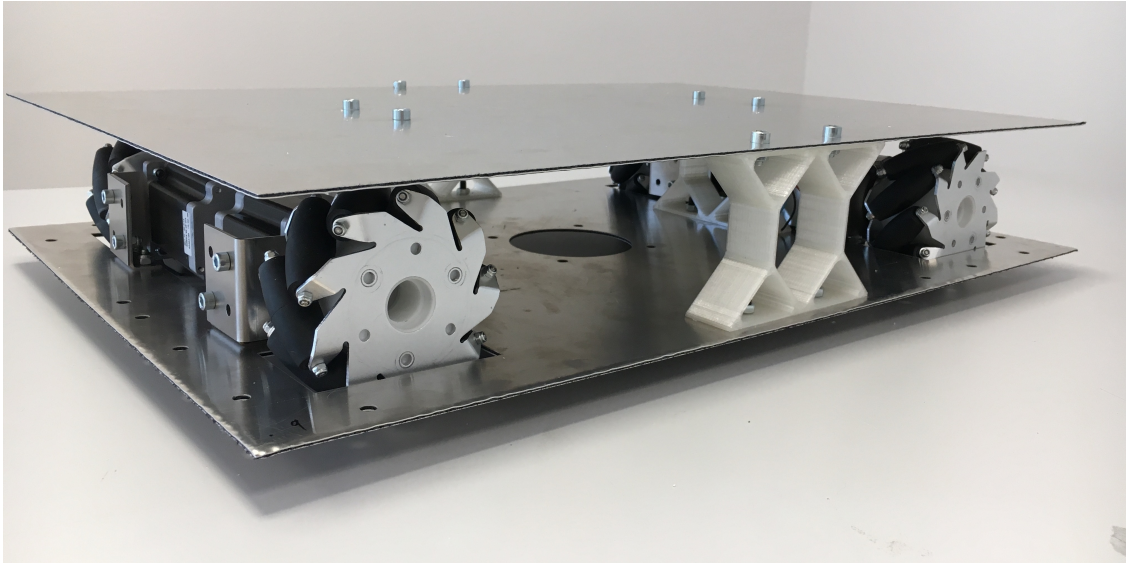




# CHALMERS

---



## Utveckling av en lättviktskonstruktion till en smart transportpalett

Development of a lightweight construction for a smart AGC

Examensarbete i Maskiningjörsprogrammet

Max Gålnander

Pontus Karlsson



EXAMENSARBETE 2018:NN

## Utveckling av en lättviktskonstruktion till en smart transportpalett

Development of a lightweight design for a smart AGC

Max Gålnander  
Pontus Karlsson



**CHALMERS**

Institutionen för industri- och materialvetenskap  
*avdelningen för Produktionssystem*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2018

Utveckling av en lättviktskonstruktion till en smart transportpalett  
Development of a lightweight design for a smart AGC  
MAX GÅLNANDER  
PONTUS KARLSSON

© Max Gålnander & Pontus Karlsson, 2018.

Handledare: Hans Sjöberg, Institutionen för industri- och materialvetenskap  
Handledare: Anders Ek, Flexlink  
Examinator: Åsa Fasth Berglund, Institutionen för industri- och materialvetenskap

Examensarbete 2018:NN  
Institutionen för industri- och materialvetenskap  
avdelningen för Produktionssystem  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telefon +46 31 772 1000

Omslag: Prototyp av det valda konceptet, se mer i kapitel 4.11

Typsatt i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Utskriven av [Name of printing company]  
Göteborg, Sverige 2018

Utveckling av en lättviktskonstruktion till en smart transportpalett  
Development of a lightweight design for a smart AGC  
Max Gålnander och Pontus Karlsson  
Institutionen för industri- och materialvetenskap  
Chalmers Tekniska Högskola

## Sammanfattning

Denna rapport syftar till att lättviktsoptimera en konstruktion till en ram för en AGC, Automated guided cart, som ska kunna åka på Flexlinks conveyorbånd. Med hjälp av materialet Hybrix från Lamera ska denna konstruktion göras både lätt och styv. Genom ett produktutvecklingsarbete har flera koncept utvecklats som sedan sållats. Rapporten kommer fram till en lösning som har god utvecklingspotential. Materialet Hybrix kommer användas till både topp- och bottenplatta. Däremellan kommer extruderade aluminiumprofiler sitta för att hålla upp konstruktionen. Denna konstruktion är enligt rapporten en lösning som är både lätt och styv samt har god utvecklingspotential. Därför rekommenderas det att fortsätta utveckla denna lösning mot en färdig produkt.

Projektet har utförts mestadels på Chalmers två campus, Lindholmen och Johanneberg. Frågeställningen under projektet har varit: Hur kan paletten utformas så att den är så lätt som möjligt men ändå klara av utsatta mål? Samt: Är det möjligt att konstruera delar av palettroboten i Hybrix? Projektet har avgränsat sig till att bara studera en storlek på palett. De komponenter som finns inuti palettroboten har ej studerats utan plats har bara lämnats för dessa komponenter. Hur paletten ska ta sig från golvet till conveyorbanan har inte tagits med i arbetet. Projektet har fokuserat på utveckling av den bärande konstruktionen till en AGC och därför har inte en ekonomisk kostnadsanalys för framtagna koncept utförts.

Nyckelord: Flexlink, Lamera, lättviktskonstruktion, AGC, conveyor, FEM-modellering

## **Abstract**

This report aims to lightweight optimize a design for a frame for an AGC, Automated guided cart, that will be able to ride on Flexlinks conveyor belt. With the Hybrix material from Lamera, this design is made both light and rigid. Through product development work the project develops several concepts that are then screened. The report comes to a solution that has good development potential. The material Hybrix will be used for both top and bottom plates. In between, extruded aluminum profiles are seated to sustain the design. This design is according to the report a solution which is both light and rigid. Therefore the recommendation is to continue to develop the design towards a finished product.

The project has been performed mostly on Chalmers two campuses, Lindholmen and Johanneberg. The two questions during the project has been: How can the palette be designed to make it as light as possible but still be able to meet the goals set by the project? As well as: Is it possible to construct parts of the palette robot in Hybrix? The project has been limited to just studying one size of the palette. The components inside the palette robot have not been studied instead space has been provided for these components. How the palette will move from the floor to the conveyor track has not been included in the work. The project has been focused to develop a working design for the AGC and that's why an economic cost analysis hasn't been conducted.

Keywords: Flexlink, Lamera, lightweight design, AGC, conveyor, FEM modeling

## Förord

Detta är ett examensarbete på Chalmers tekniska högskola. Examensarbetet är den sista delen i en högskoleingenjörsexamen i maskinteknik på 180 högskolepoäng. Arbetet, som har omfattat 15 högskolepoäng, gjordes för företaget Flexlink AB i Göteborg och är utfört under våren 2018.

Vi skulle vilja tacka våra handledare Hans Sjöberg på Chalmers och Anders EK på Flexlink för handledning under projektet. Tack till Mattias Folestad på Lamera för hjälp med materialet Hybrix. Sist vill vi tacka vår examinator, Åsa Fasth Berglund.

Max Gålnander och Pontus Karlsson, Göteborg, Maj 2018



# Innehåll

<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 Syfte . . . . .	1
1.3 Avgränsningar . . . . .	2
1.4 Precisering av frågeställning . . . . .	2
<b>2 Teoretisk referensram</b>	<b>3</b>
2.1 Scenariobeskrivning . . . . .	3
2.2 Liknande produkter på marknaden . . . . .	3
2.2.1 Skillnad mellan dagens produkter . . . . .	4
2.3 Hybrix . . . . .	4
2.4 En analys av den gamla modellen . . . . .	5
2.5 Generativ design . . . . .	6
<b>3 Metod</b>	<b>9</b>
3.1 Intervju . . . . .	9
3.2 Undersökning av nuvarande AGC . . . . .	9
3.3 Kravspecifikation . . . . .	9
3.4 Brainstorming . . . . .	10
3.5 Konceptgenerering . . . . .	10
3.6 CAD . . . . .	11
3.7 FEM-modellering . . . . .	11
3.8 Första urval . . . . .	11
3.8.1 Redovisning för Flexlink . . . . .	12
3.9 Vidareutveckling . . . . .	12
3.10 Andra urval . . . . .	12
3.10.1 Mockup . . . . .	13
3.10.2 Pugh-matris . . . . .	13
3.11 Prototyp . . . . .	13
<b>4 Resultat</b>	<b>15</b>
4.1 Intervju Lamera . . . . .	15
4.2 FEM-analys av ursprungligt palettchassi . . . . .	16

4.2.1	Ursprunglig bottenplatta . . . . .	16
4.2.2	Lameras analys av bottenplattan . . . . .	17
4.2.3	Utvärdering av Hybrix i bottenplattan . . . . .	17
4.3	Kravspecifikation . . . . .	17
4.4	Brainstorming . . . . .	18
4.5	Konceptgenerering med hjälp av Morfologisk matris . . . . .	19
4.6	Koncept . . . . .	20
4.6.1	Koncept A . . . . .	20
4.6.2	Koncept B . . . . .	21
4.6.3	Koncept C . . . . .	22
4.6.4	Koncept D . . . . .	23
4.6.5	Koncept E . . . . .	23
4.6.6	Koncept F . . . . .	24
4.6.7	Koncept G . . . . .	24
4.7	Urval . . . . .	25
4.7.1	Eliminering . . . . .	25
4.7.2	Pugh-matriser . . . . .	26
4.7.3	Utvärdering och gallring av koncept . . . . .	26
4.8	Vidareutveckling av koncept . . . . .	27
4.8.1	Nya lastpunkter . . . . .	27
4.8.2	Resultatet av shape generator . . . . .	28
4.9	Nya koncept . . . . .	29
4.9.1	Koncept H . . . . .	29
4.9.2	Koncept I . . . . .	29
4.9.3	Koncept J . . . . .	30
4.10	Andra urvalet . . . . .	31
4.10.1	Mockup . . . . .	31
4.10.2	Pugh-matris . . . . .	32
4.11	Prototyp . . . . .	32
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>Slutsats</b>	<b>35</b>
6.1	Förbättringsmöjligheter på koncepten . . . . .	35
6.2	Rekommendation för fortsatt arbete . . . . .	36
	<b>Referenser</b>	<b>37</b>
<b>A</b>	<b>Bilaga - Kravspecifikation</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Bilaga - FEM-analyser</b>	<b>III</b>
<b>C</b>	<b>Bilaga - Pugh-matriser</b>	<b>VII</b>

# Figurer

2.1	Materialet Hybrix sett i tvärsnitt och i animerad detaljbild med olika tjocklekar. [4]	5
2.2	Von Mises-spänningar i den gamla modellen	5
2.3	Von Mises-spänningar i den gamla modellen	6
2.4	Lastfallet för bottenplattan, röda ringar markerar punkterna där plattan fästs in	6
3.1	Tillverkning av mockup	13
4.1	Von mises-spänningar i bottenplattan	16
4.2	Utböjning på bottenplattan	17
4.3	En sammanställning av några skisser	19
4.4	Morfologisk matris	19
4.5	Koncept A, med den inre ramen	21
4.6	Koncept B utan lock	21
4.7	Skiss på hur ramen ser ut	21
4.8	Koncept B, med "lock"	22
4.9	Koncept C, utan topplatta så att de stående plattorna syns	22
4.10	Koncept D, utan topplattan	23
4.11	Koncept E, sett från kortsidan med en kortsida bortplockad.	24
4.12	Koncept F, ovanifrån med locket borta	24
4.13	Koncept F, underifrån med bottenplattan borta	24
4.14	Koncept G, resultatet av "shape generator"	25
4.15	Det nya lastfallet uttrit på botten av den nuvarande prototypen. De streckade linjerna visar var lokaliseringspunkterna sitter.	28
4.16	Vad som framkom av simuleringen i Inventor, det gula rutnätet är det resultat vilket datorn föreslår ska användas.	28
4.17	Koncept H, inspirerad av "shape generator" med det nya lastfallet	29
4.18	Koncept I, en vidareutveckling av koncept A	30
4.19	Koncept J, sammanfogning av koncept C och D	31
4.20	En mockup av koncept J	32
4.21	Prototyp av konstruktionen	32
5.1	Prototypens utböjning av egenvikten från motorerna vid mitten av långsidan.	34
A.1	Kravspecifikation	I
B.1	Utböjning på koncept A vid 1000N	III

B.2	Von Mises spänningar i koncept A vid 1000N . . . . .	III
B.3	Utböjning på koncept C vid 1000N . . . . .	III
B.4	Von Mises spänningar i koncept C vid 1000N . . . . .	IV
B.5	Utböjning på koncept D vid 1000N . . . . .	IV
B.6	Von Mises spänningar i koncept D vid 1000N . . . . .	IV
B.7	Utböjning på koncept E vid 1000N . . . . .	V
B.8	Von Mises spänningar i koncept E vid 1000N . . . . .	V
B.9	Utböjning på koncept H vid 1000N . . . . .	V
B.10	Von Mises spänningar i koncept H vid 1000N . . . . .	VI
B.11	Utböjning på koncept J vid 1000N . . . . .	VI
B.12	Von Mises spänningar i koncept J vid 1000N . . . . .	VI
C.1	Den första Pugh-matrisen med den ursprungliga ramen som referens . . .	VII
C.2	Den andra Pugh-matrisen med koncept C som referens . . . . .	VIII
C.3	Den sista Pugh-matrisen . . . . .	IX

## Tabeller

4.1	Maximal utbøjning och vikt för de olika koncepten från modellering i CAD-program. . . . .	25
4.2	Elimineringsmatris . . . . .	26
4.3	Maximal utbøjning och vikt för de nya koncepten . . . . .	31



# 1

## Inledning

Det här är ett projekt som syftar till att utveckla en lättviktskonstruktion av en palett för Flexlink. Inledningen beskriver bakgrunden, syftet, avgränsningarna och frågeställningen för projektet.

### 1.1 Bakgrund

Flexlink är ett företag som utvecklar och tillverkar conveyorsystem. Till dessa system finns det paletter vilka är till för att frakta material på. För att kunna erbjuda en flexibel produktion vill Flexlink göra en palett som själv kan åka av conveyorbanan för att ta sig till en ny plats, exempelvis en kittingstation där den kan lastas med nytt material innan den återvänder till transportbandet. Detta gör att transporttiden kan utnyttjas och att värde kan tillföras under transporten.

Den nuvarande paletten i serien XT som företaget Flexlink använder väger mycket i tjänstevikt i förhållande till storleken. Ett önskemål är att få ned tjänstevikten på paletten så att större del av totala maxvikten för belastning på 30 kg per palett kan utnyttjas till att frakta material istället för att gå åt till palettens egenvikt. Förra året påbörjades utvecklingen av en ny palettrobot i ett forskningsprojekt med ett samarbete mellan Flexlink och Chalmers. En bas för paletten byggdes som väger mycket i nuvarande utförande.

Företaget Lamera har utvecklat ett lättviktsmaterial med faceplåtar i metall och kärna av polymerfibrer, materialet är både lätt och styvt vid namn Hybrix. Projektet ska undersöka var Hybrix kan användas istället för vanlig stål- eller aluminiumplåt för att minska vikten på paletten.

### 1.2 Syfte

Projektet syftar till att utveckla karossen till en smart palettrobot som kopplar samman conveyorsystem och AGC, Automated guided cart. Målet är att skapa en hybrid mellan de nuvarande produkterna som är lätt och smart. Palettroboten ska kunna fraktas på transportband där olika monteringsoperationer kan utföras. Vid behov ska AGC:n kunna köra runt själv på marken till exempel för att köra till en kittingstation för att lasta material. Målet är att få ner tjänstevikten så mycket som möjligt eftersom det då innebär att mer material kan lastas på paletten utan att överskrida tillåten maxvikt på 30 kg. I en monteringsoperation kan paletten komma att belastas med större kraft på topplattan, vid exempelvis en pressoperation. Därför behöver paletten vara konstruerad på ett sätt att den klarar belastningen utan att böja ut för mycket. Syftet är även att designa en palett vilken är styv i sin konstruktion som gör att den är attraktiv för kunden till Flexlink.

