

# Uppskattning av färgnivå genom lastcellsimplementering

Högskoleingenjörarbete i Maskinteknik

**Lucas Rigestam**

Blekinge Tekniska Högskola  
Institutionen för Maskinteknik

Karlskrona

2017

Följande arbete är utfört som en obligatorisk del av utbildningen för högskoleingenjör i maskinteknik, Blekinge Tekniska Högskola.



*i samarbete med*





# Sammanfattning

Rapporten behandlar ett kandidatarbete i maskinteknik som utfördes på Ball Beverage Packaging Fosie AB, Malmö. Syftet med arbetet var att skapa ett system för uppskattning av färgmängd i en maskin som färglägger aluminiumburkar. Miljön som systemet monterades i ställde höga krav på hållfasthet, tillförlitlighet och motståndskraft mot stänk från etanol och vattenbaserad färg. Initialt ställde företaget preliminära krav på att endast existerande hål på färgverket fick användas. För att välja givare till systemet utfördes litteraturstudier med avseende på laser, ultraljud och viktavläsning, vilket låg till grund för konceptvalsanalys med en Pughsmatris.

Med hjälp av Pughsmatrisen riktades projektet in på att uppskatta färgmängden genom viktavläsning med lastceller, vars data skulle hanteras av ett Arduino uno R3 kort. Detta efterföljdes av att sju koncept skapades i Autodesk Inventor för infästning i existerande sprinthål på kishållaren. Det sista konceptet tillverkades genom att på egen hand – under uppsikt – maskinbearbeta aluminiumstavar. Parallellt med tillverkningen programmerades och testades elektroniken med stegvis borttagning av vikt och kontinuerligt avrinnande vatten från hålig behållare, vars resultat visade på att systemet klarar den tänkta funktionen.

Resultatet av det maskintillverkade konceptet visade att systemet även fungerade på färgverket men att positionen i sprinthålet inte var optimal då för lite krafter upptogs. Genom att tillverka en provisorisk monteringsats och testa systemet monterat under färgkistan påvisades att denna position tog upp avsevärt mer kraft. Detta medförde att kishållaren maskinbearbetades för permanent montering av lastcell. Ett stort antal olika tester efter slutlig montering visade att systemet har goda möjligheter för att fungera med färgläggningsmaskinen men att montering under kishållaren inte var lämplig eftersom friktion från bland annat inspänningskruvar hade betydande inverkan på de avlästa värdena.

## **Nyckelord:**

Lastcell, Aluminiumburk, viktmätning, Arduino, Färgverk, Töjningsgivare.

# Abstract

This report presents a final degree project in mechanical engineering which was performed at Ball Beverage Packaging Fosie AB, Malmö. The goal of the project was to create a system that could estimate the amount of paint available in a machine that colorizes aluminum cans. The environment that the system was mounted in is demanding and has high requirements on strength, stability and toughness against splashes of ethanol and water-based paint. Moreover, the company initially demanded that the project only used existing holes on the machine for adding equipment. In order to choose a measurement technology for the system, literature studies were performed on laser, ultrasonic devices and weight measurement. These studies were the foundation for a concept analysis using a Pugh's matrix.

Furthermore, with the help of the Pugh's matrix, the project was directed towards estimating the amount of paint by measuring the weight using load cells. The collected data was supposed to be handled by an Arduino uno R3 board. Following the decision of a direction, seven concepts were designed in Autodesk Inventor with regards to mounting in existing positioning pin-holes. The last concept was manufactured with own hands – under supervision – by processing aluminum rods. Parallel to the manufacturing, the electronic system was programmed and tested by both step-wise removing identical weights, and a by measuring a continuous weight decrease caused by water escaping from a container with holes. The results of these tests showed that the system could perform the desired function.

The result of the manufactured concept confirmed that the system could work with the machine but the position in the positioning pin-hole was not optimal as the forces were too low. By creating a provisional mount and testing the system beneath the paint container, it was concluded that the position accumulated more forces. This resulted in an approved modification of the container holder for a permanent mount of the load cell. Followed by this, a large amount of tests showed that the system had good potential of working with the machine but a mount beneath the container was not good as friction from mounting screws had great effect on the read values.

## **Keywords:**

Load cell, Aluminum can, weight measurement, Microprocessor, Paint, Strain gauge.

## Förord

Jag vill inleda denna rapport med att belysa min uppskattning till Ball Corporation för möjligheten utföra detta arbete. Jag vill främst tacka Magnus Pettersson som bistod mig som kontaktperson och Ervin Nesimovic för hans enorma förtroende och stöd för projektet.

Från institutionen vill jag tacka min handledare Mats Walter för hans uppmuntrande kommentarer och förslag i tuffa perioder. Avslutningsvis ges även ett enormt tack till Thomas Lennartsson för all hjälp och vägledning i maskinlabbet, då projektet aldrig hade nått uppvisade nivåer utan hans nedlagda tid.

*Lucas Rigestam*

# Innehållsförteckning

## Contents

<b>Institutionen för Maskinteknik .....</b>	<b>1</b>
<b>Sammanfattning.....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>4</b>
<b>Förord .....</b>	<b>5</b>
<b>Innehållsförteckning .....</b>	<b>6</b>
<b>Notationer .....</b>	<b>9</b>
<b>Förkortningar.....</b>	<b>9</b>
<b>1 Inledning .....</b>	<b>10</b>
1.1 Om Företaget .....	10
1.2 Bakgrund.....	10
1.2.1Färgläggningsmaskinen .....	10
1.2.2Situationen i dagsläget.....	13
1.3 Syfte .....	14
1.4 Avgränsningar.....	14
1.4.1Budget.....	14
1.4.2Tidsram .....	14
1.5 Problemformulering.....	14
<b>2 Teori .....</b>	<b>15</b>
2.1 Miljö .....	15
2.1.1Materialkrav .....	15
2.2 Hållfasthetsberäkningar .....	15
2.3 3D-modeller .....	16
2.3.1Visualisering .....	17
2.3.2FEM-beräkningar.....	17
2.4 Potentiella tillvägagångssätt .....	17
2.4.1Laser .....	17
2.4.2Ultraljud .....	18
2.4.3Viktavläsning .....	18
2.5 Pugh's matris .....	19
2.6 Tillverkning .....	19
2.6.1Maskinbearbetning .....	19
2.6.23D-utskrift.....	20

2.7	Programmering .....	20
2.8	Implementering .....	21
2.9	Datainsamling .....	21
<b>3</b>	<b>Genomförande .....</b>	<b>22</b>
3.1	Planering .....	22
3.2	Idégenerering .....	22
3.3	Litteraturstudier.....	22
3.4	Koncept .....	22
3.4.1	Proof of concept .....	23
3.4.2	Principlösning – koncept 1: Konstruktion med S-lastcell.....	26
3.4.3	Koncept 3 och 4: Konstruktion med liten lastcell.....	27
3.4.4	Primärlösning – koncept 7: Optimerad konstruktion med liten lastcell .....	28
3.4.5	Provisorisk infästning under kistan.....	29
3.4.6	Permanent infästning under kistan.....	30
3.4.7	Elektroniskskal .....	32
3.5	Beräkningar .....	33
3.5.1	Handberäkningar .....	33
3.5.2	FEM-beräkningar .....	33
3.6	Tillverkning.....	34
3.6.1	Maskinbearbetning.....	34
3.6.2	Programmering .....	34
3.6.3	3D-utskrift.....	35
3.7	Säkerställning av funktionalitet .....	35
3.7.1	Testtrigg .....	35
3.7.2	Inaktivt färgverk.....	35
3.8	Implementering .....	36
3.9	Datainsamling .....	36
<b>4</b>	<b>Resultat .....</b>	<b>36</b>
4.1	Litteraturstudier.....	37
4.1.1	Laser.....	37
4.1.2	Ultraljud .....	37
4.1.3	Viktavläsning .....	38
4.2	Val av metod .....	39
4.3	Handberäkningar .....	40
4.4	FEM-beräkningar .....	43
4.5	Primärlösning.....	43
4.5.1	Tillverkad konstruktion.....	44
4.5.2	Elektroniskt system.....	45

4.6	Provisorisk infästning under kista .....	49
4.7	Maskinbearbetad infästning under kista .....	50
4.8	Ackumulerad data .....	52
4.8.1	Stegvis och kontinuerlig viktförändring .....	52
4.8.2	Primärlösning.....	53
4.8.3	Under kista utan bearbetning .....	54
4.8.4	Under kista med bearbetning med 10 kg lastcell .....	54
4.8.5	Överbelastningstest .....	55
4.8.6	Under kista med bearbetning med 50 kg lastcell .....	55
4.8.7	Under kista i produktionen .....	61
4.9	Total kostnad för projektet.....	61
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>62</b>
5.1	Tidsåtgång.....	62
5.2	Val av metod .....	63
5.3	Primärlösning.....	64
5.4	Ackumulerad data .....	64
5.5	Systemets användbarhet.....	66
<b>6</b>	<b>Slutsats .....</b>	<b>66</b>
<b>7</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>68</b>
	<b>Bilaga 1.....</b>	<b>70</b>
	<b>Bilaga 2 – Grafer vid olika belastningsfall .....</b>	<b>70</b>



# Notationer

**Färgverk** Anordning som överför en specifik färg till burken

**Kista** Behållare där färg fylls på manuellt

**Kisthållare** Roterande fäste för kistan som kan fästas i specifika positioner på färgverket.

## Förkortningar

**FEM** Finita-Element-Method, datoriserade hållfasthetsberäkningar

**CAD** Computer-Aided Design

**PLA** Polylaktid

# 1 Inledning

## 1.1 Om Företaget

Ball Corporation är ett globalt företag med anknytningar till flertal olika marknader och sektorer. Företaget är väletablerat inom rymd- och militärsektorn samtidigt som det är en stor aktör inom tillverkning av aluminiumbehållare till livsmedel och sprayflaskor.[A1] Fabriken i Fosie tillverkar dryckesburkar i aluminium och många av maskinerna är flera decennier gamla.

## 1.2 Bakgrund

Arbetet som operatör vid burkfärgläggningen på Ball Beverage Packaging Fosie AB, är i behov av modernisering och medför i dagsläget onödigt slitage på operatörerna samtidigt som en relativt stor risk finns att färgen ska ta slut, såvida operatörerna inte regelbundet går upp för ett tiotal trappsteg och genomför kontroller av färgverken.

### 1.2.1 Färgläggningsmaskinen

Då maskinen som färglägger burkarna är i drift roterar ett svänghjul i dess centrum med ett antal gummidukar påklistrade. Runt svänghjulet finns sex till åtta roterande trycksplåtar monterade som överför individuella färger och mönster till korrekt position på varje duk. Då samtliga trycksplåtar överfört färg och mönster är duken täckt med en tunn färghinna identiskt med en färdig burk. Burkar utan bockad hals matas in i maskinen varpå de färdigtäckta dukarna överför sitt tryck följt av ett lager lack innan de åker vidare till en ugn för ythärdning.

Varje trycksplåt ansluten till individuella färgverk och ett färgverk är uppbyggt av ett antal valsar vars funktion är att överföra färg från en behållare som kallas färgkista till trycksplåten. Figur 1 på nästkommande sida avbildar färgläggningsmaskinen med delar av intresse noterade. Burkarnas rörelse genom maskinen är markerad med en röd linje. Kontakt mellan dessa och färgdukarna – vars rörelse representeras av vit linje – sker i den överstrukna rödvita cirkeln mellan linjerna. Den rödgröna cirkeln i burklinjens slut visar

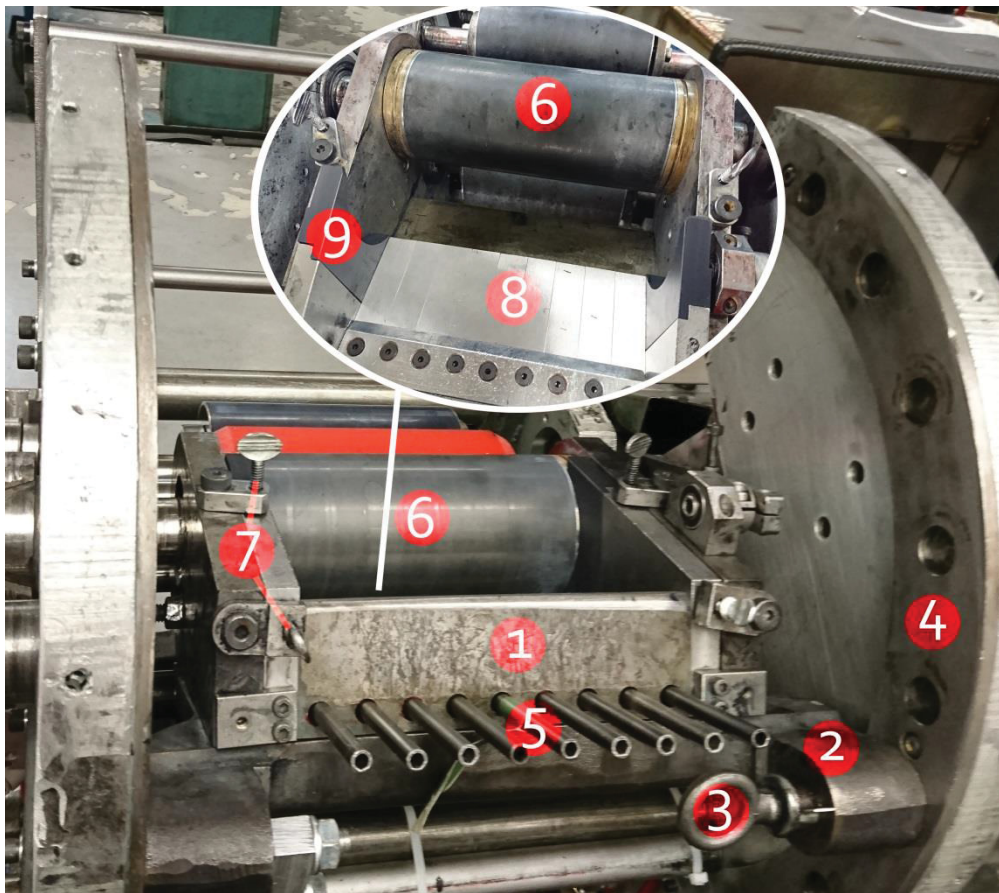
punkten då burkarna lackeras, varpå utmatning från maskinen till ugnen (ej i bild) påbörjas.

Maskinen som figur 1 avbildar är storleksmässigt den minsta av de fem som fabriken huserar. Detta betyder att antalet trappsteg är färre men även att endast sex färgverk monterade. Dessa är noterade med siffror samt genomgående linjer ner till tryckvalsarna markerade med gröna stjärnor.



Figur 1: Färgläggningsmaskin av aluminiumburkar där röd linje motsvarar burkarnas rörelse genom maskinen.

I figur 2 nedan syns färgverket som arbetet ska utföras på, ses där (1) är kistan som fylls på med färg, (2) är kisthållaren som låser kistan i ett läge och (3) är en av sprintvarianterna som används. Kisthållaren huserar två sprintar av samma modell som används för att låsa denna till ramen (4) i önskad position.



Figur 2: Färgverket projektet ska utföras på.

För att justera mängden färg som appliceras till den röda valsen skruvas pinnarna (5), vilket ändrar storleken på spalten mellan individuella plåtstavar (8) och insugsvalsen (6). Ju tätare spalt, desto mindre färg rinner igenom vid denna stav och kraften som trycker kistan nedåt ökar.

Den röda valsen är inte alltid i kontakt med (6) utan berör endast periodiskt beroende på burkarnas matningsmätighet. Varje gång denna kommer i kontakt orsakas en periodisk kraft som trycker ner kistan och dess hållare.

För att kistan inte ska flyttas under drift spänns denna in med fingerskruvar (7) ovan- samt framifrån. De övre skruvarna är endast i kontakt med kistan medan de främre spänns in tills kistans lösa plastdetaljer (9) stannar roterande mässingringar i vardera ände av insugsvalsen, för att förhindra läckage.

## **1.2.2 Situationen i dagsläget**

### **1.2.2.1 ur ett ergonomiskt perspektiv**

I dagsläget är samtliga printrar manuellt bevakade och operatörerna måste gå upp ett tiotal trappsteg flera gånger i timmen för att säkerställa att färgen inte tar slut och för att fylla på ny färg med en spatel. I de allra flesta fall betyder detta att operatören går upp för att finna att färgen inte behövdes tittas till just då – särskilt om det är mjuka eller lösa färger som används.

