspekt av säkerhet.

Under intervjuerna lyftes ofta att det var viktigt att alla scentekniker skulle kunna använda konceptet och inte bara några få med särskild utbildning. För att uppmärksamma denna aspekt genom hela projektet sattes kundbehovet som ett högt

prioriterat önskemål som komplement till krav 11.1 och 11.2. I krav 11.1 och 11.2 tas hänsyn till samma kundbehov genom att anpassa designen.

För att bestämma målvärden konsulterades utöver kundbehoven GöteborgsOperans tekniska avdelning och verkstad för att få en förståelse för vad som begränsar Molle-vagnen. Exempel på detta är hur mycket vagnen kan lastas med utan att tallrikshjulen eller golvet går sönder och hur hög den kan vara för att kunna transporteras genom öppningen till scenområdet utan att slå i kanten. Golvet har även en maxlast på  $500 \text{ kg/m}^2$  vilket påverkar hur mycket det genererade konceptet kan väga och hur det bör utformas för att tyngden ska fördelas.

Övriga målvärden som GöteborgsOperan inte kunde bistå sattes av projektgruppen baserat på observationer och erfarenhet från tidigare projekt. En del krav och önskemål resulterade i ett *Ja* om det är uppfyllt och ett *Nej* om det inte är det. För att kunna mäta om konceptet förbrukar liten kraft från scenteknikerna och för att undersöka om risken för förslitningsskador finns konsulterades Arbetsmiljöverkets rekommendationer (Arbetsmiljöverket, 2019). Enligt Arbetsmiljöverkets kan risker vid manuell hantering bedömmas genom ett beräkna ett risktal som baseras på om det är en dra- eller skjutrörelse, vilken ställning som personen måste ha vid förflyttningen och hur tungt det är.

Varje krav och önskemål har en verifieringsmetod för att göra det möjligt att validera kravuppfyllnaden i slutet av projektet. Lämpliga programvaror såsom CATIA (Dassault Systèmes, 1984), CES EduPack (GRANTA, 2017) och ANSYS (ANSYS, 2019) användes för att kunna validera och upptäcka brister hos konceptet i ett tidigt skede. Genom att utföra vissa tester i program kan slutsatser om att ett krav uppfyllts dras innan konceptet har byggts ihop i sin helhet. Att bygga ihop konceptet i sin helhet är både tidskrävande och dyrt om något skulle behöva ändras.

Utöver tester med olika programvaror valideras vissa krav och önskemål med hjälp av en prototyp eller genom att testa konceptet med den som ska bruka det. Prototypen bidrar till att ge en förståelse för vad som fungerar bra eller borde förbättras och tester med brukaren gör det möjligt att validera hur konceptet uppfattas och vad som är självförklarande.

Som sista återkommande verifieringsmetoder används en feleffektsanalys och en miljöutvärderingsmatris för utvärdera om kraven för miljö och säkerhet uppfylls. Matriserna utvärderar systematiskt kriterierna för att resultera i om målvärdet har uppfyllts.

Tabell 3.1: Kravspecifikation för Molle-vagnen med förbättrad transportlösning

		Dokumenttyp	Kravspecifikation			
		Projekt	IMSX15-19-03			
Utfärdare: Jasmine Björk, Kajsa Magnusson & Sofia Rose		Skapad: 2019-02-28				
		Modifierad: 2019-04-01				
Kriterier		Målvärde	K/Ö	Vikt	Verifieringsmetod	Referens
<b>Funktioner</b>						
	Transportera dekorelement i alla horisontella riktningar	Ja/Nej	K		Prototyp	Kund
	Tillåta förvaring av dekorväggar	> 2700 kg	K		Prototyp	Kund
	Kunna applicera framtaget koncept på andra, liknande vagnar	Ja/Nej	Ö	5	Prototyp	Kund
<b>1</b>	<b>Prestanda</b>					
1.1	Bärighet	> 4000 kg > 6000 kg	K Ö	2	ANSYS ANSYS	Kund Kund
1.2	Plats för dekor	Längd: 18 m Höjd: 10 m Djup: 3 m	K K K		CAD CAD CAD	Kund Kund
1.3	Transporthastighet	3 km/h 5 km/h	K Ö	2	Prototyp Prototyp	Kund Kund
1.3.1	Transporthastighet går att reglera med avvikelse	max 0,1m/s	K		Prototyp	Projektgrupp
1.4	Max antal personer som är involverade vid transport av vagn	2 personer 1 personer	K Ö	5	Prototyp Prototyp	Kund Projektgrupp
1.5	Precisionsflyttning - vagnen kan flyttas små sträckor	10 mm 40 mm	K Ö	4	Prototyp Prototyp	Projektgrupp Projektgrupp
<b>2</b>	<b>Miljö</b>					
2.1	Det nya konceptet har inte större miljöpåverkan än det befintliga	Ja/Nej	K		Miljöpåverkansanal	Projektgrupp
2.2	Det nya konceptet ger lägre påverkan på miljön än det befintliga	Ja/Nej	Ö	2	Miljöpåverkansanal	Projektgrupp
<b>3</b>	<b>Livslängd</b>					
3.1	Livslängd vid dagligt bruk	> 15 år	K		Utmattningsprov samt FMEA	Projektgrupp
3.2	Livslängd vid dagligt bruk	> 20 år	Ö	5	Utmattningsprov samt FMEA	Projektgruppen
<b>4</b>	<b>Underhåll</b>					
4.1	Det nya konceptet kan underhållas av verkstaden på GöteborgsOperan	Ja/Nej	K		Kommunikation med verkstaden	Projektgrupp
4.2	Slitagedelar ska vara möjliga att byta	Ja/Nej	K		Systemarkitektur	
<b>5</b>	<b>Storlek</b>					
5.1	Maximala dimensioner är:	Bredd: 4 m Bredd: 3 m Längd: 18 m Höjd: 8 m	K Ö K K	3	CAD CAD CAD CAD	Kund Kund Kund Kund
<b>6</b>	<b>Vikt</b>					
6.1	Maximal vikt är:	500 kg 350 kg 450 kg/m2	K Ö K	3	CAD CAD CAD	Kund Kund Kund
<b>7</b>	<b>Material</b>					
7.1	Slittåligt material skall användas	Ja/Nej	K		Uthållighetstest	Produktplanering
7.2	Materialet som används ska gå att återvinna.	Ja/Nej	Ö	4	CES	Produktplanering
7.3	Vagnen skadar inte scengolvet	Inga vassa kan	K		CAD	Kund
<b>8</b>	<b>Kostnad</b>					
8.1	Maximal kostnad	< 500 000 :- < 250 000 :-	K Ö	3	CES CES	Projektgrupp Projektgrupp
<b>9</b>	<b>Ergonomi</b>					

### 3. Resultat

9.1	Ej öka risk för skär- och/eller klämskador jämfört med befintlig vagn	Ja/Nej	K		CAD samt prototyp	Kund
9.2	Minska påfrestningen jämfört med befintlig vagn	Ja/Nej	K		Jämför riskpoäng enligt Arbetsmiljöverket, samt test med prototyp	Kund
9.3	Styrning/förflyttning kräver liten kraft och vridmoment	Riskpoäng <10, enligt Arbetsmiljöverket	K		Prototyp	Projektgrupp
9.4	Förslitningsskador skall inte uppstå till följd av transport av vagnen	Riskpoängen <10, enligt Arbetsmiljöverket	K		Prototyp	Projektgrupp
<b>10</b>	<b>Tillverkningsanläggning</b>					
10.1	Produkten ska kunna produceras i befintlig anläggning	Ja/Nej	K		Kommunikation med verkstad	Kund
<b>11</b>	<b>Design</b>					
11.1	Produkten är självförklarande	8/10 förstår utan förklaring	K		Test med brukare	Kund
11.2	Styrningen uttrycker och beskriver funktion	8/10 förstår utan förklaring	K		Test med brukare	Kund
<b>12</b>	<b>Användarvänlighet</b>					
12.1	Produkten ska kunna användas av alla	Ja/Nej	K		Test med brukare	Kund
<b>13</b>	<b>Säkerhet</b>					
13.1	Vagnen får ej direkt orsaka personskador vid användning	Risktal <100	K		FMEA	Kund
13.2	Ljudnivå	< 60 dB(A)	Ö	3	Prototyp	Projektgrupp
13.3	Varnar vid risk för:					
	Vältrisk	Ja/Nej	Ö	3	Prototyp	Projektgrupp
	Krock	Ja/Nej	Ö	5	Prototyp	Projektgrupp
13.4	Nödstopp					
	Tydligt markerat och lättåtkomligt	Ja/Nej	K		Test med brukare	Projektgrupp
	Vagnen stannar efter att nödstopp initierats	<1 s	K		Prototyp	Projektgrupp
13.5	Utbildning ska inte krävas för att kunna använda vagnen	Ja/Nej	Ö	5	Test med brukare	Kund

## 3.2 Utvecklingsfas

När problemundersökningsfasen var färdig gick projektet över i en utvecklingsfas som innefattar framtagning av ett koncept som ska lösa de önskemål och krav som definierats i problemundersökningsfasen. Först gjordes en konceptgenerering i kapitel 3.2.1 där första steget var att bryta ner huvudfunktionen till delfunktioner för att lättare kunna göra en grundlig idégenerering. Inför idégenereringen hämtades inspiration genom att söka lösningar inom liknande verksamheter men även i andra branscher med liknande problem. Därefter påbörjas valet av koncept i kapitel 3.2.2 genom att med hjälp av ett flertal olika matriser evaluera vardera koncept för att slutgiltigen ha ett valt koncept att vidareutveckla. Det valda konceptet konstrueras i kapitel 3.2.3 med hjälp av att bland annat definiera en systemarkitektur. Till sist utvärderas det valde konceptet i kapitel 3.2.4 genom ett test av måluppfyllnad med hjälp av en prototyp samt en miljöpåverkansanalys och en feleffektsanalys.

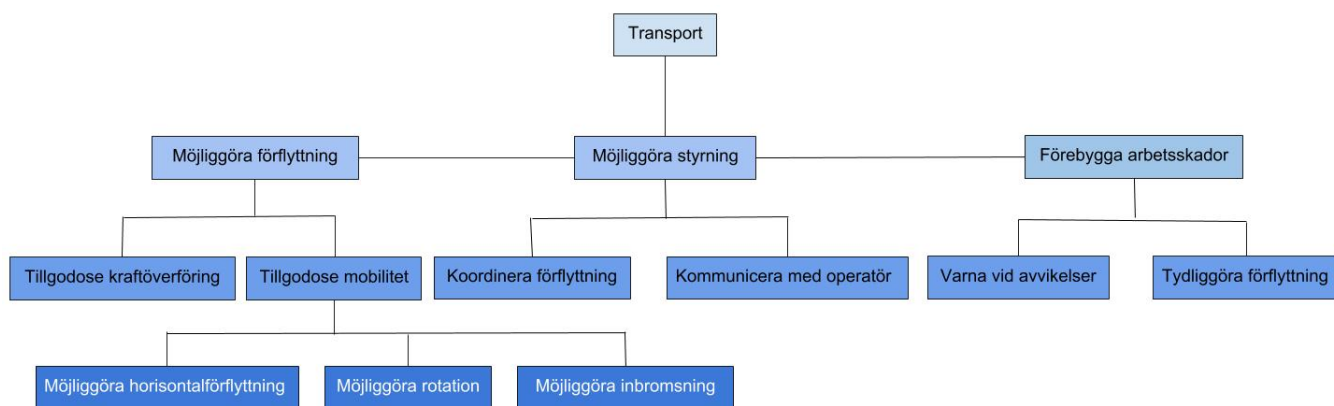
### 3.2.1 Konceptgenerering

Konceptgenereringen genomfördes genom att först skapa en ny funktionell modell där funktionen transport bröts ned i delfunktioner för att därefter genomföra en extern och en intern idégenerering. Därefter gjordes en syntetisering av de genererade lösningarna innan en morfologisk matris användes för att skapa en första konceptkatalog genom att kombinera de olika lösningsförslagen som genererats.

#### Träddiagram

Innan konceptgenereringen påbörjades konstruerades ett träddiagram. I träddiagrammet har huvudfunktionen transport delats upp i delfunktioner för att underlätta vid idégenerering och när lösningar söks. Träddiagrammet för Molle-vagnen visas i figur 3.2. I figuren visas hur huvudfunktionen *Transport* har delats upp i tre delproblem: möjliggöra förflyttning, möjliggöra styrning och förebygga arbetsskador. För att uppfylla huvudfunktionen är det framförallt de två förstnämnda som är betydande. Det framkom under kundundersökningen att säkerhet även var viktigt för kunden, därför lades delproblemet *Förebygga arbetsskador* till som ett sätt att även förbättra säkerheten kring vagnens användning.

Varje delproblem har delats upp ytterligare för att förenkla vid idégenerering och förstå vilka beståndsdelar som krävs för att delproblemet ska gå att lösa. De uppdelade delproblemen behandlar problem som kraftöverföring, mobilitet, att styrningen både ska passa konceptet men även användaren och att konceptet ska kunna höja säkerheten i sig själv. *Tillgodose mobilitet* har även delats upp i de riktningar som vagnen förväntas kunna röra sig i samt att den ska ha en fungerande inbromsningsmekanism.



**Figur 3.2:** Funktionsträd som visar huvudfunktionen uppdelad i delproblem.

#### Extern idégenerering

I följande kapitel presenteras resultatet av den externa idégenereringen. Den externa idégenereringen genomfördes genom att undersöka liknande verksamheters lösningar, andra branschens lösningar av liknande problem och en patentsökning.

#### Liknande verksamheters lösningar

För att få inspiration till dellösningar för hur liknande verksamheter löser liknande problem besöktes Stora Teatern, Malmö Opera, Kungliga Operan, Dramaten och den Norske Opera og Ballet.

Samtliga platser använde sig av snarlika lösningar likt framförallt A-vagnen som används på GöteborgsOperan vid förflyttning av dekorväggar. Däremot gav Dramaten och den Norske Opera og Ballet inspiration till delfunktioner, samt helhetslösningar som skulle kunna appliceras på Molle-vagnen. Helhetslösningar i form av en multimover och en AGV-lösning (Automated guided vehicle) från Visual act (Visual act, 2019). En AGV-lösning är en automatiserad transportlösning som på ett smidigt sätt transporterar material efter en programmerad bana. Projektgruppen fick även inspiration till idéer på hur man kan automatisera Molle-vagnen på liknande vis.

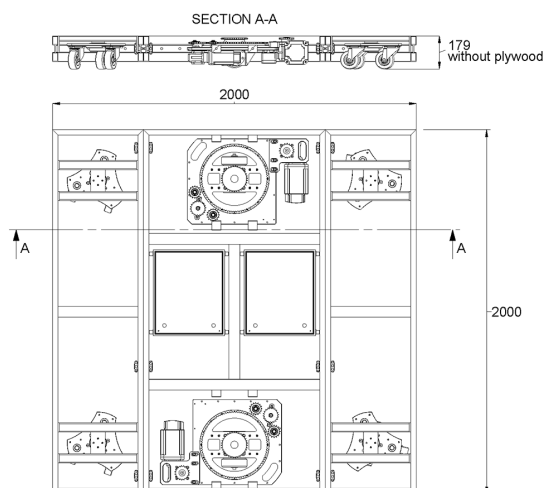
Från studiebesöket på Dramaten gavs inspiration till helhetslösningen multimover, se figur 3.3. Den användes till transport av vagnar och dekorelement likt GöteborgsOperans dragtruck med skillnaden att man går bredvid och inte åker på. Av besöket framkom även funderingar och önskemål kring hur man hade kunnat motorisera vagnar för att underlätta förflyttningen för att minimera den fysiska påfrestningen för scentekniker.



**Figur 3.3:** Helhetskonceptet Multimover.

Den Norske Opera og Ballet använde sig av ett AGV-system inköpt från Visual act, se figur 3.4. Ett AGV-system möjliggör automatiserad förflyttning av dekorelement, både på och av scenen. Den Norske Opera og Ballet använde främst systemet vid förflyttning av en scen som bestod av fullt utrustad dekor inför kommande föreställning. Genom ett programmeringsystem som kommunicerade med operatör genom en dator kunde scenen förflyttas. Om systemet inte skulle fungera måste programmet felsökas. Då scenen bestod av ett flertal inbyggda moduler från Visual act som samverkade var det svårt att finna var huvudproblemet låg och vilken modul som inte fungerade.





**Figur 3.4:** Helhetskonceptet Visual act series (Visual act, 2019).

Inför en av deras kommande föreställningar skulle ett stort dekorelement bestå av ett flertal moduler som skulle kunna förflyttas på scen under föreställning. Projektmedlemmarna fick en grundlig genomgång om hur systemet fungerade samt hur deras AGV-lösning skulle kunna appliceras på dekorelement eller Molle-vagnen, se figur 3.5. Lösningen skulle kunna kommunicera med användare genom dator eller någon typ av kontroll. Det var bara ett fåtal ansvariga personer som kunde använda och styra AGV-lösningen då programmeringen var svår att förstå. Det upplevdes komplicerat då dessa personer alltid behövde närvara för att systemet skulle kunna användas. I dagsläget förflyttade de inte några vagnar likt Molle-vagnen med denna typ av lösning, men det är något som i framtiden kan vara aktuellt. Besöket hos Norske Opera og Ballet gav inspiration till dellösningar och deras AGV lösning (Visual act, 2019) kom att bli en alternativ helhetslösning vid val av koncept.



**Figur 3.5:** Testbygge av en Visual act enhet på Norske Opera og Ballet.

#### Andra branschers lösningar

För att få ytterligare kunskap av hur man i dagsläget transporterar material eller dylikt i alla horisontella riktningar undersöktes vad andra branscher använder sig av. Lösningar på liknande problem hittades främst inom tillverkningsindustrin. Då Molle-vagnen kan väga upp till 7300 kg var vikten en begränsning för vad modulerna klarade av att transportera. Via Virtual manufacturing AB's hemsida (Virtual manufacturing, 2019) hittades även de liknande företagen KUKA och OMRON. Sökord som användes var transportplattform, omnidirectional movement och AGV.

Move-e-star (Move-e-star, 2019) är ett företag som tar fram specialtillverkade transportplattformar, se figur 3.6, anpassade efter kundens behov. Transportplattformen används främst inom tillverkningsindustrin. Den kan åka i alla horisontella riktningar samt rotera kring sin egen axel oavsett placering av dess yttre kaross. Den kännetecknas av låg totalhöjd och dess enkla manövrering. Sammankoppling av Move-e-stars enheter möjliggör förflyttning av stora, tunga föremål. De kan drivas automatiserat eller manuellt. Move-e-star togs vidare med i konceptkatalogen som ett helhetskoncept vid val av koncept då den på ett smidigt sätt hade kunnat möjliggöra enkel förflyttning av Molle-vagnen samt vara applicerbar på andra vagnar på GöteborgsOperan.



**Figur 3.6:** Helhetskonceptet Move-e-star (Move-e-star, 2019).

KUKA omniMove (KUKA, 2019) är en transportplattform, se figur 3.7 som på ett enkelt sätt kan röra sig autonomt alternativt styras manuellt. Den största plattformen används bland annat inom flyg- och rymdindustrin där den transporterar flygplansdelar. Då den utgörs av ett modulsystem kan den storleksanpassas efter kundens önskemål. Den består av mecanum hjul som möjliggör att plattformen kan röra sig i alla horisonella riktningar, även från stillastående position. Mecanumhjulen består av fritt stående tunnformiga rullar. Rullarna möjliggör rörelse oberoende av varandra. Hela transportmodulen hade kunnat köpas in som bas för uppbyggnad av Molle-vagnen. Mecanumhjulen undersöktes vidare för analys då dessa var av intresse på grund av dess utförande och hur de kan röra sig. KUKA omniMove togs med som helhetskoncept för val av koncept och mecanumhjulen togs med som dellösning för att tillgodose mobilitet.



**Figur 3.7:** Helhetskonceptet KUKA omniMove (KUKA, 2019).

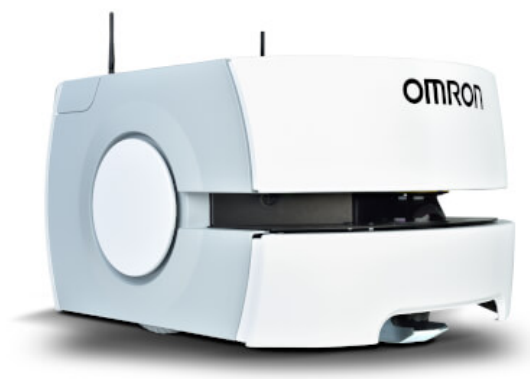
KUKA Mobile Platform 1500 (KUKA, 2019), se figur 3.8, är ett autonomt transportfordon som kan röra sig i alla horisontella riktningar samt rotera kring sin egna axel. Den används inom produktion där den förflyttar material. Den navigeras med hjälp av laser som känner av var den och andra föremål befinner sig i rummet. Den fungerar likt Move-e-star då den placerar sig under material som ska förflyttas. Lösningen togs vidare som helhetskoncept vid val av koncept då ett antal moduler hade kunnat agera samspelt vid förflyttning av molle-vagnen men hade även kunnat appliceras på andra vagnar.



**Figur 3.8:** Helhetskonceptet KUKA Mobile Platform 1500 (KUKA, 2019).

Omron LD series (OMRON, 2019), se figur 3.9, är en serie av flera autonoma transportfordon som arbetar samspelt. De används i tillverkningsbranschen där de möjliggör en mer flexibel tillverkning. Transportfordonet verkar sådant att den kör in under yta som ska förflyttas. Det fungerar som en traditionell AGV-lösning som går längs en förutbestämd bana. Banan kan följas med hjälp av linjer eller andra typer

av markörer exempelvis laser. I dagsläget används inte denna modul till material upp till Molle-vagnens vikt. Däremot skulle en lösning kunna vara att ett flertal transportfordon kör in under Molle-vagnen och arbetar samspelt vid förflyttning.