### 1.3 Avgränsningar

Nedan beskrivs de avgränsningar vilka är gjorda för projektet.

- Projektet kommer inte behandla optimering av komponenterna som finns inuti paletten. Dessa komponenter ses som givna förutsättningar för att paletten skall fungera.
- Projektet kommer endast studera konstruktionen för en palett med de yttre dimensionerna:  $400 \times 600$  [mm].
- Projektet fokuserar inte på hur paletten ska ta sig från conveyorbanan ner till golvet.
- Projektet kommer endast beräkna kostnaden för paletten utifrån uppskattningar av material- och tillverkningskostnader eftersom det finns många parametrar som gör att priset kan variera.
- Projektet ska undersöka konstruktionen av palettroboten och i mån av tid komma att se över den yttre designen.

### 1.4 Precisering av frågeställning

Frågeställningen är preciserad utifrån syftet och beskrivs med hjälp av följande frågor.

- Hur kan paletten utformas så den är så lätt som möjligt men ändå klara utsatta mål som att klara en viss belastning vid monteringsoperationer och transport av produkter och delar?
- Är det möjligt att konstruera delar av palettroboten i det nya lätta materialet Hybrix från Lamera?

# 2

## Teoretisk referensram

I kapitlet redogörs för den teori vilken ligger till grund för arbetet i projektet.

### 2.1 Scenariobeskrivning

Scenariobeskrivningen ska beskriva hur robotpaletten ska användas, syftet med detta är att få större förståelse för hur paletten ska vara anpassad till miljön den kommer att användas i.

Paletten avses att användas i en industrimiljö. Detta innebär en miljö vars högsta smutsighetsgrad är jämförbar med fordonsindustri, där damm och oljedroppar från komponenter som fraktas är vanligt förekommande. Paletten kommer därför behöva vara skyddad för spill, damm och liknande men inte extremt vattentät på något sätt. Paletten ska klara av att rengöras med en fuktig trasa, därför behöver paletten korrosionsskydd, antingen i form av färg eller ett korrosionsbeständigt material.

Belastning av paletten ska ske inom topplattans yttre dimensioner. Paletten behöver inte klara av att lastas med exempelvis långa plankor eftersom den typen av last överskrider topplattans yttre dimensioner. Lasten ska också vara fördelad jämt över ytan d.v.s. inte ligga extremt fördelad till fram/bak eller höger/vänster på paletten eftersom en vältrisk då kan förekomma. Paletten ska klara av en last på 100 kg (1000 N) med 1 mm utböjning i mitten då paletten är i monteringsläge d.v.s. då ramen har stöd i lokaliseringshålen.

Det finns ett önskemål om att kunna placera en display på paletten för att kunna föra med sig information om produktionsprocessen till de kunder som vill ha det. I en kittingprocess ska en operatör kunna se vilka delar som ska lastas på paletten. När paletten åker på monteringsbandet så ska den kunna förse operatörerna med monteringsanvisningar eller liknande.

### 2.2 Liknande produkter på marknaden

Robotarna som hittats på marknaden används på ett sätt som liknar den användning paletten som utvecklas i projektet ska kunna göra då den inte går på ett löpande band utan kör fritt på golvet i en industrimiljö för att hämta och lämna material.

Otto motors har utvecklat en robot för industritransporter.[1] Den är självkörande och kan lastas med olika typer av last beroende på hur den är modulariserad. Framförallt är den inriktad mot lager och materialtransport. Den har maximal lastkapacitet på 100 kg men samtidigt väger den 127 kg i tjänstevikt vilket är väldigt mycket mer än vad Flexlinks

robot har möjlighet att väga.

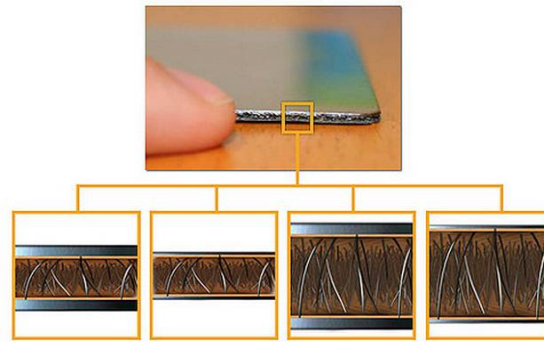
Omron har utvecklat en robot som är avsedd att transportera material i en lagermiljö mellan olika hyllor. [2] Roboten liknar därför Otto motors robot som är gjord för liknande uppgifter. Omron LD-roboten väger 62 kg i tjänstevikt och har en lastkapacitet på 60 kg. På samma sätt som Otto motors robot så väger Omron roboten för mycket i förhållande till vad den roboten som ska tas fram kan väga.

### 2.2.1 Skillnad mellan dagens produkter

Den typen av robot som ska tas fram i det här projektet med Flexlink finns inte till försäljning på den öppna marknaden idag. Det som skiljer Flexlinks robot från de flesta andra självkörande robotarna är att Flexlinks robot ska fungera på både conveyorsystemet, som den tidigare paletten, samtidigt som den ska kunna köra själv på marken för att frakta material mellan olika stationer i produktionen på liknande sätt som de andra robotarna. Den nuvarande prototypen av palettroboten är ett resultat från rapporten: "Utveckling av smarta AGC:er" [3]. Paletten syftar till att kunna förbättra produktionseffektiviteten genom att sammanbinda konventionella conveyersystem med golvgående AGC:er på ett sätt som inte finns på marknaden idag. Detta innebär att palettroboten som utvecklas behöver utformas på ett sätt som är optimerat för att klara av att åka på conveyorbåndet och kunna köra fritt på marken. De robotarna som hittats behöver inte en viktbegränsning på 30 kg för att kunna åka på transportbånden. Det är intressant att se vilka liknande robotar som finns idag men tyvärr hjälper inte robotarnas konstruktion oss i det här projektet eftersom de inte är optimerade mot samma målvikt.

### 2.3 Hybrix

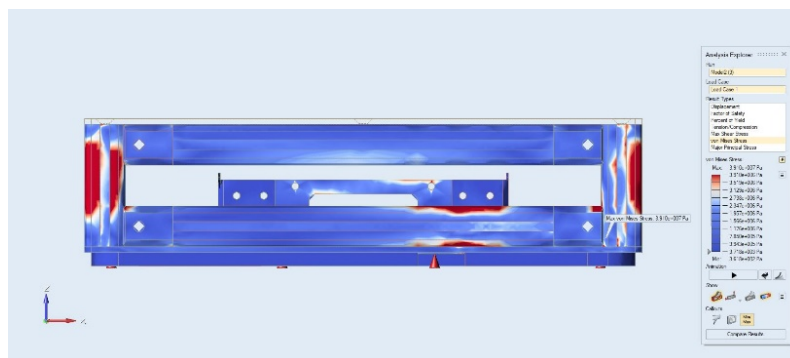
Hybrix tillverkas av företaget Lamera och är ett sandwichmaterial som består av två tunna metallplåtar, det vanligaste är att de är tillverkade antingen i stål eller aluminium. [4] Mellan metallplåtarna finns det ett lager med polymerfiber och luft. Hybrix kan användas som ersättning för vanlig plåt i till exempel byggnader eller fordon. Materialet har fördelen att det går att bearbeta i vanliga beredningsoperationer likt vanlig plåt trots den laminerade strukturen. Mer information finns i kapitel 4.1, där resultatet av intervjun med Lamera finns presenterat.



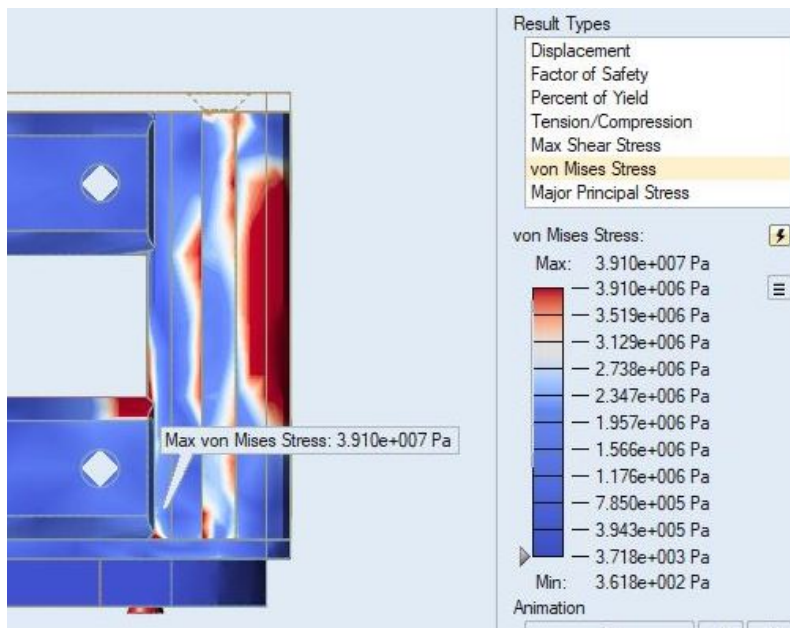
**Figur 2.1:** Materialet Hybrix sett i tvärsnitt och i animerad detaljbild med olika tjocklekar. [4]

## 2.4 En analys av den gamla modellen

Den gamla modellen består av extruderade aluminiumprofiler som hålls samman av profilkopplingar av stål. Lamera tillhandahöll en analys av hur den nuvarande konstruktionen tar upp last. I figur 2.2 kan man se att spänningarna i ramen är väldigt låga. Det röda i figuren är där det är högst spänning och den visar på ungefär 3 MPa. Den lokalt maximala spänningen syns i figur 2.3, den uppgår till 39 MPa. Den uppkommer i en väldigt liten och snäv radie vilket innebär att det lätt kan lösas med ett rundare hörn. Det kan också vara en felberäkning av programmet, eftersom radien är så snäv i den punkten. Det som kan läsas ut av Lameras analys är att ramen är alldeles för överdimensionerad och att material kan tas bort i det nuvarande utförandet då sträckgränsen hos extruderad aluminium är  $\geq 200$  MPa [5]. När geometrin byggs om kan det vara möjligt att få ner vikten ännu mer eftersom strukturen då anpassas efter det rådande lastfallet.

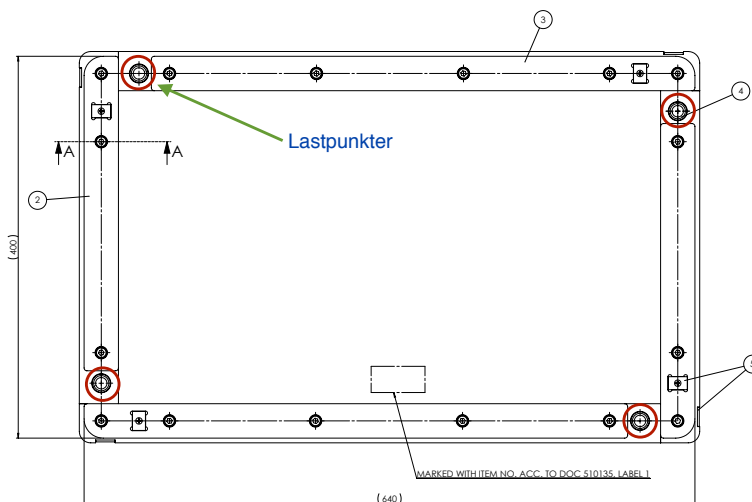


**Figur 2.2:** Von Mises-spänningar i den gamla modellen



**Figur 2.3:** Von Mises-spänningar i den gamla modellen

De lastpunkter som finns i bottenplattan syns i figur 2.4, där markerar de röda ringarna platserna där en cylinder kommer att fästa in och hålla fast bottenplattan vid exempelvis en pressoperation.



**Figur 2.4:** Lastfallet för bottenplattan, röda ringar markerar punkterna där plattan fästs in

## 2.5 Generativ design

Genativ design använder datorns kapacitet för att beräkna den mest optimala designen för en lättviktskonstruktion. Datorn plockar bort onödigt material så att konstruktionen ska bli så lätt som möjligt men ändå behålla samma styvhet. CAD-programmet Inventor har en enkel sådan funktion inbyggd som kallas "Shape generator". Materialet som kommer

ut ur "Shape generator" får sedan analyseras och användas som en grund till hur detaljen kan modifieras. [6] Det som sätts som randvilkor är lastpunkter och infästningspunkter. Även materialet måste vara givet innan simuleringen. Efter det bestäms det till vilken grad detaljen ska optimeras, om den ska optimeras mot en speciell vikt eller en procentuell del av den nuvarande vikten. Det går att bestämma att vissa delar av produkten ska vara intakta för att kunna bevara infästningspunkter och liknande.



# 3

## Metod

Det här avsnittet behandlar hur arbetet har utförts och vilka metoder som har använts. Rapporten har delats in i delarna: Förstudie, konceptframtagning, CAD-modellering, FEM-analys, urval mellan koncept och mockup-modellering

### 3.1 Intervju

En intervju gjordes med Lamera. Intervjun gjordes med öppna frågor så ofta som möjligt för att undvika att få kortfattade ja- eller nej-svar. Ett frågebatteri sattes ihop för att få svar på de olika områden som kunde tänkas vara intressanta att ha kunskap om i projektet. Målet med intervjun var att få större förståelse för hur materialet fungerar praktiskt eftersom endast kortfattad information fanns tillgänglig från företagets hemsida. Det som besvarades var hur materialet kan bearbetas, sammanfogas och ytbehandlas. Vidare var det intressant att ta reda på hur materialet kan tilldelas CAD-modeller för att kunna göra modelleringar.

### 3.2 Undersökning av nuvarande AGC

En FEM-modellering av nuvarande AGC gjordes för att undersöka spänningar i modellen. Den kompletta CAD-modellen skalades ner så att endast bärande komponenter fanns kvar. Detta för att analysera hur den nuvarande bottenplattan svarade på belastning. Batterierna tilldelades materialet bly för att de skulle få en egenvikt som tynger ner bottenplattan. En ram runt bottenplattan lades in för att fördela ut lasten från topplattan på ett sätt som var mer likt ett verkligt lastfall. En last runt om på 150 N på ramen för att simulera den vikt vilken ramen och eventuell last bidrar med. Skruvhålen för motorerna fixerades för att simulera det lastfall AGCn har då den åker runt. För att egenvikten från konstruktionen skulle påverka så infördes gravitation till simuleringen. Denna simulering skickades sedan till Lamera för att få rekommendation om ett material vilket kan ersätta den nuvarande bottenplattan.

### 3.3 Kravspecifikation

Paletten analyserades enligt Värde modellen [7] och boken Produktutveckling [8] där paletten bröts ned i olika funktioner. Dessa är huvud, tilläggs och stödjande funktioner. Funktionerna beskrivs som: Subjekt + handling + objekt. Funktionerna är intressesanta inför kommande arbete med kravspecifikationen då funktioner hos produkten är lösningsdrivare och hjälper till att skapa nya lösningar på produktfunktionerna. Palettprototypen analyserades som hela produkten och inte enbart utifrån de frågeställningarna vilka ställts

om rådande belastningsfall. Eftersom paletten som produkt befinner sig barndomsfasen på S-kurvan så anses det viktigast enligt värde modellen att lägga största arbetsinsatsen på att få så bra huvudfunktioner som möjligt.