Att gå upp och ner för trappor flera gånger i timmen under långa skift, i många fall utan behov, är ett till synes onödigt arbetsmoment som på sikt kan medföra problem i form av förslitningsskador hos medarbetarna. Att färgen måste hållas under uppsikt och fyllas på är ostridigt. Däremot skulle ett system som gav en visuell uppskattning av nuvarande mängd färg utan att operatören behöver gå upp för trapporna potentiellt kunna förbättra rådande arbetsförhållanden och minska onödigt slitage på medarbetarna.

### **1.2.2.2 ...ur ett ekonomiskt och miljömässigt perspektiv**

Trots att operatörer har uppsikt över färgverken och kontrollerar med jämna mellanrum, finns en överhängande risk att behållarna töms på färg i ett obevakat ögonblick då andra arbetsmoment avleder uppmärksamheten. Detta medför en stor mängd extra arbete och förlust då maskinen kan hinna processera tusentals burkar innan misstaget upptäcks.

Vid avsaknad av färg måste hela eller en del av produktionen efter printern skrotas för att undvika att dåliga burkar når kunden. En linjetömning orsakar stor ekonomisk och ergonomisk förlust i form av skrot och onödig arbetsgång, samtidigt som det stoppar tillverkningen under ett ej obetydligt produktionsstopp. Det vill säga att företaget dels går i förlust samtidigt som de går miste om potentiella intäkter. Dessutom har energi tillförts för att tillverka burkarna och ytterligare energi krävs vid skrotning och återvinning, vilket är negativa ekonomiska faktorer som även har en negativ inverkan på miljön på grund av energiåtgången.



## **1.3 Syfte**

Syftet med examensarbetet var att skapa ett färguppskattningssystem för att åstadkomma en förbättring av rådande förhållanden på Ball Beverage Packaging Fosie AB, med avseende på ergonomi, ekonomi och miljö. Målet med systemet var att minska arbetsbördan för operatörer genom att eliminera arbetsmoment som kan medföra förslitningsskador. Målet var även att förbättra företagets tillverkningsprecision och därmed minska tillverkningskostnader genom lägre spill, samtidigt som dess avtryck på miljön blir mindre.

## **1.4 Avgränsningar**

Eftersom arbetet baserades på ett kandidatarbete på 18 högskolepoäng riktades arbetet huvudsakligen in på att skapa ett system som kunde ge en tillförlitlig uppskattning för lös färg samt färg som inte behöver konstant uppsikt. Systemets var inte tänkt att eliminera kravet på uppsikt över färgverken oavsett densitet och viskositet på färgen utan var menat att användas som ett komplement och avlastning för operatörer.

### **1.4.1 Budget**

Projektet inföll under utvecklingverksamhet inom företaget, vilket är ett område som har en budget på någon miljon per år. Detta medförde att företaget gjorde avvägningar vid avsättning av medel utifrån en nyttokalkyl.

### **1.4.2 Tidsram**

Tidsplan för projektet var januari till maj 2017 men involverade en avsevärd mängd förstudier under slutet av 2016.

## **1.5 Problemformulering**

Arbetet ämnade åt att skapa ett system som kontinuerligt meddelar en tillförlitlig uppskattning av färgnivå visuellt på avstånd och varnar vid kritisk färgnivå med visuellt och audiotoriskt larm vilket skulle kunna minska risken för tomma färgkistor.

## **2 Teori**

Under teorisektionen belyses initialt miljön systemet ska implementeras i. Härunder beskrivs metoder vilka kan användas för att konstatera att systemets konstruktion håller för påfrestningarna. Därefter benämns potentiella tillvägagångssätt att uppskatta färgnivån på färgverket.

### **2.1 Miljö**

Miljön systemet ska placeras i är relativt tuff och påfrestande för såväl material som hållfasthet. Systemet kommer kontinuerligt bli utsatt för kemisk påfrestning. Dessutom kan det påverkas av våldsam hantering av färgverket såsom oförsiktig stängning av skyddsluckor eller kraftfull justering av kisthållarens position.

#### **2.1.1 Materialkrav**

Bärande komponenter måste ha tillräckligt hög styrka för att klara av rådande belastning med god säkerhetsmarginal. De måste även klara av kontinuerlig belastning samt vibrationer, skakningar, krypning och eventuella fysiska slag upp till en rimlig nivå. Utöver styrka måste komponenterna klara av att bli utsatta för rengöring och stänk från kemiska produkter såsom etanol och vattenbaserad färg med olika viskositet och densitet.

Företaget ställer initialt även krav på att enbart nuvarande infästningsmöjligheter på färgverket ska användas och att maskinbearbetning av nuvarande konstruktion inte får ske då de vill enkelt kunna återställa maskinen om positivt resultat uteblir. Möjlighet till att modifiera finns däremot om företaget väljer att använda idén då de kontinuerligt utför modifikationer.

### **2.2 Hållfasthetsberäkningar**

För att säkerställa att en bärande konstruktion håller, krävs att hållfasthetsberäkningar utförs. Dessa beräkningar kommer utföras för hand för att till viss del kompletteras med FEM resultat återgivet av Autodesk Inventor. Samtliga ekvationer för beräkning av hållfasthet är hämtade ur Carl Björks formelsamling [B1].

Den första essentiella ekvationen resulterar i normalspänningen  $\sigma$  orsakat av drag- eller tryckkraften  $F$  som verkar på en tvärsnittsarea  $A$ .

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

För att beräkna medelvärdet på skjuvspänning  $\tau_m$  ersätts den ortogonala kraften i ovanstående ekvation med en tangentialkraft  $T$  som verkar i tvärsnittsareans plan.

$$\tau_m = \frac{T}{A} \quad (2)$$

Det är även känt att spänningskoncentrationer uppstår i hål på material som utsätts för en kraft  $F$ . Detta hålkantstryck  $p$  kan beräknas genom att ta hänsyn den projicerade arean som beror på materialets tjocklek  $t$  och hålets diameter  $d$ .

$$p = \frac{F}{d \cdot t} \quad (3)$$

Vid böjning uppstår böjnormalspänningar och storleken på dessa beror helt på vilken typ av tvärsnitt den belastade komponenten har. För att räkna ut den maximala böjnormalspänningen  $\sigma_{max}$  vid tvärsnittets rand används det maximala momentet  $M_{max}$  som verkar på komponenten tillsammans med tvärsnittets böjmotsånd  $W$ .

$$\sigma_{max} = \pm \frac{M_{max}}{W} \quad (4)$$

## 2.3 3D-modeller

Genom att utnyttja tidigare kunskaper inom främst Autodesk Inventor kan 3D-modeller skapas för att minska tiden från idé till visuellt koncept. Dessutom kan både tid, pengar och miljö sparas på att inte skapa fysiska prototyper i onödan.



### **2.3.1 Visualisering**

Modellernas huvudsakliga syfte är att skapa visuella koncept som kan monteras på en skalenlig modell av färgverket. Denna visualisering ökar idéns presenterbarhet och ger även användaren möjligheten att vrida och vända på idén i ett virtuellt tredimensionellt rum. Genom att betrakta modellen i sitt slutliga läge och ur olika perspektiv frodas idégenerering kring konceptet då nya monteringsmöjligheter kan uppenbara sig.

Vidare kan konceptet animeras för att illustrera hur arbetsgången vid montering av de olika komponenterna kan ske från komponentnivå till systemnivå. På så vis kan konceptets monteringsvänlighet motiveras utan krav på fysisk prototyp.

### **2.3.2 FEM-beräkningar**

Genom att applicera simulerade lastfall på 3D-modellen kan datorn utföra noggranna beräkningar för att uppskatta vilka krafter och spänningar som kommer verka på konstruktionen. Dessa beräkningar bör jämföras med handberäkningar i den mån det går för att konstatera att de stämmer någorlunda överens, då 3D-programmet kan tagit hänsyn till faktorer utelämnade i handberäkningarna.

Utnyttjandet av FEM-beräkningar kan även minska risken för bristande hållfasthet efter tillverkning – särskilt vid komplicerade konstruktioner – och kan därmed spara både tid, miljö och pengar.

## **2.4 Potentiella tillvägagångssätt**

Nedan benämns tre olika typer av potentiella tillvägagångssätt för att uppskatta färgnivån.

### **2.4.1 Laser**

Avståndsmätning med laser är en teknik för noggrann uppskattning av såväl långa som korta avstånd. För att mäta korta avstånd med laser används ofta triangulering vilket innebär att en laser reflekteras mot en yta in i en lins, vilken fokuserar stålen på en kamera. Den fokuserade bilden processeras därefter genom att analysera vilka pixlar som belyses och på så vis kunna

beräkna avståndet till objektet. Metoden är väldigt träffsäker men erhåller däremot stor förlust i träffsäkerhet med ökande avstånd. Metoden är ytterst beroende av ytan som strålen ska reflekteras mot.[A2]

## **2.4.2 Ultraljud**

Avståndsmätning med ultraljud en teknik som ofta ses som överkomplicerad och används som sista utväg. På senare år har denna förbättrats avsevärt och fungerar genom att avge ultraljud som fångas upp av antingen avsändaren eller en separat mottagare. Tekniken kan bland annat användas för att upptäcka hinder eller mäta avstånd. [A3]

## **2.4.3 Viktavläsning**

Då färg fylls på och förbrukas med tiden förändras dels den totala massan men även avståndet till tyngdpunkten för den avlästa konstruktionen. Avståndet förändras på grund av att den geometriska formerna som upptas av färgen varierar. [B1] Dessa faktorer orsakar en minskning av kraften som överförs till viktavläsaren, vilket kan utnyttjas för att erhålla en förändring i avläst färgvikt. Kisthållarens vinkel med avseende på golvet påverkar även hur stor kraft som överförs till viktavläsaren eftersom denna måste monteras relativt kisthållaren vilket gör att momentkrafter tas upp. Kraften som orsakas av vikten ligger i tyngdpunkten och är riktad mot golvet, vilket medför att då kisthållaren är vinklad upptas endast delar av krafterna av viktavläsaren av trigonometriska skäl.

### **2.4.3.1 Lastcell**

Lastceller består av en resistor fastlimmad på ett material ämnat att elastiskt deformera vid belastning genom sammandragning eller förlängning. Denna deformation orsakar en längdförändring i materialet och resistorn vilket följaktligen orsakar en förändring av motståndet som är proportionellt med massan som vägs. Detta påvisas genom förändring av spänningen som uppmäts av kretskortet och denna blir lägre vid sammanpressning och högre vid förlängning. [A4]

Om lastcellen överbelastas förbi sin angivna kapacitet ökar risken för plasticering vilket visas genom att dess obelastade värde förskjuts permanent. Mätvärden vid belastning över angiven kapacitet resulterar även i grov osäkerhet då mindre plasticeringar spontant kan ske vilket har inverkan på uppmätt värde. [A5]

## 2.5 Pugh's matris

För att kunna bedömma vilken metod som vore optimal att arbeta med krävs rättvis bedömning av potentiella metoder. Detta erhålls genom att utföra en litteraturstudie på tidigare nämnda metoder, vilket följandevis ligger till grund vid poängsättning i en konceptvalsmatris kallad Pugh's matris. Metoden bygger på att ett antal krav radas upp med en tyngd 1-5 beroende på hur viktigt kravet är. En referens bestäms utifrån vilken koncept poängsätts baserat på hur konceptet bedöms klara kravet relativt referensen enligt nedanstående bedömningskala.[B4]

- 2: konceptet presterar mycket bättre än referensen.
- 1: konceptet presterar bättre än referensen.
- 0: hur referensen hanterar kravet.
- 1: konceptet presterar sämre än referensen.
- 2: konceptet presterar mycket sämre än referensen.

Dessa värden multipliceras därefter med tyngden varpå en summering sker. Konceptet som ackumulerar mest poäng är det som bedömts vara troligast att fungera.[B4]

## 2.6 Tillverkning

Tillverkning av både mätsystem och monteringsmoduler utgår från modeller som skapats enligt 2.4 då beräkningar utförs med avseende på dessa.

### 2.6.1 Maskinbearbetning

Då både högskolan och företaget förfogar över maskinpark kan tillverkning av fästelement och eventuell justering av komponenter ske på på båda faciliteter.

## 2.6.2 3D-utskrift

För att någorlunda skydda konstruktionerna från direkta fysiska slag och färgstänk, vilket skulle potentiellt kunna ha en inverkan på prestandan, dess livslängd och dess mätosäkerhet, kan skyddande skal designas i CAD och tillverkas genom 3D-utskrift.

Eftersom projektet ämnar åt att fokusera på ett färgverk, är antalet skal som ska tillverkas lågt. Detta medför att denna typ av tillverkningsmetod är ett billigt alternativ till exempelvis plastgjutning och vakumformning då ingen form behöver tillverkas. Materialet som skrivs ut i BTH:s skrivare är vanligtvis PLA vilket uppfyller det utskrivna kemiska kravet i 2.1.1 då PLA inte är lösningsbar i etanol. [B2]

## 2.7 Programmering

Data från det skapade systemet måste hanteras vilket medför att en mikroprocessor så som Arduino är lämplig att utnyttja då dessa är förhållandevis billiga och enkla att använda. För att skapa ett system som uppskattar färgmängd krävs programmering i språk som mikroprocessorn kan läsa. Programmeringen avser främst att implementera matematiska ekvationer som erhåller medelvärde och skillnad på avläsningen. Programspråket för Arduinos moderkort bygger på en form av C/C++ och kortet är baserat på open source vilket betyder att stora mängder koder och hjälpmedel finns tillgängliga på tillverkarens hemsida.

Större del av programmeringen kan ske på högskolan och hemifrån under simulerade förhållanden för att spara tid, men koden kan komma att ändras vid behov efter implementering beroende på hur mycket driftrelaterade faktorer spelar in.

## **2.8 Implementering**

Implementeringsfasen medför att färgverket behöver modifieras för att passa med konstruktionen och systemet. För att undvika att eventuella brister förorsakar produktionsstopp, ska konstruktionen utöver genomgående beräkningar testas under driftliknande förhållanden på färgverk i verkstaden. Förutom att säkra hållfasthet under kontrollerade förhållanden medför dessa test även en säkerställning av funktionalitet för att undvika att arbete utförs på maskiner i drift utan resultat.

## **2.9 Datainsamling**

I samband med implementeringsfasen följs arbetet upp med att samla in data för prestanda, pålitlighet och brukbarhet. Detta utförs genom att utsätta den monterade konstruktionen för diverse driftförhållanden samtidigt som systemet är uppkopplat till medhavd dator. På så vis kan eventuella problem uppdagas och systemet kan även justeras vid behov.

Om systemets tillförlitlighet bedöms vara tillräcklig för obevakat bruk övergår datainsamlingen i att få användningsfeedback från operatörerna. Dessa kommer få i uppdrag att notera varje gång de anser att systemet underlättat arbetet samt varje gång det förhindrat en potentiell färgtorka.

## **3 Genomförande**

### **3.1 Planering**

För att kontinuerligt kunna följa upp projektets fortskridande och status krävdes en noggrann planering med hänsyn till samtliga moment som behövde utföras för att nå ett resultat innan önskat slutdatum. Med dessa krav som utgångspunkt skapades ett GANT-schema där samtliga moment staterades på separata rader. Varje moment tilldelades ett antal veckor då detta skulle arbetas på och vid infinnande av specifika undermoment noterades under tillhörande vecka. Eftersom många aktiviteter var beroende av varandra krävdes i en del fall att föregående aktivitet avslutats innan nästa kunde påbörjas. Schemat är bifogat i rapporten under Bilaga 1 i figur B1.1.

### **3.2 Idégenerering**

Två månader innan officiell projektstart påbörjades förarbetet för att utreda kring vilken metod som är tillförlitlig för mätning av mängden färg i färgverket. Initialt genererades idéer och söktes information inom samtliga metoder i 2.4 för att inte låsa in sig på en potentiell metod i ett tidigt stadium. För att generera användbara idéer användes brainstorming och gallery method där idéer skrevs ner och ritades upp under givna tidsintervall för att sedan granskas och upprepa metoden. [B3] Detta utfördes med avsikt att tankearbetet skulle frodas då användaren av metoden ges möjligheten att ta hela eller delar av bra idéer och spinna vidare på dessa.

### **3.3 Litteraturstudier**

Litteraturstudier tillsammans med granskning av rådande förhållanden utfördes för att öka förståelsen för vilka för- och nackdelar som laser, ultraljud och viktavläsning erhåller. Dessa studier grundar sig främst i information samlad från tillverkare och tekniska rapporter.