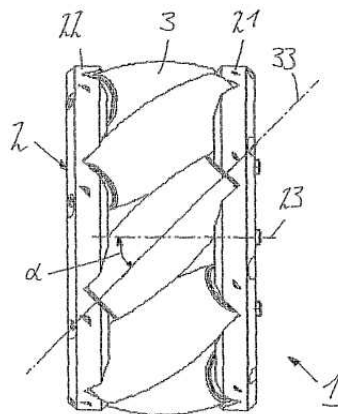


**Figur 3.9:** Helhetskonceptet Omron LD series (OMRON, 2019).

#### Patentsökning

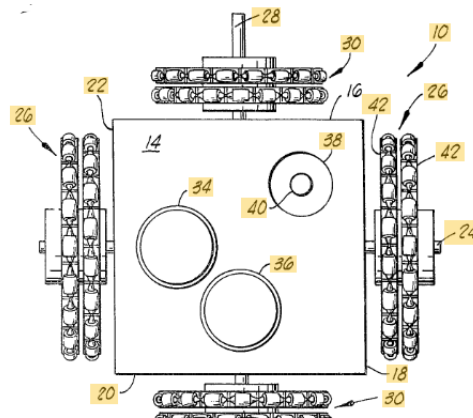
En patentsökning gjordes i Google Patents (Google Patents, 2019), PRV (PRV, 2019) och i Espacenet (Espacenet, 2019) för att upptäcka eventuella begränsningar samt för att finna inspiration till dellösningar. Projektgruppen valde att undersöka helhetslösningar som idag används inom industrin samt olika hjul. Tre patent valdes för närmre granskning då dessa låg till grund för inspiration till interna idégenereringen och eliminering av framtaget koncept.

Figur 3.10 visar patent EP 06775827.6 (PRV, 2019) som berör ett hjul som med hjälp av en styrenhet kan åka i alla möjliga riktningar, samtidigt som hjulets fästning är statisk. Det funkar genom att rullar sitter i en 45 graders vinkel runt om hela hjulet. Dessa rullar kan snurra mot underlaget samtidigt som hjulets nav roterar. För att kunna använda dessa hjul optimalt behövs fyra eller fler, då kan de styras så att det är möjligt att åka diagonalt och i sidled. Detta skulle kunna vara av intresse då förflyttning sker i sidled när vagnen skall förflyttas mellan olika rå på scenen men även då ett krav är att Molle-vagnen ska kunna rotera kring sin egna axel. Hjulena hade kunnat tillverkas på modul som kan placeras på olika vagnar men även tillverkas direkt på vagnen.



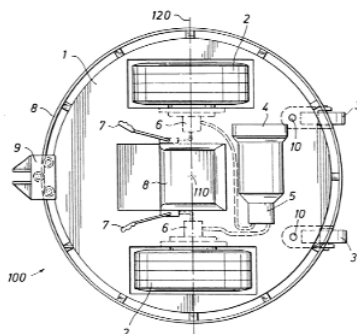
**Figur 3.10:** Patent EP 06775827.6, ett hjul av KUKA (Espacenet, 2019).

Figur 3.11 visar patent US4223753A (Google Patents, 2019) som är en transportanordning som består av en ram med minst två hjul som är försedda med perifer rullar. Genom rotationsingångar till hjulen kan önskad rörelse i alla riktningar uppnås. De perifera rullarna möjliggör att ett hjul kan ändra läge parallellt mot dess rotationsaxel utan att glida. Då varje hjul består av en drivmotor som är oberoende av resterande kan transportanordningen rotera kring sin centrala axel. Då ett krav var att kunna förflytta vagnen i alla riktningar hämtades inspiration till idégenereringen.



**Figur 3.11:** Patent US4223753A, en transportanordning (Google Patents, 2019).

Figur 3.12 visar patent US6581703B2, ett riktningfordon som kan röra sig i samtliga riktningar. Fordonet består av en rund ram, två oberoende drivhjul som sitter på en axel. Axeln genomgår ramens mittpunkt där hjulen sitter monterade på samma avstånd från fordonets centrala punkt. För att åstadkomma att fordonet kan bestämma position roterar drivhjulets axel vinkelrätt mot den önskade färdriktningen. I patentet styrs riktningfordonet av en person som sitter i modulen. Patentet gav inspiration till funktionen om hur hjul och rotationen kommer att kunna driva och styra vagnen.



**Figur 3.12:** Patent US6581703B2, en transportanordning (Google Patents, 2019).

#### Intern idégenerering

Den interna idégenereringen genomfördes som en fri idégenerering där inspiration hämtats från, men inte var begränsad till, den externa idégenereringen. Den fria idégenereringen genomfördes som en brainstormingsession där alla tankar och idéer var lika mycket värda och möttes utan kritik.

Idégenereringsmötet delades upp i varje delfunktion som visas i trädigrammet i figur 3.2. Delfunktionen *Tillgodose kraftöverföring* refererade till lösningar som överförde kraft för att genomföra funktionen *Tillgodose mobilitet*. *Tillgodose mobilitet* innebar i sin tur lösningar som kunde få vagnen att röra sig såväl framåt som sidleds och kring sin egen axel. För att möjliggöra styrning fanns två delfunktioner. Delfunktionen *Koordinera förflyttning* avsåg hur vagnen ska kommunicera med styrningen samt känna av sin plats i rummet medan *Kommunicera med operatör* avsåg operatörens gränssnitt för att styra vagnen. Förebyggandet av skador delades upp i *Varna för avvikelser* där olika sätt att varna för om något var fel idégenererades och *Tydliggöra förflyttning* vilket avsåg att göra det tydligt för omgivningen när vagnen användes. Samtliga idéer antecknades och i de fall där det var svårt att förstå skissades lösningen upp på papper. När idégenereringen hade genomförts listades alla dellösningar vilka visas i bilaga C.

#### Syntetisering av lösningar

Sammanställningen av tänkbara lösningar sållades för att få bort förslag som inte var realiserbara eller som saknade information. Exempel på detta var bensin- och dieselmotor vilket inte skulle fungera i inomhusmiljön på GöteborgsOperan. Att rulla vagnen på stockar eller bygga en räls i golvet var inte heller alternativ som kändes lämpliga att tillämpa på GöteborgsOperan. Av liknande anledningar sållades totalt 40 lösningsförslag bort. Kategorin *Varna vid avvikelser* kompletterades med fyra nya varav två tidigare fanns listade i *Koordinera förflyttning* eftersom dess funktion ansågs mer lämplig i nämnda kategori. De kvarvarande lösningarna redovisas i tabell 3.2.

De kvarvarande lösningsförslagen för mobilitet beskrivs i större detalj i tabell 3.3 där en skriftlig förklaring följs av en skiss av lösningen. Att just lösningsförslagen

för mobilitet beskrivs närmare beror på att de är avgörande för att funktionen *Transportera dekorelement i alla riktningar* som står i kravspecifikationen ska vara genomförbar.

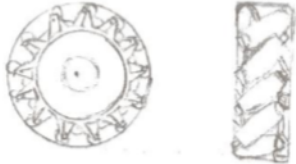
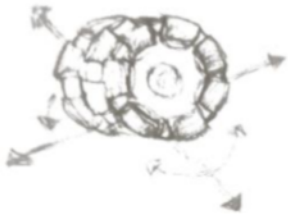
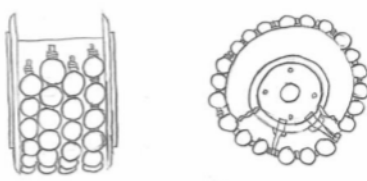



**Tabell 3.2:** Kvarvarande lösningsförslag efter en första sällning.

Möjliggöra förflyttning		Möjliggöra styrning		Förebygga skador	
Tillgodose kraftöverföring	Tillgodose mobilitet	Koordinera förflyttning	Kommunicera med operatör	Varna vid avvikelser	Tydliggöra förflyttning
Elmotor	Mecanumhjul	Känselspröt	Radiostyrd bil - kontroll med knappar	Ljud beroende på avstånd	Ljud vid start av rörelse
Dragtruck	Polywheel	Magnetremsa	Joystick	Tyngdmarkering	Tillfälligt ljus vid ändrad riktning
Människokraft	Omnihjul	Laser	Radiostyrd bil - kontroll med hjul	Visualisera distans till objekt	Konstant ljus vid förflyttning
Cykla	Killough platform	IR-signaler	Röststyrd	Styrningen visar vad som är nära (Radarkarta)	Vibration i ev. kontroll vid rörelse
Multi-mover	Holonomic drive	Dödräkning	"Follow the leader"	Rörelsedetektor	Walkie-talkies
Hjul med handtag	Tallrikshjul	GPS	Momentmotor	Nödstopp	Megafon
	Länkhjul	Radiostyrd	App	Ekolokalisering	
	Glida - Luftkudde	3D-scanning	Fjärrkontroll	Värmekamera	
	Bandaggregat	Människor puttar	Ratt		
	Mekaniska ben (tusenfoting)	Radar	Cykelstyre		
	Liddiard wheel		Styre med gas (moped)		
	Självgående dammsugare		Förprogrammerad för varje föreställning		
	Hjul vrids av kugghjul med rem		Dragtruck		



### 3. Resultat

**Tabell 3.3:** En översiktlig beskrivning av de kvarvarande lösingsförslagen för delfunktionen *Tillgodose mobilitet*

Tillgodose mobilitet	Skiss
<b>Mechanumhjul</b> Mechanumhjul består av rullar som är snedställda och monterade på en ram. Minst fyra hjul behövs för att vagnen ska kunna röra sig framåt, bakåt, åt sidorna och diagonalt.	
<b>Polywheel</b> Polywheel består av cylindrar som sitter fast på en hjulram. De kan vara en till fyra likadana hjul monterade tillsammans. Hjulen snurrar likt vanliga hjul men cylindrarna gör det möjligt att åka vinkelrätt från färdriktningen. Cylindrarna har dock ingen egen drivning utan kan bara rotera om yttre krafter påverkar.	
<b>Omniwheel</b> Omniwheel består av kulor som sitter ihop tre och tre och är monterade på en hjulram. Hjulen snurrar likt vanliga hjul men kan även åka vinkelrätt mot färdriktningen tack vare kulorna.	
<b>Killough platform</b> Killough platform är en konstruktion som möjliggör transport i flera riktningar. Hjulen är vinklade och kan både rotera i färdriktning men även snurras runt sin axel vilket förtydligas i skissen. Detta gör det möjligt för konstruktionen att åka i många riktningar utan att behöva vrida konstruktionen åt ett visst håll.	
<b>Holonomic drive</b> Holonomic drive är en konstruktion som består av polywheels. Genom att placera hjulen på sättet som visas i skissen möjliggörs förflyttning i två riktningar utan att rikta om konstruktionen.	
<b>Tallrikshjul</b> Ett tallrikshjul består av tre länkhjul som är monterade på en platta. Detta möjliggör rotation både för varje enskilt länkhjul men även för tallrikshjulet som helhet. På så sätt kan hjulet parera ojämnheter i golvet och skapa en jämn rörelse.	

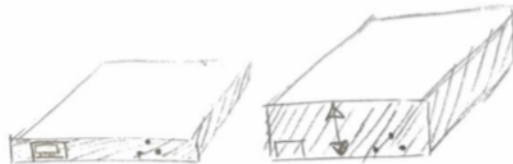


**Länkhjul**

Ett länkhjul består av ett vanligt hjul som sitter fast i en platta. Hjulet kan ställa in sig i olika riktningar relativt plattan som är monterad på produkten och möjliggör på så sätt förflyttning i alla horisontella riktningar.

**Glida – luftkudde**

Genom att fylla luftkudde som har små hål i sig med luft kan tyngden minskas och vagnen lättare förflyttas.

**Bandaggregat**

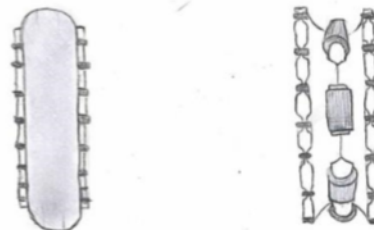
Bandaggregatet liknar det på pansarvagnar men har kulor som gör det möjligt för produkten att även transportera sig vinkelrätt från färdriktningen.

**Mekaniska ben**

Genom att applicera mekaniska ben kan transport i alla horisontella riktningar möjliggöras. Benen kan ta olika stora steg och på så sätt bestämma i vilken riktning produkten ska röra sig.

**Liddiard wheel**

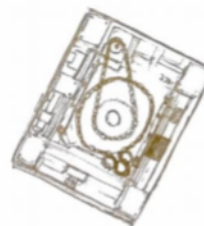
Liddiard wheels består av roterande cylindrar kring ett runt däck. När cylindrarna roterar roterar även däcket vilket medför att produkten åker åt sidan eller roterar kring sin egen axel beroende på om cylindrarna snurrar åt samma eller olika håll i de olika hjulen.

**Självgående dammsugare**

Principen hos en självgående dammsugare möjliggör transport i alla riktningar genom att snurra på plats runt sin egen axel och därefter åka iväg i önskad riktning.

**Hjul vrids av kugghjul med rem**

Genom att rotera ett hjul kan alla horisontella riktningar ställas in. Detta görs med hjälp av ett kugghjul och en rem.



#### Morfologisk matris

Lösningarna till den morfologiska matrisen hämtades från tabell 3.2. Lösningförslagen lades in i den morfologiska matrisen som visas i tabell 3.4. I den första kolumnen har delfunktionerna lagts in vilka följs av lösningförslagen för varje respektive delfunktion. Delfunktionerna är att: tillgodose kraftöverföring, tillgodose mobilitet, koordinera förflyttning, kommunicera med operatör samt att varna för krock. För att underlätta vid konceptgenereringen har varje delfunktion tilldelats en bokstav och varje lösningförslag en siffra. På så sätt kan ett lösningförslag förkortas till exempelvis A1 istället för elmotor. Att det finns både E1 och E2 beror på att de olika lösningarna ansågs kompatibla med varandra alltså att om en av dem användes uteslöt det inte nödvändigtvis ett annat lösningförslag i samma kategori. Det skapades därför två kategorier för att dessa skulle gå att kombinera.

Eftersom det fanns många sätt att varna för krock valdes att mäta avstånd som avgränsning. De gulmarkerade rutorna är därför inte med i konceptgenereringen på grund av den stora spridningen inom lösningförslagen. Trots detta bör till exempel *Nödstopp* finnas på det färdiga konceptet, oavsett vilka dellösningar som har kombinerats. *Tyngdmarkering* är en funktion som är bra när vagnen lastas men inte just för att undvika krock och därför valdes även denna bort under konceptgenerering då den ansågs vara möjlig att applicera oavsett helhetslösning. De gula rutornas innehåll valdes därför att avvakta med till ett senare skede. Kvarvarande lösningförslag var *Ljud beroende på avstånd*, *Visualisera distans* vilket görs med en färgindikation baserat på avstånd samt *Styrningen visar vad som är nära* vilket innebär att radarliknande karta finns på styrningsenheten.

Den röda cellen *Magnetremsa* är markerad för att den i teorin skulle fungera då det redan finns magnetremсор i golvet på scenen på GöteborgsOperan. Magnetremсорna och styrningen som hör till är dock gammal och därför inget som GöteborgsOperan uppmuntrar som lösning. Av denna anledning undveks lösningar som innehöll *Magnetremsa* som förslag.

De kvarvarande lösningarna kunde teoretisk generera 1 771 561 helhetslösningar men eftersom vissa dellösningar inte är kompatibla med varandra och somliga helhetslösningar inte är genomförbara genererades slutligen 106 helhetslösningar. De 106 helhetslösningar utgjorde en första konceptkatalog. Konceptkatalogen kompletterades även med fem helhetslösningar som hittats vid undersökning av liknande verksamheter och andra branschens lösningar. Dessa var Omron LD-series, KUKA omniMove, KUKA Mobile Plattform 1500, Move-e-star och Visual act. Konceptkatalogen finns redovisad i bilaga D och användes som utgångspunkt vid val av koncept.

#### 3.2.2 Val av koncept

För att göra ett objektiva val av koncept genomfördes fem olika aktiviteter. Först presenteras elimineringsmatrisen som användes för att sälla bort de koncept som inte uppfyllde kraven från kravspecifikationen. Därefter genomfördes en sällning med

Tabell 3.4: Morfologisk matris med lösningsförslag för varje delfunktion.

Funktioner	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>A Tillgodose kraftöverföring</b>	Elmotor	Dragtruck	Människokraft	Cykla	Multimover	Hjul med handlag							
<b>B Tillgodose mobilitet</b>	Mecanumhjul	Polywheel	Omnihheel	Kilough platform	Holonomic drive	Talrikshjul	Länkhjul	Gilda - Luftkudde	Bandaggregat	Mekaniska ben (tusenlöng)	Liddard wheel	Självgående dammsugare	Hjul vrds av kugghjul med rem
<b>C Koordinera förflyttning</b>	Karselsprut	Magretensa	Laser	IR-sigrater	Dodraking	GPS	Radiostyrd	3D scanning	Människor puttar	Radar			
<b>D Kommuniceera med operatör</b>	Radiostyrd bil - kontroll med knappar	Joystick	Radiostyrd bil - kontroll med hjul	Röaststyrd	"Follow the leader"	Momentmotor	App	Fjärrkontroll	Ratt	Cykelstyre	Styre med gas (moped)	Förprogramme rad för varje köreställning	Dragtruck
<b>E1 Varma för krock</b>	Ljud beroende på avstånd	Tyngdmärkning	Visualisera distans till objekt	Styrningen visar vad som är nära (Radar-karta)	Rörelsedetektor	Nödstopp	Ekolokalisering	Varmekamera					
<b>E2 Varma för krock</b>	Ljud beroende på avstånd	Tyngdmärkning	Visualisera distans till objekt	Styrningen visar vad som är nära (Radar-karta)	Rörelsedetektor	Nödstopp	Ekolokalisering	Varmekamera					

hjälp av multiröstning för att minska antalet koncept inför Pughmatrisen. Den nya konceptkatalogen utvecklades genom att skissas för att därefter användas i Pughmatrisen. Pughmatrisen genomfördes tre gånger tills resultatet konvergerade. De kvarvarande koncepten utvärderades slutligen i en konceptpoängsättningsmatris vilket resulterade i ett vinnande koncept.

#### **Elimineringsmatris**

Samtliga koncept som genererats vid konceptgenereringsfasen gick igenom en elimineringsmatris som visas i bilaga E. Kraven utefter vilka koncepten utvärderades hämtades från kravspecifikationen. I elimineringsmatrisen eliminerades samtliga koncept som använde sig av människokraft, cykel eller dragtruck som kraftöverföring. Att använda sig av människokraft går emot kravet att endast två stycken ska krävas för att transportera vagnen då den är för tung för att kunna manövreras av endast två personer. Cykling skulle innebära en större istället för lägre påfrestningen jämfört med hur Molle-vagnen transporteras idag. Att använda sig av en dragtruck innebär att lika många skulle behöva vara inblandade som idag vilket går emot kravet att endast två personer ska behöva vara delaktiga.

Bland lösningarna för att tillgodose mobilitet sållades koncept som innehöll polywheels, Killough platform, bandaggregat, mekaniska ben, glida-luftkudde och Liddiard wheels. Polywheels eliminerades på grund av brist på information och Killough platform försvann då denna lösning endast verkade ha applicerats på små konstruktioner med liten belastning och inga belägg hittades för att den skulle fungera på större konstruktioner. Koncept som innehöll lösningen bandaggregat och mekaniska ben eliminerades då de inte skulle passa företaget eftersom det ansågs vara en för komplex lösning respektive skulle överskrida de maximala dimensionerna och vara komplicerat att tekniskt genomföra. För att kunna använda sig av luftkuddar så att vagnen glider fram behöver luftslangar vara kopplade vilket inte är genomförbart på den önskade sträckan. Liddiard wheels ansågs inte passa företaget då den ger en förflyttning som är långsam och därför inte kommer konkurrera med dragtrucken som redan är vedertagen.

Med utgångspunkt i delfunktionen *Koordinera förflyttning* eliminerades koncept som innehöll dödräkning och att människor puttade. Dödräkningen kräver att det finns ett förprogrammerat och välkalibrerat program. Det innebär en större grad av underhåll och uppfyller inte kravet för precisionsförflyttning då precisionen för dödräkning är starkt beroende av att kalibrering görs ofta. Att människor puttade innebär att fler personer än två skulle behövas för att navigera vagnen och dessutom innebär det en ökad påfrestning jämfört med den befintliga vagnen.

Efter att elimineringsmatrisen hade genomförts kvarstod 38 helhetslösningar från konceptkatalogen vilka sållades ned och förtydligades ytterligare innan de utvärderades vidare i Pughs konceptvalsmatris.