Utifrån insamlad information kan en kravspecifikation skapas. Kravspecifikationen skapas genom att lista de olika krav och önskemål vilka har uppkommit i arbetet och kommunikation med Flexlink. Önskemålen viktas sedan utefter hur viktigt det är att de ska vara uppfyllda. Flera krav hämtas från det Flexlink sagt att paletten måste klara av för att anpassas till deras system. Det finns även önskemål som potentiella kunder kan önska få ut av produkten. Kravspecifikationen har uppdaterats kontinuerligt under projektet. Allt för att få en så aktuell kravspecifikation som möjligt samt att inte gå miste om något viktigt krav eller önskemål vilket kan förändra konceptframtagning och urvalet.

#### 3.4 Brainstorming

En organiserad brainstorming utfördes där koncept genereras utifrån de viktigaste funktionerna vilka togs fram i funktionsanalysen. Metoden som användes för brainstormingen är hämtad från boken Produktutveckling [8]. Funktionerna som analyserades var: möjlighet att bära last när paletten står på marken, lastfördelning vid monteringsoperation, hålla komponenter vid montering och ge tillträde till inre komponenter för underhåll och service. Deltagarna ägnade sig till att få fram så många koncept som möjligt på det givna problemet under en begränsad tid på 15 minuter. Meningen var att få så många lösningsförslag som möjligt.

Efter individuell skissning sammanfogas vissa av deltagarnas lösningar till fler lösningar som ger större bredd på idéerna till lösningar. Genom att skissa fram så många idéer till lösningar som möjligt så skapas ett stort material att utgå ifrån. Denna processen är en kreativ loop, med det menas att processen görs om några gånger för att inte missa några smarta eller udda idéer, vilket är målet med brainstormingen.

#### 3.5 Konceptgenerering

En morfologisk matris skapas för att kombinera ihop olika koncept utifrån dellösningarna som skapats i brainstormingsprocessen. Många slutgiltiga koncept kan skapas genom att kombinera dellösningar till fullständiga koncept. Det är enklare att kombinera olika dellösningar till fullständiga koncept jämfört med att skapa fullständiga lösningar direkt från grunden. Konzepten utvärderas om de är realiserbara eller inte innan de går vidare i fortsatt konceptutveckling. Metoden går till så att alla tänkbara lösningar från på de olika funktionerna listas och linjer dras sedan mellan de olika lösningarna för att kombinera ihop koncept. Metoden utfördes på whiteboardtavla för att få en bra överblick och gemensamt arbeta fram alla möjliga koncept. Metoden är hämtad från boken Produktutveckling [8].

### 3.6 CAD

För att visualisera alla koncept på ett bättre sätt än vad en skiss av koncepten kan skildra så modellerades de digitalt med CAD-programmet Catia V5. Modelleringen var i det första stadiet väldigt enkel för att inte lägga för mycket tid på koncept som kanske kommer väljas bort i ett kommande urval. Syftet var att få fram en bättre bild av hur koncepten ser ut tredimensionellt och på så vis kunna utföra en bättre utvärdering och urval av koncepten.

Verktyget "Shape Generator" i Inventor användes, vilket är ett verktyg som använder sig av Generative Design. Detta verktyg ska ge en styvhetsoptimerad konstruktion baserat på givna värden på laster och stödpunkter. Modellen som kom ut därifrån användes senare till hjälp för att skapa vidareutveckling till koncepten.

### 3.7 FEM-modellering

Modellering och analys av koncepten utfördes för att ge värden på utböjning och spänning när koncepten utsätts för belastning med 1000 N på topplattan. Detta gav information till urvalsprocessen. Koncepten modellerades i Inventor genom att importera CAD-modellerna som skapats i Catia. Mellan alla delar i modellerna sattes villkoret "bonded" för att konceptet skulle bete sig som en del och vara sammanfogade med varandre. Alla delar förutom topplattorna tilldelades materialet aluminium för att det är materialet som är tänkt att användas för att optimera mot lättvikt och få jämförbara resultat mellan de olika koncepten. Topplattan simulerades med en ersättning till Hybrix som tillhandahållits från Lamera. Hybrix-materialet skapades i Inventor där två faceplåtar i aluminium med har satts samman med ett lager epoxy mellan plåtarna. Materiallagren sattes samman med "bonded" villkor för att agera som en enda skiva i modelleringen. På grund av det tidsomfattade arbete som skulle krävas för att göra en hel CAD-modell i Hybrixmaterialet görs endast topplattan i Hybrix. Det är också den sektionen som förväntas vara mest intressant att undersöka i FEM-modellering för att se vilken utböjning som uppkommer i topplattan.

### 3.8 Första urval

Med hjälp av en elimineringsmatris så gallrades de koncept bort vilka inte uppfyllt kraven eller inte var realiserbara. Elimineringsmatrisen är hämtad från produktutvecklingsboken av Johannesson [8] och utförd enligt samma metod.

De koncept vilka nu är kvar gallras med hjälp av en Pugh-matris, här används resultatet som kom av FEM-modelleringen för att särskilja koncepten åt. Pugh-matrisen är också hämtad från boken Produktutveckling av Johannesson [8]. De kriterier som användes i Pugh-matrisen var de krav och önskemål från kravspecifikationen vilka i nuläget går att utvärdera i en Pugh-matris. Bedömningen av kriterierna i matrisen gjordes först individuellt och efter det i grupp för att få en så objektiv bedömning som möjligt.

När Pugh-matrisen körts ett varv användes vinnaren i den första omgången som referens och matrisen gjordes ett varv till på samma sätt som förra gången. De koncept vilka presterade sämst i förra omgången plockades denna gång bort från matrisen för att kunna få

en tydligare och mer överskådlig matris. Även kriterierna sållades bland då flera kriterier inte gick att få information om i det skedet projektet befinner sig.

Kriterierna viktades inte i matrisen eftersom det finns risk att bedömningen av kriterierna blir subjektiv trots att den utförs av personer som är insatta i ämnet [8]. Detta är för att inte påverka koncepturvalet i en riktning som för stunden anses vara bättre av deltagarna.

#### 3.8.1 Redovisning för Flexlink

Ett möte hölls med Flexlink för att få återkoppling på de framtagna koncepten. Syftet var att få idéer om möjliga ändringar på de framtagna koncepten och att få bort de koncept som inte var tillverkningsbara. Vid mötet utvärderade representanter för Flexlink de koncepten som tagits fram. Flexlinks representanter hade åsikter på vilka koncept som är möjliga att tillverka och metoder som skulle kunna användas för tillverkning av koncepten. Denna informationen användes senare för att kunna gå vidare med vidareutvecklingen av koncepten och kommande urval.

#### 3.9 Vidareutveckling

De koncept som valdes ut ska vidareutvecklas för att optimera lösningarna. Utvecklingsgången liknade den som användes vid konceptgenereringen. De lösningar vilka visats sig bäst kombinerades ihop till nya lösningar.

I vidareutvecklingen användes även "Generate shape" mer, detta för att kunna hitta var det är viktigast att placera material på paletten för att den ska bli så styv som möjligt. Utgångspunkten är ett tredimensionellt rätblock med utskurna sektioner i bottenplattan för att ge plats åt motorer och hjul. Rätblocket i simuleringen har samma mått som palettroboten ska ha. Därefter läggs en last på 1000 N i mitten på rätblocket. Gravitation tillämpas för att simuleringen ska ta hänsyn till egenvikten på rätblocket. Bottenplattan sätts som fast inspänd på undersidan i det området där den ska ta upp lasten. Materialet aluminium tilldelas till blocket för att få vikten så låg som möjligt. Efter detta startades simuleringen, med målet att få ner vikten till 5 kg.

#### 3.10 Andra urval

Det andra urvalet är för att välja ut vilket koncept som ska tas vidare och tillverkas. Urvalet sker genom flera olika bedömningar. Pugh-matrisen används för att få en objektiv bedömning av de olika koncepten jämförda mot varandra. Utfallet av matriserna används som ett verktyg för att diskutera konceptens för och nackdelar.

Koncepten tillverkas till visualiserande mockup i verklig storlek av kapaskiva för att se var det kan finnas tillverkningssvårigheter om koncepten ska tillverkas i stål eller aluminiumplåt senare.

### 3.10.1 Mockup

Mockup av koncepten skapades i verklig storlek för att visualisera koncepten. Metoden är även bra för att tillverkningsanpassa modellerna och se var det kan uppkomma problem i en eventuell slutgiltig tillverkning i metall, problem som kan belysas är exempelvis toleranser på olika sektioner. Det är då enklare att tillverkningsanpassa modellen i kapaskiva än vad det är att anpassa en prototyp i metall. Arbetet med att tillverka en modell i kapaskiva är inte heller lika tidskrävande som att tillverka en modell av metall. Modellerna skapades med hjälp av kapaskiva och vissa delar till modellen 3D-printades i plast. Dessa modeller kan senare användas som underlag till urvalsmatriserna för att kunna få en bättre uppfattning om tillverkningsprocess och användarvänlighet. I figur 3.1 syns en bild på tillverkningen av modellerna.



**Figur 3.1:** Tillverkning av mockup

### 3.10.2 Pugh-matris

För att kunna skilja de sista koncepten åt så gjordes en Pugh-matris igen. Denna matris bygger på samma saker som den tidigare Pugh-matrisen i avsnitt 3.8. Den här gången analyserades endast de koncepten som var med i vidareutvecklingen.

## 3.11 Prototyp

Hybrix-plåt från Lamera vattenskars enligt ritningar till rätt form åt bottenplattan. Konsolerna som ska överföra lasten från topplattan till bottenplattan 3D-printades i plast för att göra det enkelt och billigt. Allt monterades ihop till en produkt med hjälp av skruvförband. Detta utförs för att:

- Testa om det håller?
- Testa hur materialet funkar
- Utvärdera materialvalet från Lamera och FEM-modelleringen för materialframtagningen.



# 4

## Resultat

I detta kapitel så redovisas resultatet av de utförda metoderna i föregående kapitel. I kapitlet så beskrivs kravspecifikationen för paletten och även de olika koncept som tagits fram innan det slutgiltiga urvalet.

### 4.1 Intervju Lamera

Intervjun med Lamera resulterade i att större förståelse för hur materialet Hybrix kan användas och vilka begränsningar som finns. För att få fram en rekommenderad kombination av tjocklek på faceplåtar och tjocklek på kärnan behövs olika data. Materialvalet är beroende av hur materialet ska belastas, hur stor utböjning som tillåts och hur materialet ska bearbetas. Materialet kan ha samma styvhet men olika bearbetningsegenskaper beroende på vilken kombination av tjocklek på faceplåtar och tjocklek på kärnan som väljs, se figur 2.1. Tumregeln är att en tjockare kärna ger ett styvare material men också ett mer svårbehandlat i operationer som bockning och pressning. Materialets begränsning ligger i kärnans tjocklek. Tjockare polymerkärna ger styvare material upp till en viss gräns då materialet istället börjar bli instabilt. Hybrix har olika kombinationer av tjocklekar på faceplåtar av aluminium, stål och polymerkärna. Tjockleken på faceplåten varierar mellan 0,1 – 0,8 mm och kärnan varierar mellan 0,75 – 1,5 mm.

Lamera har genomfört tester på materialet och kan visa att Hybrix kan bearbetas i standardverktyg med alla vanliga bearbetningsmetoder som bockning, stansning, klippning, borrar och djuppressning etc. med goda resultat. Djuppressningen och bockningen är operationer vilka är beroende av tjockleken på kärnan. Lamera säger att ett ungefärligt krav är att använda en radie vilken är tre till fyra gånger större än tjockleken på materialet för att inte förstöra strukturen på materialet. Bockning med snävare radie är möjlig men då kommer också kärnan av polymerfiber att pressas samman.

För att modellera materialets hållfasthet och styvhet i vanliga CAD- och FEM-program som Catia och Inventor rekommenderar Lamera att göra en modell av en plåt vilken har två faceplåtar och en polymerkärna. Materialmodellen har begränsningen i att det inte går att tilldela materialet till en hel part eller assembly i CAD-programmen. För att använda materialmodellen måste varje sektion av materialet byggas upp var för sig.

Sammanfogning av två skivor Hybrix sker lättast genom att de limmas och eller nitas samman med ett överlapp. Svetsning av MIG- eller TIG-typ funkar inte eftersom materialet inte är elektriskt ledande på grund lamineringen med polymermattan vilken separerar metallskivorna från varandra och på så vis förhindrar elektrisk ledning vilket krävs vid svetsning. En möjlig sammanfogningsmetod är punktsvetsning om plåtskivorna först

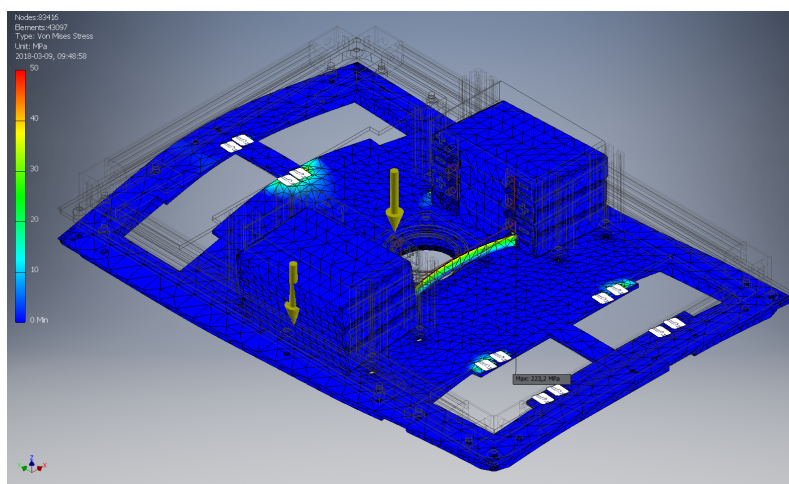
pressas samman i svetspunkten så att metallskivorna får kontakt med varandra.

### 4.2 FEM-analys av ursprungligt palettchassi

Nedan visas de FEM-analyser vilka gjorts på bottenplattan från den ursprungliga AGC:n. Simuleringen görs för att se om det går att göra bottenplattan lättare utan att försämra styvheten. Det är intressant att se hur bottenplattan beter sig när den står på hjulen och belastas av de inre komponenterna och en yttre last. I simuleringen har hjulen plockats bort för att ge bättre översikt över hur simuleringen ser ut.

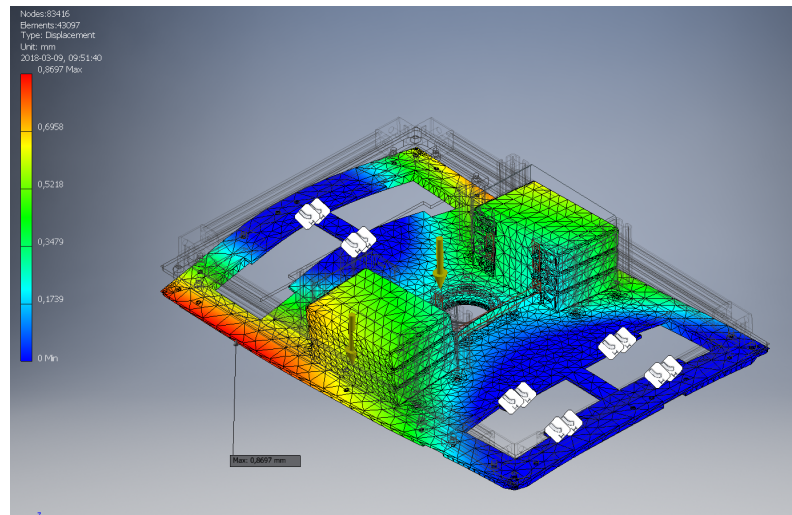
#### 4.2.1 Ursprunglig bottenplatta

Bottenplattan analyserades i Inventor. Batteripaketet i mitten av plattan fick massan 25,5 kg för att simulera egenvikten hos batterierna som tynger ner bottenplattan. Nedan i figur 4.1 syns von mises-spänningarna som uppkommer i plattan. De största spänningarna uppkommer i skruvhålen och under batterierna som tynger ner plattan. Generellt är spänningarna i plattan låga jämfört med de största spänningarna i skruvhålen. Spänningarna i skruvhålen uppgår till ungefär 40 MPa, vilket är lågt då sträckgränsen för aluminium ligger på cirka 230 – 240 MPa. [9]



**Figur 4.1:** Von mises-spänningar i bottenplattan

Störst utböjning på plattan uppkommer i kanterna, speciellt i den del där fixeringspunkterna för motorn är i mitten. Den största utböjningen är 0,87 mm. Notera att den här utböjningen sker när paletten är belastad på hjulen, utan någon annan struktur som håller plattan uppe, se figur 4.2.