### **3.4 Koncept**

Vid bedömning av ackumulerad information och preliminära koncept inom vardera metod togs hänsyn till de för- och nackdelar som framkommit ur

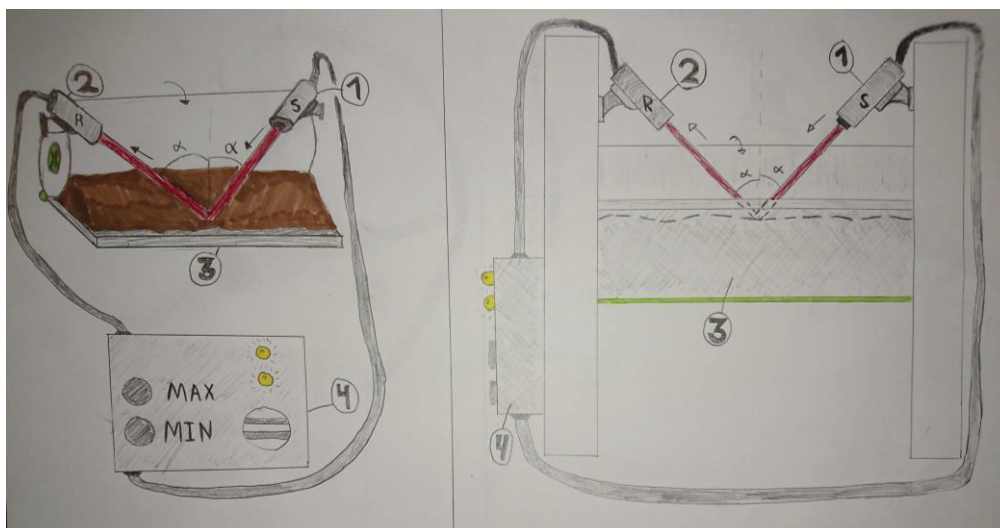
litteraturstudierna. Dessa användes tillsammans med kraven ställda i 2.1 för att utföra en utvärdering av koncept genom poängsättning med Pughs matris [B4] med ett ej modifierat färgverk som referens.

### 3.4.1 Proof of concept

De första koncepten som ritades upp illustrerade endast vart tankarna låg utan att ta hänsyn till färgverkets korrekta utformning, vilket berodde på avsaknad av ritningar eller bilder. Konceptet som valdes användes för att presentera idén till företaget och resulterade i att projektet startades upp.

#### 3.4.1.1 Trianguleringskoncept med laser

I figur 3 illustreras ett koncept som påvisar hur färgnivån potentiellt kan uppskattas genom att med laser mäta avståndet till färgytan. Komponenten markerad med (1) är en avsändare som skickar en laserstråle vilken reflekteras på färgytan; illustrerad som brun. Den reflekterade strålen fångas upp av en mottagare, (2), som mäter den kontinuerliga vinkelförändringen orsakad av den sjunkande färgnivån. Färgen vilar – likt förklarat i 1.2.1 – i en färgkista noterad med (3). Denna är monterad i en hållare som är ledad i ena änden, vilket representeras med grönt –men dess korrekta ledpunkt är markerad med X på insugsvälsen för att inte förvirra läsaren längre fram i rapporten.

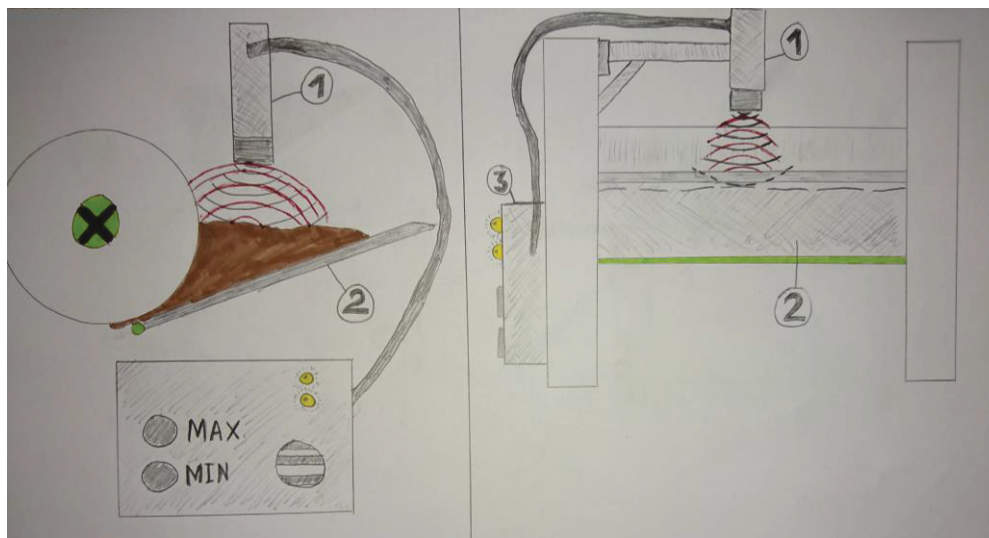


Figur 3: Proof of concept baserat på avståndsmätning med laser

För att hantera data från givaren krävs ett elektroniskt system, (4). Systemet var tänkt att fungera genom att operatören sparar ett värde för tom kista genom *MIN* knappen och varje gång färgen fyllts på sparas påfyllt värde med *MAX* knappen. Anledningen till att operatören upprepat måste spara påfyllt värde beror på att olika mängd färg läggs i vid påfyllning. Dessa värden bearbetas tillsammans med givarens kontinuerligt avlästa värde för att generera en kvot över kvarvarande mängd färg. Vid specifika intervall resulterar kvoten i färgskifte hos RGB-LED och startar slutligen, vid kritiskt värde, ett visuellt och audiotoriskt larm.

### 3.4.1.2 Ultraljudkoncept

Figur 4 illustrerar hur färgnivån potentiellt kan mätas genom att en ultraljudsensor, (1), kontinuerligt eller pulsvis skickar (gråa) ljudvågor mot färgytan. De reflekterade (röda) ljudvågorna kan antingen uppmätas av avsändaren eller en separat mottagare, beroende på konfiguration. Dess data behandlas likt för lasern av ett elektroniskt system, (3), som är tänkt att fungera enligt samma princip.

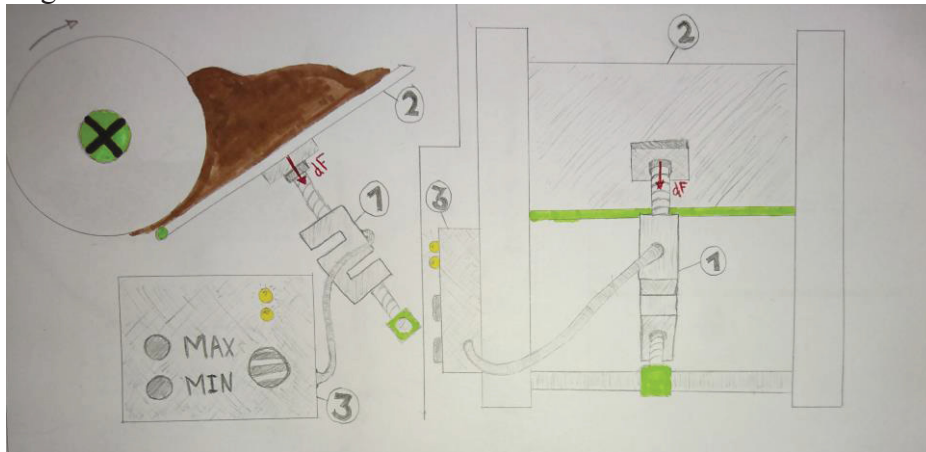


Figur 4: Proof of concept baserat på avståndsmätning med ultraljud



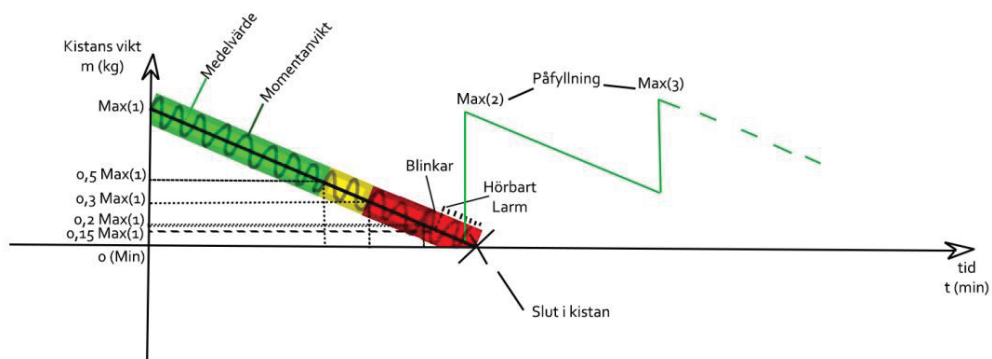
### 3.4.1.3 Viktavläsningskoncept

I figur 5 syns en illustration av en S-formad lastcell, (1), som är monterad mot en färgkista, (2), med färg och är kopplad till ett elektroniskt system (3). Tanken bakom konceptet är att kraftskillnaden  $dF$  som uppstår på grund av minskning av färg tas upp av lastcellen och data behandlas av ett system likt tidigare beskrivet.



Figur 5: Proof of concept baserat på viktavläsning med en lastcell

En hypotetisk arbetsgång för systemet i drift visas i figur 6 där den avlästa momentanvikten beror på vibrationer och en kontinuerligt pulserande kraft. Färgskiftningar sker då det avlästa värdet motsvarar en kvot av det påfyllda värdet  $MAX$  med avseende på kistans värde utan färg.



Figur 6: Hypotetisk arbetsgång för systemet då det är i drift.

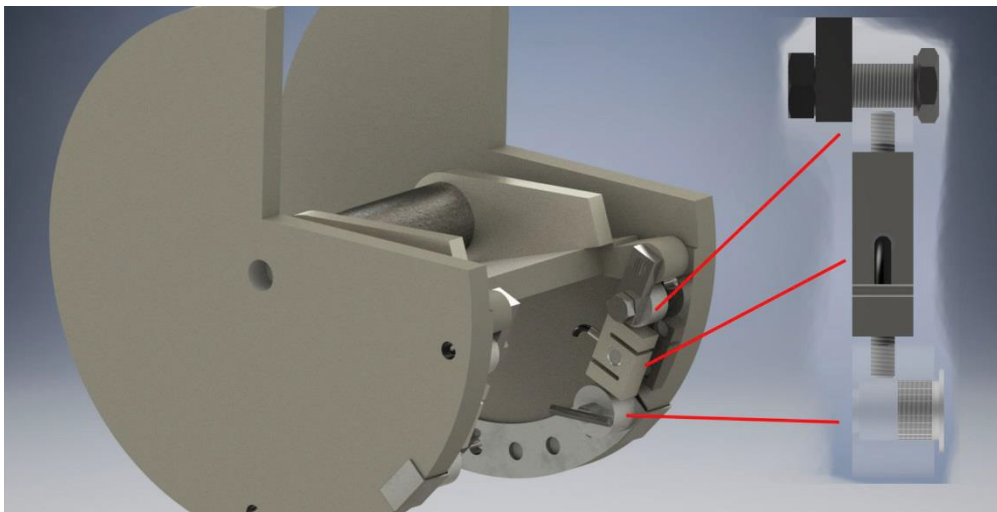
### 3.4.2 Principlösning – koncept 1: Konstruktion med S-lastcell

Bedömningen av den förvärvade informationen från litteraturstudien tillsammans med poängsättningsmatrisen resulterade i att projektet riktade in sig på att uppskatta färgmängden genom implementering av en lastcell. Avsikten med detta var att kontinuerligt avläsa skillnaden av uppmätt viktvärde och på så vis uppskatta färgmängden.

Principlösningen byggde på konstruktionsidéer som uppstod under en session av självinducerat drömstadium. Denna session medförde bland annat att idéer för en första version av infästningen av en låshake växte fram.

Eftersom företaget initialt endast ville att projektet skulle använda existerande hål på maskinen utformades koncept efter snäva ramar. Konceptens syfte var att ta fram underlag för hur systemet fungerade och presterade vid diverse positioner, vilket skulle kunna användas vid argumentation om slutgiltig och permanent position på färgverket.

Efter att ha fått klartecken från företaget att starta upp projektet togs en del mått på färgverket i figur 2 och en grov 3D-modell av detta skapades i Autodesk Inventor. Dessutom modellerades ett första viktavläsningskoncept upp för infästning i sprinthålen med figur B1.2 i bilaga 1 som referens. Detta koncept illustrerade ett principiellt vis för att mäta krafterna som uppstår i sprinthålen. I figur 7 nedan visas konceptet monterat på det grovt modellerade färgverket.

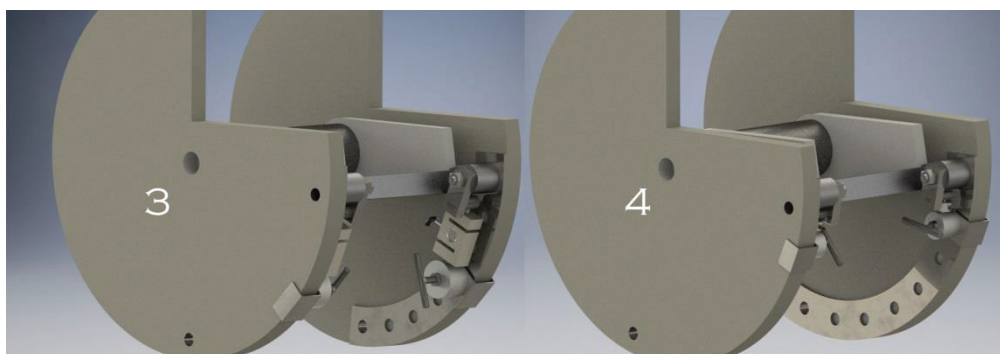


Figur 7: Principlösning för uppmätning av krafter i sprinthålen.

### 3.4.3 Koncept 3 och 4: Konstruktion med liten lastcell

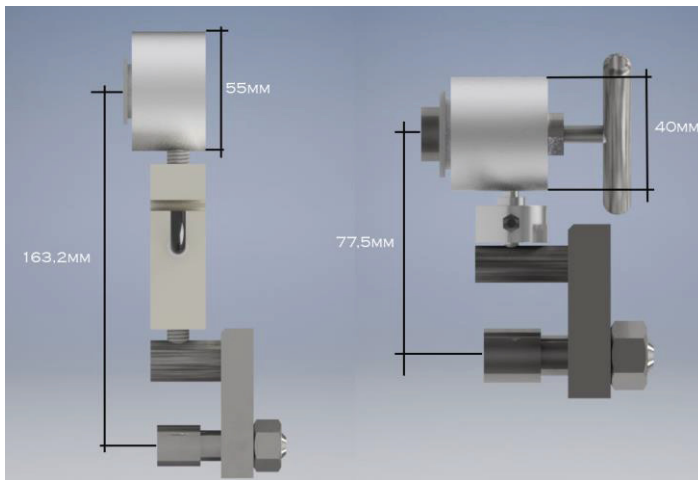
Skillnaden mellan första och tredje konceptet var främst minskning av materialåtgång samt modellering av ett nytt handtag till sprinten då första sprinten visade sig vara omöjlig att montera. Däremot ersattes lastcellen med en avsevärt mindre variant vid övergången till fjärde konceptet vilket medförde att materialåtgången reducerades drastiskt. Dessutom blev dess längd förkortad med ungefär hälften vilket hade underlättat justering av kistans position efter montering.

Utöver förändringar i konceptet modifierades även modellen av färgverket med noggrannare mått vilket ökade precisionen vid konceptutvecklingen. I figur 8 och 9 presenteras koncept 3 och 4 bredvid varandra för att illustrera de stora förändringar som uppstått.