### **Vidare sällning av koncept**

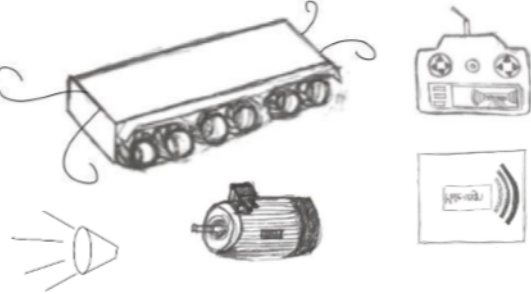
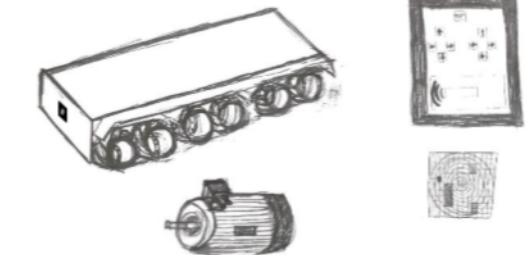
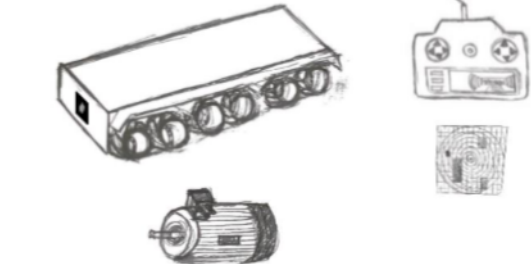
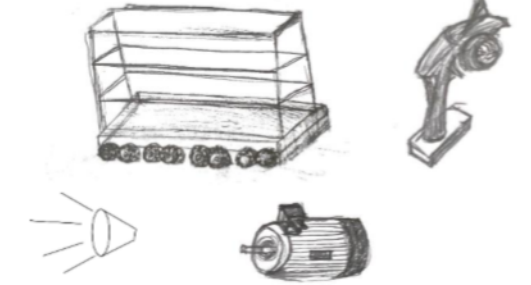
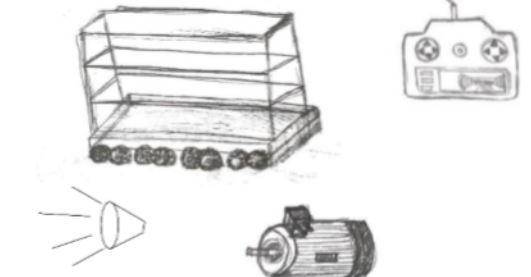
Eftersom Pughs konceptvalsmatris helst inte genomförs med fler än tolv koncept genomfördes en multiröstning. Varje gruppmedlem fick rösta på de fem koncept som personen trodde hade störst potential. Bilden av koncepten var relativt homogen vilket ledde till att nio bidrag snabbt röstades fram. Till dessa adderades fyra bidrag där hänsyn togs till att de skulle skilja sig från de framröstade koncepten för att öka spridningen av helhetslösningar. För att få med en spridning bland de kvarvarande koncepten konstaterades att 13 koncept var hanterbart trots att det inte bör vara fler än tolv koncept. En ny konceptkatalog innehållandes 13 koncept skapades vilka beskrivs mer utförligt när koncepten vidareutvecklas.

### **Vidareutveckling av koncept**

För att skapa en homogen bild av de kvarvarande koncepten skissades samtliga och fick en kortfattad beskrivning. Varje koncept tilldelas även en bokstav och visas i tabell 3.5. Skisserna medför att Pughs konceptvalsmatris blir mer rättvist genomförd eftersom alla koncept är lika detaljerade.

### 3. Resultat

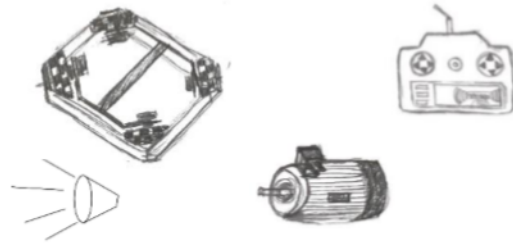
**Tabell 3.5:** Beskrivning av de koncept som kvarstod efter att elimineringsmatrisen och multiröstningen hade genomförts.

Koncept	Skiss
<p><b>Koncept A</b>            Dellösningar: A1:B1:C3:D1:E1.1:E2.3            Koncept A består av mecanumhjul som sitter monterade på Molle-vagnen. Mecanumhjulen får sin energi av en elmotor och styrs med en kontroll med knappar. För att känna var i rummet vagnen befinner sig har den känselspröt som känner av när de nuddar något. Konceptet signalerar med ljudsignaler när den närmar sig något och på kontrollen visualiseras avståndet.</p>	
<p><b>Koncept B</b>            Dellösningar: A1:B1:C4:D7:E1.4            Koncept B består av mecanumhjul som sitter monterade på Molle-vagnen. Mecanumhjulen får sin energi av en elmotor och styrs med en app. För att känna var i rummet vagnen befinner sig skickas IR-signaler ut. I appen visas en radarkarta som visar vad som finns runt vagnen.</p>	
<p><b>Koncept C</b>            Dellösningar: A1:B1:C10:D1:E1.4            Koncept C består av mecanumhjul som sitter monterade på Molle-vagnen. Mecanumhjulen får sin energi av en elmotor och styrs med en kontroll med knappar. För att känna var i rummet vagnen befinner sig används radarteknik. På kontrollen visas en radarkarta på kontrollen som visar vad som finns runt vagnen.</p>	
<p><b>Koncept D</b>            Dellösningar: A1:B3:C3:D3:E1.1            Koncept D består av omniwheels som sitter monterade på Molle-vagnen. Omniwheels får sin energi av en elmotor och styrs av en handkontroll med ett hjul på. För att känna var i rummet vagnen befinner sig används laserteknik. Konceptet signalerar med ljudsignaler när det närmar sig något.</p>	
<p><b>Koncept E</b>            Dellösningar: A1:B3:C6:D1:E1.1            Koncept E består av omniwheels som sitter monterade på Molle-vagnen. Omniwheels får sin energi av en elmotor och styrs av en kontroll med knappar. För att känna var i rummet vagnen är i rummet används GPS. Konceptet signalerar med ljudsignaler när det närmar sig något.</p>	

**Koncept F**

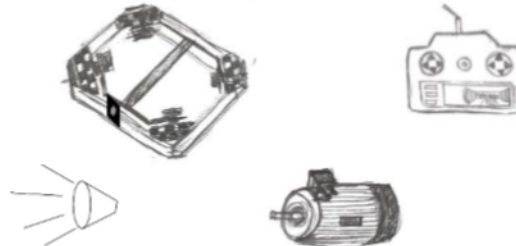
Dellösningar: A1:B5:C7:D1:E1.1

Koncept F består av en holonomic drive-enhet som sätts fast i Molle-vagnen. Hjulen får sin energi av en elmotor och styrs av en kontroll med knappar. För att känna var vagnen befinner sig i rummet används GPS. Konceptet signalerar med ljudsignaler när det närmar sig något.

**Koncept G**

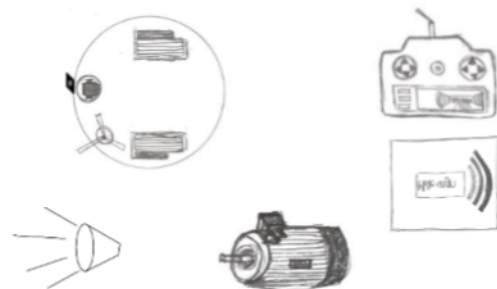
Dellösningar: A1:B5:C10:D1:E1.1

Koncept G består av en holonomic drive-enhet som sätts fast i Molle-vagnen. Hjulen får sin energi av en elmotor och styrs av en kontroll med knappar. För att känna var vagnen befinner sig i rummet används radarteknik. Konceptet signalerar med ljudsignaler när det närmar sig något.

**Koncept H**

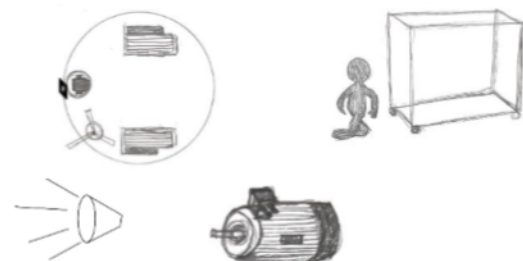
Dellösningar: A1:B12:C3:D1:E1.1:E2.3

Koncept H består av en enhet liknande en självgående dammsugare som sätts fast i Molle-vagnen. Hjulen får sin energi av en elmotor och styrs av en kontroll med knappar. För att känna var i rummet vagnen befinner sig används laserteknik. Konceptet signalerar med ljudsignaler samt visualiserar på kontrollen när det närmar sig något.

**Koncept I**

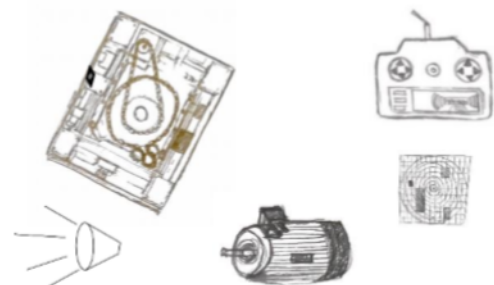
Dellösningar: A1:B12:C4:D5:E1.1

Koncept I består av en enhet liknande en självgående dammsugare som sätts fast i Molle-vagnen. Hjulen får sin energi av en elmotor och styrs genom att "follow the leader". För att känna var i rummet vagnen befinner sig används IR-teknik. Konceptet signalerar med ljud när det närmar sig något.

**Koncept J**

Dellösningar: A1:B13:C3:D1:E1.1:E2.4

Koncept J består av en enhet med ett hjul som vrids i önskad riktning och som sätts fast i Molle-vagnen. Hjulen får sin energi av en elmotor och styrs av en kontroll med knappar. För att känna var i rummet vagnen befinner sig används laserteknik. Konceptet signalerar med ljudsignaler samt en radarkarta på kontrollen när det närmar sig något.





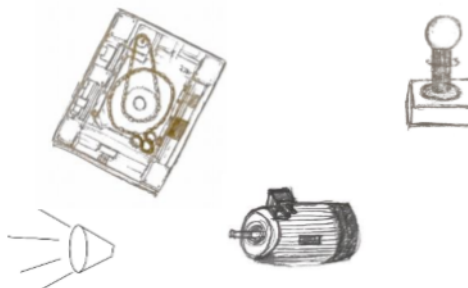
### 3. Resultat

---

#### Koncept K

Dellösningar: A1:B13:C7:D2:E1.1

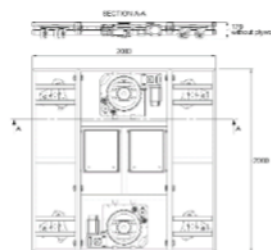
Koncept K består av en enhet med ett hjul som vrids i önskad riktning och som sätts fast på Molle-vagnen. Hjulen får sin energi av en elmotor och konceptet styrs av en joystick. För att känna var i rummet vagnen befinner sig används radiostyrning. Konceptet signalerar med ljudsignaler när det närmar sig något.



#### Koncept L

Visual A.C.T

Visual A.C.Ts produkter består av olika enheter som kan arbeta tillsammans. Varje enhet har ett drivande hjul som kan ställas in i önskad riktning utan att resten av enheten rör sig. Konceptet styrs med ett program som förprogrammerar rörelsen men där hastigheten regleras live.



#### Koncept M

Move-e-star

Move-e-stars plattform kan röra sig i alla horisontella riktningar genom att rotera sina fyra hjul i önskad riktning. Plattformen anpassas efter kundens behov och kan lyfta upp till 120 ton.



## Pughs konceptvalsmatris

Den uppdaterade konceptkatalogen innehållandes 13 koncept fördes in i den första av tre Pughmatriser. Den första och andra Pughmatrisen visas i bilaga F. I den första Pughmatrisen är Molle-vagnen referenslösning. Kriterierna har valts utifrån de önskemål som uttryckts vid kundundersökningen. Från matrisens resultat där koncepten rangordnas blev det tydligt att samtliga av de framtagna koncepten var bättre än Molle-vagnen. Högst upp i rangordningen var koncept J och K och längst ned fanns koncept I. Dagens lösning eliminerades då den ansågs vara utkonkurrerad. För att verifiera resultatet genomfördes två Pughmatriser till.

I den andra Pughmatrisen valdes koncept A som referenslösning då konceptet ansågs vara en stark lösning och en som GöteborgsOperan själva var intresserade av. Matrisen skiljer sig från den första Pughmatrisen genom att det finns koncept som är både bättre och sämre än referenslösningen. I detta skede eliminerades de tre koncept som var placerade längst ned i rangordningen, alltså koncept B, E och I. Koncept B försvann på grund av att det endast var bättre än referensen på en punkt, *Lätt att reglera hastighet*, då det ansågs enklare att använda en app och gå bredvid vagnen än en stationär dator på avstånd. Koncept B var sämre när det kom till bland annat underhåll, positionering och tillverkningsbarhet. Koncept I var endast bättre än referensen på kriteriet *Vikt* eftersom enheten ansågs lättare än de minst



åtta mecanumhjul som skulle krävas för att transportera vagnen. Koncept E var inte bättre än referensen på några kriterier. De resterande koncepten jämfördes vidare i en tredje Pughmatris.

I den tredje Pughmatrisen används koncept L som referenslösning eftersom Visual act ansågs vara ett starkt bidrag som dessutom skulle gå snabbt att implementera när det väl köpts in. Matrisen visas i tabell 3.6 där resultatet av den genomförda matrisen kan ses. Då resultatet verkade konvergera eliminerades koncept C, D, J, K och M då de hade lägst total poäng.

De koncept som valdes för vidareutveckling var alltså A, F, G, H och L. Koncept L ansågs vara bra för att det köps in, installeras på GöteborgsOperan och en introduktionskurs medföljer. Däremot är det svårare för GöteborgsOperans verkstad att underhålla själva om något går sönder. Trots att relativt många koncept ansågs bättre än koncept L valdes detta för vidareutveckling eftersom det ansågs ha stor potential när det väl fungerar.

Koncept A, F och G hade samma poäng i Pughmatrisen med skillnaden att koncept A var bättre än referenslösningen på kriteriet *Vikt* eftersom Visual acts koncept är flera moduler som samverkar medan mecanumhjulen kan monteras direkt på Molle-vagnen. Koncept A presterade dock sämre på kriteriet *Applicerbar på andra vagnar* eftersom mecanumhjulen monteras på Molle-vagnen och därför måste varje hjul monteras loss för att kunna appliceras på en annan vagn.

Koncept H fick högst poäng och ansågs sämre än referenskonceptet på endast två kriterier: *Lätt att underhålla* och *Tillverkningsbarhet* vilket beror på att ett inköpt koncept redan är testat och beprövat till skillnad från ett helt nytt. Koncept A, F, G, H och L jämfördes vidare i en konceptpoängssättningsmatris.

### 3. Resultat

Tabell 3.6: Pughmatris nr. 3 genomförd med koncept L som referenslösning.

Chalmers	Pughs konceptvalsmatris : IMSX15-19-03									
	Skapad: 2019-04-09 Modifierad: 2019-04-09					Sid 1				
Utfördare: Jasmine Björk, Kajsa Magnusson & Sofia Rosen										
Kriterier	Alternativ									
	L	A	C	D	F	G	H	J	K	M
Lätt att underhålla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Kan underhållas av egen verkstad	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Lätt att positionera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lätt att reglera hastighet	+	+	+	+	+	+	+	+	-	0
Lätt att rotera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lätt att förflytta i sidled	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lätt att förstå	+	+	+	0	+	+	+	0	-	0
Lätt att förstå placering	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0
Styrning av få personer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vikt	+	+	+	+	0	0	+	0	0	0
Minskar risk för kollision	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Passar befintlig vagn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Applicerbar på andra vagnar	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
Tillverkningsbarhet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Mer tidseffektiv	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Σ+	6	6	6	5	5	5	6	4	3	0
Σ 0	6	5	5	7	8	8	7	9	8	15
Σ -	3	3	4	3	2	2	2	2	4	0
Nettovärde	3	2	2	2	3	3	4	2	-1	0
Rangordning	2	5	5	5	2	2	1	5	9	8
Vidareutveckling	Ja	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
Beslut	Koncept C, D, J, K och M sällas bort									

## Konceptpoängsättningsmatrix

I konceptpoängsättningsmatrix hämtades kriterierna från kravspecifikationen och kundbehovslistan där de kundbehov som var mest frekventa uppmärksammades. Kriterierna viktades beroende på vilka kriterier som ansågs vara viktigare än andra. I tabell 3.7 är de kvarstående koncepten inlagda och jämförs med en ideallösning.

De två kriterier som är högst viktade är den fysiska påfrestningen och säkerheten. I detta avseende ger låg fysisk påfrestning en hög siffra eftersom det är en förutsättning för att minska förslitningsskador hos de anställda. Säkerhet är en grundpelare för arbetet på GöteborgsOperan och något som är avgörande för att konceptet ska vara av intresse, därför har även denna viktats högt.

Ett behov som återkom under kundundersökningen var att det var viktigt att alla skulle kunna använda konceptet och att det därför inte skulle vara för tekniskt avancerat. Av denna anledning har kriteriet *Lätt att hantera* fått värdet fyra eftersom det kommer påverka om scenteknikerna kommer välja att arbeta med det framtagna konceptet eller inte. Är det framtagna konceptet för avancerat att använda är sannolikheten stor att konceptet inte används, utan att det vedertagna arbetssättet med dragtruck istället väljs.

Att konceptet är *Självförklarande* innebär att det utan utbildning ska vara möjligt att förstå hur konceptet styrs och hanteras utan att säkerheten riskeras. Kriteriet bidrar till att underlätta förståelsen av konceptet för att göra det möjligt för samtliga scentekniker att kunna använda det. Kriteriet har därför tilldelats värdet tre. Ljudnivån har också fått värdet tre eftersom det redan är svårt att kommunicera när scenen byggs om och det därför inte behövs fler störningar. Att kommunikationen på scenen är god när en föreställning dukas eller rivs är också avgörande för att det ska vara säkert att arbeta där.

De kriterier som har fått värdet två är *Miljö* och *Omkonstruktion av befintlig vagn*. Att ha ett så miljövänligt koncept som möjligt är alltid något att eftersträva för att skapa ett hållbart samhälle. *Omkonstruktion av befintlig vagn* innebär att Mollevagnen ska behöva ändras så lite som möjligt vilket är ett behov som har lyfts av verkstaden. Genom att behålla Mollevagnen i sin nuvarande form i så stor utsträckning som möjligt medför att risken för att dess nuvarande funktioner påverkas minskas.

Det kriterium som har lägst signifikans är priset eftersom kunden inte uttryckt ett kostnadstak. Kriteriet är ändå med eftersom en låg kostnad är eftersträvansvärd så länge det inte går ut över kvaliteten.

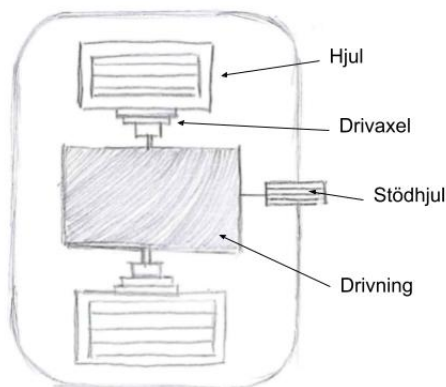
Resultatet av konceptpoängsättningsmatrixen visar ett relativt jämnt resultat men ett koncept innehar det högsta värdet, koncept H. Då koncept H hade ett högt värde på de viktigaste kriterierna valdes detta koncept som slutgiltigt koncept att vidareutveckla.

**Tabell 3.7:** Genomförd konceptpoängsättningsmatris med de resterande koncepten.

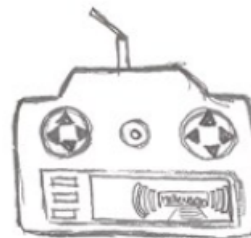
<b>Chalmers</b>		<b>Konceptpoängsättningsmatris: IMSX15-19-03</b>													
Utfärdare: Jasmine Björk, Kajsa Magnusson, Sofia Rosén		Skapad: 2019-04-09					Modifierad: 2019-04-09					Sid 1			
<b>Kriterier</b>	<b>w</b>	<b>Ideal</b>		<b>A</b>		<b>F</b>		<b>Alternativ</b>		<b>G</b>		<b>H</b>		<b>L</b>	
		v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t
Lätt att hantera	4	5	20	5	20	5	20	5	20	5	20	5	20	5	20
Fysisk påfrestning	5	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25
Säkerhet	5	5	25	5	25	4	20	4	20	4	20	5	25	3	15
Miljö	2	5	10	2	4	1	2	2	2	1	2	2	4	4	8
Ljudnivå	3	5	15	1	3	2	6	2	6	2	6	3	9	5	15
Självförklarande	3	5	15	4	12	4	12	4	12	4	12	4	12	3	9
Omkonstruktion av befintlig vagn	2	5	10	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Kostnad	1	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2
<i>T (Totalt viktat värde)</i>		40	125	27	96	26	92	26	92	26	92	28	101	29	98
<i>T / Tideal</i>		1,00	1,00	0,68	0,77	0,65	0,74	0,65	0,74	0,65	0,74	0,70	0,81	0,73	0,78
Medel		5,00	15,63	3,38	12,00	3,25	11,50	3,25	11,50	3,25	11,50	3,50	12,63	3,63	12,25
Std-avvikelse [1]		0,00	5,78	1,38	8,50	1,25	7,75	1,25	7,75	1,25	7,75	1,25	8,03	1,13	6,50
Median		5,00	15,00	3,50	8,00	3,50	9,00	3,50	9,00	3,50	9,00	3,50	10,50	3,50	12,00
Antal svaga punkter [2]		0		1		1		1		1		0		0	
Rangordning					3		4		4		4		1		2
Resultat		Koncept H väljs då det har höga poäng på det högst prioriterade kriterierna samt högst totala poäng.													