**Figur 4.2:** Utböjning på bottenplattan

## 4.2.2 Lameras analys av bottenplattan

Resultatet av analysen av bottenplattan skickades till Lamera för att få ett material vilket skulle passa utifrån belastningen och utböjningen. Lamera ville ändra lite på randvillkoren som var satta i FEM-modelleringen. Till exempel fixerades den gamla ramen runt plattan och lasten lades sedan på ramen för att simulera hur en mer utbredd last över plattan skulle påverka. Lamera ansåg att det belastningsfallet var mer verklighetstroget istället för den tidigare simuleringen med batteriernas egenvikt som ger en mer fokuserad last till mitten av plattan.

Materialet som rekommenderades blev ett material med faceplåtar i aluminium och polypropenfiber i kärnan. Faceplåtarna är 0,5 mm tjocka och kärnan är 1,5 mm tjock. Alltså total materialtjocklek på 2,5 mm. Vikten på plattan blev  $\approx 1,1$  kg och besparingen i vikt blir därför cirka 1,6 kg jämfört den gamla aluminiumplåten vilken vägde  $\approx 2,7$  kg. Vikterna är hämtade från CAD-modellerna i Inventor.

## 4.2.3 Utvärdering av Hybrix i bottenplattan

En utvärdering av hur Lameras materialrekommendation fungerar som bottenplatta gjordes i slutet av projektet då en prototyp byggdes, se kapitel 4.11. Provingen bestod av att montera motorer och hjul på samma sätt som den nuvarande bottenplattan är monterad.

Vid montering av motorer och hjul på den vattenskurna bottenplattan i aluminiumhybrix uppkom en större utböjning av bottenplattan än vad de tidigare FEM-modelleringarna i kapitel 4.2.1 hade visat på. Mer om utvärderingen av prototypen finns att läsa i kapitel 5

## 4.3 Kravspecifikation

De funktioner som kom fram ur funktionsanalysen var:

- Möjlighet att bära last när paletten står på marken.

## 4. Resultat

---

- Lastfördelning vid monteringsoperation
- Hålla komponenter vid montering
- Ge tillträde till inre komponenter för underhåll och service.

Funktionerna ligger till grund för kravspecifikationen som skapades.

De mest väsentliga kraven i kravspecifikationen finns listade nedan.

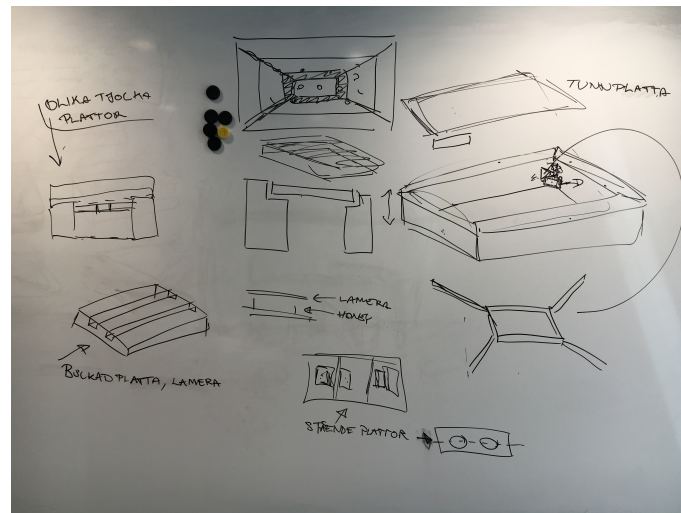
- Klara av punktlast på 1000 N utan att plasticera.
- Inte böja ut mer än 1 mm vid punktlast på 1000 N.
- Materialet Hybrix ska tillämpas där det är möjligt.
- En inre höjd om minst 83,5 mm för att ge utrymme för motorer och hjul.

De viktigaste prestationskraven från Flexlink är att paletten måste klara 1000 N utan att plasticera. Den inre höjden är också specificerad till  $\geq 83,5$  mm eftersom motorerna och hjulen måste få plats i palettroboten. Önskemålet på att materialet Hybrix ska användas är en av projektets frågeställningar, alltså var det naturligt att ta med det i kravspecifikationen. Utböjningskravet på  $< 1$  mm är ett uppskattat värde tillsammans med Flexlink för att konstruktionen ska möta kundbehoven utan att överträffa kundernas önskemål. Flexlink vill inte säga något exakt värde på utböjningen paletten måste klara av. De vill inte riskera att den palettroboten blir alldeles för styv för de flesta kunder bara för att kunna möta önskemål om styvhet som ett fåtal kunder vill ha. Det viktiga när det gäller utböjningen är att kunder som använder paletten har möjlighet att utföra pressoperationer med noggrannhet. Alltså är det bättre ju mindre utböjning det är. Detta är en anledning till att önskemålet om modulariserbarhet är med i kravspecifikationen. En modulariserbar konstruktion kan då från samma grundprodukt enkelt anpassas till olika kunder som har olika önskemål om maximal utböjning.

Kravspecifikationen har kontinuerligt uppdaterats under projektets gång. Den slutgiltiga och fullständiga kravspecifikation finns i bilaga A.

### 4.4 Brainstorming

Koncepten skissades ned för att visualisera idéerna på papper. Deltagarna presenterade resultatet av brainstormingen för varandra utan att kommentera eller kritisera det som brainstormingen generat. Därefter kunde de olika resultaten kombineras ihop och bilda förbättrade varianter. De idéer som ansågs bäst togs därefter vidare till morfologisk matris för att kunna kombineras till olika koncept. Figur 4.3 visar en sammanställning av skisserna för lösning till funktionen "lastfördelning vid monteringsoperation".



**Figur 4.3:** En sammanställning av några skisser

## 4.5 Konceptgenerering med hjälp av Morfologisk matris

Den morfologiska matrisen vilken syns i figur 4.4 ger sex stycken koncept. Dessa koncept beskrivs i avsnitt 4.6.

Delfunktioner	Dellösningar				
Bära last	"Diagrafer"	Hel plåt	Ram av balk	Pelare	
Lastfördela	Korset	Stående plattor	Bockad Hybrix		
Topplatta/transport	Tjock plastplatta	Platta med hål	Hybrixplatta		
Öppningsbar	Motorhuv	Öppningsbar botten	Öppningsbar sida	Öppningsbar topp	

**Figur 4.4:** Morfologisk matris

Den morfologiska matrisen gav sex stycken koncept. Dessa koncepten skiljer sig från varandra på flera punkter eftersom dellösningar kombinerats till olika koncept. Fler koncept kunde skapats men de hade då blivit allt för lika varandra och därmed svåra att urskilja skillnader och likheter från varandra. Koncepten beskrivs noggrannare i avsnitt 4.6.

”Shape Generator” i Inventor genererade ett koncept till vilket blev koncept G.

### 4.6 Koncept

Alla koncepten bygger på samma bottenplatta vilken består av en plåt av materialet Hybrix med utskurna hål för hjul och induktionsladare. Under plattan sitter det lister i plast som gör att paletten ligger bättre mot det transportband vilket paletten ska kunna färdas på.

Topplattan till koncepten är samma för alla, den består av hybrixplåt för att vara både styv och lätt. Fördelen med Hybrix jämfört med ett lättare fibermaterial är bearbetningsbarheten eftersom det går att borra och möjlighet att sätta fast gänginsatser för fixturer till komponenter. Med kolfiber som topplatta är inte detta lika möjligt eftersom det inte är riskfritt att borra i och det kan behövas förstärkningar gjutna i strukturen för att kunna ta upp last. Det krävs mer jobb att gjuta in anpassade förstärkningar i materialer och det gör det svårt att anpassa produkten för olika kunder

Vikten på alla koncept är hämtade direkt från Catia. Dessutom har alla koncept genomgått en FEM-analys i Inventor, bilder på dessa analyser finns i bilaga B. Utböjningen och vikten finns sammanställd i tabell 4.1 i avsnitt 4.7.

Vikten på koncepten blir jämförelsemässig men inte något som stämmer absolut med en slutgiltig produkt. Detta beror på att det inte går att tilldela modellerna i Catia med rätt material i form av Hybrix. Istället fick modellerna materialet aluminium vilket gör att massan är jämförbar mellan olika koncepten men inte med ett slutgiltigt resultat.

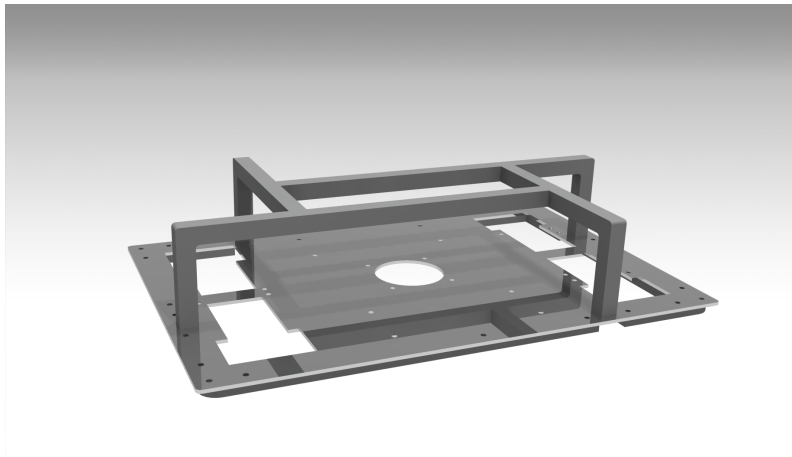
#### 4.6.1 Koncept A

Koncept A har en kraftig inre ram i Hybrix och ett tunt skal utanpå. Inspirationen till konceptet har hämtats från racingvärlden där många bilar har en stark ram för att ta upp belastningar och ett tunt skal runt om vilket ska vara skyddande från omgivningen. Konceptets inre ram syns i figur 4.5.

Rambalkarna är tänkta att tillverkas av Hybrix- aluminium genom att bocka och limma plåten till profiler vilka sedan sammanfogas med varandra för att bilda en ram på bottenplattan. Ramen kan fästas på olika sätt i bottenplattan. Beroende på om det anses viktigt att kunna montera isär ramen eller inte så kan lim eller skruvförband användas till monteringen.

Ramens infästningspunkter är ovanför lokaliseringshålen vilka håller fast paletten då den är i monteringsläge. Tanken är att ramen tar upp last från montering och att bottenplattan bär upp egenvikten och belastning av last som fraktas då den är belastad på hjulen. Paletten förses med ett lätt och tunt skal i till exempel plast utanpå ramen för att skydda de inre komponenterna från omgivningen.

Topplattan är det en styv platta där möjlighet till infästning av fixturer finns. Därför är det möjligt att byta ut topplattan för att matcha kundens önskemål. Topplattan är i idealfallet en hybrixplåt för att vara så lätt som möjligt och samtidigt ha möjlighet att montera fixturer för komponenter vilka ska fraktas ovanpå paletten. Vikten på koncept A är 5,5 kg.

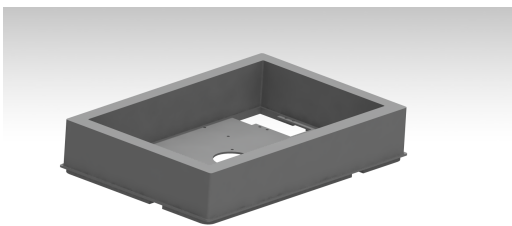


**Figur 4.5:** Koncept A, med den inre ramen

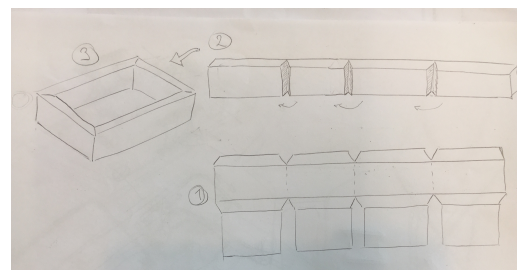
### 4.6.2 Koncept B

Koncept B har en ram runt om med ett rektangulärt tvärsnitt. I figur 4.6 syns balken. Ramen är en hybriplåt vilken har klippts och bockats till en ram. Tanken är att en enda plåt ska kunna bockas till hela ramen. För en förklaring till hur ramen ska tillvekas finns det ritat i figur 4.7. Ramen kan anpassas med olika tjocklekar på plåten beroende på hur stor belastning som paletten ska tåla. Konceptet är det styvaste konceptet men också det tyngsta konceptet. Bara topplattan vilken ligger ovanpå i figur 4.8 väger 3 kg vilket är väldigt tungt i jämförelse med de andra koncepten. Om plåten byts till en tunnare plåt i Catia så skulle konceptet väga mindre men till bekostnad av minskad styvhet.

Bottenplattan är lik den i koncept A, alltså en platta i Hybrix med hål för hjul och laddare.

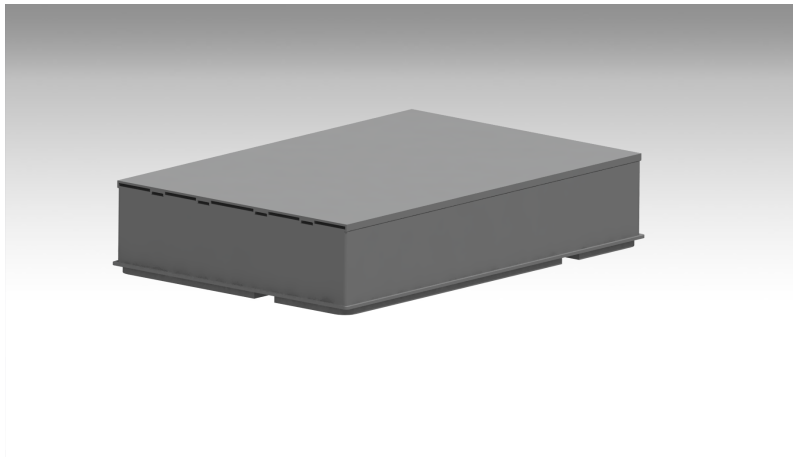


**Figur 4.6:** Koncept B utan lock



**Figur 4.7:** Skiss på hur ramen ser ut

Figur 4.8 visar hela konceptet där locket är gjort av en hybriplåt i ett stycke vilket är tänkt att bockas så den bildar två lager. Runt hela lådan kan sen en plastkaross sättas för att skapa ett mer tilltalande utseende. Vikten på koncept B är 11,5 kg.