*Figur 8: koncept 3 och 4 monterade på färgverk där färgverk 4 har justerats för mer korrekta mått, samt lastcellen bytts ut.*

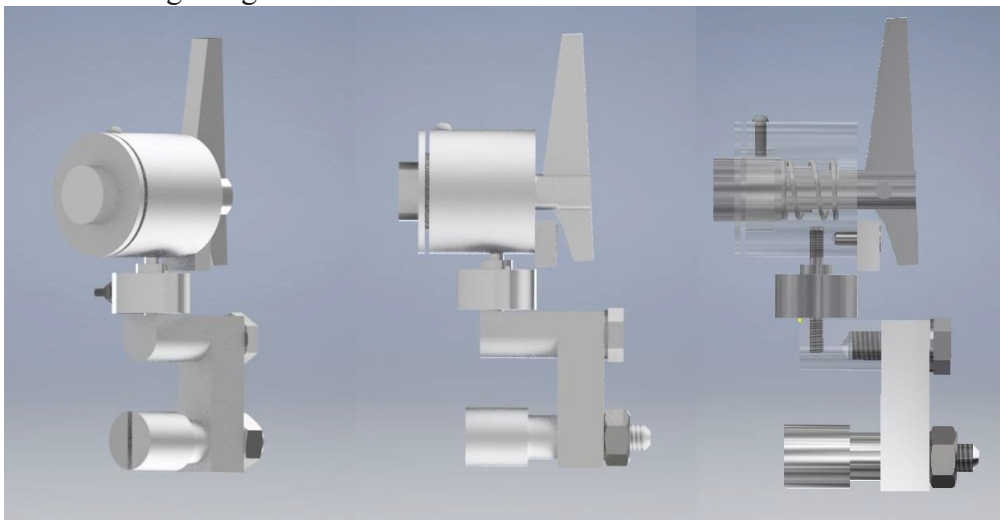
Genom att konstruktionen blev mycket kortare minskades även vinkelskillnaden från momentkraften som verkar ute i stödet, vilket resulterade i att en större andel av kraften skulle kunna tas upp av lastcellen.



Figur 9: Koncept 3 och 4 bredvid varandra med två mått utskrivna

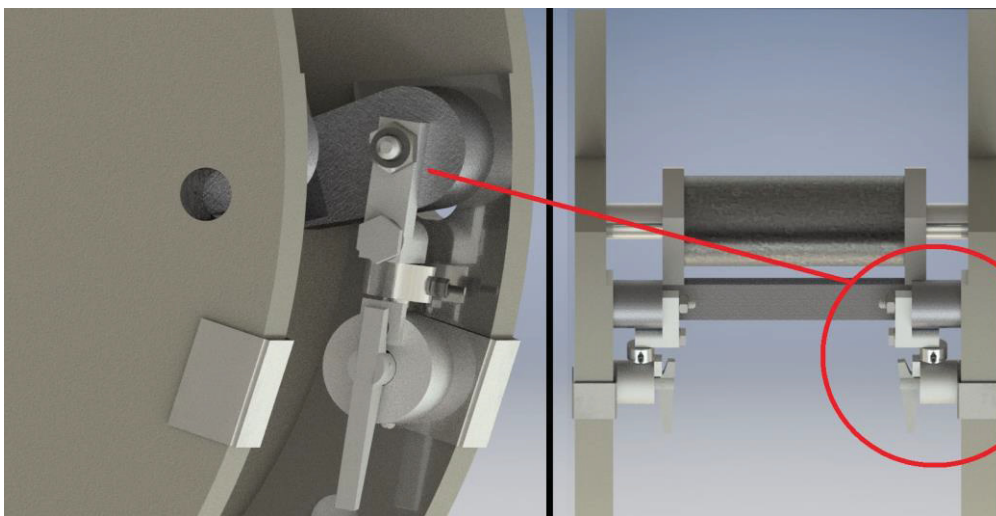
### 3.4.4 Primärlösning – koncept 7: Optimerad konstruktion med liten lastcell

Vidareutveckling av konstruktionen med liten lastcell utfördes genom att implementera en hävarmsprint från företagets nyare versioner av kisthållare (CD2), samt optimering av material med fokus på användning av standarddetaljer. Dessa optimeringar medförde att kostnaden för prototypen minskade med hundratals kronor. Efter tre vidareutvecklade koncept och efter att lastcellen bytts ut, uppnåddes en primärlösning vilken syns i figur 10 samt i monterat läge i figur 11.



Figur 10: Primärlösning utan aluminiumhake fäst i spåret på sprinthuvudet.

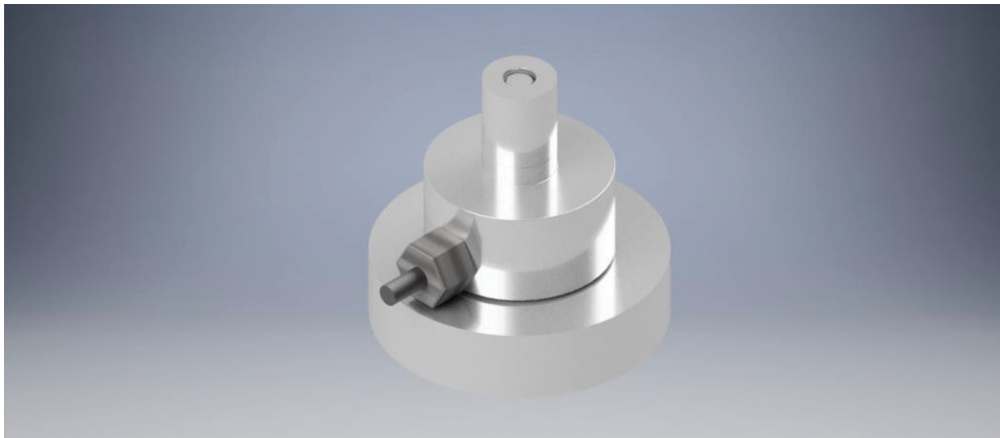
Eftersom primärlösningen anpassats för att husera CD2 sprinten och att kunna monteras i kisthållarens sprinthål med stor mängd standarddetaljer var ytterligare materialoptimering svårt att genomföra. Passformen vid montering på färgverket bedömdes ur figur 11 då färgverksmodellen baserades på riktiga mått, vilket medförde att primärlösningen användes som grund för att testa systemet på färgverket genom tillverkning av fysisk prototyp.



Figur 11: Primärlösning monterad på skalenlig modell av färgverket.

### 3.4.5 Provisorisk infästning under kistan

För att testa lastcellen i andra positioner på färgverket, designades en simpel monteringsanordning som lastcellen kunde fästas i. Anordningen utformades för att endast innehålla standardkomponenter i syfte att underlätta tillverkning med fokus på tid och kostnad. Monteringsanordningen skapades med avsikt att avgöra hur lastcellen presterade då denna utsätts för krafter direkt från kistan och dess innehåll utan hävarmeffekten som uppstår då montering sker i existerande sprinthål på kisthållaren.



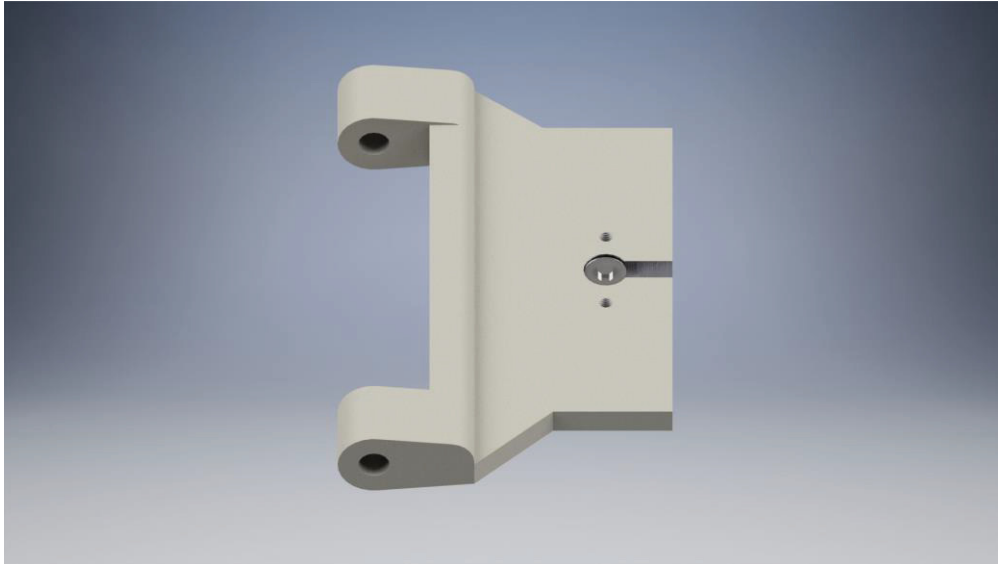
*Figur 12: Modell av monteringsanordning för provisoriskt test av lastcell under kista*

Sektionerna över och under lastcellen i figur 12 är avkapade bitar från aluminiumstänger med 40, respektive 10 mm i diameter. Båda sektionerna borrades och gängades med M5 i centrum och monterades på lastcellens gängade ändar.

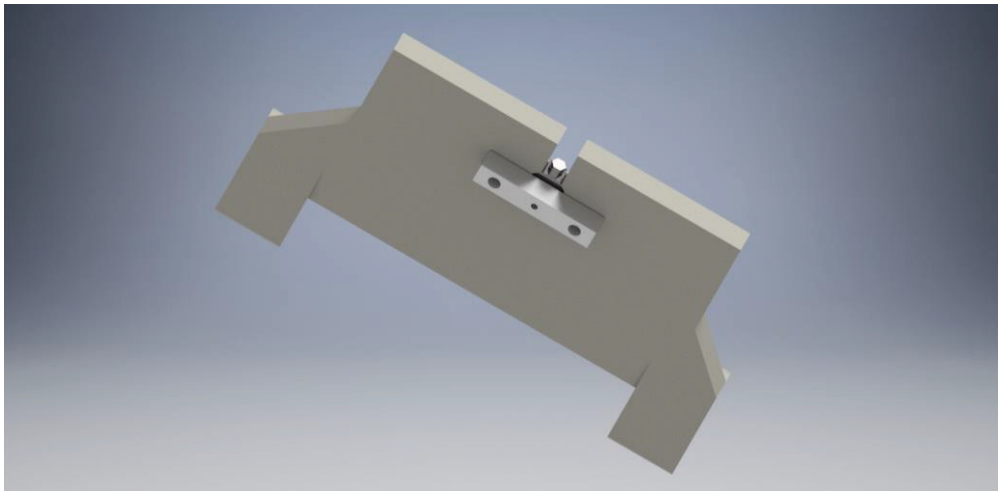
### **3.4.6 Permanent infästning under kistan**

Baserat på resultatet som uppmätts vid det provisoriska testet under kistan, modellerades ett koncept upp för permanent infästning av lastcellen på färgverket. Modellen användes för att illustrera hur kishållaren kunde modifieras på ett icke-destruktivt vis och som medför att hållaren kan användas oavsett utfall på projektet. Det föreslagna ingreppet involverade att fräsa ut ett hål samt spår där lastcellens geometriska form kunde vila med inom erforderlig tolerans. Utöver detta krävdes M8-gängade hål på vardera sida av tidigare nämnt hål, enligt figur 13.

För att montera lastcellen på säkert vis skruvades den fast i en 16x16 mm fyrkantig stålstav som i sin tur fästes med M8 skruvar till kishållaren. Tanken med denna montering är att lastcellen sticker upp någon enstaka millimeter ovanför kishållaren vilket medför att kistan vilar med sin tyngd på denna. Skruven på lastcellen som inte ansvarade för kraftmätningen behövde däremot kapas för att erhålla en plan yta för kistan att vila på, eftersom detta även minskade höjden lastcellen sticker upp. I figur 13 och 14 illustreras det preliminära förslaget på bearbetning av kishållaren med en modifierad lastcell monterad i hålet och ett genomgående spår.



*Figur 13: Preliminär modifierad modell av kishållaren med lastcellen monterad*



*Figur 14: preliminära förslag på bearbetning av kishållaren med 16x16 stången som lastcellen fästs i.*

### 3.4.7 Elektronikskal

Med avsikt att husera och skydda kretskorten och tillkopplad elektronik utformades ett skal med dimensioner baserade på elektronikens fysiska mått. Eftersom tillverkning av elektroniken involverar lödning av komponenter krävs relativt stora toleranser för hål som huserar dessa komponenter. Då elektroniken monteras i en miljö med färgstänk bör däremot hålen kring komponenterna inte vara alltför överdimensionerade för att undvika färgkontakt med kretskorten.



*Figur 15: Elektronikskal framifrån med elektroniken monterad.*

I figur 15 syns modeller av elektroniken monterade i ett skal med mindre utsmyckande detaljer. Till vänster är en piezoelektrisk buzzer monterad och till höger är dioder samt knappar monterade på ett Arduino kretskort. Figur 16 visar monteringen från baksidan samt glidlocket som innesluter elektroniken.





Figur 16: Elektroniskal bakifrån med elektroniken monterad.

## 3.5 Beräkningar

För att säkerställa att primärlösningen samt den maskinbearbetade komponenten på färgverket erhöll tillräcklig hållfasthet utfördes såväl hand- som FEM-beräkningar i Autodesk Inventor.

### 3.5.1 Handberäkningar

Med hjälp av en bagagevåg uppmättes kraften ute vid sprinthålen till ungefär 40-50 N per sprinthål. I de sektioner på primärlösningen där krafterna verkar i axiell riktning beräknades normalspänningen via ekvation (1) och kompletterades med (3) för att beräkna hålkantstrycket då hål infann sig i sektionen. Då kraften verkade tvärgående på sektionerna beräknades skjuvspänningen ur (2).

Primärlösningens geometri medför att en av sektionerna utsätts för böjande moment vilket orsakar böjnormalspänningar som beräknades genom (4).

### 3.5.2 FEM-beräkningar

Utöver att modellera prototyper användes Autodesk Inventor för att utföra FEM-beräkningar på modellerna med solid elementtyp. I samband med godkännandeprocessen för maskinbearbetning av kisthållaren, säkerställdes modifikationen genom att utföra FEM-beräkningar på en skalenlig modell av komponenten som skulle bearbetas. Fixerat randvillkor appliceras på kanter som kan ses som stelt infästa och två överdimensionerade krafter på 150 N belastades i skruvhålen avsedda att ta upp dessa.

## 3.6 Tillverkning

Systemet är uppbyggt av en fysisk konstruktion som lastcellen är fäst i och ett elektroniskt system som behandlar de erhållna signalerna. För att skydda den elektroniska utrustningen monterades denna i ett 3D-utskrivet skal. Av denna anledning delas tillverkningen av systemet upp i tre separata faser.

### 3.6.1 Maskinbearbetning

Med hjälp av Autodesk Inventor skapades ritningar för samtliga delar som skulle maskinbearbetas. Med dessa som utgångspunkt utförde skribenten – under kvalificerad uppsikt – manuell bearbetning av monteringsmaterialet genom svarvning, borrarning samt gängning för att erhålla fysiska komponenter, i vilka lastcellen skulle fästas. Med avsikt att hålla den fysiska prototypen kostnadseffektiv, användes så mycket standardmaterial som möjligt för att undvika onödig maskinbearbetning.

För att skapa en monteringsmöjlighet i syfte att testa lastcellen under kistan utan permanent infästning svarvades mindre sektioner av från 40mm stången samt en 10mm stång och dessa borrades samt gängades för att passa med lastcellens skruvar.

Maskinbearbetning av kisthållaren i syfte att skapa en permanent position åt lastcellen utfördes genom fräsning samt borrarning och gängning efter ritningar av konstruktioner som analyserats för att ha god hållfasthet i FEM.

### 3.6.2 Programmering

Vid konstruering av det elektroniska systemet användes ett Arduino moderkort tillsammans med en *prototype shield* samt komponenter som knappar, RGB-LED, motstånd, piezoelektrisk buzzer och HX711 signalförstärkare. För att möjliggöra förändringar monterades samtliga komponenter på ett brödkort innan permanent fastlödning.

Programmeringen utfördes med *trial and error*-metoden tillsammans med diverse tutorials från tillverkarens hemsida över hur de olika komponenterna kan integreras med varandra.

### **3.6.3 3D-utskrift**

För att skydda elektroniken från slag och färgstänk utformades skal i Autodesk Inventor som sedan skrevs ut i, av skolans tillhandahållna, 3D-skrivare. Utformningen av de olika skalerna grundade sig i elektronikens slutliga utseende och dimensioner.

## **3.7 Säkerställning av funktionalitet**

För att förhindra att en icke-fungerande konstruktion monteras på maskiner i drift måste dess funktionalitet säkerställas inom rimliga gränser. Det är däremot svårt att simulera montering på ett färgverk i fullskalig drift då vibrationer och frekventa pulserande krafter uppstår.

### **3.7.1 Testrigg**

Det första steget i att säkerställa systemets funktionalitet var att montera det på testriggar avsedda för att granska hur detta hanterar minskning av vikt och hur resultatet rapporteras. Riggarna utformades för att testa stegvis minskning genom bortplockning av identiska vikter och kontinuerlig minskning genom vattenbehållare med avrinning.