### Valt koncept

I figur 3.13 visas det vinnande konceptet H. Koncept H består av två hjul som drivs av en elmotor och ett stödhjul. De två drivande hjulen gör det möjligt för konceptet att rotera kring sin centrumaxel genom att snurra hjulen åt olika håll såväl som att åka framåt och bakåt. Med ett koncept H, som vidare kommer kallas styr- och transportmodul, i vardera ände av vagnen kan vagnen åka i alla riktningar genom att konceptet först roterar till önskad position så att hjulen hamnar i den riktning vagnen ska åka för att därefter driva vagnen framåt. För att principen ska fungera är det viktigt att styr- och transportmodulen kan rotera fritt från vagnen så att den kan ställa in sig i rätt position utan att flytta på vagnen.



**Figur 3.13:** Ritning av vinnande koncept H.



**Figur 3.14:** Kontrollen som styr koncept med hjälp av knappar och en display.

För att styra de två koncepten används en trådlös kontroll vilken visas i 3.14. Kontrollen gör det möjligt för en person att styra Molle-vagnen från avstånd och ger därför möjlighet att se till så att vagnen inte åker in i något eller någon. För att underlätta för föraren indikeras nära avstånd till föremål både genom ljudsignaler och genom att distansen visualiseras på kontrollen. Både ljudsignalerna och distansindikatorn möjliggörs genom laserteknik vilket gör det möjligt för konceptet att läsa av rummet.

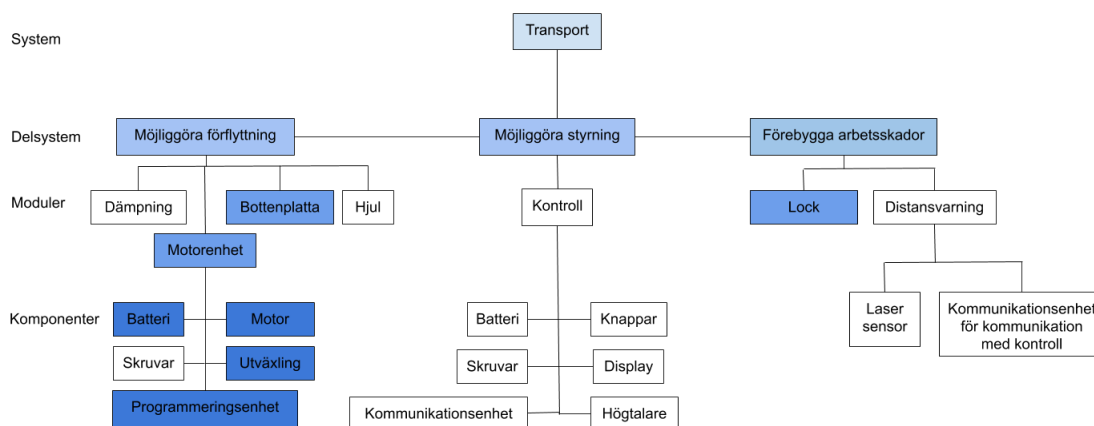
### 3.2.3 Konstruktion av koncept

För att konstruera konceptet görs först en systemarkitektur för att ta reda på vilka komponenter som är nödvändiga för att konceptet skall kunna uppfylla sin funktion. Därefter görs en detaljkonstruktion som innefattar en lista över alla komponenter

som skall köpas in respektive tillverkas. Detaljkonstruktionen innefattar även val av material och tillverkningsmetod för de komponenter som skall tillverkas. Baserat på detaljkonstruktionen görs sedan en kostnadsuppskattning för konceptet. Till sist görs en produktionsanpassning i form av en DFA-analys.

### Systemarkitektur

Systemarkitekturen baserades på funktionsträdets övre delar, se figur 3.2, sedan omformulerades funktionerna till moduler och komponenter i systemarkitekturen som visas i figur 3.15. Fokus var att möjliggöra transporten, alltså en modul innefattande hjul, bottenplatta och motorenhet samt lock. De delar som är markerade med blått i systemarkitekturen är de moduler och komponenter som detaljkonstruerades i nästkommande kapitel.



**Figur 3.15:** Systemarkitektur för konceptet baserat på funktionsträdet.

Förflyttningen delades upp i modulerna: dämpning, bottenplatta, hjul och motorenhet. Uppdelningen gjordes på detta vis då vardera modul avser att uppfylla att vardera delfunktion utförs. De som vidare detaljkonstruerades var bottenplattan, locket och motorenheten. Bottenplattan detaljkonstruerades då den är nödvändig för att kunna montera samman alla komponenter. Locket detaljkonstruerades för att det har en stor betydelse ur både ett estetiskt och säkerhetsperspektiv. Motorenheten delades upp i ett flertal komponenter: batteri, motor, utväxling, skruvar och programmeringsenhet. Batteri krävdes som spänningskälla för att driva motor, utväxling och programmeringsenhet. Det krävdes skruvar för att kunna montera alla komponenter i bottenplattan. Motor och utväxling delades upp i två delar då utväxling krävs för att motorn ska klara av den höga belastningen som uppstår när vagnen ska startas från stillastående, vilket är mycket tyngre än när vagnen börjat rulla.

Konceptet består även av en modul som kallas kontroll. Kontrollen består av komponenterna: batteri, knappar, display, skruvar, högtalare och kommunikationsenhet för att möjliggöra styrning. Batteriet driver den kommunikationsenhet som sköter kommunikationen med både lasersensorer och programmeringsenheten som styr styr-och

transportmodulen. Högtalaren på kontrollen samt displayen informerar användaren om vagnen närmar sig något föremål för att minska risken för kollision. Skruvarna möjliggör fästning av alla komponenter.

Med syfte att förebygga arbetsskador delades delsystemet upp i två moduler med avseende att öka säkerheten för personalen som arbetar i närheten av konceptet. Ett skyddande lock konstruerades för att skydda personalen vid eventuella feltramp och elektriska stötar. För att förhindra kollision tilldelades delsystemet en modul för distansvarning. Distansvarnings-modulen är tänkt att varna användaren vid eventuellt förhinder och den består av komponenterna lasersensor och kommunikationsenhet som möjliggör att informationen från sensorn kan hanteras av kontrollen.

Då fokus lades vid förflyttning är det de ingående modulerna och komponenterna som vidare kommer detaljkonstrueras, dessa tillsammans kommer vidare kallas styr- och transportmodul. Även det skyddande locket kommer detaljkonstrueras då det anses ha en inverkan på estetiken av konceptet.

### Detaljkonstruktion

I systemarkitekturen definierades vilka komponenter som behövdes för det färdiga konceptet. Detaljkonstruktionen berör enbart de moduler och komponenter som möjliggör förflyttning samt det skyddande locket då det påverkar estetiken av styr- och transportmodulen.

**Tabell 3.8:** Komponentlista som visar vad som skall tillverkas eller köpas in, komponenternas vikt samt hur många som krävs för en styr- och transportmodul.

<b>Komponenter för en enhet</b>		
<b>Komponent Vikt</b>	<b>Antal</b>	<b>Köpas in/Tillverkas</b>
Bottenplatta 77 kg	1	Tillverkas
Motor 3,6 kg	2	Köpas in
Batteri 68 kg	4	Köpas in
Programmeringsenhet 760 g	1	Köpas in
Lock 4 kg	1	Tillverkas
<b>Total vikt</b> 153,36 kg		

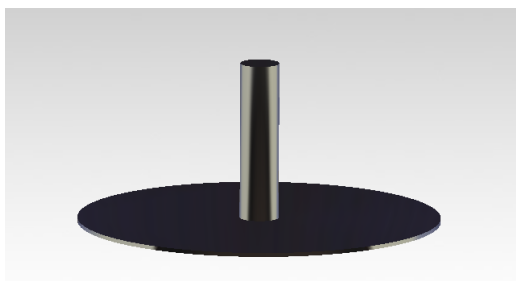
De komponenter som kan köpas in är batteri, motor med utväxling, skruvar och programmeringsenhet. Val av dessa komponenter gjordes i samråd med J. Cederfeldt (Personlig kommunikation, 2 april 2019), som har byggt liknande enheter tidigare

### 3. Resultat

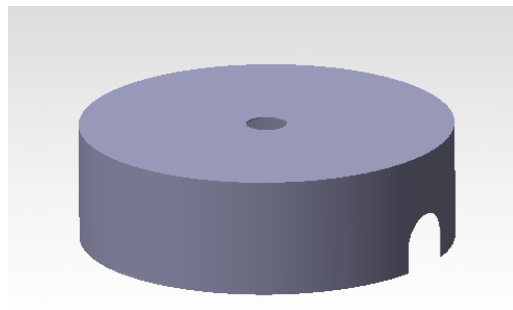
---

och vet vilka komponenter GöteborgsOperan är vana att arbeta med. Den motor som ansågs lämplig har inbyggd utväxling, denna enhet kallas vidare för motorenhet. Till styr- och transportmodulen valdes en Brushless DC motor från ElectroCraft (ElektroCraft, 2019). För att sköta kommunikation och styrning valdes en MBL1660 programmeringsenhet från RoboteQ (RoboteQ, 2019). Utöver dessa komponenter krävdes även fyra stycken bilbatterier för att leverera spänning till de koncept som kräver det. Alla komponenter finns listade i tabell 3.8, där visas även hur många som krävs för en styr- och transportmodul, om de ska köpas in eller tillverkas samt komponenternas vikt.

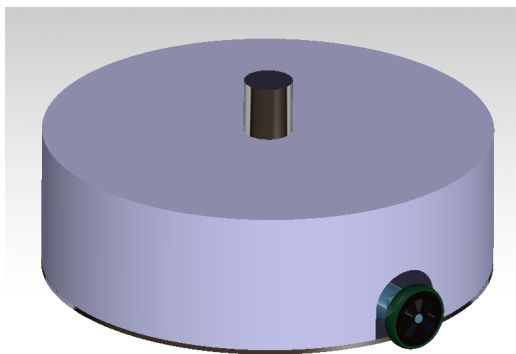
När de komponenter som ska köpas in var bestämda kunde de sättas samman på en bottenplatta så att den kunde dimensioneras. Detta gjordes med hjälp av en CAD-modell där de olika komponenterna flyttades runt för att uppnå minsta möjliga mått. Bottenplattan gjordes rund för att maximera ytan att placera komponenter på samtidigt som den skulle ta så lite plats som möjligt då den roterar kring sin egen centrumaxel, det ansågs även fördelaktigt ur ett estetiskt perspektiv. Bottenplattans slutgiltiga form visas i figur 3.16. Vagnen ansluts via axeln i mitten, som även håller locket på plats. När bottenplattan var dimensionerad kunde locket även dimensioneras utifrån bottenplattans mått, se figur 3.17. För koncept med lock se figur 3.18 och figur 3.19 för koncept utan lock där alla ingående komponenter visualiseras.



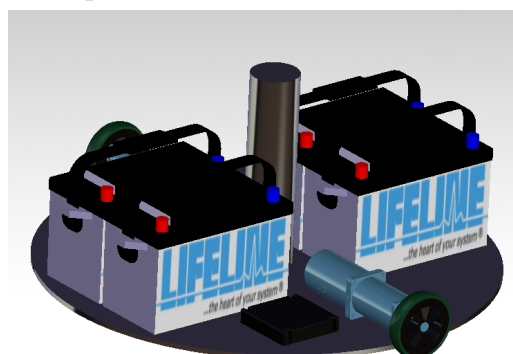
**Figur 3.16:** Konstruerad bottenplatta i rostfritt stål.



**Figur 3.17:** Det skyddande locket till konceptet.



**Figur 3.18:** Konceptet med det skyddande locket.



**Figur 3.19:** Konceptet med alla ingående komponenter, utan locket.



I bilaga G finns ritningar för konceptet med och utan lock med dimensioner för varje ingående komponent samt en sprängsskiss med tillhörande komponentlista. I samma bilaga visas också en bild där konceptet är monterat på Molle-vagnen. Med formen för bottenplattan och locket fastställd kunde materialval utföras. Med vald form och utfört materialval kunde tillverkningsmetod fastställas för att sedan ligga till grund vid uppskattning av tillverkningskostnaden.

#### Materialval

Materialvalet gjordes genom att ett antal krav på materialet ställdes, sedan sammanställdes de material som uppfyllde kraven i en graf med önskade egenskaper på axlarna. Därefter gjordes en avvägning av vilket material som ansågs mest lämpligt. Med ett valt material valdes lämplig tillverkningsmetod utifrån form på produkt samt vilka tillverkningsmetoder som var rekommenderade.

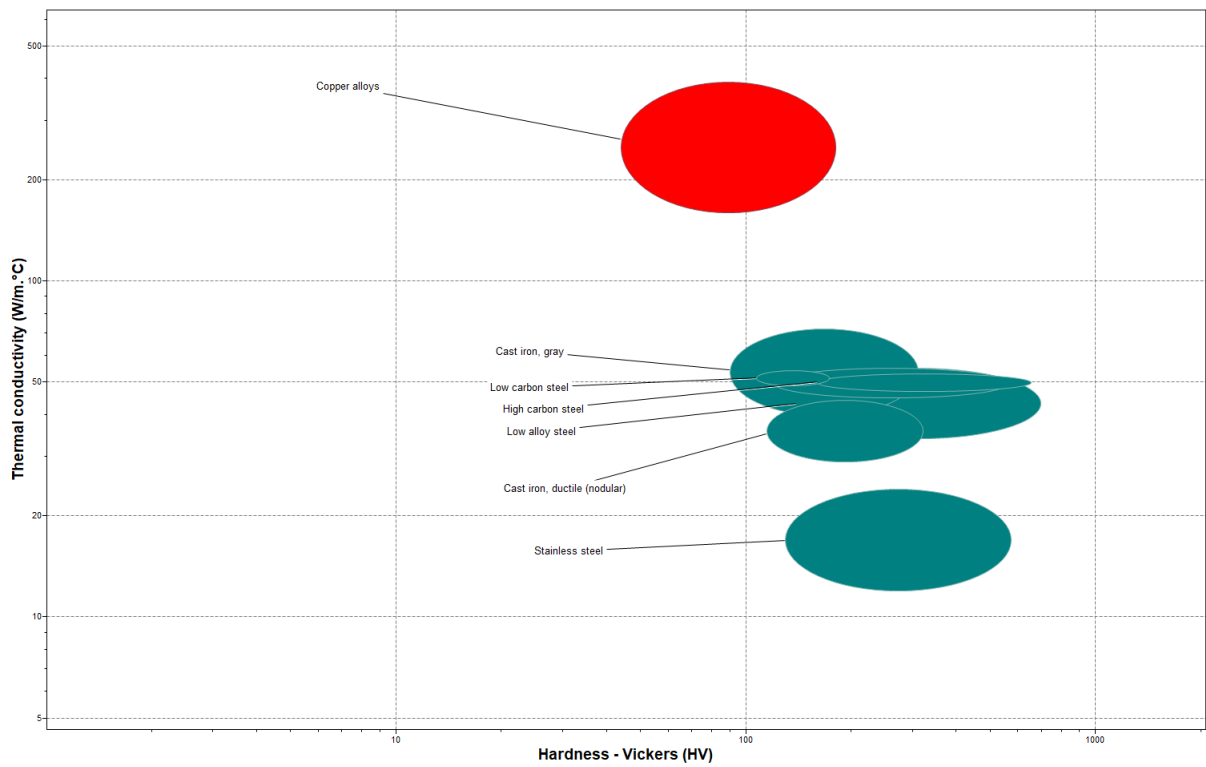
Först utfördes materialvalet för bottenplattan. Bottenplattan förväntades kunna klara en arbetstemperatur på 200°C, detta för att den ska skydda golvet från eventuellt överhettade komponenter. Enligt kravspecifikationen var materialet tvunget att kunna återvinnas. De material som då fanns kvar var: låghaltigt kolstål, höghaltigt kolstål, låglegerat stål, rostfrittstål, gjutjärn samt kopparlegeringar.

Kopparlegeringar har inte lika hårda egenskaper som de olika stålen enligt figur 3.20, därför utesluts dessa legeringar. Därefter granskades vardera material, vad de vanligtvis används för och vilka möjliga tillverkningsmetoder som är möjliga med materialen. Det visade sig att alla stål hade liknande egenskaper och kunde sandgjutats. Sandgjutning är en lämplig metod för bottenplattan då den är stor och enbart skall tillverkas i liten skala. Det är även möjligt att göra cirkulära former med denna metod vilket är nödvändigt i detta fall. Både verktyg- och utrustningskostnaden är låg vilket är fördelaktigt då få komponenter skall tillverkas.

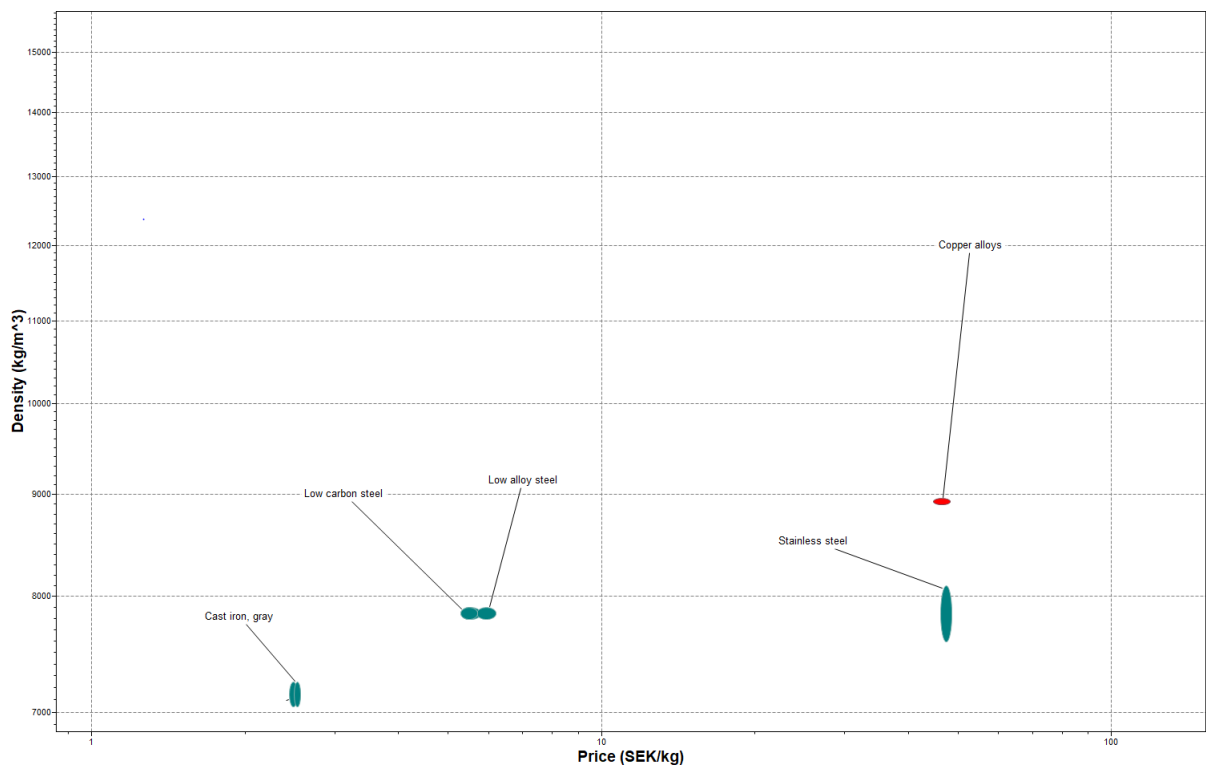
Vidare utforskades de olika materialens densitet. I figur 3.21 visas att de flesta metaller som fortfarande ansågs lämpliga, har samma densitet, förutom gjutjärn som har lägre densitet. En lägre densitet hade varit fördelaktigt då komponenten är stor bidrar en lägre densitet till en lägre vikt, vilket hade gjort konceptet mer lätthanterligt vid användning. Däremot ansågs gjutjärn inte applicerbart på grund av dess spröda egenskaper. Av de material som fanns kvar är det enbart rostfritt stål som inte är angeläget att korrodera, vilket sågs som en fördel då livslängden blir längre. Rostfritt stål valdes alltså till bottenplattan då dess belägenhet att korrodera är fördelaktigt ur ett livslängdsperspektiv, som även är ett krav i kravspecifikationen.