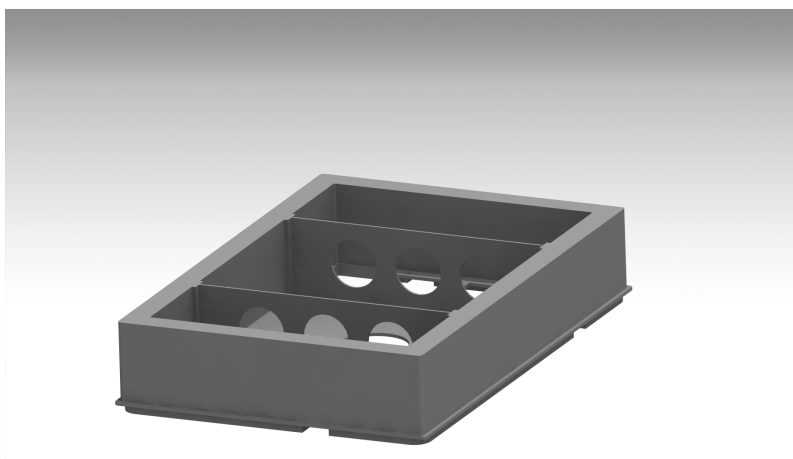
**Figur 4.8:** Koncept B, med ”lock”

### 4.6.3 Koncept C

Koncept C, figur 4.9, har samma ram och bottenplatta som koncept B men här finns det stående skivor i för att fördela lasten, på så sätt kan topplattan minskas i tjocklek. De stående plattorna är gjorda i Hybrix och de har hål i sig för att kablar ska kunna passera från batteriet till motorerna. Topplattan är gjord av en enkel skiva Hybrix.

Konceptet är inspirerat från strukturen i flygplansvingar, där stående skivor med hål i används för att skapa stabilitet i den lätta flygplansvingen. De stående plattorna tar upp största delen av belastningen i mitten och leder den ned i fixeringspunkterna. Det stora yttroghetsmoment vilket plattorna skapar gör att koncept C har låga spänningar i de stående plattorna.

Koncept C har en bockad ram runt om likt den i Koncept B. Konzeptets inre struktur syns i figur 4.9. Eftersom det inte uppkommer någon spänning i ramen runt om kan den göras lättare till ett framtida koncept vilket liknar Koncept A. Ramen kan ersättas med pelare i fixeringspunkterna och en tunn plåtram runt om. Koncept C väger 8,0 kg.



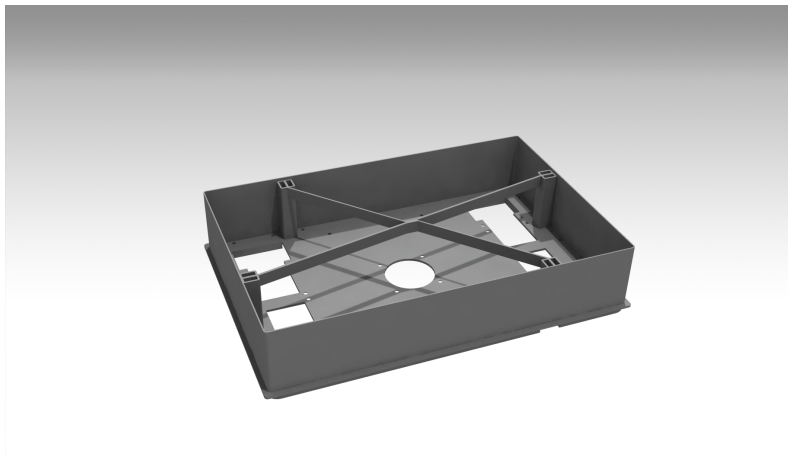
**Figur 4.9:** Koncept C, utan topplatta så att de stående plattorna syns

#### 4.6.4 Koncept D

Koncept D är lik koncept B och C men istället för stående skivor som i C så det här en insats i form av ett kors vilket ska fördela lasten, se figur 4.10. Konceptet är modulariserbart för att kunna möta kundens önskemål om styvhet.

Tanken med Koncept D är att det enkelt kan anpassas till slutkundens krav på belastning och utböjning av topplattan. Modulariseringen är gjord genom att olika grova insatser av "korset" och olika tjocka topplattor gör att flera kunders krav på belastning kan tillgodoses. Den stöttande sargen runt om hjälper till att hålla pelarna i position och har en stöttande funktion för bottenplattan i konstruktionen. Dimensionen på sargen kan på samma vis som korset anpassas utefter kundens behov. Detta gör att paletten med små medel inte är över- eller underdimensionerad för slutkunden.

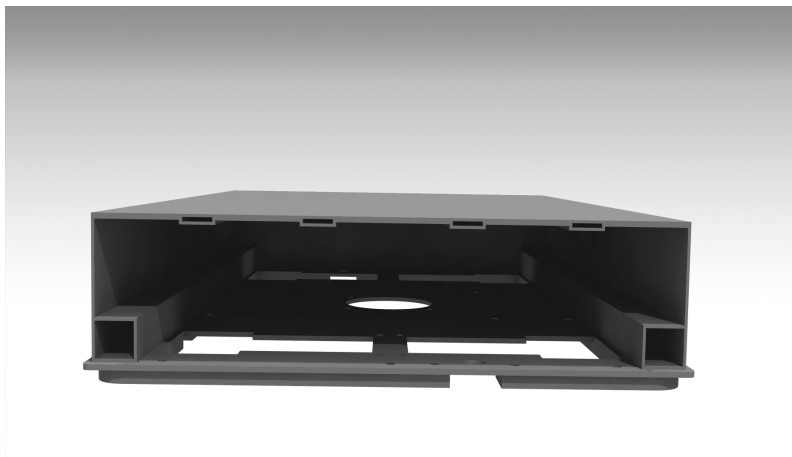
Det mesta är tänkt att vara gjort av Hybrix. Pelarna ska vara bockade till fyrkantsprofiler av aluminiumhybrix. Korset är tänkt att i grundutförande enkelt kunna tillverkas av två bockade hybrixplåtar vilka sammanfogas i mitten med fästande förband till ett kors. Koncept D väger 5,3 kg.



Figur 4.10: Koncept D, utan topplattan

#### 4.6.5 Koncept E

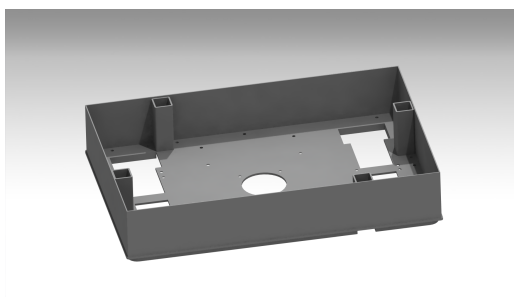
Koncept E konstrueras av en enda stor hybrixplåt vilken ska bockas från den ena sidan till den andra. På så vis skapas den bärande struktur vilken syns i figur 4.11. Utmed långsidorna bockas det fyrkantsprofiler som är tänkta att hjälpa bottenplattan att stärkas upp. Balkprofilerna i topplattan förstärker toppens styvhet genom att öka yttreghetsmomentet. På toppen sitter det en hybrixplåt för fixturer vilken är limmad eller fastskruvad på den bärande bockade ramen. Topplattan viks även runt kanterna för att täcka kortsidorna. Bottenplattan är samma som i övriga koncept. Koncept E väger 6,6 kg.



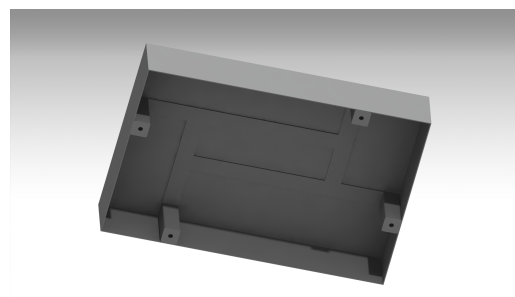
**Figur 4.11:** Koncept E, sett från kortsidan med en kortsida bortplockad.

### 4.6.6 Koncept F

Koncept F består av fyra pelare vilka går från "lokaliseringshålen" upp till topplattan, se figur 4.12. Pelarna planeras att tillverkas av Hybrix. På toppen finns det en förstärkt topplatta för att fördela ut lasten till pelarna och ner i stödpunkterna. Det är fyra remsor av Hybrix vilka är limmade på i ett visst mönster, se figur 4.13. På sidorna sitter det bara en tunn plåt för att skydda mot omgivningen. Bottenplattan är som i övriga koncept en hybrixplatta. Vikten på koncept F är 6,5 kg.



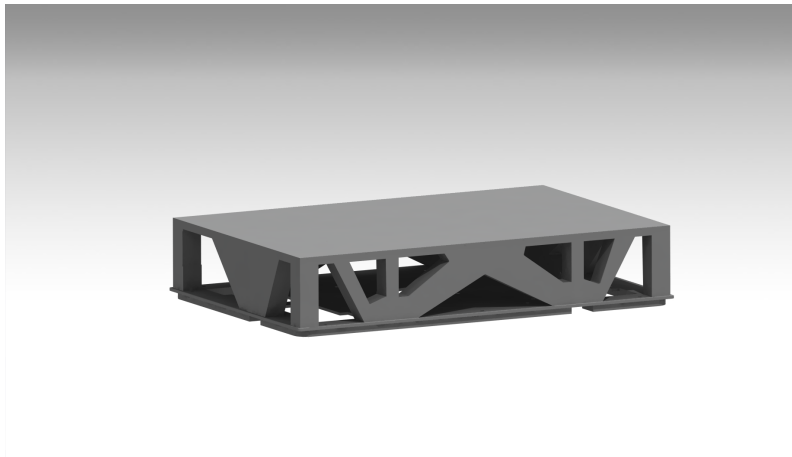
**Figur 4.12:** Koncept F, ovanifrån med locket borta



**Figur 4.13:** Koncept F, underifrån med bottenplattan borta

### 4.6.7 Koncept G

Koncept G kommer från verktyget "Shape Generator" i Inventor. Verktyget använder en given last och randvilkor för att skapa en mesh och optimerar strukturen mot att så lite material som möjligt behövs för att göra konstruktionen så styv som möjligt. Konceptet är optimerat mot styvhet för den givna lasten på 1000 N och stödpunkterna är fixerade i lokaliseringshålen. I figur 4.14 syns konceptet. För att spara på vikt är hela basstrukturen i konceptet ihålig. Hur koncept G ska kunna tillverkas är ännu oklart men konceptet har stor utvecklingspotential eftersom det är den konstruktionen som är lättast i förhållande till utböjning. Konceptet väger 7,6 kg.



**Figur 4.14:** Koncept G, resultatet av "shape generator"

## 4.7 Urval

Resultatet av utböjningarna i de simuleringarna redovisas i tabell 4.1 nedan. Med "Utböjning" menas en last på 1000 N utbredd på ett kvadratisk område 100 mm från kanterna. Vikten är med aluminium tilldelat till alla CAD-modeller. "Slidesen" i botten är av plast och toppplattorna är gjorda som en modell av material för att efterlikna Hybrix materialegenskaper.

**Tabell 4.1:** Maximal utböjning och vikt för de olika koncepten från modellering i CAD-program.

Koncept	Utböjning	Vikt
A	0,147 mm	5,5 kg
B	0,143 mm	11,5 kg
C	0,242 mm	8,0 kg
D	0,385 mm	5,3 kg
E	0,363 mm	6,6 kg
F	1,151 mm	6,5 kg
G	0,062 mm	7,6 kg

### 4.7.1 Eliminering

I tabell 4.2 nedan visas elimineringsmatrisen. Den kom fram till att koncept F och G ska tas bort. Anledningen till att koncept F försvinner är att den är inte tillräckligt styv. Anledningen till att koncept G försvinner är att den i nuvarande utförande inte är realiserbar utifrån begränsningarna med de tillverkningsmetoder vilka är tänka att användas. Den skulle gå att tillverka i exempelvis skummaterial och kolfiber men begränsningen i kravspecifikationen, bilaga, är satta till att tillverkningen skall kunna ske med vanliga verkstadsmetoder. Denna begränsningen finns med i kravspecifikationen.

Tabell 4.2: Elimineringssmatris

AGC		Elimineringssmatris för AGC					Elimineringsskriterier:	
Lösning	Löser huvudproblemet	Uppfyller alla krav	Realiserbar	Inom kostnadsramen	Passar företaget	Tillräcklig info	Elimineringsskriterier:	
							Beslut:	
							Kommentar	Beslut
A	+	+	+			+	Vidareutveckling möjlig	+
B	+	+	+			+	Vidareutveckling möjlig	+
C	+	+	+			+	Vidareutveckling möjlig	+
D	+	+	+			+	Vidareutveckling möjlig	+
E	+	+	+			+	Vidareutveckling möjlig	+
F	+	-					Inte tillräckligt styv	-
G	+	+	-				Vidareutveckling krävs	-

#### 4.7.2 Pugh-matriser

Den första Pugh-matrisen finns i bilaga C. Första Pugh-matrisen visade att alla kvarvarande koncept var bättre än referenslösningen, referenslösningen var i detta fall den ursprungliga lösningen med aluminiumbalkarna. Koncept C presterade bäst av alla koncepten eftersom den minskar vikten från det ursprungliga konceptet. Den anses vara mer anpassningsbar till slutkundens önskemål om belastning eftersom den kan göras styvare och lättare genom att variera dimensioner på komponenterna i konstruktionen.

Den andra Pugh-matrisen finns i bilaga C. Här är koncept C referens då det var den som fick bäst i omgången innan. Den här gången blir koncept C och D lika bra. Övriga har -1 i resultat, alltså är alla kvarvarande koncept i stort sett likvärdiga.

#### 4.7.3 Utvärdering och gallring av koncept

Flera av koncepten visade sig ha likvärdig utböjning i förhållande till vikt, se tabell 4.1. Koncept A och B utmärker sig eftersom de har minst utböjning, cirka 0,14 mm. Koncept B är nästan dubbelt så tungt som de övriga koncepten, 11,5 kg, jämfört med övriga på ca 5-6 kg. Topplattan är det som gör att utböjningen är väldigt bra men den väger också nästan 3 kg och det gör att den faller bort från vidare konceptutveckling.

Eftersom utböjningen på koncept C blev så liten och nästan inga spänningar uppkom i ramen gör det att material kan tas bort från ramen i vidareutvecklingen. Koncept D, som har en tunn plåtkant med bärande pelare, visade på att spänningarna vilka uppkom inte är placerade i ramen runt om och därför kan ramen i koncept C bytas mot den som är i Koncept D.

## 4.8 Vidareutveckling av koncept

De koncept som ska vidareutvecklas är alltså A, C, D och E.

Efter möte med Flexlink så togs koncept E bort eftersom det inte skulle vara möjligt att tillverka. Bockningen från ena sidan till den andra skulle göra att toleranserna blir för snäva och att plåten inte passar in på bottenplattan när den är färdigbockad. Dessutom skulle plåten bli närmast få en korrugerad struktur på topplattan och det anses inte möjligt att tillverka en sådan struktur med ett vanligt bockningsverktyg.

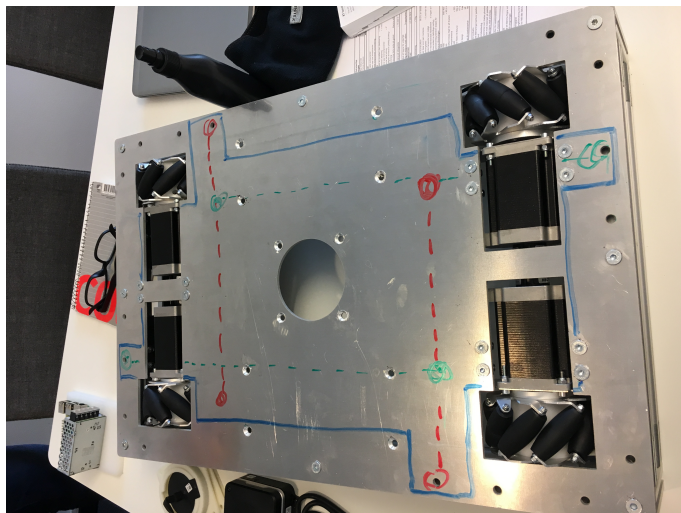
Flexlink uppskattade koncept A, C och D mest men utifrån olika orsaker. Koncept A var uppskattat eftersom det fokuserar på att lösa problemet med lastfallet vid monteringsoperationer. Eftersom konceptet A bara har den ramstruktur vilken är absolut nödvändig. Lite frågetecken väcks över hur det kommer vara möjligt att få till ramen på koncept A med bockning och sammanfogning rambalkarna men att det anses ändå möjligt att åstadkomma.