### **3.7.2 Inaktivt färgverk**

Sista steget innan implementering på ett aktivt färgverk i drift var att montera konstruktionen på ett reservfärgverk. Avsikten var att testa dess funktionalitet i dess slutliga position utan tillkommande vibrationer och pulserande krafter. Genom montering på ett inaktivt färgverk erhålls även en mer korrekt bedömning över hur konstruktionen hanterar krafterna som uppstår då en viktkälla som motsvarar färgen ligger i kistan tillsammans med kisthållarens egen vikt.

Primärlösningen monterades i angivna sprinthål för att analysera data som kunde samlas in vid stegvis viktförändring i kistan. Förändringen baserades på bortplockning av 41 identiska muttrar vars volym fyllde en tredjedel av kistan. Ackumulerad data användes därefter för att jämföra utslaget av samma test då lastcellen provisoriskt monterades direkt under kistan under samma mutterlast med hjälp av den provisoriskt tillverkade infästningen.

Resultatet från testrigger tillsammans med det inaktiva färgverket medförde att företaget godkände maskinbearbetad modifikation av kisthållaren under förutsättning att denna var användbar oavsett utfall. Modifikationen baserades på konceptet i 3.4.6.

Uppmätt resultat visade att en lastcell med högre kapacitet krävdes för att kunna avläsa mätvärdet. När ny monterades påbörjades en felsökning efter vad som kunde orsaka variationer i de avlästa värdena. För att finna orsaken uppmättes värden då kistan monterades fritt pålagd samt inspänd och delvis inspänd. Dessutom smordes denna in i fett i alla delar som var i kontakt med kisthållaren och inspänningskruvarna för att granska friktionens inverkan. Slutligen vändes lastcellens monteringsriktning för att undersöka hur denna betedde sig då mätdelen var i direkt kontakt med kistan.

### **3.8 Implementering**

Efter att den modifierade kisthållaren testats på ett inaktivt färgverk, monterades denna på ett färgverk kopplat till en motor. Denna motor drev samtliga valsar i låg hastighet vilket simulerade ett färgverk i långsamt driftförhållande. Genom valsarnas rotation möjliggjordes även den röda valsens periodiska rörelse, vilket utsatte kistpaketet för krafter likt de som uppstår under drift, dock med lägre frekvens.

### **3.9 Datainsamling**

Data över systemets prestanda under olika belastnings- och monteringsförhållanden samlades in vid diverse tillfällen efter att systemet monterats på maskinen. Data bestod dels av siffror men även i form av grafer, som båda erhöles ur Arduinos programvara.

## **4 Resultat**

Resultatet för denna rapport presenteras uppdelat i underrubriker för att underlätta läsningen. Resultatet baseras på litteraturstudier, resultat från handberäkningar, primärkoncept samt ackumulerad data från diverse positionstester och slutgiltig lösning.

## 4.1 Litteraturstudier

Under litteraturstudierna sammanställs erhållen informationen i form av för och nackdelar inom respektive granskad teknik.

### 4.1.1 Laser

Genom att implementera tekniken på färgverket skulle avståndet till färgen eventuellt kunna mätas kontinuerligt under specifika förhållanden då färgen är jämnt utbredd; vilket främst sker då färgen är lös. Detta skulle kunna ge en uppskattning av hur mycket färg som finns kvar vid en viss tidpunkt.

#### 4.1.1.1 Fördelar

- Mätningen kan potentiellt generera noggrant värde på hur mycket färg som finns kvar vid användning av lösare färgtyper.
- Ingen större fysisk förändring av färgverket behöver ske för montering.

#### 4.1.1.2 Nackdelar

- Färgstänk kan hindra lasern eller sensorn från att prestera vilket gör tekniken mycket sårbar.
- Våldsam hantering kan snedställa utrustningen
- Beroende på hur fin yta färgen har krävs olika sensorer för att korrekt läsa av värdet på avståndet. [A6]
- Vid användning av mjuka färger ligger inte färgen alltid utbredd jämnt över hela kistan vilket kan ge missvisande värden.
- Hårda färger kan inte alls avläsas då den kan dra sig ifrån den roterande valsen och orsakar brist på färg utan att ändra avstånd från lasern.

### 4.1.2 Ultraljud

Ultraljudsteknik skulle kunna implementeras genom att kontinuerligt mäta det ökande avståndet ljudvågorna måste avverka innan de reflekteras tillbaka och på så vis uppskatta färgnivån. Dock är tekniken relativt dyr vid köp från väletablerade företag.

#### 4.1.2.1 Fördelar

- Mätningen skulle potentiellt generera noggranna värden för lös färg.
- Ingen större fysisk förändring av färgverket behöver ske för montering.
- Beroende på utformning kan utrustningen självrengöra med hjälp av vibrationer [A3]
- Den höga ljudnivån i fabriken ska inte påverka resultatet [A7]

#### 4.1.2.2 Nackdelar

- Utrustningen kan snedställas vid våldsamt hantering.
- Om lokalt producerade ultraljud infinner sig i närheten av sensorn påverkas resultatet. [A7]
- Likt för laser kan problem uppstå vid användning av mjuka färger.
- Hårda färger drar sig tillbaka vilket tekniken troligen inte kan hantera.
- Företaget har haft dåliga erfarenheter med denna teknik i tidigare ex-jobb.
- En sensor kostar 200-400\$ eller mer.[A3]

#### 4.1.3 Viktavläsning

Kravet på att inte maskinbearbeta färgverket gör att fästen och håll längst ut på kisthållarens arm för befintliga sprintar bör användas som utgångspunkt. Viktmätning av specifika komponenter på färgverket skulle kunna generera en kontinuerlig skillnad i vikt som orsakas av minskning av färgmängd. Genom att använda lastceller för viktavläsning kan även kostnaden hållas nere vid val av rätt komponent.

##### 4.1.3.1 Fördelar

- Tillgängliga komponenter på marknaden är inte känsliga för färgstänk och kemiska angrepp i form av etanol.[A8][A9][C1]
- Erhåller en kontinuerlig förändring av uppmätta värden i takt med att färgvikten minskar.
- Bör fungera med alla färgtyper förutsatt att funktionen förändras beroende på hårdhet och viskositet.
- bör inte kunna snedställas.
- En lastcell kostar 15-70\$ beroende på kvalitet och antal. [C1]

#### 4.1.3.2 Nackdelar

- Fysisk förändring av färgverket måste ske för infästning
- Mätdata påverkas av vibrationer
- Konstruktionen kommer utsättas för en periodisk kraft som kan ha stor inverkan på mätdata.
- Kisthållarens vinkel mot marken påverkar kraften som överförs till konstruktionen.

## 4.2 Val av metod

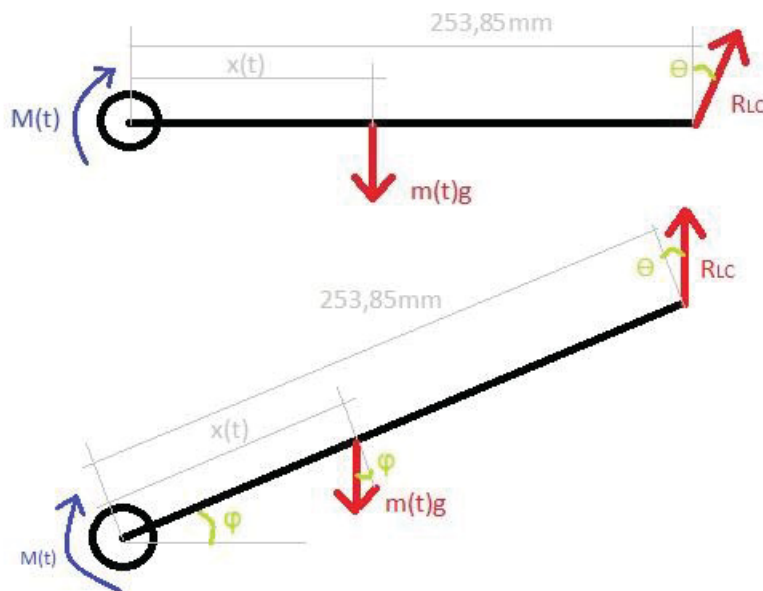
Genom att implementera resultatet från litteraturstudien i Pughs matris, vilket presenteras i tabell 1, tillsammans med ställda kriterier erhöles en poängsumma på varje metod.[B4] Detta resulterade i att viktavläsning valdes då dess summa var störst. Referensen som användes var färgverket utan någon utrustning för färguppskattning.

Tabell 1: Pughs Matris för bedömning av färguppskattningsmetod.

Kriterier	Referens	Viktning	Laser	Ultraljud	Viktavläsning
Känslig mot färgstänk	0	5	-2	2	2
Enkel montering	0	3	2	2	-1
Känslig mot snedställning	0	5	-2	-2	1
Klarar lös färg	0	5	1	2	2
Klarar medel/hård färg	0	4	-2	-1	1
Kostnad	0	2	-1	-2	1
Känslig mot vibrationer	0	4	-1	2	-2
Antal +			2	4	5
Antal -			5	3	2
Summa			-5	3	4
<b>Viktad summa</b>			<b>-23</b>	<b>16</b>	<b>20</b>

### 4.3 Handberäkningar

Handberäkningar utfördes dels med med hänsynhållfasthetslära, men även för att finna en funktion över hur krafter och moment på färgverket bör bete sig. I figur 17 är en del av färgverket simplifierat. Cirkeln till vänster representerar insugsvalsens vilken belastas periodiskt då den röda överföringsvalsens kommer i kontakt, vilket orsakar ett tidsberoende moment  $M(t)$ . Kraften  $R_{LC}$  till höger är kraften som uppstår i sprinthålet och överförs till lastcellen då primärlösningen monteras i hålet. Eftersom två sprintar existerar används  $2R_{LC}$  vid friläggning. Vinkeln  $\theta$  beror på att primärlösningen flyttar sprinten till ett hål på färgverkets väggar som är ett steg under kisthållaren.



Figur 17: Krafter som verkar på kisthållaren med insugsvalsens till vänster, kistans och hållarens tyngdpunkt i mitten och sprinten till höger.

Kraften som uppstår från kistans och hållarens egenvikter varierar beroende på hur stor massa paketet har. Eftersom massan minskar då färgmängden minskar blir massan  $m(t)$  och därmed kraften tidsberoende. Färgmängden har även en inverkan på paketets tyngdpunkt  $x(t)$ , vilket gör även denna storhet



tidsberoende. Slutligen, i de fall då kishållaren inte är parallell med golvet uppstår en vinkel  $\varphi$  vilket även har en inverkan på tyngdpunktskraften.

Genom att utföra en friläggning av krafter och moment erhålls nedanstående ekvation som beskriver hur sprintkraften  $R_{LC}$  påverkas. Notera att  $\cos(\varphi) = 1$  då kishållaren är parallell med golvet ( $\varphi = 0$ ).

$$R_{LC}(t) = \frac{M(t) + m(t) \cdot g \cdot x(t) \cdot \cos(\varphi)}{2 \cdot 0,25385 \cdot \cos(\theta)}$$

Vinkeln  $\theta$  beräknades trigonometriskt vara cirka  $8,9^\circ$  och genom att använda Steiners sats på kistan och dess hållare beräknades en ungefärlig tyngdpunkt  $x(t)$  till 114 mm från insugsvalsens centrum. Genom att mata in en uppskattad vikt på runt 20 kg i ovanstående ekvation påvisades att förändring av sprintkrafter bör ske men att dessa lär vara mycket låga på grund av hävarmen som uppstår.

I figur 18 presenteras en inskannad sida med handberäkningar som utförts för primärlösningen. Resultatet som räknats ut är understruket med rött och som tydligt syns är spänningarna låga, vilket medför att konstruktionen troligen skulle hålla för belastning i positionen. Beräknade normal- och skjuvspänningar presenteras även i tabell 2. Trots att kishållaren vägdes med en bagagevåg till totalt ungefär 10kg ute vid sprinthålen användes 20kg total vikt för kistpaketet då detta värde var ett uppskattat värde från verkstadsarbetarna. I figuren finns även en skalenlig storlek för primärlösningen, vilket användes för att granska och illustrera dess storlek innan tillverkning.

I beräkningarna användes villkoret att kraften som tas upp i sprintfästet på kishållaren passerar genom hela konstruktionen ner till den nya sprinten.

Tabell 2: Normal- och skjuvspänningar som handberäknats med avseende på figur 18.

Sektion	Skjuvspänning $\tau$ (MPa)	Normalspänning $\sigma$ (MPa)	Böjnormalspänning $\sigma_b$ (MPa)
1	0,226	0	0
2	0,192	5	0
3	0	0,422	0
4	0,328	0	3,8

$x(t) \approx 0,114\text{ m}$

$L_1 = 29,5\text{ mm}$  ,  $L_2 = 5,7\text{ mm}$  ,  $L_3 = 20,7\text{ mm}$

$\alpha = 8,9^\circ$   
 $\delta = \text{vinkel mot golvet}$   
 $M(t) = m \cdot x \cdot \cos t$   
 $E = 70\text{ GPa}$

0 ger  
max värde  
då  $\cos 0 = 1$

$R_{LC} = \frac{m(t) \cdot x(t) \cdot g \cdot \cos \delta}{2 \cdot 0,25385 \cdot \cos \alpha} \approx (50\text{ N}) = q_1 \cdot L_1 = q_1 \cdot 0,0295 \approx 95\text{ N} \Rightarrow q_1 = 3206\text{ N/m}$

$F_1 = Q_1 \approx 95\text{ N}$

①  $A_1 = \frac{0,019^2 \pi}{4}$        $\tau_1 = \frac{F_1}{A_1} = 226\text{ kPa}$   
 $T_1 = q_1 \cdot 0,02 = 64,1\text{ N}$

②  $A_2 = \frac{0,0142^2 \pi}{4}$        $\tau_2 = \frac{F_2}{A_2} = 192\text{ kPa}$   
 $T_2 = q_1 \cdot 0,0095 = 30,5\text{ N}$

Fiktiv Böjnormspänning vid A:  $M_1 = Q_1 \cdot 0,01425$        $\sigma_{\text{baj}} = \frac{M}{W} \approx 5\text{ MPa}$   
 $W = \frac{\pi \cdot 0,0142^3}{32}$   
(räknar i B2 med samma tvärsnitt som 2)

③  $F_3 = F_1 = Q_1 = 95\text{ N}$   
 $\sigma = \frac{F_1}{0,015} = 422\text{ kPa}$   
 spänning brevid haken:  
 $\sigma = \frac{F_1}{0,015 \cdot (0,015 - 0,008376)} \approx 954\text{ kPa}$   
 hållfasthetsstryck:  
 $\sigma_{\text{håll}} = \frac{F_1}{0,015 - 0,008376} = 756\text{ kPa}$

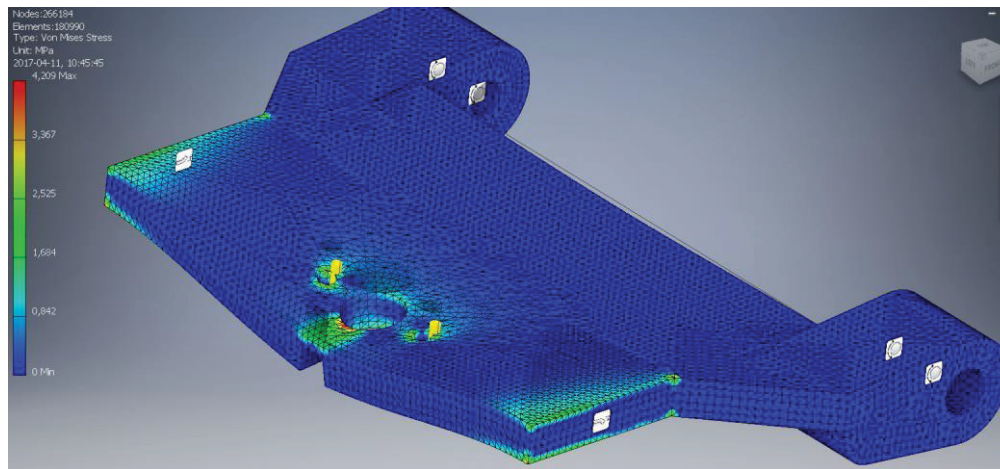
④  $T_4 = F_3 = 95\text{ N}$   
 $A_4 = 0,015 \cdot 0,0075 + \frac{0,005^2 \pi}{4}$   
 $\tau_4 = \frac{T_4}{A_4} = 328\text{ kPa}$   
 $W_4 = \frac{I}{0,0075} = 0,0075 \left( \frac{3}{16} \right) = 4,927 \cdot 10^{-7}\text{ m}^3$   
 $M_4 = F_1 \cdot 19,8 \cdot 10^{-3} = 1,881\text{ Nm}$   
 $\sigma_{\text{baj}} = \frac{M_4}{W_4} = 3,8\text{ MPa}$

$y_{cp} = \frac{A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2}{A_1 + A_2} = 0,0068\text{ m}$   
 $I_1 = \frac{0,015^3 \cdot 0,0075^3}{12}$   
 $I_2 = 0,11 \cdot 0,0075^3$   
 $I = I_1 + A_1 \cdot (x_1 - y_{cp})^2 + I_2 + A_2 \cdot (x_2 - y_{cp})^2 = 3,25 \cdot 10^{-8}\text{ m}^4$

Figur 18: Hållfasthetsberäkningar på primärlösningen med resultat markerat i rött. Även en skalenlig figur av primärlösningen.