Därefter utfördes val av material och tillverkningsmetod för locket. Även i detta fall var en låg densitet önskvärd och materialet skulle vara möjligt att återvinna enligt kravspecifikationen. Krav på materialet som ställdes är att de skulle ha en maximal smälttemperatur vid tillverkning på 200°C för att underlätta vid tillverkning. Materialet ska klara en minimal arbetstemperatur på 100°C då både motor och batteri kan bli varma vid användning. Utöver det så önskas ett  $CO_2$  fotavtryck på  $10 \frac{kg}{kg}$  för att säkerställa att påverkan på miljön inte är allt för hög. Med dessa

### 3. Resultat

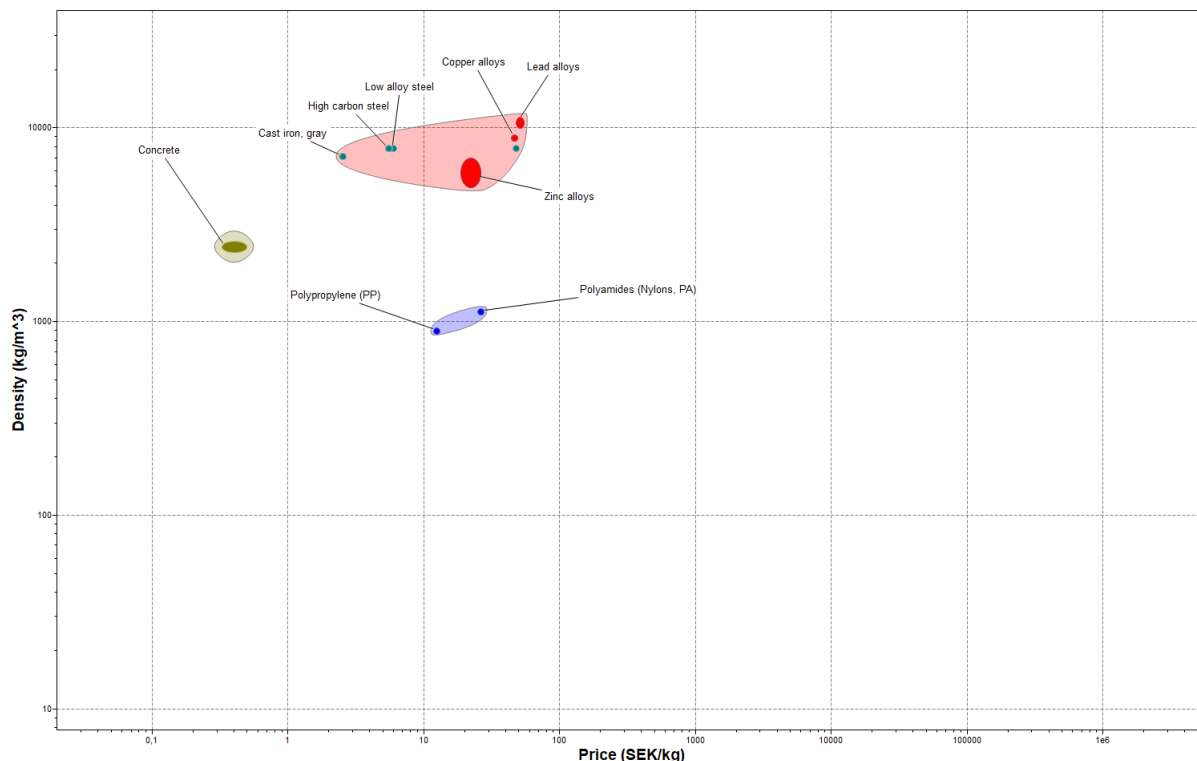


Figur 3.20: Termisk ledning mot hårdhet för lämpliga metaller till bottenplattan.



Figur 3.21: Densitet mot pris för lämpliga metaller till bottenplattan.

krav på materialet återstod enbart materialen som visas i figur 3.22. Figuren visar att lägst densitet har plasterna Polypropylene (PP) och Polyamides (PA), dessa studerades vidare.



**Figur 3.22:** Densitet och pris för lämpliga material för locket.

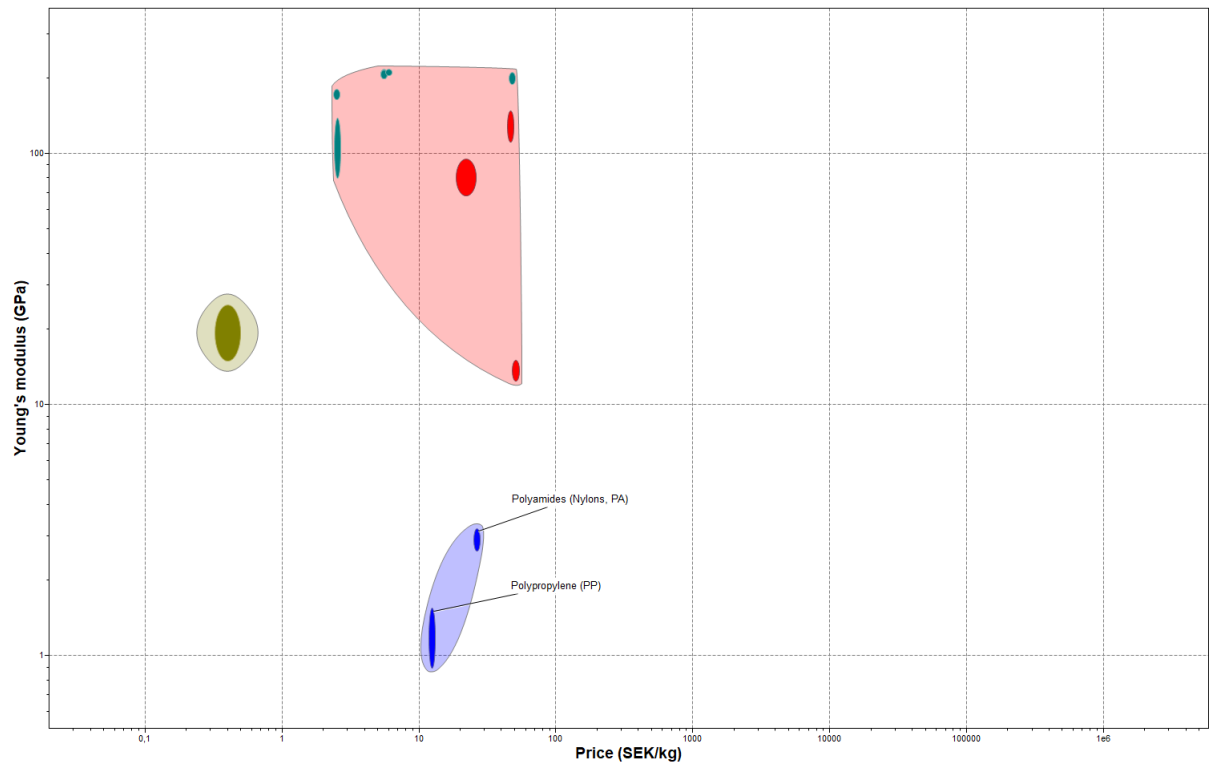
För att se vilket material som har lämpligast materialegenskaper studerades sträckgränsen och elasticitetsmodulen då ett tåligt material är önskvärt då locket syftar till att skydda de inre delarna till exempel batterierna och motorerna. Som visas i figur 3.23 och 3.24 var PA bäst i båda fallen och valdes då trots att den hade en högre densitet än PP. Därefter valdes lämplig tillverkningsmetod genom att studera alla som var möjliga med PA. Formsprutning valdes då det är en lämplig metod för materialet samt kostnadseffektivt för produkter av denna form.

### Kostnadsuppskattning

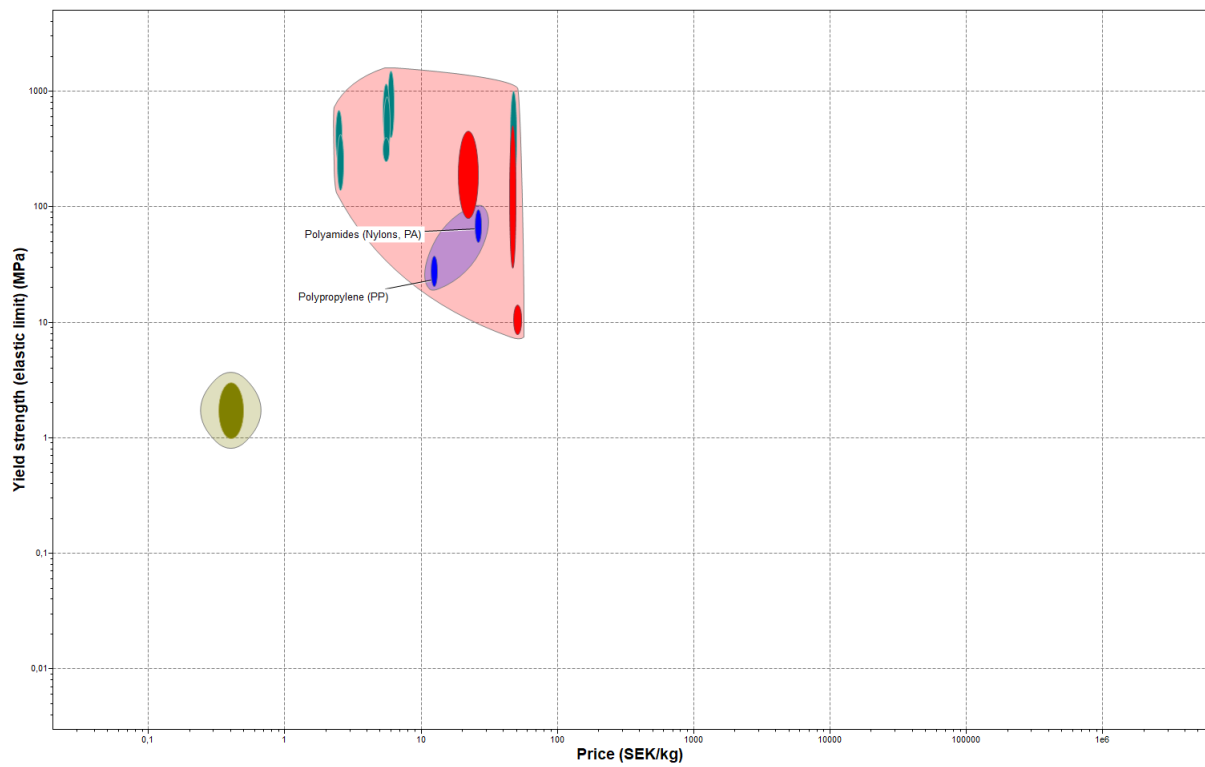
Kostnadsuppskattning för de två komponenter som skall tillverkas, alltså bottenplattan och locket gjordes med hjälp av informationen i CES EduPack. Det görs genom att valt material för vardera produkt och tillverkningsmetod från tidigare kapitel skrivs in i mjukvaran. Därefter bestämdes vilka batchstorlekar som kostanden skall beräknas för, i detta fall 1 och 2 stycken producerade produkter. En graf skapades då med pris och batchstorlek på axlarna. Kostnaden för att tillverka den första komponenten i en batch avser inköp av maskin, material och alla kostnader som tillkommer vid tillverkning så som arbetskraft och elektricitet. Kostnaden för den andra komponenten är därför mycket mindre, som visas i figur 3.25. De blå värdena representerar locket i plast och de röda bottenplattan i metall. Då GöteborgsOperan inte skulle köpa in maskiner för att tillverka dessa detaljer, utan specialbeställa

### 3. Resultat

---

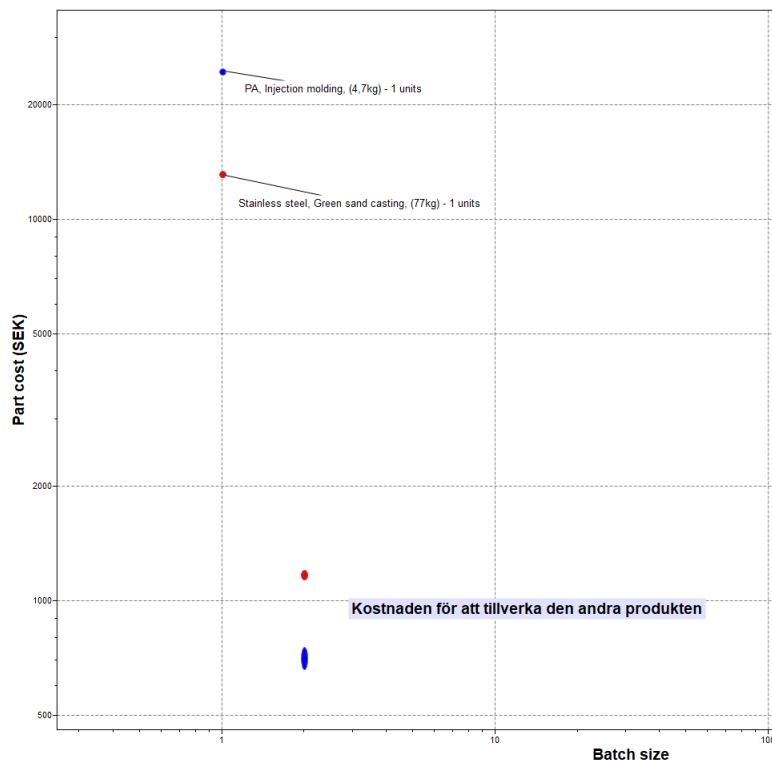


Figur 3.23: Elasticitetsmodulen mot priset för materialen till locket.



Figur 3.24: Sträckgränsen mot priset för material till locket.

dessa av en leverantör, anses kostnaden för den andra tillverkade produkten i en batch vara en mer realistisk uppskattning. Vid vidare beräkningar av kostnaden för att tillverka styr- och transportmodulen kommer bottenplattan antas kosta 1100kr och locket antas kosta 700kr.



**Figur 3.25:** Tillverkningskostnad för locket i blått och bottenplattan i rött.

Den totala tillverkningskostnaden för en styr-och transportmodulen redovisas i tabell 3.9. 54 600 kr innefattar alla delar som tagits hänsyn till vid detaljkonstruktionen som skall köpas in samt de delar som skall tillverkas för en styr- och transportmodul. Kostanden för de delar som ska köpas har uppskattats i samråd med O. Lindstedt (Personlig kommunikation, 2 maj 2019) som köper in dessa komponenter för GöteborgsOpera. För att konceptet skall fungera som tänkt på Molle-vagnen krävs två koncept, ett i vardera ände av vagnen. Därför blir den totala kostnaden att applicera detta koncept på vagnen 109 200kr.

**Tabell 3.9:** Kostnad för vardera komponent samt total kostnad för ett helt koncept.

Total tillverkningskostnad för konceptet			
Komponent	Antal komponenter	Kostnad i kr	Total kostnad
Bottenplatta	1	1100	1100
Locket	1	700	700
Batteri	4	1500	6 000
Motor	2	8 000	16 000
Programeringsenhet	1	30 000	30 000
Hjul	2	400	800
		<b>Total kostnad:</b>	<b>54 600</b>

#### Produktionsanpassning

För att produktionsanpassa konceptet utfördes en DFA-analys. Syftet med denna analys var att säkerställa att monterings tiden för det nya konceptet var lägre än för den befintliga lösningen. DFA-analysen gjordes i tre delar, för att dess resultat sedan skulle kunna analyseras mot varandra. Det värdet som var mest intressant vid denna analys var hur tillverkningstiden skiljde sig mellan vagnen med konceptet och vagnen som den används idag.

Gemensamt för alla analyser är att fokus ligger vid montering av förflyttningsmekanismen. Detta innebär att fokus läggs på det som skall monteras under vagnens fundament eftersom det som monteras ovanpå inte kommer påverka monteringsprocessen av transportmekanismen. Den första analysen gjordes för befintlig vagn och användes som referens. Analysen avser montering av tallrikshjul på vagnens bottenplatta. Den andra analysen gjordes för montering av en styr- och transportmodul. Denna analys gjordes då konceptet skall kunna tillverkas som enheter för att sedan kunna flyttas mellan olika vagnar vid behov. Den skall alltså inte sitta fast permanent på en vagn och därför blir denna analys relevant. Slutligen gjordes en analys för montering av Molle-vagnen där styr- och transportmodulen samt tallrikshjulen skulle monteras samman. Denna analys omfattar både montering av tallrikshjul och konceptet då båda delar är nödvändiga för att kunna stabilisera vagnen samt inte belasta koncepten för mycket.

När analyserna hade gjorts skapades en rapport i mjukvaran där DFA-analysen gjordes, rapporten finns redovisad i bilaga H, resultatet presenteras kortfattat i tabell 3.10.

**Tabell 3.10:** Resultat av DFA analys.

Resultat av DFA-analys		
Analys av:	Agg score	Agg time
Koncept	586	84,9
Vagn med koncept	184	33,5
Vagn med tallrikshjul	138	24,6

I tabell 3.10 visas att mest tidskrävande att montera är styr- och transportmodulen. Det beror på dess komplexitet och att det är många delar på en liten yta. Det visade sig att differensen mellan vagnen med koncept och utan inte är speciellt stor. Det innebär att det inte är mycket mer tidskrävande att montera på konceptet än det är att montera den befintliga vagnen.

#### 3.2.4 Utvärdering av koncept

Konceptet utvärderades genom att tester utfördes på en funktionsmodell för att verifiera konceptets måluppfyllnad. Utöver detta gjordes även en miljöpåverkansanalys och en feleffektsanalys.

## Måluppfyllnad

För att verifiera att konceptet uppfyller målen som listas i kapitel 1.4.1 byggdes en prototyp i form av en funktionsmodell. Utifrån detaljkonstruktionen som beskrivs i kapitel 3.2.3 har vissa förenklingar skett vid byggandet av prototyp. Istället för att bygga två koncept används två Arduino-robotar som i likhet med det framtagna konceptet består av två hjul som gör det möjligt för roboten att åka i alla riktningar genom att snurra kring sin egen axel. En planka fick representera Molle-vagnen och skruvar fick representera axeln som fäster konceptet i vagnen. Plankan hade dock inga egna hjul vilket Molle-vagnen har och därför vilade plankan på två muttrar med tillhörande brickor. Med hjälp av prototypen kunde tre olika konstateranden göras.

Prototypen var byggd så att brädan enkelt kunde lossas genom att skruva loss muttrarna, vilket liknade hur konceptet fästs på Molle-vagnen. Att prototypen endast var förankrad i en punkt gjorde det enkelt att ta loss och sätta på vilket styrker att det färdiga konceptet kommer kunna appliceras på flera vagnar eftersom proceduren för att sätta fast vagnen i sig inte är alltför komplicerad och tidskrävande.

Funktionsmodellen hade ett förprogrammerat körmonster till skillnad från när konceptet kommer sitta på Molle-vagnen och en kontroll kommer användas men den inre drivningen kommer fungera på ett liknande sätt. Det kunde därför konstateras att funktionsmodellen såväl som det färdiga konceptet kommer kunna styras av en person eftersom personen kan observera och styra vagnen från avstånd.

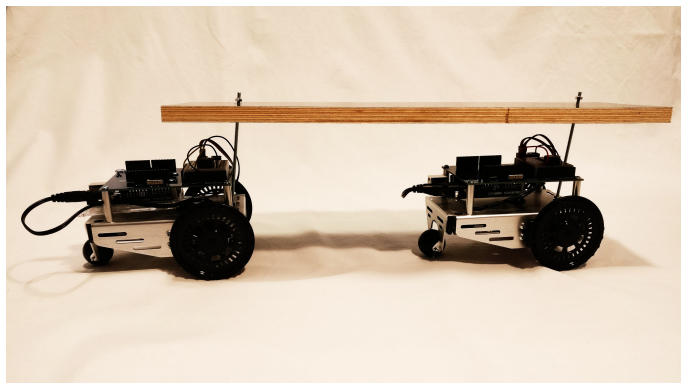
För att testa mobiliteten programmerades robotarna att åka framåt, bakåt och därefter ställa in sig så att brädan snurrade runt sin mittpunkt. Alla riktningar var möjliga att köra i även om Arduino-robotarna var svåra att kalibrera då underlaget har stor betydelse för hur mycket roboten svänger. Från testet går det dock att konstatera att även Molle-vagnen kommer kunna transporteras i alla horisontella riktningar med det valda konceptet där hänsyn av underlaget tas vid val av hjul.

Prototypen finns redovisad i tre bilder. I figur 3.26 visas prototypen när den kör rakt fram, i figur 3.27 visas hur robotarna är placerade för att vagnen ska snurra kring sin egen axel och i figur 3.28 visas att robotarna kan vridas i alla riktningar vilket innebär att vagnen kommer kunna åka i samtliga horisontella riktningar.

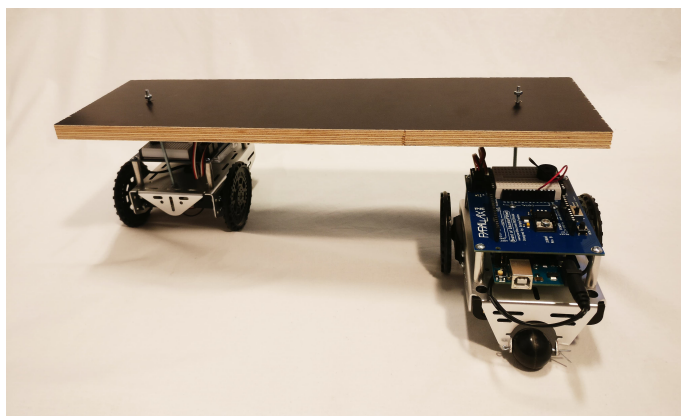
## Miljöpåverkansanalys

Det framtagna konceptet jämfördes med när Molle-vagnen förflyttades med hjälp av en dragtruck. Matrisen för bedömning av miljöpåverkan och resursanvändning finns redovisad i bilaga I. I matrisen togs hänsyn till att det krävs två enheter av det framtagna konceptet vilket jämfördes med en truck eftersom det är vanligast att en truck används. Den totala poängen blev -19 vilket innebär att det nya konceptet är bättre än det gamla med avseende på miljön.

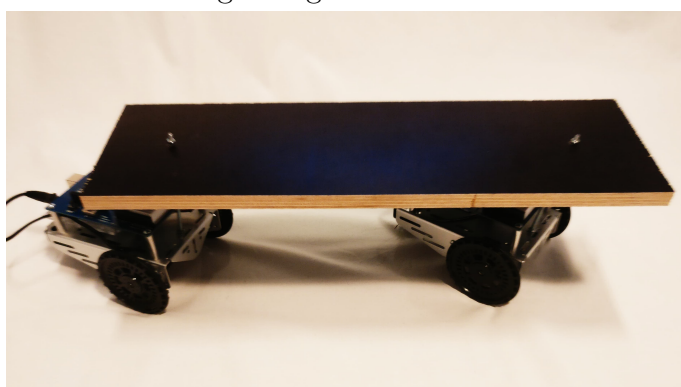
I matrisen visas att styr- och transportmodulen framförallt är bättre när det kom-



**Figur 3.26:** Roboterna är placerade så att vagnen kan åka framåt eller bakåt.



**Figur 3.27:** Roboterna är placerade så att vagnen kan snurra kring sin egen axel.



**Figur 3.28:** Roboterna är placerade så att vagnen åker diagonalt.



mer till avveckling av produkten eftersom modulerna innehåller färre komponenter än dragtrucken. Modulerna är också konstruerade så att komponenterna enkelt ska kunna plockas isär så att de lättare kan sorteras.