Koncept C och D var mest intressanta från Flexlinks synvinkel då dessa ansågs mest tillverkningsbara och de tyckte det skulle vara intressant att kombinera de två koncepten till ett enda koncept. Resultatet från mötet var att de övriga koncepten ska kombineras så att de bildar två slutgiltiga koncept att presentera.

Flexlink förmedlade att konceptens topplatta kan förses med hål för fixturer där det anses mest lämpligt, det är kunderna som får anpassa sin montering av fixturer utifrån var hålen sitter i topplattan. Detta gör att hålen kommer kunna placeras på ställen där topplattan har en bra bärande struktur under.

### 4.8.1 Nya lastpunkter

Under mötet med Flexlink framkom att det ursprungliga lastfallet med lasten fördelad i lokaliseringshålens längs kanterna, se tidigare figur 2.4, inte längre är aktuellt utan att det istället finns en annan typ av stödordning för konveyorsystemet vilken kommer användas för att ge paletten stöd från undersidan vid en monteringsoperation. Med den nya stödstrukturen kan paletten få stöd under hela mittsektionen mellan hjulaxlarna och på så vis ge en mer utbredd lastfördelning över bottenplattan. Lastfallet ritades ut med tuschpenna på undersidan av den ursprungliga prototypen, se 4.15. Det lastfallet är fördelaktigt för ett hållfasthetsperspektiv då den leder till en mer utbredd last fördelad nära mittsektionen på paletten där den största belastningen från en monteringsoperation är. Detta är en fördel konstruktionsmässigt eftersom det finns fler ställen att göra lastbärande supportstrukturer från topplattan till bottenplattan där lasten ska tas upp av supportstrukturen.

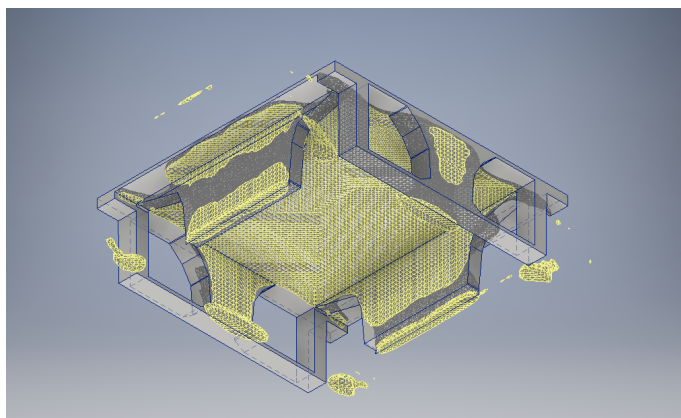


**Figur 4.15:** Det nya lastfallet utritat på botten av den nuvarande prototypen. De streckade linjerna visar var lokaliseringspunkterna sitter.

Det nya lastfallet gör att mer tid behöver läggas vid konceptarbetet än vad som var planerat från början. Arbetet tar en ny oförutsedd vändning som gör att förutsättningarna för projektet förändras. De koncept som utvecklats genom kombination av de tidigare koncepten kommer modelleras efter det nya lastfallet för att utröna hur det påverkar styvheten i strukturen.

### 4.8.2 Resultatet av shape generator

En ny körning med verktyget ”shape generator” i Inventor utfördes med det nya belastningsfallet. Anledningen är att låta datorkraften generera ett nytt koncept vilket är anpassat till den lastupptagande supportplattan i mitten av strukturen. I figur 4.16 så visas resultatet av ”shape generator”-simuleringen. Det gula rutnätet i figuren är vad simuleringen visade vara det nödvändiga materialet att ha kvar. Det grå i figuren är hur resultatet tolkats utifrån det gula rutnätet och är det vilket tas med till vidareutvecklingen av koncepten.



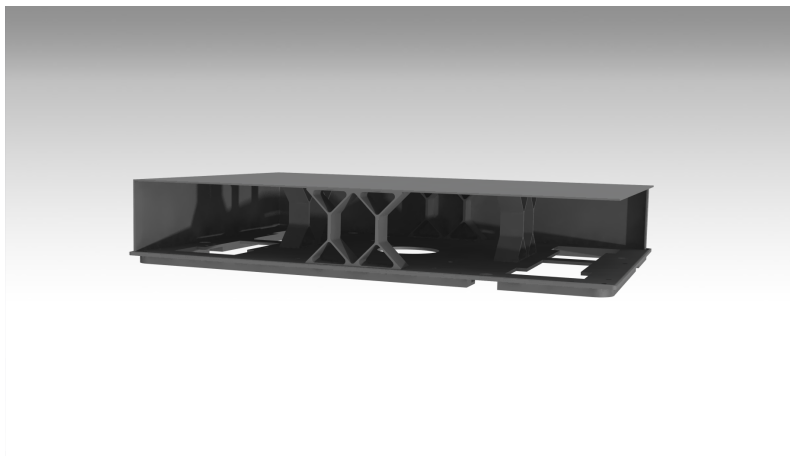
**Figur 4.16:** Vad som framkom av simuleringen i Inventor, det gula rutnätet är det resultat vilket datorn föreslår ska användas.

## 4.9 Nya koncept

De nya koncepten som kommer från vidareutvecklingen presenteras i det här kapitlet. FEM-analyserna som ligger till grund för den uppskattade utböjningen för koncepten återfinns i bilaga B. Resultatet av utböjningen hos topplattan i FEM-analyserna återfinns i tabell 4.3.

### 4.9.1 Koncept H

Koncept H är inspirerad av det resultat som ”shape generator” gav med det nya lastfallet. Grundidén kom från en simulering på hela ”lådan”, i bild 4.16 går att se hur strukturen bildar fyra stycken pelare. Pelarna i simuleringen blev olika breda på kort- och långsidorna, därför togs ett medelvärde av storlekarna när pelaren till konceptet skapades. Pelarna är optimerade med ännu en simulering i ”generate shape” för att väga så lite som möjligt och för att få fram ett optimerat tvärsnitt. Tanken är att de konsoller vilka bär upp konstruktionen ska kunna extruderas och har därför gjorts symmetriska i vertikalt- och horisontellt led. Extruderingen görs till en lång balk och sedan kapas pelarna till lagom stora bitar från balken. Detta kommer underlätta tillverkningen.

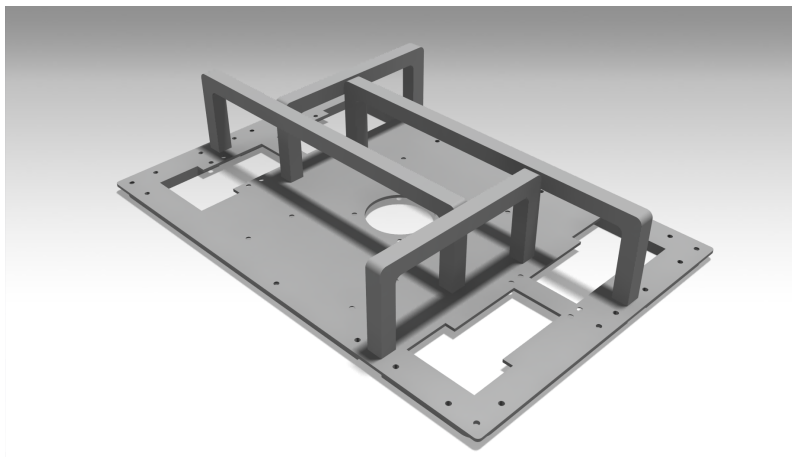


**Figur 4.17:** Koncept H, inspirerad av ”shape generator” med det nya lastfallet

Med aluminium i hela konceptet väger det strax över 5,1 kg. Utböjningen vid belastning av topplattan med 1000 N ligger på 0,036 mm.

### 4.9.2 Koncept I

Koncept I är en vidareutveckling av Koncept A utifrån det nya lastfallet. Resultatet blev att extra pelare placerades närmare mitten på paletten för att stötta upp konstruktionen ytterligare, se figur 4.18. Konceptet har likt koncept A bara ett tunt ytterhölje, detta hölje är inte med i figuren.

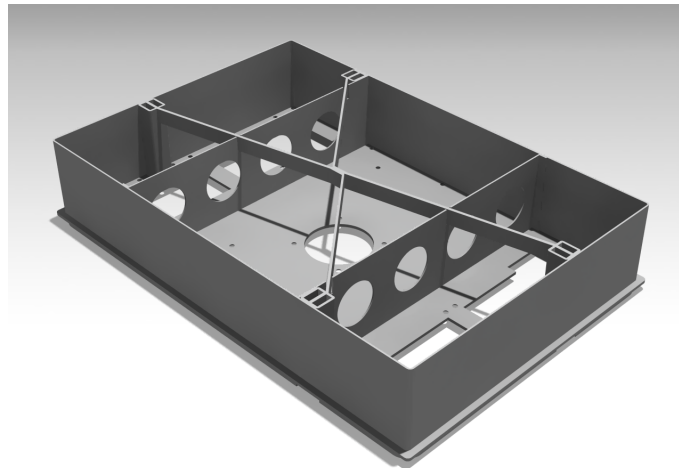


**Figur 4.18:** Koncept I, en vidareutveckling av koncept A

Vikt på konceptet är ungefär 5,6 kg. Utböjningen vid vid belastning av topplattan med 1000 N ligger på 0,024 mm.

### 4.9.3 Koncept J

Koncept J är en kombination av koncept C och D, se figur 4.19. De stående skivorna är hämtade från C och placerade i D för att förstärka konstruktionen i mitten. Plattorna är tänkta att tillverkas i Hybrix för att hålla nere vikten medans korset tillverkas i antingen stål för att få maximal styvhet eller aluminium för att få konstruktionen lätt. Eftersom korset innehåller förhållandevis lite material kommer ett val av stål som material inte påverka den slutgiltiga vikten nämnvärt men förbättrar styvheten betydligt eftersom E-modulen hos stål är cirka 210 GPa som är tre gånger större än E-modulen hos aluminium som är cirka 70 GPa. En överslagsberäkning ger att vikten för korset skulle väga ca 450 gram i stål och 150 gram i aluminium. Vid styvhetsoptimering skulle man tjäna på att ha stål som material på korset eftersom viktökningen för korset i modellen bara är 300 gram. Runt om är det en tunn ram i antingen Hybrix eller aluminium. Tanken är att denna ram endast ska vara där för att stabilisera pelarna och bottenplattan. Ramen tar alltså inte upp någon last rakt uppifrån från topplattan.



**Figur 4.19:** Koncept J, sammanfogning av koncept C och D

Med aluminium väger konceptet 5,7 kg. Den maximala utböjningen vid 1000 N är 0,025 mm.

## 4.10 Andra urvalet

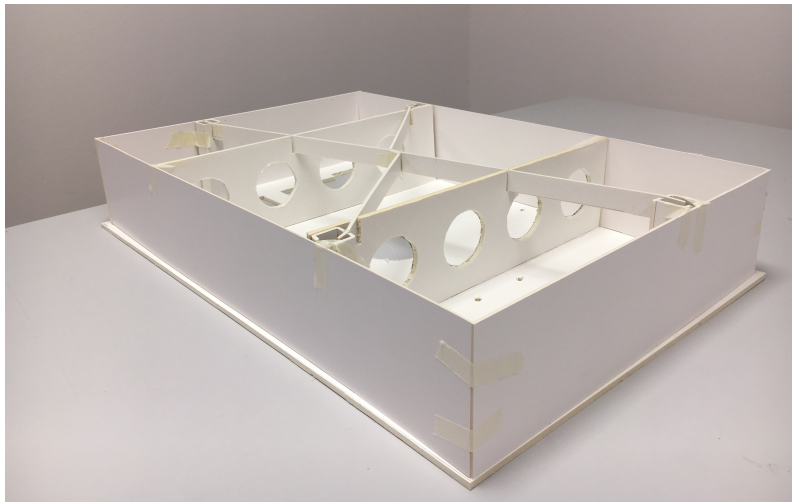
De nya konceptens vikt och utböjning vid belastning med 1000 N syns i tabell 4.3. Här visas att koncept H är det lättaste konceptet men har dock en lite större utböjning jämfört koncept I och J. Koncept I och J väger ungefär lika mycket.

**Tabell 4.3:** Maximal utböjning och vikt för de nya koncepten

Koncept	Utböjning	Vikt
H	0,036 mm	≈ 5,1 kg
I	0,024 mm	≈ 5,6 kg
J	0,025 mm	≈ 5,7 kg

### 4.10.1 Mockup

Koncept H och J modellerades i kapaskiva. Koncept I blev för komplicerat att modellera i det materialet som fanns tillgängligt vid prototyp tillverkningen. Figur 4.20 visar en mockup av koncept J. Det som kom fram av modelleringen är att både koncept H och J är realiserbara men koncept H är enklare att tillverka och tillåter större toleranser.



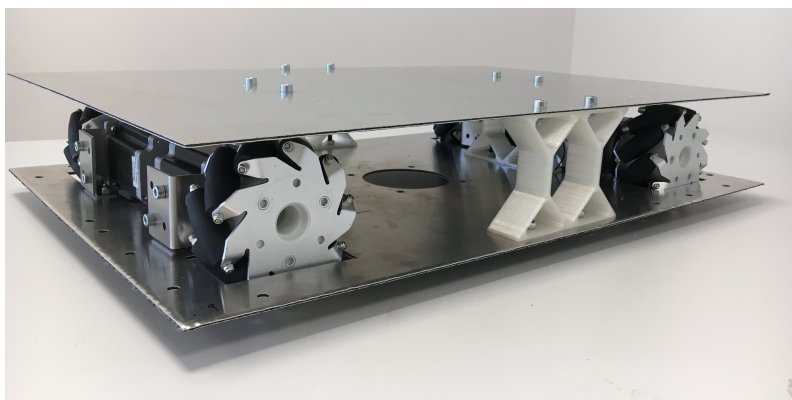
**Figur 4.20:** En mockup av koncept J

### 4.10.2 Pugh-matris

Vinnaren i denna Pugh-matris var koncept H. Övriga koncept fick resultatet -3. Med andra ord är det en ganska tydlig vinst för koncept H. Pugh-matrisen återfinns i bilaga C. Det ska nu tillverkas en prototyp av koncept H.

### 4.11 Prototyp

I figur 4.21 syns prototypen av produkten. På bilden saknas kantplåtar, detta på grund av att möjliggöra för insyn i prototypen. Dessa kantplåtar ska sitta runt om för att hindra smuts och hjälpa till att stärka upp konstruktionen. Vid tillverkningen av prototypen kom en del saker fram vilka kommer behöva ändras på. Det är bland annat motorinfästningarna som behöver ändras i måtten för att motorerna ska kunna få plats.



**Figur 4.21:** Prototyp av konstruktionen

Prototypen av Koncept H monterades ihop med de 3D-printade pelarna i plast och topp- och bottenplåtarna i Hybrix. Resultatet blev mindre styvt när roboten är placerad på plan mark och belastas på hjulen än den FEM-modellering som gjorts av Lamera vid framtagning av materialförslaget.