## 4.4 FEM-beräkningar

För att säkerställa att kishållaren inte skulle gå sönder vid belastning av en överbelastad kista belastades  $2 \times 150 \text{ N}$  i M8-skruvhål. Dessa tar upp all kraft lastcellen trycker ned med då den är belastad vilket ställer krav på att kishållaren inte skulle brista av belastningen. Eftersom resultatet i figur 19 påvisar runt  $4.2 \text{ MPa}$  bedömdes dess hållfasthet vara tillräckligt god för att bearbetningen skulle kunna anses som säker.



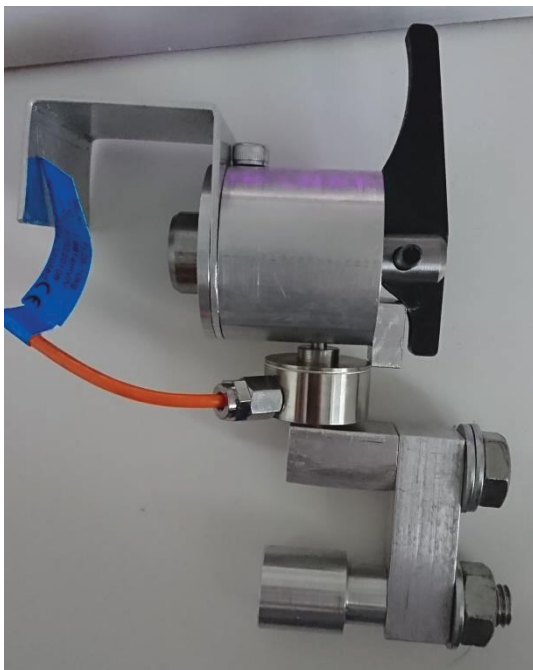
Figur 19: FEM analys av kishållaren vid belastning av  $2 \times 150 \text{ N}$  i M8-hålen.

## 4.5 Primärlösning

Projektets primärlösning består av en fysisk konstruktion som upptar viktdata från en lastcell, vilket hanteras av ett elektroniskt system uppbyggt av Arduino uno R3 inpackat i ett 3D-utskrivet skal. Dessa presenteras separat med avsikt att underlätta för läsaren.

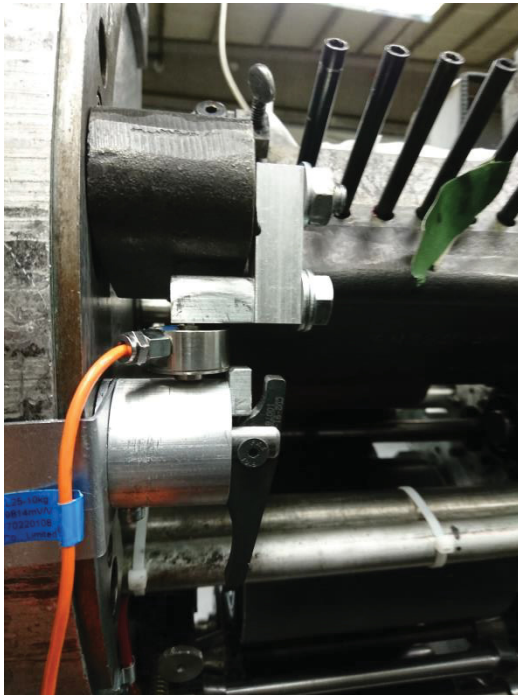
### 4.5.1 Tillverkad konstruktion

Primärlösningen tillverkades enligt mått erhållna ur ritningar som skapats med utgångspunkt i modellen i figur 10. Konstruktionen presenteras i figur 20 och komponenterna krävde ingen nämnvärd modifikation för att passa vid montering. Däremot missades att ta hänsyn till antalet varv på gängorna vilket medförde att sprinthuset var felriktat relativt kroppen vid inspönt läge. Genom att använda låsvätska för lastcellens gängor kunde dessa låsas i korrekt position vilket eliminerade denna problematik.



*Figur 20: Tillverkad primärlösning med aluminiumhake monterad*

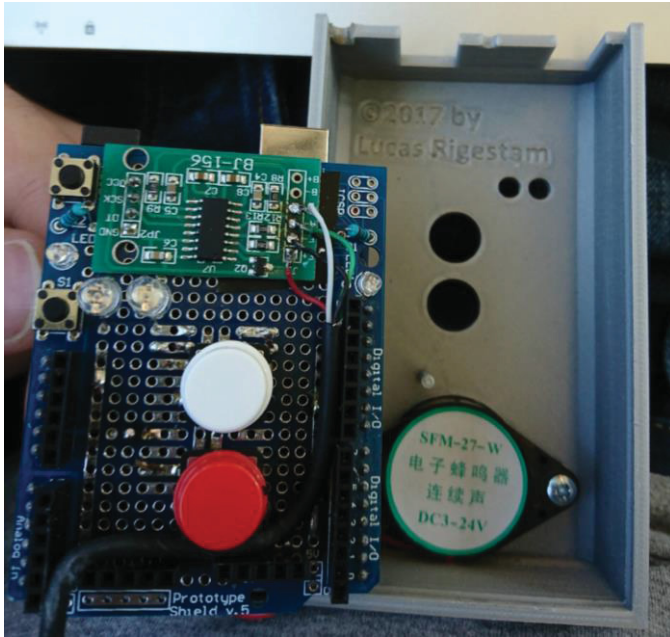
Konstruktionen monterades på färgverket i ett av de befintliga sprinhålen för att testa hur systemet fungerade vid belastning av vikter i kistan. Att montera i sprinhålen var smärtfritt men haken visade sig ha blivit aningen felböckad. Detta resulterade i att den inte hakade fast i färgverket korrekt och därmed böjdes på grund av fjäderkraften som sprinten överförde till konstruktionen. I figur 21 är konstruktionen monterad på färgverket var det syns att haken är aningen sned, vilket uppstod vid den forcerade montering som krävdes på grund av felböckningen.



*Figur 21: Tillverkad primärlösning monterad på färgverket*

#### **4.5.2 Elektroniskt system**

Det elektroniska systemet skapades initialt genom att fästa komponenter temporärt på ett brödkort för enkel modifikation vid behov. Då systemet bevisats fungera som tänkt monterades komponenterna direkt på prototypskölden som var fäst i Arduinokortet. För att säkra kopplingarna och spara plats i kortets slutliga skal gömdes kablage och kopplingar mellan komponenterna på prototypsköldens undersida.



Figur 22: Systemets Arduinokort med dolda kablar och HX711 monterad.

I figur 22 visas systemets elektronik tillsammans med skyddshöljet/skalet. Vid utskrift av skalet passade elektroniken men mindre modifikation av skalet utfördes för att förbättra monteringen genom bättre passform. Framförallt täljdes kanterna på locket för att glida bättre, samtidigt som lödpenna användes för att värma en urgröpt kabelutgång bredvid arduinokortet. Detta utfördes för att undvika slitage på kabel och skal, vilket skulle uppstå av snävt utrymme mellan kortets baksida och locket.

För att illustrera hur systemet beter sig i drift används fingerkraft med minskande tryck på sensorn, vilket är tänkt att motsvara minskande färgmängd i kistan. För att operatörerna inte ska råka spara värden av misstag måste knapparna som säkerhetsåtgärd hållas inne ett fåtal sekunder i samband med en nedräkning innan knappens designerade kod startas. Under nedräkningen lyser dioderna blått och övergår i grönt då koden startats eller röd om knappen släppts för tidigt.





*Figur 23: Gröna dioder indikerar en kvarvarande vikt mellan 100% och 50% av pålagd vikt.*

Systemet initieras genom att den röda knappen *Tom* hålls inne då kistan är tom och rengjord för att spara värde på hur mycket denna väger utan färg. Därefter fylls färg på och den vita knappen *Fylld* hålls inne för att spara värde på hur mycket kistan väger tillsammans med färgen.

Efter att båda värden erhållits påbörjas matematisk behandling av kontinuerligt avläst medelvärde tillsammans med de sparade värdena för att erhålla en kvot som avspeglas med dioderna beroende på kvarvarande vikt relativt påfylld vikt. Tanken är, som visas i figur 23, att dioderna skiner grönt då kistans avlästa vikt är mellan 100% och 50% av den pålagda vikten.



*Figur 24: Gula dioder indikerar en kvarande vikt mellan 50% och 30% av pålagd vikt.*

Då kistans avlästa vikt sjunkit till ett värde mellan 50% och 30% skiner dioderna gult likt figur 24 vilket indikerar att operatörerna bör öka sin uppsikt över färgverket.



*Figur 25: Röda dioder indikerar en kvarvarande vikt mellan 30% och 20% av pålagd vikt.*

När den kvarvarande avlästa vikten uppnår mellan 30% och 20% lyser dioderna rött likt figur 25 varpå dessa börjar blinka långsamt tillsammans med



buzzer-larmet då andelen når 20% till 10%. Under 10% ökar frekvensen på blinkandet och larmet.

Det hörbara larmet låter som en brandvarnare men var alldeles för svagt för att fungera på tänkt vis inne i produktionen då ljudnivån i hallen är extrem och kräver hörselskydd.

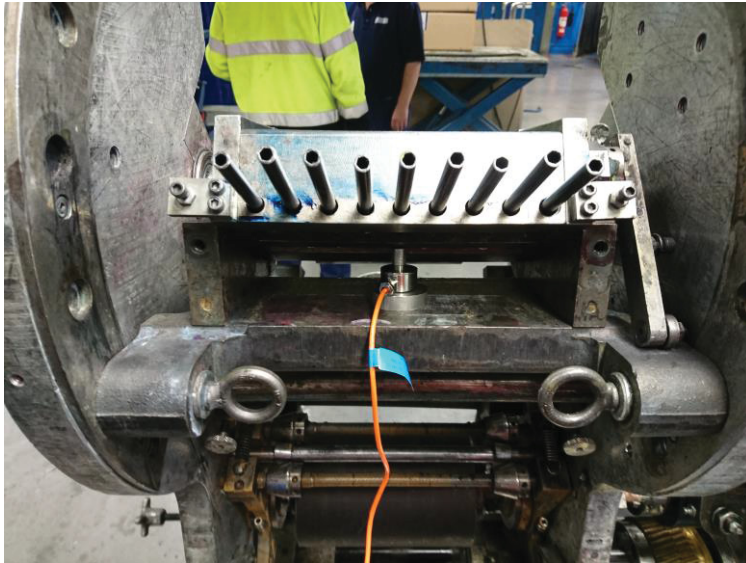
#### 4.6 Provisorisk infästning under kista

Den provisoriska monteringsanordningen i figur 26 tillverkades med modellen och dess tillhörande mått i figur 12 som utgångspunkt. Botten valdes i stor diameter för att säkra stabiliteten medan toppen tillverkades med smal diameter för att kunna montera lastcellen mot kistans botten på ett relativt tillförlitligt vis enligt figur 27.



*Figur 26: Tillverkad monteringsanordning för provisoriskt test av lastcell under färgkistan.*

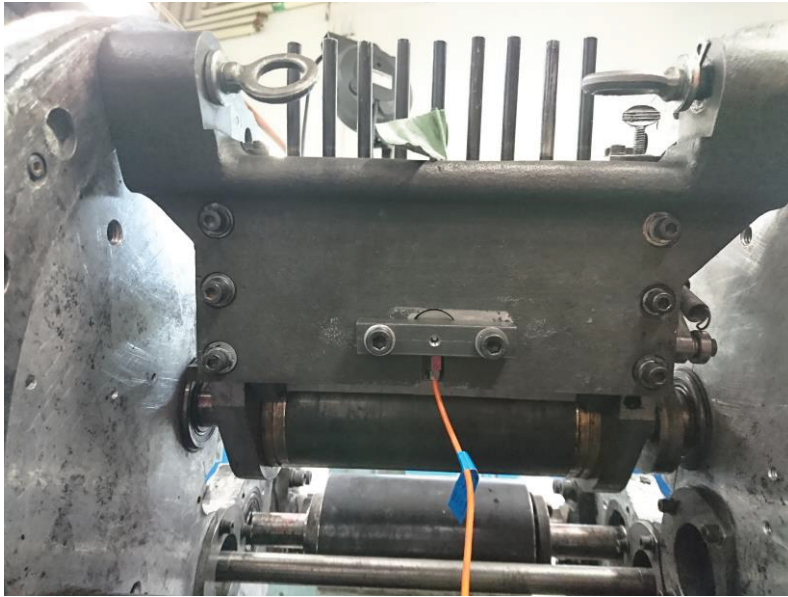
Vid val av stor övre diameter skulle vinkelskillnaden mellan ytorna öka och kraften hade blivit felplicerad och därmed utsatt lastcellen för böjning och icke-axiella krafter vilket skulle ge missvisande värden.



*Figur 27: Test av lastcell under kista med provisorisk monteringsanordning.*

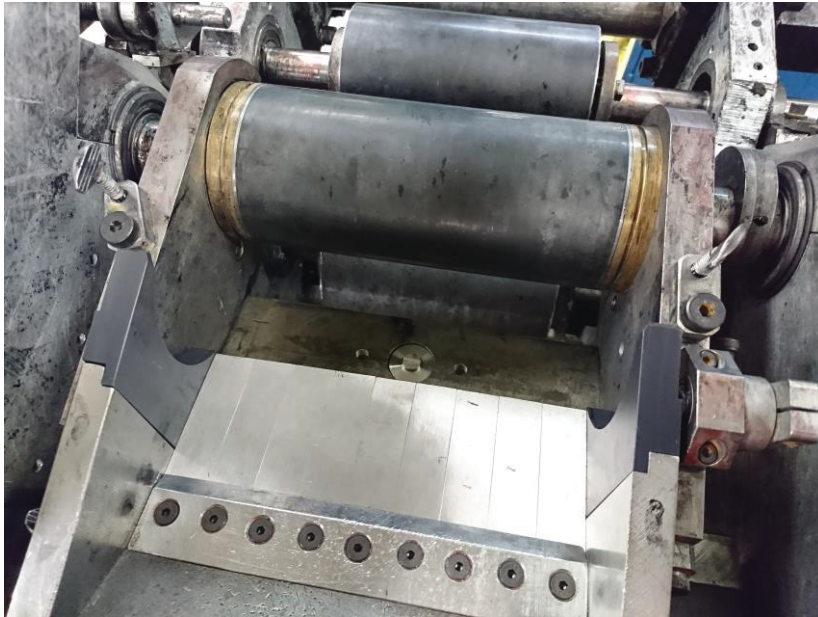
#### **4.7 Maskinbearbetad infästning under kista**

Efter att ha undersökt hur systemet beter sig då lastcellen monteras direkt under kistan togs ett permanent monteringsförslag fram enligt figur 13 och 14 vilket involverade maskinbearbetning av kishållaren. Detta förslag analyserades genom FEM, vilket medförde att spåret inte skar genom hela kishållaren. Bearbetningen medförde att lastcellen integrerades i hållarens botten och fästes i en stålstav på dess undersida, vilket kan ses i figur 28.



*Figur 28: Maskinbearbetad Kisthållare med 10kg lastcell monterad i stålstav.*

För att kistan skulle vila på en plan yta sågades lastcellens övre skruv av. Tanken bakom detta var att kistan enbart skulle vila på lastcellen samtidigt som att denna endast höjdes upp en-två millimeter för att inte påverka dess funktion, vilket tydligt ses i figur 29 nedan, där kistan är utdragen för att tydligare visa lastcellens position.