I övrigt är det en fördel att bottenplattan tillverkas i stål eftersom det är en metall med relativt låg miljöpåverkan. Både dragtrucken och styr- och transportmodulerna använder sig av plast vilket generellt sett inte är fördelaktigt ur miljösynpunkt. Trots detta anses modulerna ha en lägre miljöpåverkan än dragtrucken vad gäller plaster eftersom hänsyn har tagits till att plasten ska vara återvinningsbar när materialvalet till modulerna gjordes.

### Feleffektsanalys

För att undersöka de risker som finns med respektive komponent gjordes en feleffektsanalys. En feleffektsanalys framställs för att identifiera möjliga fel som kan uppstå. Genom att i tidigt skede identifiera avvikelser kan risker minimieras genom förebyggande åtgärder i form av underhåll eller ökad kvalitetsstyrning.

Rishtalet av varje enskild komponent bygger på uppskattningar och personliga värderingar och ligger mellan faktor 1 till 1000. Risktalet bedömer om åtgärder bör vidtas. Låga risktal tyder på att risk för händelse är låg. Däremot bör komponenter med låga risktal trots detta analyseras om någon av de tre faktorerna : sannolikhet för händelse, allvarlighet eller sannolikhet för upptäckt har faktor 9 eller 10.

Risken för att överhettning av motor och batteri leder till brand är liten. Det är däremot mycket allvarligt om felet uppstår. Av möjliga felsätt är allvarligheten störst om detta inträffar. Brand kan nämligen orsaka personskada och stora risker för GöteborgsOperan. Genom att regelbundet underhålla dessa komponenter säkerställs att risken förblir liten. Det finns även en risk att batteriet kortsluts på grund av skadad ledare vilket skulle medföra att funktion upphör. Allvarligheten enligt bedömning är hög då funktion kan upphöra, men då byte av slitagedelar sker på GöteborgsOperan anses inte momentet som synnerligen allvarligt.

Risken för att en komponent utsätts för korrosion på GöteborgsOperan är låg. En vanlig orsak till att korrosion sker är att komponenter utsätts för fukt. Då Mollevagnen eller styr- och transportmodulerna alltid befinner sig inomhus är sannolikheten för händelsen låg. Följden av korrosion är ett mindre attraktivt utseende. Det är enklare att upptäcka felet på locket än på bottenplattan eftersom bottenplattan täcks av komponenter som förhindrar sikt. Rekommenderad åtgärd är att utföra extra tester av material vid tillverkning.

Att komponenter utsätts för fysisk påfrestning är en risk som kan uppkomma om vagnen överbelastas med dekorväggar. Om Mollevagnen överbelastas medför det således att konceptet blir överbelastat. Feleffekten av händelsen skulle kunna vara att funktion upphör om komponenter lossnar eller går sönder. Om hjul slits eller går sönder skulle detta även kunna göra att golv skadas. En för tungt belastad vagn kan också medföra att motorer inte är tillräckligt kraftfulla för att förflytta

Molle-vagnen men även att bottenplattan deformeras och lossnar från Molle-vagnen. Sannolikheten för händelsen är låg då GöteborgsOperan är väl medvetna om hur mycket Molle-vagnen kan lastas med. Rekommenderad åtgärd skulle vara att inför varje ny föreställning se över hur mycket varje dekorvägg väger och därmed minska risken för att händelse inträffar.

Om komponenter i form av bottenplatta, motor och hjul inte är ordentligt fästa finns risk att de faller av. Kontroll av fästanordning bör göras regelbundet för att undvika händelsen. Händelsen skulle kunna bidra till att funktion upphör. Däremot är allvarligheten inte hög då det enkelt går att reparera.

Om programmerat system slutar fungera skulle detta bidra till att vagnen står stilla eller förflyttar sig i fel riktning. Då programvaruutvecklingen kommer att arbetas fram på GöteborgsOperan möjliggör det enkel felsökning av programmet. Eftersom personer på GöteborgsOperan är medvetna om hur programmet fungerar är händelsens allvarlighetsgrad inte hög. Genom att regelbundet felsöka koden skulle risken att detta sker minimeras.

Om kontrollen är svår att förstå bidrar det till en mindre tidseffektiv förflyttning av Molle-vagnen. Att ge scentekniker grundlig utbildning skulle medföra att risken är liten och att feleffekten ej inträffar. Genom att regelbundet byta batteri på kontrollen minimeras risken att kontrollen inte kan kommunicera med programmeringsenheten vilket skulle minimera störningar.

Ojämnheter på golvet skulle kunna orsaka att bottenplattan och locket deformeras. Rekommenderade åtgärder är att se över komponenternas dimensioner och materialval samt att implementera ett dämpningssystem i konceptet som motverkar kraftiga stötar.

# 4

## Diskussion

I följande kapitel diskuteras och utvärderas resultatet av kandidatarbetet. I kapitel 4.1 diskuteras konceptet utifrån syfte och mål för projektet. I kapitel 4.2 diskuteras och utvärderas den valda metodiken för projektet för att därefter diskutera och utvärdera det färdiga konceptet i kapitel 4.3. Slutligen diskuteras projektet ur ett samhälls- och etiskt perspektiv i kapitel 4.4.

### 4.1 Syfte och Mål

Syftet med projektet på GöteborgsOperan var att utveckla den befintliga Mollevagnen för att skapa en förbättrad transportlösning av dekorväggar. Den byggda funktionsmodellen verifierar att samtliga mål uppfylls och att styr- och transportmodulerna är möjliga att appliceras på Mollevagnen samt på övriga vagnar på GöteborgsOperan. Konceptet mottogs väl av GöteborgsOperan som kommer vidareutveckla konceptet genom att bygga en prototyp. Prototypen kommer användas för att utföra vidare tester på Mollevagnen.

För att verifiera att det framtagna konceptet uppfyllde målen genomfördes tester med en funktionsmodell. Modellen visar på att Mollevagnen kan åka i alla horisontella riktningar men även att den kan appliceras på andra vagnar än Mollevagnen. Vidare skulle Mollevagnen kunna transporteras av två scentekniker, vilket likaså bekräftades vid test av funktionsmodellen. Styr- och transportmodulerna tillsammans med en trådlös kontroll medför att den som ansvarar för styrning och transport kan röra sig oberoende av Mollevagnen. Endast en person kommer krävas för att styra och transportera vagnen men av säkerhetsskäl bör ytterligare en person vara med för att se till att vagnen inte riskerar att kollidera. Alltså uppfylls målet att endast två personer behöver vara involverade vid förflyttning av Mollevagnen. Även önskemålet att styrningen ska kunna utföras av en person uppfylls då vagnen kommer styras med hjälp av en kontroll.

### 4.2 Metod

Projektgruppen har skräddarsytt en metodik som använts under hela projektets gång. Metodiken har implementerats i en ny bransch som tidigare inte använt sig av liknande metoder vid produktutveckling.

Med förutsättning att under arbetets gång haft Molle-vagnen som referens har projektgruppens arbete underlättats. Med Molle-vagnen som referens möjliggjorde de att projektgruppen på ett enklare sätt kunde fastställa om en förbättrad transportlösning tagits fram. Detta då slutsatser enkelt kunnat dras genom jämförelser.

GöteborgsOperan har varit tillmötesgående under hela projektet vilket har underlättat arbetsgången. Under problemundersökningsfasen lades mycket tid på att hitta nödvändig information för att skapa en bild om hur samtliga scentekniker upplevde vagnen och dess användning. GöteborgsOperan var tydliga med att de önskade att en grundlig behovsanalys skulle göras, vilket gjordes. Möjligtvis borde tiden fördelats annorlunda då mindre tid lades på utvecklingsfasen. Utvärdering av delösningar och koncept borde tilldelats mer tid. Mer tid skulle möjliggöra att ett mer utvecklat koncept där korsbefruktning av de olika lösningar hade kunnat göras. En mer avancerad produkt hade därmed kunnat tas fram. Kundunderlaget kommer däremot kunna användas som grund för framtida utveckling vilket gynnar GöteborgsOperan.

Hade tid funnits att konstruera en färdig produkt som kunnat appliceras på Molle-vagnen hade sannolikt fler slutsatser kunnat dras. Med en färdig produkt hade fler krav kunnat verifieras i kravspecifikationen och observerat moment som kan förbättras vid en vidareutveckling.

### 4.3 Färdigt koncept

En utvärdering av konceptet gjordes för att verifiera måluppfyllnad samt krav ur kravspecifikationen. Verifiering sker genom att betrakta aspekter som miljöpåverkan samt feffekter med framtaget koncept. Därefter diskuterades vad som kan ha påverkat resultatet och vad som hade kunnat förbättras. Till sist diskuteras DFA-analys, miljöpåverkan och feffektsanalysen som gjordes på det färdiga konceptet.

#### **Konceptets krav- och måluppfyllnad**

Som tidigare nämndes i kapitel 4.1 så uppfyller konceptet syftet och målen. Att kunna transportera Molle-vagnen i alla horisontella riktningar, att styrning ska kunna ske av en person med maximalt två personer involverade samt att färdigt koncept ska kunna appliceras på andra liknande vagnar uppfylls visades genom framtagen funktionsmodell.

En enkel lösning för att förbättra transporten av Molle-vagnen hade varit att investera i en färdig produkt från exempelvis Visual act. Från besöket på Oslo Opera og Ballet framkom dock att det bara var ett fåtal personer som kunde använda sig av systemet. Om problem uppstod var det svårt att felsöka då programmeringen var komplicerad. Då GöteborgsOperan uttryckt ett önskemål att samtliga scentekniker ska kunna transportera Molle-vagnen skulle styr- och transportmodulerna vara ett lämpligare alternativ då de är enklare att förstå.

Att tillverka konceptet på GöteborgOperan skulle medföra en flexibel lösning som enkelt hade kunnat anpassas efter egna krav och behov. Med erfarenhet av tillverkning kommer således produkten kunna tillverkas samt underhållas i egen verkstad. Om fel skulle inträffa kan felsökning av program ske i befintlig anläggning, vilket rekommenderas. Svårigheterna med styr- och transportmodulerna är att få de sammankopplade med en kontroll men då GöteborgOperan tidigare använt sig av liknande teknologi anses inga större svårigheter med detta. Då vagnen kommer att styras med hjälp av en kontroll bidrar det till att den fysiska belastningen minskar vid små förflyttningar av Molle-vagnen jämfört med att scenteknikerna puttar. Styrning av framtaget koncept utförs med en kontroll och kommer därmed kräva mindre kraft av scentekniker. Resultatet av detta kommer komma bidra till färre förslitningsskador.

Utifrån kriterierna i kravspecifikationen skulle det vara möjligt att applicera den fristående styr- och transportmodulen på Molle-vagnen, men även på andra liknande vagnar. Då projektgruppen inte har konstruerat en prototyp som är applicerbar på Molle-vagnen har en del krav inte kunnat testats och därför inte verifierats. Fler tester hade bidragit till en förståelse för vad som behöver utvärderas ytterligare. Med hänsyn till att presenterat koncept fått ett positivt mottagande av kunden kommer en mer utvecklad prototyp utvecklas och byggas på GöteborgOperan för att utföra vidare tester på Molle-vagnen.

### **Brist på kraftmätningar**

Då GöteborgOperan kommer vidareutveckla konceptet genom att bygga en till prototyp kan mer specifik data gällande hur mycket kraft som skulle krävas för att driva vagnen definieras. Data gällande kraft var svår att få fram då inga mätningar hade gjorts tidigare och inga lämpliga mätinstrument var tillgängliga. När kraften som krävs för att transportera Molle-vagnen är känd kan datan användas för att utveckla detaljkonstruktionen och justera valet av ingående komponenter. För att gå runt problemet togs beslutet att välja komponenter utifrån vad GöteborgOperan tidigare använt till liknande projekt. För vidareutveckling av styr- och drivmodulerna bör därför mer exakta beräkningar göras för att uppnå bästa möjliga konstruktion.

Med mer specifik data vid materialval skulle möjligtvis detaljerna valts att tillverkas i annat material men på grund av att beräkningar inte utförts bidrog de till ett materialval som klarar av betydligt mer än vad som faktiskt krävs. Materialet valdes främst för att uppnå en lång livslängd och tillverkas därför i ett beständigt och robust material. Hänsyn har även tagits till att materialet ska vara återvinningsbart för en mer hållbart samhälle.

Lämplig tillverkningsmetod valdes baserat på valt material och hade kunnat utvärderas ytterligare om materialvalet optimeras. Då enbart två lock samt två bottenplattor ska tillverkas hade det varit fördelaktigt att undersöka potentiella leverantörer och deras priser. De kostnader som presenterades i resultatet avser nyinköp av alla komponenter och alla omkostnader vid tillverkning av bottenplattan och locket.

Detta värdet blir dock inte representativt för den egentliga kostnaden vid tillverkning av styr- och transportmodulen. Kostanden kommer bli lägre än beräknat då GöteborgsOperan har komponenter som kan återanvändas.

### **Konceptets konstruktion**

Molle-vagnens utförande kommer i stort sett vara oförändrat vilket medför att förvaring av dekorväggar i samma omfattning fortfarande är möjlig. Beroende på styr- och transportmodulernas höjd kan däremot en del korrigeringar förekomma då den eventuellt är för hög för att kunna placeras under vagnen. Höjden kommer dock inte påverka andra dimensioner, bärighet eller plats för dekorväggar. För att säkerställa att modulernas mått och vikt uppfylldes gjordes mätningar på framställd CAD-modell. CAD-modellen gjordes främst för att visa huvudfunktionen samt visa hur de verkliga konceptet kommer att se ut.

På grund av tidsbrist har inte hänsyn tagits till hur kablage, stödhjul, fästelement samt dämpning skulle utformas. Ett stödhjul skulle även behövas för att möjliggöra rullning utan vagn för att kunna förflytta modulen mellan olika vagnar, om detta skulle önskas. Dämpningsmekanismen behövs för att inte belasta motor då den känslig för stötar och för att inte modulen ska förstöra golvet genom hög friktion mellan hjul och golv. En undersökning av möjliga dämpningsmekanismer bör därför utvärderas. För att undvika skador på golvet är även valet av hjul viktigt, något som inte har tagits i beaktning under projektet.

### **Delfunktioner för förbättrat koncept**

Vid närmare eftertanke borde möjligtvis fokus på andra delfunktioner prioriterats. Mekanismer som hur man skulle kunna fästa modulerna på Molle-vagnen samt undersöka de möjligheter som finns för att möjliggöra att modulerna kan rotera fritt utan Molle-vagnen. Genom att låta en stång gå igenom underredet kan konceptet dra med sig vagnen.

Funktionsmodellen visade att fästmekanismen mellan koncept och Molle-vagnen i teorin fungerar. Funktionsmodellen är dock förenklad jämfört med Molle-vagnen, både vad gäller design och material, vilket gör att resultatet inte är helt tillförlitligt. För att få konceptet att fungera på Molle-vagnen sätts höga krav på materialet i Molle-vagnens nedre plan, där konceptet sätts fast. Om kraften blir för stor kommer träet att spricka och konceptet blir obrukbart. Dessutom är konceptet svårt att applicera på vagnen eftersom stången sticker ut och därför gör det svårt för modulen att komma in under Molle-vagnen. På så sätt bidrog även prototypen till frågor som bör utredas innan konceptet tas i bruk.

### **DFA-analys**

DFA-analysen gjordes för att säkerställa att det nya konceptet är mindre tidskrävande än Molle-vagnens nuvarande utformning, vilket det inte var. En separat DFA-analys gjordes på en styr- och transportmodul, denna resulterade i ett högt agg score

vilket innebär att den har potential att utformas annorlunda för att kunna monteraras enklare och effektivare. En rekonstruktion blir först gynnsam då massproduktion blir aktuellt.

### **Miljöpåverkan**

Det som framförallt bidrog till att det nya konceptet är bättre trots att det är större är att det innehåller färre komponenter. Eftersom varje komponent måste tillverkas bidrar antalet olika komponenter till en högre miljöbelastning än det relativt låga antal komponenter som ingår i det valda konceptet. Under materialvalet togs även hänsyn till miljöaspekten vilket innebär att de material som används för att producera de komponenter som inte köps in har låg miljöpåverkan. Av de komponenter som köps in används många både i dragtrucken och i det valda konceptet men hänsyn har tagits till att det valda konceptet innehåller fler batterier eftersom det har fyra drivande hjul istället för dragtruckens två.

### **Feleffektsanalys**

Risk för skär- och klämskador kommer inte öka utan snarare minska då ljud kommer varna för krock vid utsatt distans samt att kontroll kommer att visualisera distans till föremål. Bidraget blir att kravet om att Molle-vagnen inte direkt får orsaka personskador uppfylls. Kontrollen visar på ett enkelt sätt hur förflyttning av Molle-vagn kommer att ske tillför att samtliga scentekniker på GöteborgsOperan kommer kunna utföra momentet. Kontrollen kommer bestå av enkla direktiv som de tidigare använt sig av.

Säkerheten på GöteborgsOperan är central och en feleffektsanalys är därför betydande. Feleffektsanalysen gjordes för att analysera de risker som fanns med konceptet. Då relativt låga risktal identifierades kommer inga åtgärder vidtas. Däremot bör regelbunden kontroll av komponenterna göras för att minimera riskerna för att fel uppstår. Då konceptet innehåller komponenter som GöteborgsOperan tidigare använt sig av ses inga större risker för fel användning med framtaget koncept.

## **4.4 Samhällsnytta och etik**

Framtaget koncept bidrar inte till stor samhällsnytta då det är ett projekt centrerat till GöteborgsOperan. Däremot hade framtaget koncept kunnat bidra till en effektiv transportlösning, inte bara på GöteborgsOperan utan även inom andra industrier och branscher.

Med förutsättning att under hela arbetsgången haft säkerheten som ett betydelsefullt krav har ett koncept tagits fram som är mer säkert än tidigare. Att konceptet utformades för att höja säkerheten bidrar till ett bättre resultat jämfört med hur Molle-vagnen används idag. Att produkten är utformad på ett hållbart och säkert sätt är av stor vikt då den inte bidrar till nya samhällsproblem.





# 5

## Slutsats och vidareutveckling

I följande kapitel presenteras projektets slutsatser i kapitel 5.1 och rekommendationer för vidareutveckling av konceptet i kapitel 5.2 utifrån diskussionen i kapitel 4.

### 5.1 Slutsats

Under projektet har ett koncept innehållandes två enheter tagits fram för att underlätta transporten av Molle-vagnen. Under senare delen av projektet lades fokus på styr- och transportmodulerna som är avgörande för att vagnen ska gå att förflytta i alla horisontella riktningar. En styr- och transportmodul består av två drivande hjul som gör det möjligt för modulerna att ställa in riktningen de ska åka i genom att rotera kring sin egen axel och en kontroll med knappar för att styra de båda modulerna.

Från det genomförda projektet kan följande slutsatser dras:

- Konceptet gör det möjligt för Molle-vagnen att transporteras i alla horisontella riktningar med endast två personers medverkan.
- Konceptet möjliggör en mer effektiv förflyttning då truck inte behöver köra mellan vagnens ändar.
- Konceptet är bättre än en truck enligt miljöutvärderingen men eftersom trucken redan existerar anses det framtagna konceptet och trucken vara likvärdiga.
- Konceptet medför risker men risktalen är låga och därför behöver inga åtgärder vidtas än de som beskrivs i rapporten.
- Konceptet har fått ett positivt mottagande hos kunden och kommer vidareutvecklas.
- Styr- och transportmodulerna är möjliga att applicera på Molle-vagnen samt på övriga vagnar på GöteborgsOperan.
- Styrningen kan utföras av en person men av säkerhetsskäl bör två personer medverka.
- Framtaget behovsunderlag kan användas för vidareutveckling av Molle-vagnen.

### 5.2 Vidareutveckling

För att göra konceptet realiserbart föreslår projektgruppen följande vidareutveckling:

- Funktionsmodellen kunde inte verifiera alla krav som stod i kravspecifikationen och som skulle verifieras med hjälp av en prototyp. Därför rekommenderas

att en ny, mer verklighetstrogen, prototyp görs för att kunna utföra tester på Molle-vagnen och verifiera de krav som inte kunde verifieras med funktionsmodellen.

- Eftersom att styr- och transportmodulerna inte har ett välutvecklat sätt att monteras på vagnen föreslås en ny idégenerering där förslag på lösningar för att montera konceptet genereras. Detsamma gäller för funktionen att modulerna ska kunna rotera fritt från vagnen.
- Styr- och transportmodulerna kräver mycket yta och material. För att förbättra detta rekommenderas att storleken och materialmängden som krävs optimeras utan att funktionen påverkas. Genom att optimera storlek och materialmängd kan vikten och miljöpåverkan av modulerna minskas.
- Motorerna är känsliga för belastning och sitter i nuläget monterade på bottenplattan vilket gör modulerna känsliga om underlaget är ojämnt. För att minska belastningen på motorerna och på så sätt förlänga livslängden på modulerna bör ett dämpningssystem utvecklas.
- Projektet har inte berört hur styrningen skall programmeras därför behöver ett program som möjliggör att modulerna rör sig som önskat utvecklas.
- Konceptet består av två styr- och transportmoduler som ska samverka för att transporten av Molle-vagnen ska fungera. För att få modulerna att samverka rekommenderas att programmeringsbiten undersöks men att en analys av hur liknande koncept fungerar också genomförs.