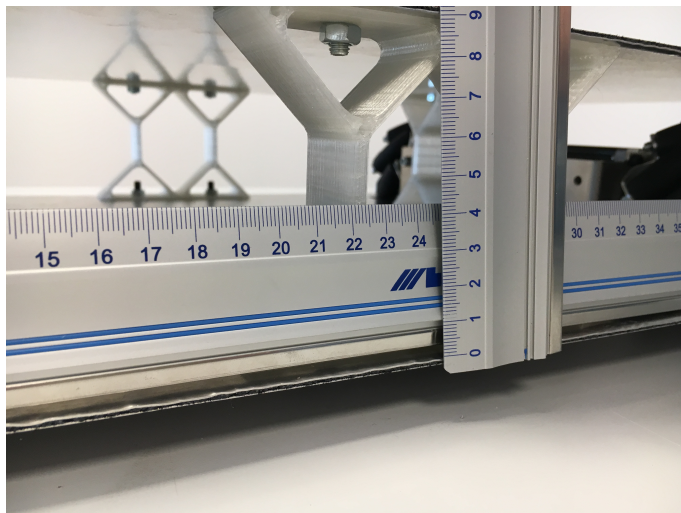
# 5

## Diskussion

Det finns en del saker att utveckla och förbättra med koncepten och arbetsgången. FEM-modellen Lamera gjorde har lite annorlunda randvillkor mot hur bottenplattan var tänkt att vara utformad. I FEM-modellen ligger det en rambalk inlagd runt om hela bottenplattan vilket tillför stabilitet åt konstruktionen. Bottenplattan är inte tillräckligt styv i sig självt för att klara av att rambalken i analysen bara plockas bort. Problemet blev att randvillkoret med ramen som lades till för att få en mer utbredd last, se kapitel 4.2.3, gjorde att plattan som rekommenderades var för vek i förhållande till det tänkta belastningsfallet.

För att få ett bättre resultat krävs i så fall en omkonstruktion där tre olika fall är mest troliga för att lyckas bra. Det första är att plattan byts ut mot en som Lamera rekommenderar utifrån en FEM-simulering där det inte finns någon rambalk runt om på plattan. Resultatet kan exempelvis vara en platta med faceplåtar av stål som har en E-modul som är tre gånger större än aluminium vilket skulle tillföra stabilitet men till en kostnad av ökad vikt till konstruktionen. Det andra alternativet är att kanterna bockas upp på det nuvarande materialet så att bottenplattan ser mer ut som en låda. De uppbockade kanterna skulle inte tillföra någon betydande extra vikt men de skulle bidra med ökad stabilitet eftersom de fungerar som L-profiler runt om kanterna. Det tredje och troligt bästa alternativet skulle vara att sammanfoga kantplåten som är ca 90 mm hög i konstruktionen med bottenplattan på ett sådant sätt att bottenplattan och kanterna bildar en låda. En låda med 90 mm höga kanter är betydligt stabilare än enbart en bottenplatta i stål utan bockade kanter.

Prototypen böjde ut ca 4 mm på mitten av långsidan utan att mer belastning än vikten från de monterade motorerna lades på, se figur 5.1. Detta var inte optimalt men skulle sannolikt kunna åtgärdas med de lösningarna som presenterades i föregående stycke, med en kantskiva eller uppbockade kanter på bottenplattan. När prototypen istället testades i det tänka belastningsfallet för en monteringsoperation, med stöd under pelarna i mitten av prototypen, blev utböjningen inte alls lika stor utan liknade mycket mer resultatet från FEM-modelleringen av koncept H, se kapitel 4.17.



**Figur 5.1:** Prototypens utböjning av egenvikten från motorerna vid mitten av långsidan.

Koncept G hade kunnat vara intressant att utveckla med kärna av skumplast och ett yttre skikt av härdad kolfiber. Dock fanns inte möjligheten att kunna utveckla en sådan prototyp på grund av bristande kunskap av hur praktiskt gå till väga i arbetet för att tillverka ett sådant koncept. Brist på tillgång till lokaler för att kunna tillverka ett koncept i kolfiber var också en anledning till att arbetet valdes att avgränsa sig till de vanliga verkstadsmetoder för metall som finns tillgängliga i Chalmers prototypfabrik.

Projektet planerades att utföras i samarbete med en student vid programmet för design och produktutveckling. Målsättningen var att göra konstruktionsdelen av projektet och att designstudenten skulle göra den designinriktade delen av projektet med fokus på formgivning av exteriören och hur AGC:n kommunicerar med användaren. Det inledande arbetet med planeringsrapporten genomfördes med ett bra samarbete. Arbetet fortsatte sedan på var sitt håll med målsättningen att förena projekten i mitten av projekttiden för att kunna generera gemensamma koncept som var välkonstruerade och designade. När det var dags att förena av de två projektdelarna hade designstudenten fått förhinder i projektet och inte kunnat fortsätta examensarbetet i den takt som var planerad. Beslut togs därför om att fortsätta projektet som det var tänkt men utan designstudenten, vilket gav ett beslut om att endast skapa konstruktionskoncept och släppa designspåret.

# 6

## Slutsats

Frågeställningen under projektet har varit följande:

1. Hur kan paletten utformas så den är så lätt som möjligt men ändå klara utsatta mål som att klara en viss belastning vid monteringsoperationer och transport av produkter och delar?
2. Är det möjligt att konstruera paletten i det nya lätta materialet Hybrix från Lamera?

Svaret på dessa frågor har arbetats fram under projektets gång. Det som den här rapporten har kommit fram till är följande:

1. Koncept H är det lättaste konceptet viktmässigt och anses vara det konceptet som har mycket framtida utvecklingspotential.
2. Topp- och bottenplattan är de delarna där den största viktbesparingen kan göras genom att ersätta de ursprungliga plåtarna med Hybrixplåtar.

Projektet har kommit fram till att två koncept som är möjliga att jobba vidare på, koncept H och koncept J. Koncept H var det som kom segrade ut ur urvalsmatriserna men samtidigt finns det möjlighet att koncept J kommer fungera minst lika bra. Koncept J är enligt FEM-modelleringarna den styvare lösningen av de två vilket kan vara till fördel då prototypen av koncept H visade sig ha otillräcklig styvhet.

Ett projekt på den här akademiska nivån kräver god kunskap om hur ett sådant arbete ska utföras och skrivas. Högskoleingenjörsprogramet i maskinteknik har gett en begränsad förkunskap om hur en akademisk rapport ska utföras. Förkunskaperna i de olika ingenjörsmässiga verktygen som har använts i projektet har varit grundläggande. Då en djupare kunskap i verktygen har krävts så har den kunskapen sökts på egen hand. Därför kan innehållet i den här rapporten vara bristande på vissa punkter i det akademiska upplägget och där ingenjörsmässiga verktyg har använts.

### 6.1 Förbättringsmöjligheter på koncepten

På koncept H skulle kanterna på bottenplattan och topplattan kunna bockas upp för att göra konstruktionen styvare. En tanke är att dessa bockningar sammanfogas i hörnen så att bottenplattan blir lik en låda i konstruktion. Kanterna på topplattan och bottenplattan kan fogas samman med skruvförband för att kunna monteras isär och ge tillträde till de inre komponenterna. Med den här lösningen är det möjligt att göra en väldigt robust konstruktion då det är få delar och långt mellan infästningspunkterna.

Koncept J skulle kunna använda samma botten- och topplatta men detta behöver först undersökas hur det skulle konstrueras.

## 6.2 Rekommendation för fortsatt arbete

Rekommendationen är att fortsätta utveckla koncept H mot en färdig produkt. Tester på prototypen behöver utföras för att anpassa produkten mot de krav som finns i kravspecifikationen.

Det behöver tillverkas en prototyp av koncept J i de tänkta slutgiltiga materialen för att kunna utföra tester och identifiera förbättringsmöjligheter.

Ett sådant test är att undersöka hur konstruktionen håller vid lastning av material på palletten. Vidare är analys av vilka olika former av tester som behövs för fortsatt utveckling något som rekommenderas för fortsatt arbete.

En kostnadsanalys för de två koncepten ska utföras då tillräcklig information finns tillgänglig. Det som behövs för att analysera kostnader för koncepten är kostnad för material, tillverkning och montering.

## Litteraturförteckning

- [1] Otto motors *Otto motors OTTO 100 technical specification*  
[http://go.pardot.com/1/92812/2017-10-27/4rrpk9/92812/79950/OTTO\\_SDV\\_Datasheet\\_201710\\_01.pdf](http://go.pardot.com/1/92812/2017-10-27/4rrpk9/92812/79950/OTTO_SDV_Datasheet_201710_01.pdf) Hämtad 2018-05-08
- [2] Omron Automation *Omron LD Series Mobile Robots is the modern solution for warehouse facilities*  
<https://www.youtube.com/watch?v=WpVjjCxoCQs> Hämtad 2018-05-08
- [3] Åkerman, Magnus and Hansson, Olga and Fasth, Fast-Berglund, Åsa and Ek, Anders and Bergman, Johan, *Utveckling av smarta AGC: er 2017*,
- [4] Lamera AB *Hybrix™ = Σ[Lightweight, Formable, Strong, Eco-friendly]*  
<https://www.lamera.se/> Hämtad 2018-05-08
- [5] Ramo group *Hållfasthetsvärden för extruderade produkter*  
<http://www.ramo.se/aluminium-och-teknisk-information/hallfasthetsvarder-for-extruderade-produkter> Hämtad 2018-05-08
- [6] Autodesk Inc. *About Shape Generator*  
<https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/Inventor-Help/files/GUID-D74F47F3-FE22-44EF-85BE-7C6B1F56DCF9-htm.html> Hämtad 2018-05-03
- [7] Lindstedt, P., Burenius, J. , *The value model: how to master product development and create unrivalled customer value*, Nimba 2003, Ödesborg.
- [8] Hans Johannesson, Jan-Gunnar Persson, Dennis Pettersson *Produktutveckling, effektiva metoder för konstruktion och design*, Liber, andra upplagan, 2013.
- [9] *CES Edupack 2017*, Granta Design Limited, 2017



# A

## Bilaga - Kravspecifikation

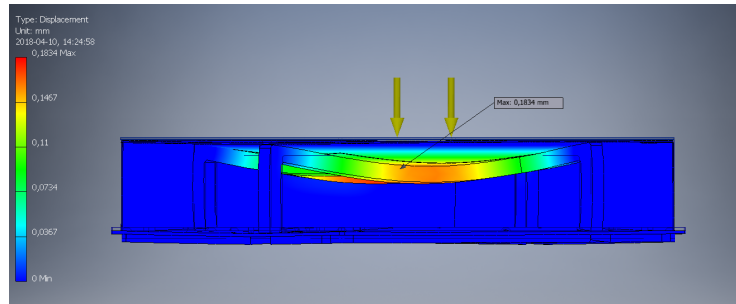
Chalmers	Dokumenttyp	Kravspecifikation			
	<b>Projekt</b>	Smart palett			
<b>Utfärdare:</b>	Max Gålnander Pontus Karlsson	<b>Skapad:</b> 2018-02-28 <b>Modifierad:</b> 2018-04-06			
	<b>Kriterier</b>	<b>Målvärde</b>	<b>K/O</b>	<b>Vikt</b>	<b>Verifieringsmetod</b>
	<b>Funktion/er</b>				
	Bära last Lastfördelning vid monteringsoperation Hålla komponenter vid montering				
<b>1. Prestanda</b>					
1.1	Klara av punktlast utan plasticering	> 1000 N i mitten av ovandelen när paletten står på monteringsstöden	K		Simulering och test
1.2	Maximal utböjning	< 1 mm	Ö	4	Simulering och test
1.3	Bära upp inre komponenter		K		Tester på detalj
1.4	Kunna klara lutning <i>Möjlighet att klara en plötslig ändring i golvlutning</i>	> 2°	Ö	2	Beräkning
1.5	Kunna köra förbi skräp på golvet	Klara av att passera en skruv av storlek M5 på ett plant golv	Ö	1	Test
<b>2. Livslängd</b>					
2.1	Livslängd på slitagedelar	> 10 000 h	Ö	1	Simulering
<b>3. Underhåll</b>					
3.1	Möjligt att öppna för underhåll		K		Test
3.2	Möjlig att skölja av med vatten	Droppskyddat vid max 15° lutning	K		Test
<b>4. Tillverkningskostnad</b>					
4.1	Kostnad	≤ 2 000 SEK	Ö	2	Kalkyl
<b>5. Vikt</b>					
5.1	Viktminimering	< 3 kg	Ö	5	Simulering och test
<b>6. Tillverkning</b>					
6.1	Robust konstruktion <i>Antalet delar som kan monteras</i>	99.5% av detaljerna är opåverkade av variation vid tillverkning	Ö	2	Simulering
6.2	Tillverkningsplats <i>Så korta transporter som möjligt</i>	< 5 mil från slutmontering för alla delar	Ö	2	
6.3	Få och standardiserade fästelement	≤ 2 typer av fästelement	Ö	2	
6.4	Tillverkas endast av befintliga verktyg <i>Inga specialverktyg behöver skapas för att klara av tillverkningen</i>		K		
<b>7. Storlek och form</b>					
7.1	Yttre mått	640*400 mm	K		Simulering och test
7.2	Inre höjd <i>Uppskattad minsta höjd för att få plats med komponenterna</i>	> 83,5 mm	K		Simulering och test
7.3	Hjulbredd	< 320 mm	K		Simulering och test
7.4	Plats för fästen till fixturer	Ska placeras på samma sätt som nuvarande XT-palett i samma storlek	K		
7.5	Skalbar design	Paletten ska kunna skalas om för att passa de olika storlekarna på XT-banden	Ö	2	
7.6	Designen är modulariserbar	Möjligt att byta ut en komponent för att anpassa till en viss funktion	Ö	3	
<b>8. Material</b>					
8.1	Elektrisk konduktiv <i>För vissa tillämpningar behöver paletten agera jord</i>	> 1 S/m	K		Simulering och test
8.2	Korrosionsbeständigt	Kunna vistas i fuktig miljö under hela livslängden	Ö	3	
8.3	De komponenter som fraktas påverkas ej av kontakt med materialet på paletten <i>Foodgrade material</i>		K		
8.4	Tåla oljespill ovanifrån	Kunna frakta komponenter med olja, motorkomponenter	Ö	3	enl önskemål 3.2
8.5	Materialet Hybrix skall användas	Appliceras på platser där det anses fördelaktigt	Ö	2	
<b>9. Kundkrav -flexlink</b>					
9.1	Hål i botten för induktionsladdning		K		
9.2	Attraktivt utseende		Ö	3	Objektiv bedömning
9.3	lämna plats för 1-2 st visionkameror	Lämna plats för montering fram i skalet eller ramen.	K		
<b>10. Säkerhet</b>					
10.1	Petskydd <i>Ej möjligt att klämma fingrar och liknande</i>		K		Vid säkerhetstest
10.2	Synlig för omgivningen	Minst två olika färger	Ö	3	
<b>11. Miljö</b>					
11.1	Återvinningsgrad	> 80% av materialet är möjligt att återvinna	Ö	4	LCA
11.2	Låg energiförbrukning vid tillverkning	Mindre energigång för tillverkning än nuvarande palett	Ö	2	
11.3	Material av helt eller delvis återvunna råvaror	≥ 1 material av återvunnen råvara	Ö	2	