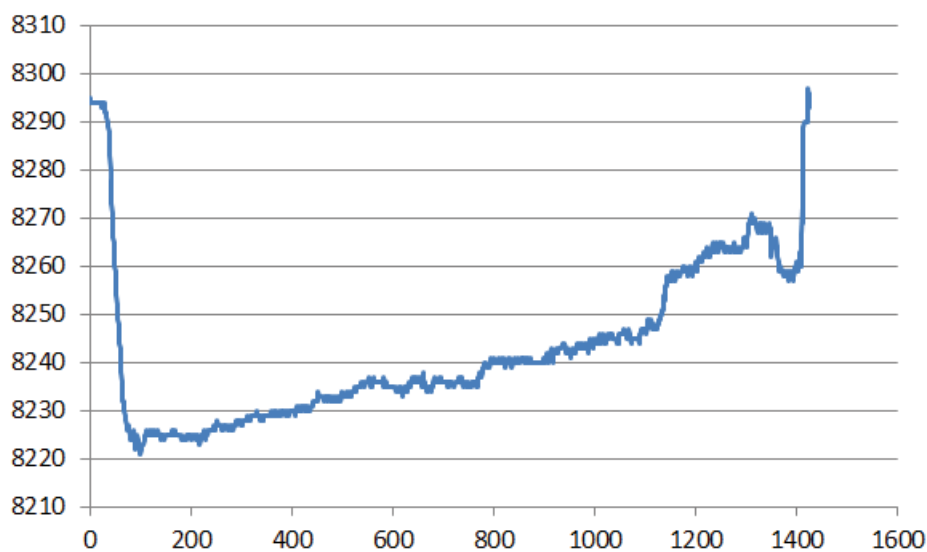
*Figur 29: Lastcell monterad på kisthållaren med kistan utplockad.*

## **4.8 Ackumulerad data**

Erhållen data från systemet vid olika monteringsförhållanden presenteras i respektive underrubrik för att öka jämförelsebarheten. Vid samtliga belastningstillfällen då muttrar användes för att simulera färg, användes 41 identiska muttrar för att ha en referensvikt vid jämförelse mellan olika monteringsmetoder.

### **4.8.1 Stegvis och kontinuerlig viktförändring**

Parallellt med tillverkning av primärlösningen fästes lastcellerna i testriggar för att erhålla en utgångspunkt för programmeringen samt granska hur elektroniken beter sig vid olika typer av belastning. Då jämntunga vikter stegvis plockades bort, säkerställdes att systemet rapporterade korrekt andel som fanns kvar av ursprungsvikten. Kontinuerlig minskning av vikt med hjälp av rinnande vatten från en behållare med hål medförde att återstående andel långsamt sjönk i takt med att vattennivån, vilket kan ses i figur 30.



Figur 30: Kontinuerlig viktninskning med hjälp av vatten.

I ovanstående figur visas avläst värde från lastcellen på y-axeln med fyra värdesiffror och antal uppmätta värden på x-axeln. I början av kurvan fylls vatten på vilket resulterar i ett sjunkande värde och allteftersom vattnet rinner bort ökar värdet. Vid 1100 på x-axeln krävde vattenbehållaren en lutning för att kunna släppa igenom vatten – vilket orsakar missvisande värden. Vid 1400 avlastas lastcellen igen vilket resulterar i ett stort hopp.

Dessa tester bevisade att systemets funktion var korrekt och borde fungera med en kontinuerlig viktninskning som orsakas av den minskande färgmängden, samtidigt som den rapporterade andelen är korrekt.

#### 4.8.2 Primärlösning

Då lastcellen var fäst genom primärlösningen i existerande sprinthål på kisthållaren, utfördes test för att imitera att färg lagts i kistan. Detta test visade att systemet med stor sannolikhet kunde fungera på färgverket då dess uppvisade resultat var ekvivalent det som syntes vid programmeringen av systemet. De uppmätta värdena när muttrar lastades i kistan var däremot små (50000 enheter) och ett utslag av samma magnitud kunde erhållas genom att applicera ett mycket lätt tryck med fingret vid sprinthålet på kisthållaren.

Utfallet av testet gjorde att funktionaliteten säkerställdes och att systemets potentiella kompatibilitet med färgverket bevisades. På grund av att de överförda krafterna gav svagt utslag, var slutsatsen att systemet inte lär fungera i produktionen om infästningen sker i sprinthålen eftersom utslaget från vibrationer samt periodiska krafter troligen kommer vara väldigt stora i jämförelse. Detta skulle potentiellt kunna störa systemet mer än vid montering i andra positioner.

### **4.8.3 Under kista utan bearbetning**

Systemets funktion bevisades fungera som tänkt och visade god potential att fungera med färgverket under förutsättning att lastcellen monterats på en annan position. Av denna anledning skapades en simpel infästning som möjliggjorde uppmätning av tryckbelastad vikt på valfri position med plant underlag.

När infästningen monterades direkt under färgkistan, ökades dess vinkel relativt kisthållaren markant. Den påvisade trots detta att utslaget från muttrarna var tre gånger så stort som vid montering av lastcellen i primärlösningen, vilket motsvarade 150000 enheter. På grund av kistans stora relativa vinkel tillsammans med dess montering mot insugsvalsen (6 i figur 2) påverkades troligen den totala uppmätta vikten på färgkistan. Detta beror på att lastcellen främst påverkades av kraftkomponenten som löper axiellt.

Även om en lastcell monterad direkt under kistan fortfarande skulle utsättas för den periodiska kraften, medför ett större utslag att systemet har ökad möjlighet att urskilja viktförändring på grund av färgminskning.

### **4.8.4 Under kista med bearbetning, 10 kg lastcell**

Vid montering direkt under kistan med hjälp av en 10 kg lastcell erhöles ytterst stort och märkligt utslag i form av att det avlästa värdet sjönk till ungefär 1.2 miljoner enheter. Dessutom avläste lastcellen inget utslag då muttrar lastats i kistan, trots att denna vanligtvis gav utslag vid beröring. Det krävdes mycket stor kraftpåslag för att orsaka märkbara utslag medan små avlastande justeringar resulterade i kraftiga förändringar i utslaget.

Eftersom det tydligt kunde ses att kistans botten endast vilade på lastcellen uteslöts möjligheten att oönskade stöd tog upp krafterna som uppstod då kistan belastades ytterligare med muttrar eller kraftpåslag.

Vidare testades hur lastcellen reagerade då fingerskruvarna var ospända, men trots minskad belastning förblev de uppmätta värdena missvisande och underliga.

#### 4.8.5 Överbelastningstest

För att kunna avgöra vad de underliga värdena representerade, utfördes ett överbelastningstest. Målet var att se vilken tyngd som krävdes för att erhålla snarlika värden. Genom att använda en personvåg för att stegvis mäta vikten av en stor behållare som vattenfylldes, och sedan notera Arduinos avlästa värde i nedanstående tabell fastslogs att lastcellen överbelastades i positionen direkt under kistan. Detta betydde att en lastcell med högre kapacitet krävdes för att kunna tyda värdena som uppstår vid belastning i denna position.

*Tabell 3: Överbelastningstest av 10kg lastcellen.*

Värde	Vikt (kg)
3870000	11.1
3530000	12.1
1870000	16.1

#### 4.8.6 Under kista med bearbetning, 50 kg lastcell

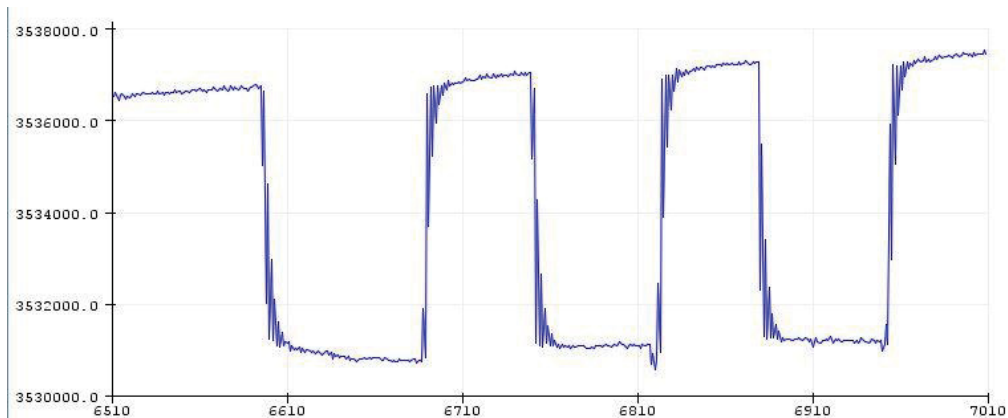
Genom att byta ut lastcellen med kapacitet på 10 kg till samma modell med 50 kg visades tydlig skillnad i uppmätta värden då denna positionerades under kistan. I de flesta fall återgick däremot inte det avlästa värdet till sitt ursprungliga värde då muttrar lastades och avlastades. I figur 31 lastades en fritt pålagd kista med 41 muttrar strax innan 3214 på x-axeln varpå dessa lastades av vid 3463. Att värdet inte återgår till sitt ursprungliga värde vid avlastning skedde både då kistan var fritt pålagd, men även då den var inspänd i samtliga kombinationer på inspänningskruvarna.





*Figur 31: Avlästa värden då fritt pålagd kista lastas och avlastas med muttrar*

Eftersom detta medför enorm värdeosäkerhet undersöktes faktorer som kunde orsaka felet. Då kistan monteras uppstår friktion mellan kistan och kisthållaren samt inspänningsskruvarna. Denna friktion misstänktes vara en möjlig orsak till att värdet inte återgår till sitt ursprungliga obelastade värde genom att den potentiellt hindrar kistans tillbakarörelse. Kistan smordes därför in med fett på alla kontaktytor bortsett från undertill. Lastcellens rapporterade värden undersöktes vid likartad belastning av muttrar då kistan var såväl fri som helt och delvis inspänd. I nedanstående figur 32 var kistan helt inspänd och lastades samt avlastades tre gånger; där varje dipp representerar pålagd belastning.



*Figur 32: helt inspänd och insmord kista som belastats och avlastats tre gånger.*

I figur 32 syns att de avlästa värdena driftar, vilket det även gjorde i figur 31. Däremot kan fetthinnan ha underlättat kistans rörelser i behållaren något men

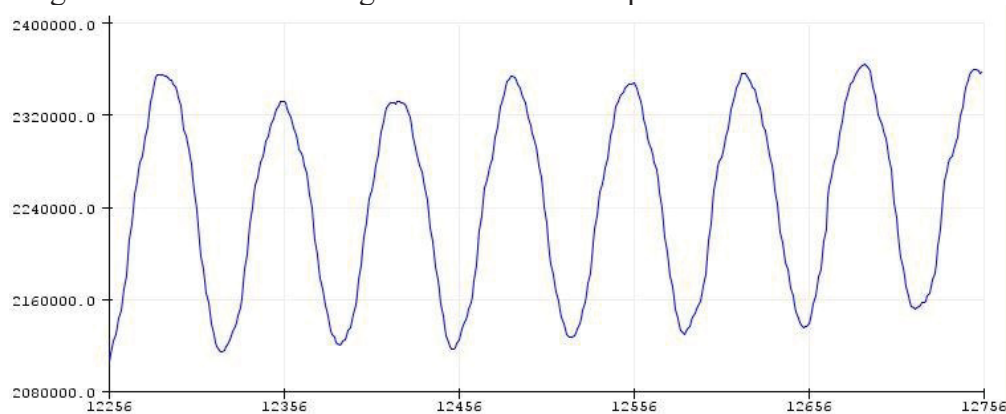


var inte en avgörande faktor eftersom värdet fortfarande tenderade att inte återgå till korrekt värde. Detta påvisas i figur 33 vilket motsvarar då kistan var insmord och inspänd framifrån. Den var ursprungligen lastad varpå avlastning skedde fyra gånger – vilket syns genom ökande värde. Det avlästa värdet i grafen driftade och uppvisade aldrig samma belastningsskillnad trots att samma vikt använts.



Figur 33: Inspänd framifrån och insmord kista som avlastats fyra gånger.

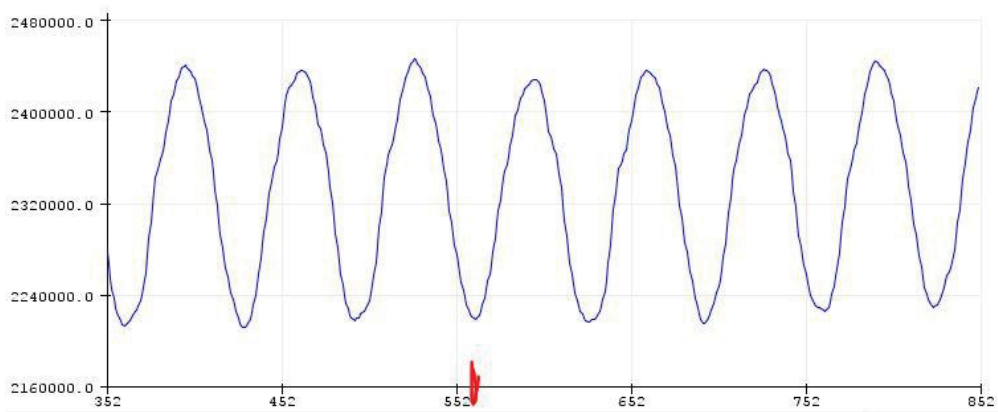
När färgverket kopplades till en testmotor med lågt varvtal uppvisades värden som överensstämde med momentanvärdet i den hypotetiska arbetsgången. I figur 34 var kistan inspänd men obelastad och visade tydliga tendenser av oregelbundna och driftande värden. Eftersom värdena var mycket oregelbundna blev hantering av dessa extra komplicerat.



Figur 34: Inspänd och obelastad kista på färgverk drivet av testmotor.

På grund av driftande värden, tillsammans med ovan nämnda icke regelbundna värdeförändringar, rörde sig kurvan däremot inte i höjdlid lika

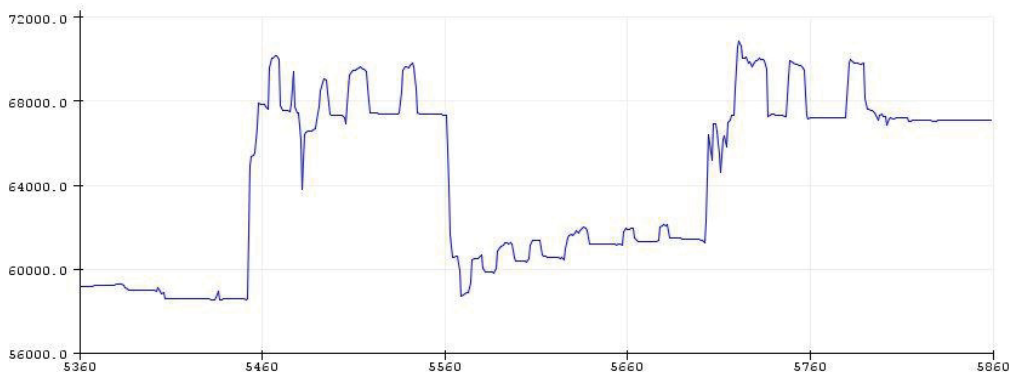
brant som förutspått. I figur 35 är kistan monterad under samma förhållanden med skillnaden att den även är lastad med 41 muttrar som plockades bort en och en, med start vid röda markeringen. Dessa orsakar en höjdläsförändring i kurvan, men utslaget är förhållandevis litet jämfört med resterande kurva. Att utslaget är litet kan mycket väl – som tidigare nämnt- bero på friktion och oregelbundenhet.