# Referenser

Academic Work. (2019). *3 intervjutekniker - vilken väljer du?* Hämtad 2019-04-10 från <https://www.academicwork.se/insights/arbetsgivare/intervjutekniker>

ANSYS. (2019). Discovery AIM (Version 19.1) [Programvara]

Arbetsmiljöverket. (2019). *Bedöm risker vid manuell hantering - skjuta/dra* [Broschyr] Hämtad från <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/broschyrer/bedom-risker-vid-manuell-hantering-skjuta-dra-broschyr-adi668.pdf>

Bradbury, H. M. (1977). Patent US4223753A. USA: United States Patent

Cederfeldt, J. (2019-04-02). *Intervju på GöteborgsOperan* [Personlig kommunikation].

Dassault Systèmes. (1984). Catia (V5-6R2016) [Programvara]. Hämtad från <https://studentfile.portal.chalmers.se/>

ElectroCraft. (2019). *Brushless DC Motors*. Hämtad från <https://www.electrocraft.com/products/bldc/>

Eppinger, S. D., Ulrich, K. T. (2012). *Produktutveckling - Konstruktion och design* (5. ed.) Lund: Studentlitteratur AB.

Espacenet. (2019). *Espacenet Patent search*. Hämtad från <https://worldwide.espacenet.com/>

Google Patents (2019). *Google Patents*. Hämtad från <https://patents.google.com/>

GRANTA - Material inspiration. (2017). CES EduPack 2017 (17.1.0) [Programvara]. Hämtad från <https://studentfile.portal.chalmers.se/>

Gustavsson, G. (2018). *FMEA - Failure Mode and Effects Analysis*. [Föreläsningmaterial]. Hämtad från <https://pingpong.chalmers.se/courseId/8881/node.do?id=4187987&tts=1511426629776&u=445812213>

GöteborgsOperan. (2019). *Meny: Om oss*. Hämtad 2019-02-11 från <https://sv.opera>.

se/om-oss/

Hammonds, C.L. (2003). Patent US6581703B2. USA: United States Patent

KUKA. (2019). *KUKA omniMove*. Hämtad från [https://www.kuka.com/en-us/products/mobility/mobile-platforms/kuka-omnimove?fbclid=IwAR0spNXldsN-3kEohIZd8FTGAf\\_0p5Xk4WSFXeRzEBLdietgao\\_RmJNTEtY](https://www.kuka.com/en-us/products/mobility/mobile-platforms/kuka-omnimove?fbclid=IwAR0spNXldsN-3kEohIZd8FTGAf_0p5Xk4WSFXeRzEBLdietgao_RmJNTEtY)

Move-e-star. (2019). *The new mobility 4.0*. Hämtad från <https://www.move-e-star.de/en/>

Lindstedt, O. (2019-01-30 och 2019-05-02). *Intervju på GöteborgsOperan* [Personlig kommunikation].

Lindstedt, P. (2017). *Värde modellen* (Version 1.4) [Mobilapplikation]. Hämtad från <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chalmers.varde modellen&hl=sv>

Ljung, O. (2018). *Design for assembly - AviX DFX* [Föreläsningsmaterial]. Hämtad 2019-04-25 från <https://pingpong.chalmers.se/courseId/8881/node.do?id=4177469&ts=1511165332321&u=445812213>

Lundqvist, U. (2016) *Hållbar produktutveckling* [Föreläsning] Hämtad 2019-04-26 från <https://pingpong.chalmers.se/courseId/7035/node.do?id=3438795&ts=1479020593276&u=-1021268921>

Molin, M. (2019-01-30). *Intervju på GöteborgsOperan* [Personlig kommunikation].

OMRON. (2019). *Mobile robot*. Hämtad från <https://industrial.omron.eu/en/products/mobile-robot>

OMRON. (2019). *LD Series*. Hämtad från <http://www.ia.omron.com/products/family/3664/>

KUKA. (2019). *KUKA Mobile Platform 1500*. Hämtad från <https://www.kuka.com/en-cn/products/mobility/mobile-platforms/kmp-1500>

Parallax Inc. (2015). Arduino IDE (Version 1.8.9) [Datorapplikation]. Hämtad från Microsoft Store

PRV (2019). *Svensk Patentdatabas*. Hämtad från <https://was.prv.se/spd/search?lang=sv&tab=1>

RoboteQ. (2019) *MBL/KBL1xxx Family*. Hämtad från <https://www.roboteq.com/index.php/roboteq-products-and-services/brushless>

-dc-motor-controllers#prflag

Solme AB. (2018). *AviX* (Version 4.7.10) [Programvara].

Visual act (2019). *Analog PLUS Wagon*. Hämtad från <http://visualact.se/products/wagons/analog-plus/?fbclid=IwAR12leXc7WuHNVC-HJy7-bkE65nA81GNZBCphDCJefE6xR8OOCAGooYYeWM>

Visual act (2019). *Visual act*. Hämtad från <http://visualact.se/>

Virtual Manufacturing. (2019). *VIRTUAL manufacturing*. Hämtad från <https://www.virtual.se/>

Wolfgang, G. (2008). Patent EP1912799 (A2). Tyskland: European Patent Office

Wolfgang, G. (2010). Patent EP 06775827.6. Tyskland: European Patent Registry





# A

## Intervjufrågor

### Intervjufrågor

#### Frågor till intressenter

1. Namn:
2. Ålder:
3. Hur länge har du jobbat i branschen?
4. Yrkestitel:
5. Vad har du jobbat med innan?
6. Förklara hur ni använder vagnen?
  - a. Är den vinglig?
  - b. Är hjulen tröga?  
Det är bara att den är stor, den går lätt att flytta på med sån knuff men just att fixa in den och få på rätt placering.
  - c. Behöver den ha bromsar?
  - d. Hur många behövs för att flytta vagnen?
  - e. Hur många gånger per dag flyttas den?
7. Är vagnen lätt att använda?  
Den är bra men tar tid att använda.
8. Hur lång tid beräknas de ta för er att förflytta Molle-vagnen?
9. Är Molle-vagnen fysiskt påfrestande att flytta?
10. Har något/någon kommit till skada vid förflyttning av Molle-vagnen?
11. Har du någon gång fått arbetsrelaterade skador?



a. Har det lett till att du behövt sjukskriva dig under kortare/längre perioder?

12. Vad tycker ni är det största problemet med Molle-vagnen?

13. Ser ni några förbättringsmöjligheter?

14. Finns de några funktioner som ni gärna vill att vi bevarar?

15. Är de någon annan vagns lösning som ni tycker är bra?

16. Har ni arbetat på andra platser där de använde sig av andra bra lösningar?

17. Vad vill ni att vi fokuserar på?

18. Hur viktigt är det att den är enkel att förflytta?

19. Om du/ni hade kunnat ändra vagnen hur som helst. Vad hade ni då gjort?



# B

## Kundbehovslista

### Fäste av dekorelement:

- Dekorelement kan enkelt straffas mot vagnen. |
- Dekorelementen kan fästas vid vagnen på ett standardiserat sätt | III
- Dekorelement av olika storlekar kan fästas på ett standardiserat sätt på vagnen II
- Det är enkelt att hänga dekor på vagnen. |
- Det finns möjlighet att hänga dekorelement från armar på vagnen. |
- Det är lätt att montera fast armar för att hänga dekorelement på. |
- Konsoler/armar för hängning är enkla att använda. |

### Dekorelement och vagn relation:

- Det är enkelt att placera dekorelement på vagnen när de avlastas/lyfts av från rå/rån i taket. |
- Vagnen kan förvara dekorelement |
- Vagnen är förvaringsyta till stora element |

### Transport av vagn:

- Vagnen kan bromsas |
- Vagnen förflyttas utan fysisk påfrestning |
- Det är enkelt att positionera vagnen |
- Vagnen stannar omedelbart vid stopp II
- Det är enkelt att förflytta vagnen i sidled. |
- Enkelt att flytta vagnen med precision. III
- Fysiskt lätt att flytta vagnen med precision. |
- Fysiskt lätta att flytta vagnen längre sträckor. |
- Styrning sker av en person. |
- Vagnen kan köra fram, bak och åt sidan, men även snedda. |
- Vagnen är inte vara för tekniskt avancerad. |
- Vagnen är användarvänlig II
- Vardera dekorelement kan hanteras separat. |
- Förflyttning av vagnen sker utan fysisk ansträngning av människan. |

- Majoriteten av scenteknikerna kan manövrera vagnen. |
- Vagnen undviker krock med andra element och väggar. |
- Förflyttning av vagn är tidseffektiv. |
- Halvera tiden det tar att förflytta vagnen. |
- Vagnen kan stoppas enkelt vid förvaringsplats |
- Vagnen skadar inte golvet vid förflyttning. (Outtalat)

**Klättrings-system:**

- Det finns gott om plats för användaren vid klättring i vagnen. |
- Det är enkelt att klättra upp mellan de olika avsatserna. |||
- Avsatserna högt upp i vagnen är rymliga. |||| |
- Det är säkert att klättra i vagnen. |||| |
- Det finns fallskydd på alla våningar på vagnen. |
- Det finns sparkskydd på alla våningar på vagnen. |
- Det är tryggt att vara högt upp i vagnen. |

# C

## Fri idégenerering

Möjliggöra förflyttning		Möjliggöra styrning		Förebygga skador	
Tillgodose kraftöverföring	Tillgodose mobilitet	Koordinera förflyttning	Kommunicera med operatör	Varna vid avvikelser	Tydliggöra förflyttning
Elmotor	Mecanumhjul	Känselspröt	Radiostyrd bil - kontroll med knappar	Ljud beroende på avstånd	Ljud vid start av rörelse
Dieselmotor	Polywheel	Magnetremsa	Joystick	Tyngdmarkering	Tillfälligt ljus vid ändrad riktning
Bensinmotor	Omniwheel	Läsa av markeringar	Radiostyrd bil - kontroll med hjul	Bild på ev kontroll som startas när risk för krock finns	Konstant ljus vid förflyttning
Batteri	Killough wheel	IR-signaler	Röststyrd	Styrningen visar vad som är nära	Vibration i ev. kontroll vid rörelse
Dragtruck	Holonomic drive	Dödräkning	"Follow the leader"	Styrningen har kontakt med andra föremål för att veta var de är	Walkie-talkies
Människokraft	Tallrikskshjul	(Värme)	Momentmotor	Hastighetsbegränning	Megafon
Propeller	Länkhjul	Ekolokalisering	App	Nödstopp	Spekar ljud vid förflyttning
Raket	Glida	Kiselgyro	Snören likt en lådbil	Vältrisk	
Tryckkraft	Luftryck	Virtual manufacturing	Fjärrkontroll		
Induktion	Rullband	Omron mobile robot	On/off		
Cykla	Skenor	Bluetooth	Ratt		
Magnet	Bandaggregat	Värmekamera	Cykelstyre		
Multi-mover	BB8 (roboten)	IR-avläsning	Människokraft		
AGV	Maglev	K10 indoor RTLS	Styre med gas (moped)		
Hjul med handtag	Sväva	GPS	Roder		
Ro	Mekaniska ben (tusenfoting)	Time of flight	Pedaler		
Kugghjul med rem	Drönar - style		Helautomatiserad		
Fusion	Rullas på stockar		Förprogrammerad för varje föreställning		
Fission	Skidgång				
Förbränning	På räls				
	Smart objectives				
	Pomodoro Technique				
	Självgående dammsugare				





# D

## Första konceptkatalogen

Helhetslösningar	
L1	A1:B1:C1:D1:E1.1:E2.4
L2	A1:B1:C1:D2:E1.1
L3	A1:B1:C1:D7:E1.3
L4	A1:B1:C3:D1:E1.1:E2.3
L5	A1:B1:C3:D8:E1.1
L6	A1:B1:C4:D5:E1.1
L7	A1:B1:C4:D7:E1.4
L8	A1:B1:C5:D7:E1.4
L9	A1:B1:C6:D7:E1.4
L10	A1:B1:C6:D1:E1.1
L11	A1:B1:C8:D4:E1.1
L12	A1:B1:C10:D1:E1.4
L13	A1:B2:C1:D1:E1.1
L14	A1:B2:C3:D2:E1.1
L15	A1:B2:C4:D5:E1.1
L16	A1:B2:C5:D8:E1.3
L17	A1:B2:C6:D7:E1.1:E2.4
L18	A1:B2:C8:D2:E1.1
L19	A1:B2:C8:D1:E1.1
L20	A1:B2:C10:D1:E1.3
L21	A1:B2:C7:D6:E1.1
L22	A1:B3:C1:D1:E1.1
L23	A1:B3:C1:D2:E1.1
L24	A1:B3:C3:D3:E1.1
L25	A1:B3:C4:D5:E1.1
L26	A1:B3:C4:D7:E1.1:E2.4
L27	A1:B3:C5:D7:E1.1:E2.4
L28	A1:B3:C6:D1:E1.1
L29	A1:B3:C8:D8:E1.1
L30	A1:B3:C10:D7:E1.1:E2.4
L31	A1:B4:C1:D1:E1.1
L32	A1:B4:C3:D7:E1.1:E2.3
L33	A1:B4:C4:D5:E1.1
L34	A1:B4:C5:D7:E1.1:E2.4
L35	A1:B4:C6:D1:E1.4
L36	A1:B4:C7:D8:E1.1
L37	A1:B4:C7:D1:E1.1
L38	A1:B4:C7:D2:E1.1
L39	A1:B5:C1:D1:E1.1
L40	A1:B5:C3:D7:E1.1:E2.3



---

L41	A1:B5:C4:D5:E1.1
L42	A1:B5:C5:D7:E1.1:E2.4
L43	A1:B5:C6:D1:E1.4
L44	A1:B5:C7:D8:E1.1
L45	A1:B5:C7:D1:E1.1
L46	A1:B5:C7:D2:E1.1
L47	A1:B5:C8:D1:E1.3
L48	A1:B5:C10:D1:E1.1
L49	A1:B9:C1:D1:E1.1:E2.4
L50	A1:B9:C1:D3:E1.1
L51	A1:B9:C3:D7:E1.1
L52	A1:B9:C5:D7:E1.1:E2.3
L53	A1:B9:C8:D8:E1.1:E2.4
L54	A1:B10:C1:D1:E1.1
L55	A1:B10:C4:D5:E1.1
L56	A1:B10:C7:D2:E1.1
L57	A1:B10:C10:D7:E1.1:E2.4
L58	A1:B11:C1:D1:E1.1:E2.4
L59	A1:B11:C1:D2:E1.1
L60	A1:B11:C1:D7:E1.3
L61	A1:B11:C3:D1:E1.1:E2.3
L62	A1:B11:C3:D8:E1.1
L63	A1:B11:C4:D5:E1.1
L64	A1:B11:C4:D7:E1.4
L65	A1:B11:C5:D7:E1.4
L66	A1:B11:C6:D7:E1.4
L67	A1:B11:C6:D1:E1.1
L68	A1:B11:C8:D4:E1.1
L69	A1:B11:C10:D1:E1.4
L70	A1:B12:C1:D1:E1.1:E2.4
L71	A1:B12:C3:D1:E1.1:E2.3
L72	A1:B12:C4:D5:E1.1
L73	A1:B12:C5:D7:E1.4
L74	A1:B12:C7:D3:E1.1
L75	A1:B12:C8:D7:E1.1:E2.4
L76	A1:B12:C10:D1:E1.1:E2.4
L77	A1:B13:C3:D1:E1.1:E2.4
L78	A1:B13:C1:D2:E1.1
L79	A1:B13:C4:D5:E1.1
L80	A1:B13:C7:D2:E1.1
L81	A1:B13:C7:D1:E1.1

## D. Första konceptkatalogen

---

L82	A1:B13:C5:D7:E1.1:E2.4
L83	A1:B13:C8:D1:E1.1:E2.3
L84	A1:B13:C10:D7:E1.1:E2.4
L85	A2:B6:C10:D13:E1.1
L86	A2:B6:C6:D13:E1.1
L87	A2:B7:C10:D13:E1.1
L88	A2:B7:C6:D13:E1.1
L89	A2:B8:C10:D13:E1.1
L90	A2:B8:C6:D13:E1.1
L91	A3:B1:C9:D6:E1.1
L92	A3:B6:C9:E1.1
L93	A3:B7:C9:E1.1
L94	A3:B8:C9:E1.1
L95	A4:B1:C1:D1:E1.1
L96	A4:B2:C3:D3:E2.1
L97	A4:B3:C4:D5:E1.1
L98	A5:B6:C10:D13:E1.1
L99	A5:B6:C6:D13:E1.1
L100	A5:B7:C10:D13:E1.1
L101	A5:B7:C6:D13:E1.1
L102	A5:B8:C10:D13:E1.1
L103	A5:B8:C6:D13:E1.1
L104	A6:B1:C1:D1:E1.1
L105	A6:B2:C3:D3:E2.1
L106	A6:B3:C4:D5:E1.1
L107	Omron LD-series
L108	KUKA omniMove
L109	KUKA Mobile Plattform 1500
L110	Visual Act
L111	Move-e-star





# F

## Pughs konceptvalsmatris 1 och 2

Chalmers		Pughs konceptvalsmatris: IMSX15-19-03												
Urförare: Jasmine Björk, Kaisa Magnusson & Sofia Rosen		Skapad: 2019-04-04 Modiflerad: 2019-04-09											Sid 1	
Kriterier	Alternativ													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
Lätt att underhålla	-	-	-	-	-	-	-	-	0+	+	+	-	-	
Kan underhållas av egen verkstad	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
Lätt att positionera	+	+	+	+	0+	+	+	+	-	+	+	+	+	
Lätt att reglera hastighet	+	0+	+	+	+	+	+	+	-	0+	+	+	+	
Lätt att rotera	+	+	+	+	+	+	+	+	0+	+	+	+	+	
Lätt att förflytta i sidled	+	+	+	+	+	+	+	+	0+	+	+	+	+	
Lätt att förstå	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	
Lätt att förstå placering	+	+	+	+	+	+	+	+	0+	+	+	+	+	
Styrning av få personer	+	+	+	+	+	+	+	+	0+	+	+	+	+	
Vikt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Minskar risk för kollision	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	
Passar befintlig vagn	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Applicerbar på andra vagnar	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	
Tillverkningsbarhet	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Mer tids effektiv	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	
Σ+	11	9	11	11	9	12	12	12	12	6	13	13	9	
Σ 0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	5	1	1	2	
Σ-	3	5	3	3	5	2	2	1	4	1	1	1	4	
Nettovärde	8	4	8	8	4	10	10	11	2	7	12	12	5	
Rangordning	4	6	4	4	6	3	3	2	7	1	1	1	5	
Vidareutveckling														
Resultat	Alla vagnar är bättre än befintlig lösning, därför tas alla vidare till nästa Pughmatris.													

Chalmers		Pughs konceptvals matrix: IMSX15-19-03												
Utfördare: Jasmine Björk, Kajsa Magnusson & Sofia Rosén		Skapad: 2019-04-04 Modifierad: 2019-04-09											Sid 1	
Kriterier		Alternativ												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
Lätt att underhålla		-	0	0	-	+	0	-	-	0	0	-	-	
Kan underhållas av egen verkstad	<b>R</b>	-	0	+	-	0	+	0	0	+	+	0	0	
Lätt att positionera	<b>E</b>	-	0	0	-	0	0	0	-	0	-	0	0	
Lätt att reglera hastighet	<b>F</b>	+	0	-	0	0	0	0	-	0	-	0	0	
Lätt att rotera	<b>F</b>	0	0	0	0	0	0	0	-	0	+	0	0	
Lätt att förflytta i sidled	<b>E</b>	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	
Lätt att förstå	<b>E</b>	-	+	-	-	0	0	0	0	0	+	-	-	
Lätt att förstå placering	<b>R</b>	-	0	0	0	0	0	0	-	+	0	0	0	
Styrning av få personer	<b>R</b>	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0	0	
Vikt	<b>E</b>	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+	-	-	
Minskar risk för kollision	<b>E</b>	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	
Passar befintlig vagn	<b>N</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Applicerbar på andra vagnar	<b>S</b>	0	0	0	0	0	0	+	0	+	+	+	+	
Tillverkningsbarhet	<b>S</b>	-	+	0	-	0	0	0	0	0	0	+	+	
Mer tidseffektiv	<b>S</b>	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0	0	
Σ+		1	2	1	1	0	1	2	1	4	5	2	2	
Σ0		7	12	11	11	7	13	12	6	11	7	9	9	
Σ-		7	1	3	3	8	1	1	8	0	3	4	4	
Nettovärde		-6	1	-2	-2	-8	0	1	-7	4	2	-2	-2	
Rangordning		6	3	5	5	8	4	3	7	1	2	5	5	
Vidareutveckling		Nej			Nej				Nej					
Beslut	Koncept B, E och I sällas bort.													