Figur A.1: Kravspecifikation

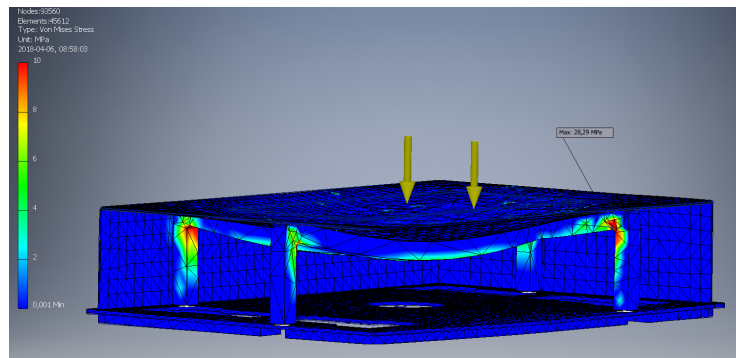


# B

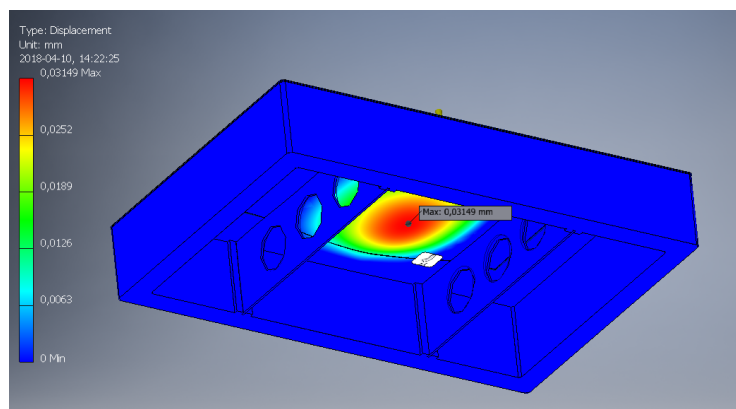
## Bilaga - FEM-analyser



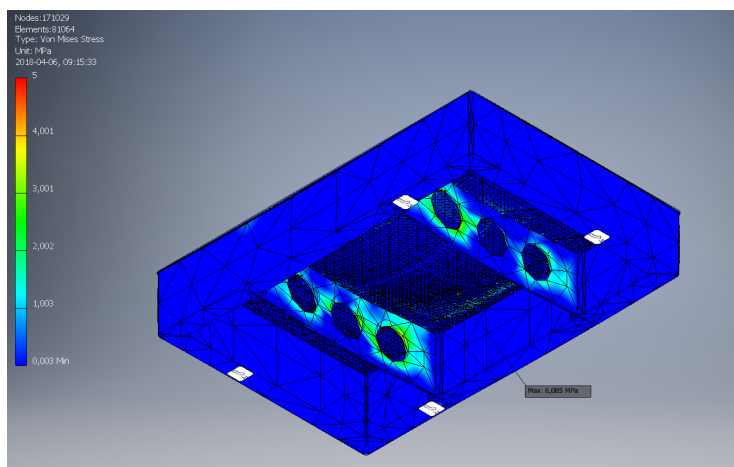
**Figur B.1:** Utböjning på koncept A vid 1000N



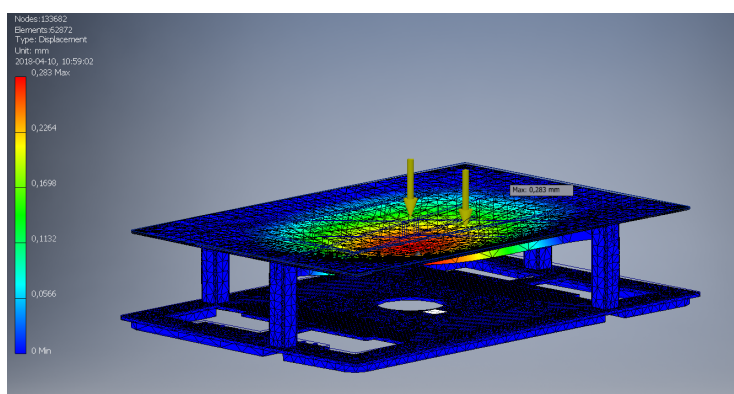
**Figur B.2:** Von Mises spänningar i koncept A vid 1000N



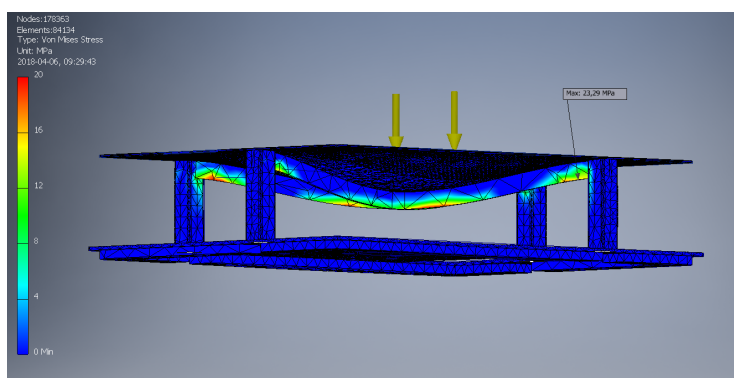
**Figur B.3:** Utböjning på koncept C vid 1000N



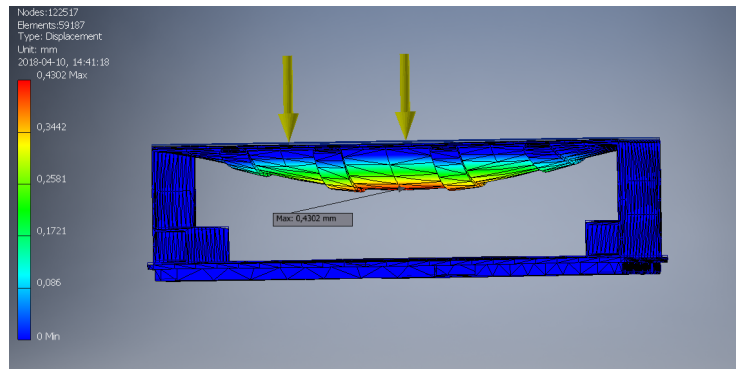
**Figur B.4:** Von Mises spänningar i koncept C vid 1000N



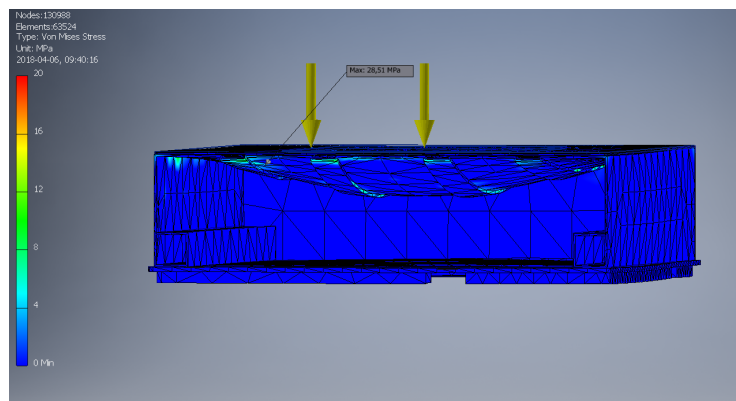
**Figur B.5:** Utböjning på koncept D vid 1000N



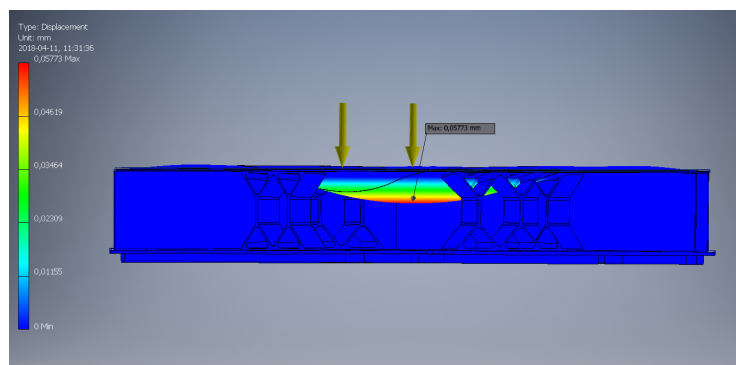
**Figur B.6:** Von Mises spänningar i koncept D vid 1000N



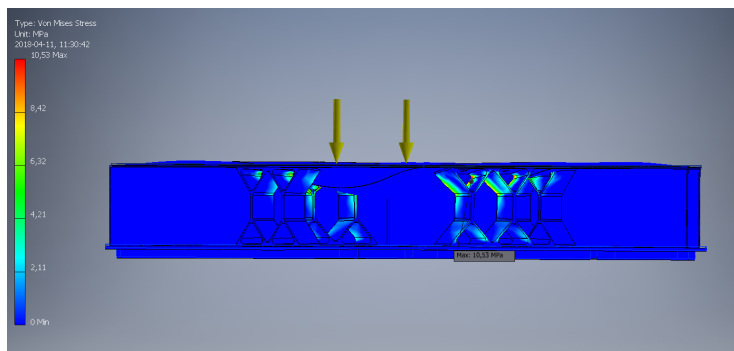
**Figur B.7:** Utböjning på koncept E vid 1000N



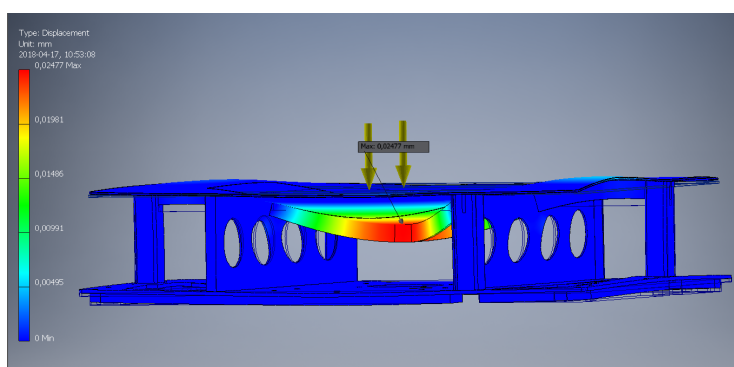
**Figur B.8:** Von Mises spänningar i koncept E vid 1000N



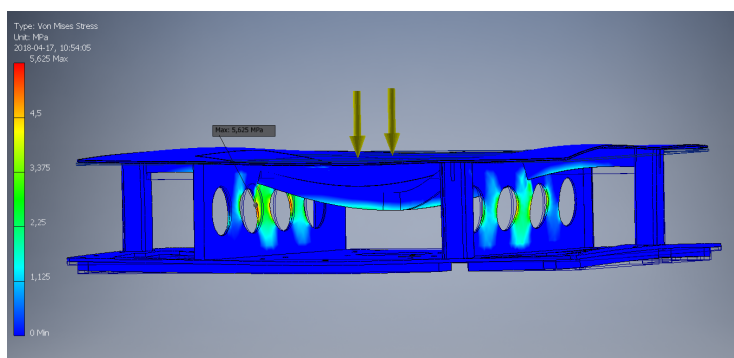
**Figur B.9:** Utböjning på koncept H vid 1000N



**Figur B.10:** Von Mises spänningar i koncept H vid 1000N



**Figur B.11:** Utböjning på koncept J vid 1000N



**Figur B.12:** Von Mises spänningar i koncept J vid 1000N

# C

## Bilaga - Pugh-matriser

Kreterier	Referens	Concept A	Concept B	Concept C	Concept D	Concept E
Klara av Punktlast utan placering		+	+	+	+	+
Maximal utböjning		+	+	+	+	+
Bära upp inre komponenter		S	S	S	S	S
Klara av golvlutning		S	S	S	S	S
Kunna köra förbi/över skräp på golvet		S	S	S	S	S
Möjligt att öppna för underhåll		-	S	S	-	-
Möjlig att skölja av med vatten		+	+	+	+	+
Frakta komponenter		?	?	?	?	?
Hålla komponenter i pos. vid montering		?	?	?	?	?
Bära upp inre komponenter		?	?	?	?	?
Yttre mått		S	S	S	S	S
inre höjd (uppsk min höjd för att rymma komp)		S	S	S	S	S
Hjulbredd		S	S	S	S	S
Plats för fästen till fixturer		S	S	S	S	S
Skalbar design		S	S	S	S	S
designen är modulariserbar		S	S	+	+	S
Kostnad		-	-	-	-	-
Viktminimering		+	S	+	+	+
petskydd		+	+	+	+	+
synlig för omgivningen (minst två färger)		+	+	+	+	+
Robust konstruktion (antal delar som kan monteras <del>onåverkade av variation</del> )		+	+	+	S	+
Tillverkningsplats (korta transporter för mtrl)		S	S	S	S	S
Få och standardiserade fästelement		+	+	+	+	+
Tillverkning med standarverktyg		-	-	-	-	-
Hål i botten för induktionsladdning		S	S	S	S	S
Attraktivt utseende		+	+	+	+	+
Elektrisk konduktiv		S	S	S	S	S
Korrosionsbeständig		S	S	S	S	S
"foodgrade" material på paletten som inte kontaminerar produkter som fraktas		S	S	S	S	S
Materialiet hybrid appliceras där det passar		+	+	+	+	+
Livslängd på slitagedelar 10 000 h		S	S	S	S	S
Återvinningsgrad >80% av materialet		?	?	?	?	?
Låg energiförbrukning vid tillverkning		?	?	?	?	?
Material av helt eller delvis återvunnet material		?	?	?	?	?
Summa positiva		10	9	11	10	10
Summa negativa		3	2	2	3	3
Summa samma		15	17	15	15	15
<b>TOTALT</b>		<b>7</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>7</b>

Figur C.1: Den första Pugh-matrisen med den ursprungliga ramen som referens

## C. Bilaga - Pugh-matriser

Kreterie	Koncept C	Koncept A	Koncept B	Koncept D	Koncept E
		S	S	S	S
Klara av Punktlast utan plasticering		S	S	S	S
Maximal utböjning		+	+	-	-
Möjligt att öppna för underhåll		-	S	-	-
Möjlig att skölja av med vatten		S	S	S	+
Skalbar design		S	S	+	S
designen är modulariserbar		-	-	+	-
Kostnad		S	-	S	S
Viktminimering		+	-	+	+
petskydd		S	S	S	S
synlig för omgivningen (minst två färger)		S	S	S	S
Robust konstruktion (antal delar som kan monteras påverkade av variation)		-	+	-	S
Tillverkningsplats (korta transporter för mtrl)		S	S	S	S
Få och standardiserade fästelement		S	S	S	S
Tillverkning med standarverktyg		S	S	S	S
Attraktivt utseende		S	S	S	S
Elektrisk konduktiv		S	S	S	S
Korrosionsbeständig		S	S	S	S
"foodgrade" materail på paletten som inte kontaminerar produkter som fraktas		S	S	S	S
Återvinningsgrad >80% av materialet		S	S	S	S
Summa positiva		2	2	3	2
Summa negativa		3	3	3	3
Summa samma		14	14	13	14
<b>TOTALT</b>		<b>-1</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>-1</b>

**Figur C.2:** Den andra Pugh-matrisen med koncept C som referens

<b>Kreterie</b>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td colspan="2"><b><i>Konceptvals beteckningar</i></b></td> </tr> <tr> <td>Bättre</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>Samma</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>Sämre</td> <td>-</td> </tr> </table>			<b><i>Konceptvals beteckningar</i></b>		Bättre	+	Samma	S	Sämre	-
	<b><i>Konceptvals beteckningar</i></b>										
Bättre	+										
Samma	S										
Sämre	-										
	Koncept H	Koncept I	Koncept J								
Klara av Punktlast utan plasticering		S	S								
Maximal utböjning		+	+								
Möjligt att öppna för underhåll		-	-								
Möjlig att skölja av med vatten		S	S								
Skalbar design		S	S								
designen är modulariserbar		-	S								
Kostnad		-	-								
Viktminimering		-	-								
petskydd		S	S								
synlig för omgivningen (minst två färger)		S	S								
Robust konstruktion (antal delar som kan monteras opåverkade av variation)		S	-								
Tillverkningsplats (korta transporter för mtrl)		S	S								
Få och standardiserade fästelement		S	S								
Tillverkning med standarverktyg		S	S								
Attraktivt utseende		S	S								
Elektrisk konduktiv		S	S								
Korrosionsbeständig		S	S								
"foodgrade" materail på paletten som inte kontaminerar produkter som fraktas		S	S								
Återvinningsgrad >80% av materialet		S	S								
Summa positiva		1	1								
Summa negativa		4	4								
Summa samma		14	14								
<b>TOTALT</b>		<b>-3</b>	<b>-3</b>								

Figur C.3: Den sista Pugh-matrisen