# G

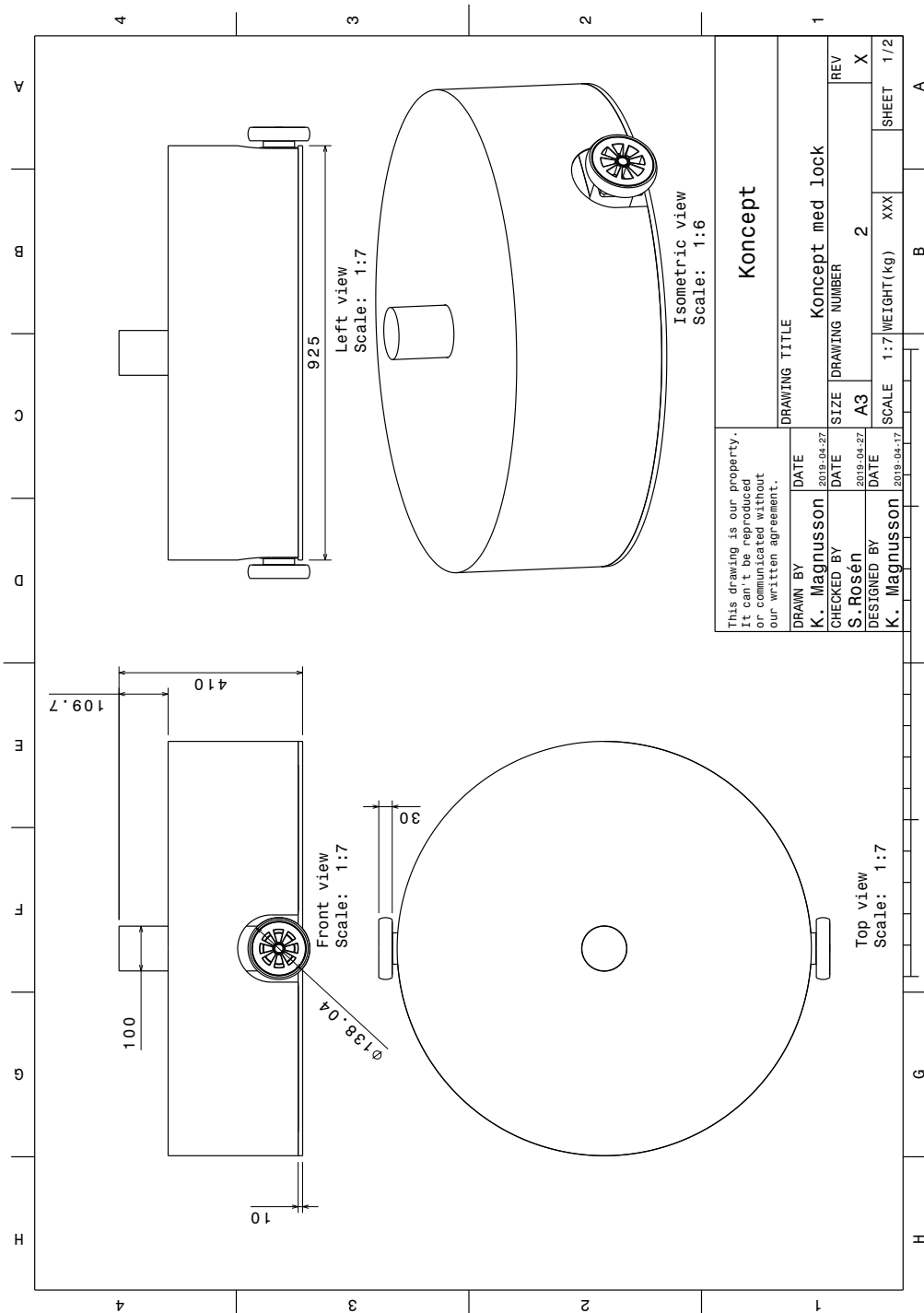
## Ritningar på konceptet

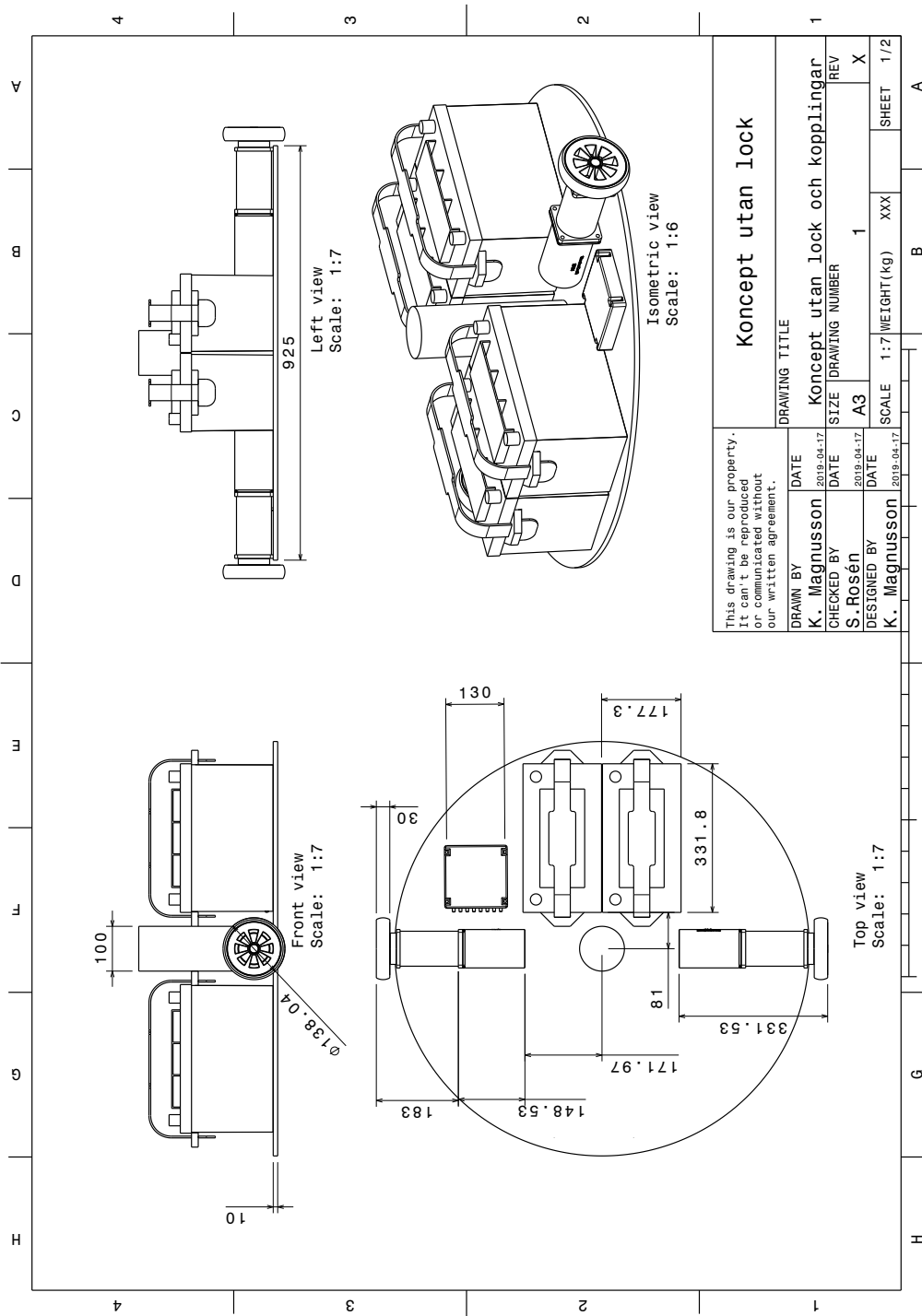
Recapitulation of: Koncept  
 Different parts: 7  
 Total parts: 13

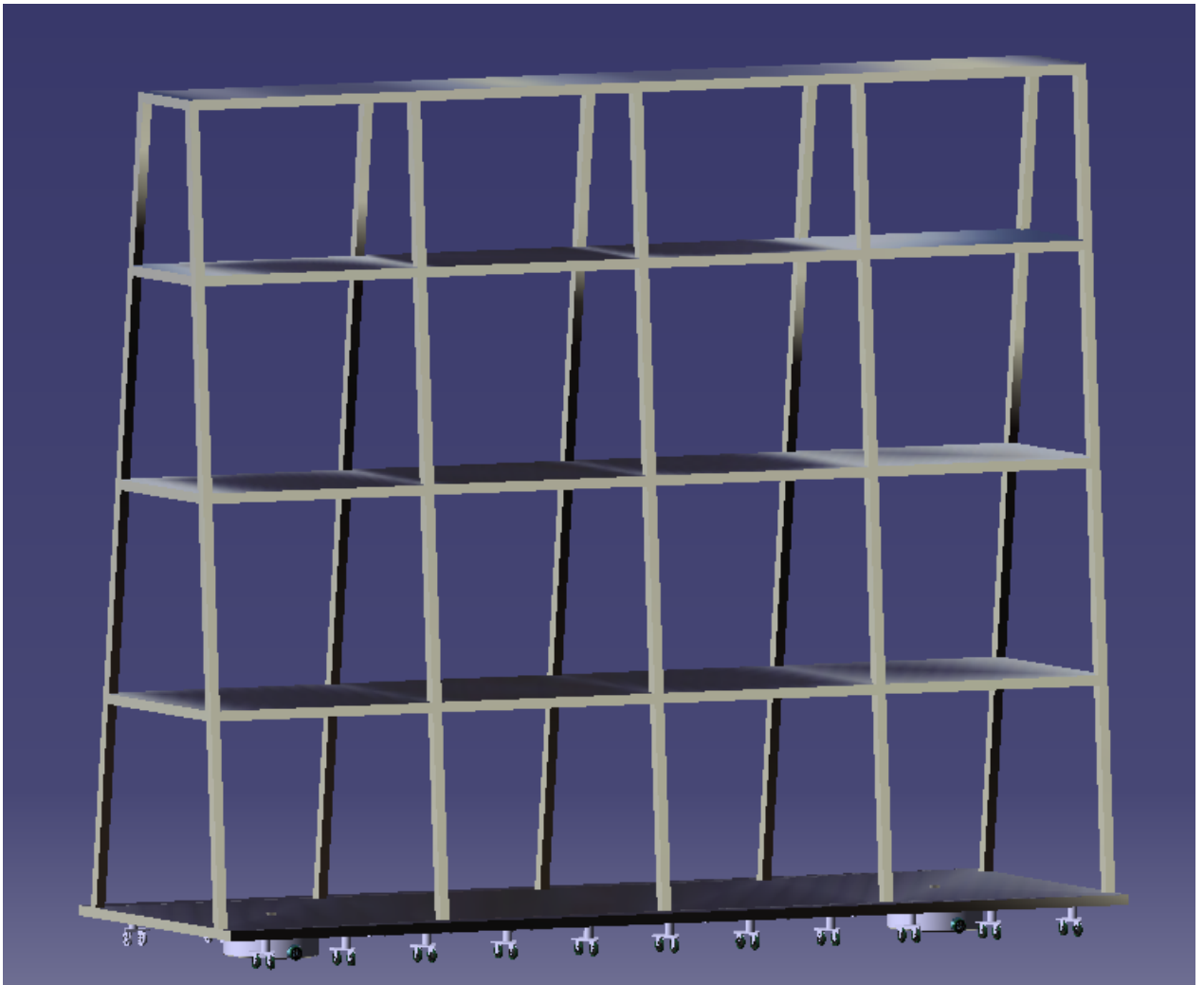
Quantity	Part Number	Number
1	Lock	1
4	Batteri	2
2	Motor	3
2	Utväxling	4
2	Hjul	5
1	Programmeringsenhet	6
1	Bottnplatta	7

This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		DRAWING TITLE	
DRAWN BY	DATE	Sprängskiss av koncept	
K. Magnusson	2019-04-27	Sprängskiss med stycklista	
CHECKED BY	DATE	SIZE	DRAWING NUMBER
S. Rosén	2019-04-27	A3	3
DESIGNED BY	DATE	SCALE	1:1 WEIGHT(kg) XXX
K. Magnusson	2019-04-17		
			SHEET 1/1















**DFX report**

DFA2 part level (MA)		Issue:
Koncept		Issued by:

	Need to assemble part	Gripping by hand	Reachat	Insertion	Tolerance	Holding assembly parts	Fastening method	Separate operation	Score	Score (%)	Agg Score	Agg Score (%)	Time	Agg Time	Agg Time (%)	Analyze Time	Purchase Cost	Agg Analyze Time	Agg Purchase Cost	
Koncept									0		586	74 %		84,9	257 %					
Sladdar Batteri-Motorenhet 1 pcs	9	9	3	3	9	9	9	9	60	83 %			7,7							
Skruv till motorenhet 1 pcs	9	9	3	3	1	9	3	9	46	64 %			11,1							
Skruv till drivenhet 1 pcs	9	9	3	3	1	9	3	9	46	64 %			11,1							
Sladdar Programmeringsset Batteri 1 pcs	9	9	9	3	9	9	9	9	66	92 %			3,2							
Sladdar Programmeringsset Motorenhet 1 pcs	9	9	9	3	9	9	9	9	66	92 %			3,2							
Hjul 1 pcs	9	9	9	3	3	9	3	9	54	75 %			6,4							
Motorenhet 1 pcs	9	3	3	3	3	1	3	9	34	47 %			14,9							
Lock 1 pcs	9	1	9	3	3	9	9	9	52	72 %			4,4							
Programmeringsset 1 pcs	9	9	3	1	9	9	3	9	52	72 %			11							
Batteri 1 pcs	9	9	3	3	9	9	9	9	60	83 %			7,7							
Bottenplatta 1 pcs	1	1	9	9	3	9	9	9	50	69 %			4,2							



**DFX report**

		Issue:
	DFA2 part level (MA)	Issued by:
<b>Product/part:</b>	Vagn med tallrikshjul	

	Need to assemble part	Gripping by hand	Reach	Insertion	Tolerance	Holding assembly parts	Fastening method	Separate operation	Score	Score (%)	Agg Score	Agg Score (%)	Time	Agg Time	Agg Time (%)	Analyze Time	Purchase Cost	Agg Analyze Time	Agg Purchase Cost	
Vagn med tallrikshjul									0		138	64 %		24,6	273 %					
Tallrikshjul 1 pcs	9	3	9	3	3	1	3	3	34	47 %			10,4							
Skruv för tallrikshjul 1 pcs	9	9	9	9	3	1	3	3	46	64 %			10,2							
Vagnens ram 1 pcs	9	1	9	9	9	9	9	3	58	81 %			4							



**DFX report**

		Issue:
	DFA2 part level (MA)	Issued by:
<b>Product/part:</b>	Vagn med koncept	

	Need to assemble part	Gripping by hand	Reachability	Insertion	Tolerance	Holding assembly parts	Fastening method	Separate operation	Score	Score (%)	Agg Score	Agg Score (%)	Time	Agg Time	Agg Time (%)	Analyze Time	Purchase Cost	Agg Analyze Time	Agg Purchase Cost	
Vagn med koncept									0		184	64 %		33,5	279 %					
Tallrikskjul 1 pcs	9	3	9	3	3	1	3	3	34	47 %			10,4							
Skruv för tallrikskjul 1 pcs	9	9	9	9	3	1	3	3	46	64 %			10,2							
Vagnens ram 1 pcs	9	1	9	9	9	9	9	3	58	81 %			4							
Koncept 1 pcs	9	1	3	3	3	9	9	9	46	64 %			8,9							





# I

## MHU

Referens (valt konceptförslag):		Valt koncept					
Alterantivt konceptförslag:		Dragtruck					
		Steg i produktens livscykel:					
Begränsning	Påverkan (aspekt)	Viktning	Utvinning och tillverkning av material	Tillverkning av produkt	Användning	Rest-hantering	Summa med viktning
1. Tillgång på material och energi	Vanliga metaller (Al, Fe, Mg, Ti)	3	1	1	0	1	9
	"Ganska sällsynta" metaller (Cr, Ni, Zn, Cu, Pb)	5	1	1	0	-1	5
	Sällsynta metaller (övriga)	8	0	0	0	0	0
	Fossila bränslen: Olja, gas	3	0	0	0	0	0
	Fossila bränslen: Kol	0			0		0
	Plaster	3	-1	-1	0	-1	-9
	Mineraler i handelsgödsel (S, P, K)	8	0	0	0	0	0
	Övriga mineraler	3	0	0	0	0	0
	Sten, grus, gips	3	0	0	0	0	0
	Svensk el (uran till kärnkraft)	8	0	0	0	0	0
	Övrigt	2	-1	-1	0	-1	-6
2. Tillgång på yta:	Svenskt träslag	1	0	0	0	0	0
	Biodiversitet och långsiktig						
	Ädelträ från regnskog	10	0	0	0	0	0
	Bomull	5	0	0	0	0	0
	Annat tyg med biologiskt ursprung	1	0	0	0	0	0
3. Emissioner (d v s utsläpp av ämnen)	Bioenergi (t ex etanol)	3	0	0	0	0	0
	Vatten	3	-1	0	0	0	-3
	Svensk el (förnyelsebart)	1	0	0	1	0	1
	Övrigt						0
3. Emissioner (d v s utsläpp av ämnen)	Växthusgaser (fossilt CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O)	10	-1	0	0	0	-10
	Ej fossilt CO <sub>2</sub> , d v s från biomaterial eller bioenergi	0	0	0	0	0	0
	Försurande ämnen (SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , NH <sub>4</sub> )	5	-1	0	0	0	-5
	Övergödande ämnen (N, P)	8	0	0	0	0	0
	Ozonedbrytande ämnen (CFC, HCFC)	10	0	0	0	0	0
	Vanliga metaller (Al, Fe, Mg, Ti)	0	0	1	0	1	0
	"Ganska sällsynta" metaller (Cr, Ni, Zn, Cu, Pb)	5	0	1	0	0	5
	Tungmetaller (t ex Hg, Pb, Cd)	10	0	0	0	0	0

Övriga sällsynta metaller	8			0		0
Giftiga ämnen, som bryts ner långsamt (t ex dioxin)	10	0	0	0	0	0
Giftiga ämnen, som bryts ner snabbt	5	0	0	0	0	0
Ganska giftiga ämnen, som bryts ner långsamt	5	0	0	0	0	0
Ganska giftiga ämnen, som bryts ner snabbt	3	0	-1	0	-1	-6
Ej så giftiga ämnen	1	0	0	0	0	0
Partiklar	3	0	0	0	0	0
Svensk el (emissioner)	5	0	0	0	0	0
Övrigt				0		0
Summa med viktning:						-19



# J

## FMEA

FMEA - Feleffektanalys									
Projekt: Kandidatarbete	Produkt: Modul till Molle-vagn	Utförd av: Jasmine Björk & Kajsa Magn			Datum: 2019-05-02			FMEA nr: 1	
System/ komponent	Möjligt felsätt	Möjlig feleffekt	Möjlig felorsak	Nuvarande kontroll/ test	Sannolikhet för händelse	Allvarlighet	Sannolikhet för upptäckt	Risktal	Rekommenderade åtgärder
Bottenplatta	Korrosion	Oattraktivt utseende	Luftfuktighet	Visuell inspektion	2	1	4	8	Extra tester av material vid tillverkning
Bottenplatta	Deformation	Funktion upphör	Ojämnheter i golv	Regelbunden besiktning	3	7	1	21	Överdimensionera för att klara mer än
Bottenplatta	Lossnar från vagn	Vagnen står stilla	Dåligt fäste	Kontroll av fästning regelbundet	3	2	1	6	Kontroll av fästning innan varje användning.
Motor	Brand	Funktion upphör	Överhettning	Regelbunden kontroll av motor	1	10	2	20	Mantelkytning och regelbundet underhåll.
Motor	Motor inte tillräckligt stark	Hjul slirar	Vagnen för tungt belastad	Överbelasta inte vagnen	1	2	4	8	Medvetenhet om dekorens tyngd.
Motor	Lossnar från bottenplatta	Funktion upphör	För dålig fästning alternativt för sliten	Kontroll av fästning regelbundet	2	6	1	12	Kontroll av fästning innan varje användning.
Batteri	Brand	Funktion upphör	Felaktig spänning eller ström	Kontroller med multimeter, ladda batteri	2	10	2	40	Regelbunden kontroll av batteri
Batteri	Kortslutning	Funktion upphör	Skadad ledare	Kontroll av batteri	2	6	5	60	Regelbunden kontroll av batteri
Lock	Korrosion	Oattraktivt utseende	Luftfuktighet	Visuell inspektion	2	2	7	28	Extra tester av material vid tillverkning
Lock	Deformation	Funktion upphör	Ojämnheter i golv	Regelbunden besiktning	3	6	3	54	Regelbunden kontroll av ytor
Skruv	Går sönder	Komponent lossnar	Bristande kvalitet	Tillverkarens ansvar	2	1	5	10	Ställa höga krav på tillverkarens materialkvalitet och toleranser
Hjul	Slitage	Dåligt grepp	Vikt	Överbelasta inte vagnen	2	1	2	4	Medvetenhet om dekorens tyngd.
Hjul	Slitage på golv	Skadat golv	Vikt alternativt slitna hjul	Överbelasta inte vagnen	4	4	3	48	Se över hjul regelbundet.
Hjul	Lossnar från motor	Funktion upphör	Dåligt fäste	Kontroll av fästning regelbundet	2	3	2	12	Kontroll av fästning
Fjärrkontroll	Vagn placeras	Ej tidseffektiv	Svår att förstå	Uppläring	5	1	5	25	Ytterligare utbildning
Fjärrkontroll	Bristande kommunikation med programmerings	Funktion upphör	Störningar	Regelbunden kontroll	3	7	3	63	Felsök regelbundet
Fjärrkontroll	Fjärrkontroll slutar fungera	Vagn kan inte förflyttas	Urladdat batteri	Byt ut batteri regelbundet	3	1	2	6	Byt batteri med jämna mellanrum
Programmerings system	Vagn rör sig inte	Systemet fungerar inte	Fel uppdatering av system	felsök med jämna mellanrum	3	6	4	72	Felsök ofta och med jämna mellanrum
Programmerings system	Vagn rör sig fel väg	Systemet fungerar inte	Fel uppdatering av system	felsök med jämna mellanrum	3	4	4	48	Felsök ofta och med jämna mellanrum