*Figur 35: Inspänd lastad kista med stegvis avlastning med start i röd markering. Kistan är monterad på färgverk drivet av testmotor.*

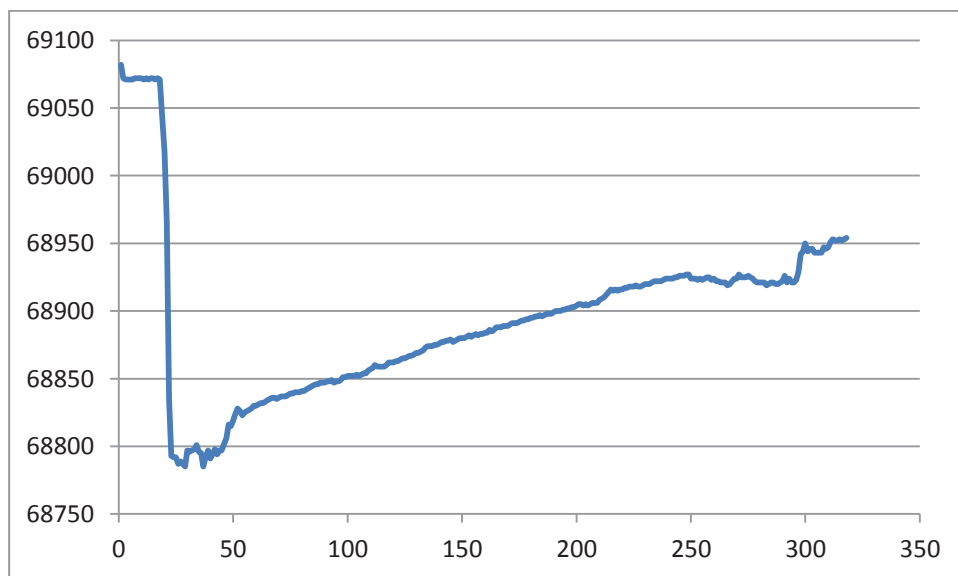
Slutligen, genom att minska antalet värdesiffror till fem istället för sju minskade driftandet drastiskt men eliminerades inte helt. Att använda fyra siffror minskade brusets ytterligare, dock orsakade den i gengäld en ryckigare kurva, likt figur 30.

Friktion misstänktes påverka lastcellens rörelse vid belastning i den modifierade kisthållaren genom att kraften från kistan tvingar lastcellen mot omkringliggande väggar. Denna tvingande rörelse skulle kunna medföra att lastcellen fastnar och på så vis inte har möjlighet att regelbundet nå samma lastade eller avlastade värde. Genom att vända lastcellen upp och ned för att lastcellens mätcell skulle ligga i direkt kontakt med kistan tycks ha resulterat i förbättrad – men inte fullständig – regelbundenhet. I figur 36 avlastas och lastas en inspänd kista med en vattenfylld kateterpåse ett antal gånger, vilket visar sig genom frekventa delvis rektangulära värdeförändringar. Värdeökning motsvarar avlastning och vid minskning, lastning. De två lägre värdeplåtarna avser då kistan var inspänd framifrån och de övre avser då denna låg fritt på lastcellen.

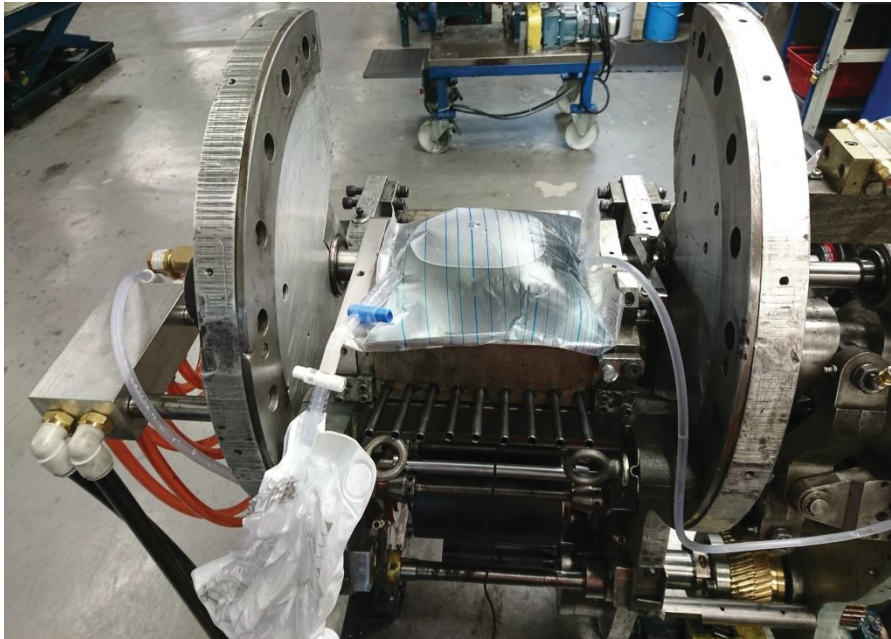


*Figur 36: Lastning och avlastning med vattenfylld kateterpåse. Vid de lägre värdeplåtarna är kistan inspänd framifrån och de vid de högre är den fri.*

I figur 37 lastades samma kateterpåse på kistan, vilket motsvarar dippen, varpå dess slusslucka öppnades och tömde omkring hälften av sin vattenmängd till en annan behållare, vilket syns i figur 38. Mottagande behållare var däremot inte monterad vid överföring utan hölls vid sidan av färgverket för att inte påverka mätdatan. Då ungefär hälften av vattnet var tömt kunde vattnet inte överföras från kateterpåsen eftersom vattennivån hamnade under kanten på kistan, vilket minskade flödes hastigheten för att slutligen förhindra uttömning.

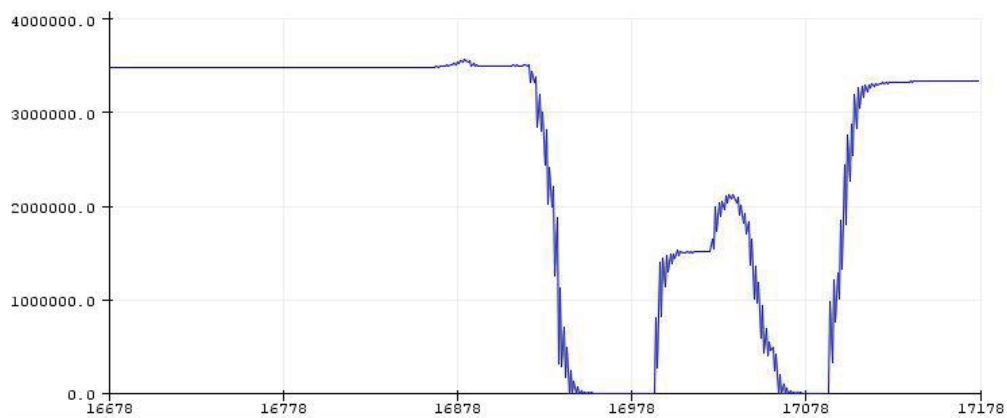


*Figur 37: Helt inspänd kista med vattenfylld kateterpåse som lastats på och tömdes till lite över hälften*



*Figur 38: Vattenfylld kateterpåse lastad i kistan med en uppsamlingspåse synlig, ej i kontakt med kistan under testutförande.*

När en av skruvarna som varierar färgmängden skruvades in helt för att stänga av flödet i en punkt ökade den avlästa kraften så oproportionerligt mycket att det avlästa värdet blev 0, enligt figur 39. Detta skulle mest troligt skapa betydande problem inne i produktionen då den sammanlagda kraften från flera skruvar eventuellt skulle kunna uppnå samma värde.



*Figur 39: Insmord och helt inspänd kista där färgskruvarna justerades maximalt två gånger.*

En del av de grafer som skapades under diverse belastningsförhållanden presenteras i bilaga 2 tillsammans med beskrivande figurtext.

#### **4.8.7 Under kista i produktionen**

Eftersom värdena som erhöles vid montering direkt under kistan inte var regelbundna, blev hantering av dessa värden väldigt komplicerat. Detta påverkade projektet negativt eftersom tid inte fanns för att vidareutveckla konceptet. Av denna anledning saknades underlag att implementera systemet i produktionen då det mest troligt inte skulle ge några tillfredsställande resultat.

### **4.9 Total kostnad för projektet**

Den totala kostnaden för projektet uppnådde strax över 8400 SEK där ungefär 4100 SEK utgjorde material-, tull- och fraktkostnader och resten resekostnader, varav två månaders periodkort till en totalkostnad av 3150 SEK.

## 5 Diskussion

### 5.1 Tidsåtgång

Trots att examensarbetet officiellt påbörjades den 16 januari, påbörjades arbetet mer än en månad i förväg då idén och problemställningen uppenbarade sig relativt tidigt och entusiasmen var hög att påbörja så fort som möjligt. Idén gillades av såväl företag som handledare på skolan vilket medförde att motivationen till att fortsätta arbetet samt moralen var hög med stora förhoppningar om utfallet.

Det upptäcktes tidigt att företaget tog osedvanligt lång tid att fatta beslut. Det tydligaste exemplet var beslut om att arbetet skulle få påbörjas, som drog ut på tiden i en månad, för att sedan resultera i ett nej en vecka innan planerad projektstart. Givetvis godtogs inte detta nej på grund av hur nära kursstart denna information meddelades samt hur långt arbetet hade fortskridit. Efter lång tid av ovisshet ändrades inställningen lyckligtvis till att arbetet skulle fortsätta. Enligt företaget berodde den initiala negativa inställningen på att företaget befann och befinner sig i en omorganiseringsfas, vilket medförde att de inte kunde utsätta en riktig handledare.

Ett flertal gånger under projektets gång söktes feedback och svar på frågor samt önskemål om tagning av mått. Återkopplingen var i de flesta fall användbar, men dessvärre höll kommunikationen inte önskad nivå eftersom svarstiderna – främst vid beslutsfattande frågor – var oväntat långa. Det återkommande väntandet på besked orsakade en hel del förskjutningar i planeringen vilket skulle kunnat undvikas ifall företaget varit snabbare vid beslut och återkoppling.

Totalt bedrevs projektet under 74 separata dagar, där arbetet pågick under större delen av dygnet samt även på helger för att säkra framdriften. Under projektet fördes loggbok, vilket möjliggör detaljerad uppföljning av arbetets gång. Mängden arbete som lagts ner på projektet anses vara som minst i fas med den tilldelade mängden timmar genom kursens 18 högskolepoäng. Projektet har varit utmanande och det är beklagligt att mer tid inte kunde läggas än den planerade då andra kurser upptagit tid

## 5.2 Val av metod

Valet grundade sig främst i att litteraturstudien resulterat i ett antal för- och nackdelar som implementerats i Pughs matris (tabell 1). Poängsättningen pekade ut viktavläsningstekniken som lämpligast, men även att ultraljudstekniken potentiellt skulle kunna fungera. Om infästningen gjordes stel nog och monterades på ett lämpligt sätt för att motstå snedställning, skulle denna möjligen klara av lös färg. Mjukare färger skulle potentiellt kunna orsaka felrapporterade värden då dessa tenderar att ligga och självblandas i kistan och därmed inte alltid skapar jämn yta för avläsning. Hårdare färger däremot skulle troligen vara ett stort problem eftersom dessa drar sig tillbaka. Om glipan mellan valsen och färgen var tillräckligt bred skulle ultraljud potentiellt klara av att mäta detta. Bredden är däremot inte tillförlitlig då den varierar beroende på färg och hårdhet.

Den hypotetiska sinusformade arbetsgången för lastcellen ansågs vara potentiellt möjligt att arbeta utifrån då ett system för hantering av data togs fram som troligtvis skulle kunna bortse från den periodiska kraften och vibrationerna som överförs från maskinen. Systemet ansågs även vara möjligt att anpassas för att kunna användas med samtliga typer av färg fast med olika syften då dessa beter sig olika. Eftersom viktförändring från minskande färgmängd uppstår även vid tjockare färger, skulle systemet kunna modifieras för att skifta färg vid mindre förändring än för lös färg. Detta torde främst laser, men troligen även ultraljud ha stora problem med då förändringen i höjddled skulle minska fort eftersom färgen stelnar och därmed skulle mätutrustningen inte ge utslag. Ett system som endast klarade av en viss färgtyp vore mycket begränsande med få användningsmöjligheter.

Konstruktionsmässigt ansågs även laser och ultraljud som mer utsatta då dessa vore tvungna att placeras ovanför färgkistan i ett område med mycket driftaktivitet och det föreligger därmed stor risk för att dessa påverkas fysiskt av såväl färgstänk som slag. Beroende på monteringsposition kan lastceller däremot monteras så att dessa inte är lika känsliga för yttre fysisk påverkan och detta genom att placeras utom räckhåll för operatörerna.

Ytterligare baserades valet även på att en relativt grundlig idé för potentiellt system för färgmängdsuppskattning framkommit långt innan projektstart, vilken vägdes mot andra tillvägagångssätt genom resultatet av litteraturstudierna.

## 5.3 Primärlösning

Primärlösningen som skapades var mycket liten och förflyttade inte sprintpositionen lika långt ifrån den ursprungliga sprinten som de tidiga koncepten med S-typ lastcell. Detta ökade dess användbarhet då operatörerna inte skulle behöva utföra alltför annorlunda arbete vid justering av kistans position. Dessutom skulle denna längdminskning öka konstruktionens livslängd och hållfasthet då en lång konstruktion skulle kunna medföra att knäckning samt böjning verkade och därmed även skjuvkrafter.

Eftersom företaget ursprungligen krävde att konstruktionen skulle fästas i existerande hål på maskinen var infästningsmöjligheterna väldigt få och idégenereringen begränsad inom snäva ramar. Dessa ramar limiterade även vilken typ av lastcell som kunde användas då denna var tvungen att mäta både drag och tryckkrafter beroende på i vilken position kistan skulle användas.

Om projektet inte vore lika begränsat från start, skulle projektet troligen tagit andra vägar mot resultat, vilket eventuellt hade minskat materialkostnader för projektet då priset varierar mycket mellan olika lastceller. Dessutom finns det olika storlekar på dessa, vilket betyder att en ytterst liten lastcell skulle kunna användas om projektet haft handlings- och valfrihet i större utsträckning än meddelad. Arbetets fokus hade då möjligen legat på att enbart mäta kompressionskrafter.

## 5.4 Ackumulerad data

De initiala testerna som baserades på stegvis bortplockning av pålagd vikt och kontinuerlig minskning med hjälp av vatten uppvisade mycket positiv preliminär data. Systemet rapporterade korrekt kvarvarande mängd vid stegvis minskning och klarade av utan problem att kontinuerligt rapportera tillförlitliga värden då vattennivån minskade. Det stegvisa resultatet säkerställde att programmeringen var korrekt utförd och att systemet hanterade data på rätt sätt. Det kontinuerliga resultatet påvisade att systemet potentiellt skulle kunna klara av uppgiften. Dessa resultat ansågs öka möjligheten för ett lyckat projekt då färgen – framförallt lös färg – betar sig som tjockt vatten.



Data från ett inaktivt färgverk samlades in genom att lägga i 41 muttrar i kistan – vilket upptog ungefär en tredjedel av kistans totala volym. Detta gjordes för att förhindra nedsmutsning genom att använda färg då det eventuellt kunde rinna ner över valsarna, vilket skulle vara ett tidskrävande hinder att behöva rengöra maskin och utrustning vid upprepade test.

När primärlösningen monterades på färgverket avlästes cirka 50000 enheter med hjälp av lastcellen då 41 muttrar lades i kistan. Vid samma belastning uppmättes 150000 enheter när den provisoriska infästningen under kistan testades. I denna position var kistans lutning sådan att det endast överfördes en komponent av dess tyngkraft till lastcellen. Detta värde misstänktes därför bli högre om lastcellen monterades på ett sådant sätt att den endast höjde upp kistan en liten bit. Att kistan däremot skulle överbelasta 10kg lastcellen i detta läge kunde däremot inte förutses.

Efter att en ny 50kg lastcell monterats, erhöles emellanåt väldigt bra stegvisa värdekurvor vid lastning och avlastning. Däremot kröp värdena oerhört mycket - vilket minskades genom att ändra antalet värdesiffror, men eliminerades aldrig.

Då inspänningsskruvarna inte användes kunde kistan dela sig från tillhörande plastbitar, vilket möjligen ändrade dess position och därmed avläst värde. Med skruvarna inspända helt i eller i kombinationer av de främre eller övre, erhöles oftast kurvor som inte var stegvisa utan formades med tendenser av normala eller inversa kvadratrotkurvor. Detta misstänks bero på att skruvarna till viss del förhindrar kiströrelsen som uppstår vid av- eller pålastning. Vid avlastning är den återfjädrande kraften från lastcellen troligen större än den låsande friktionskraften från skruvarna, medan vid pålastning är den extra vikten större. Utöver detta kan potentiellt lastcellen bli intvingad i väggarna i den modifierade kisthållaren, då resultatet blev något bättre efter att ha bytt riktning på lastcellen.

När en av färgjusteringsskruvarna skruvades in till max erhöles ett nollvärde från lastcellen, vilket inte ens uppstod då 10kg lastcellen överbelastades. Detta tyder på att enorma krafter tas upp av lastcellen då dessa skruvar justeras, vilket ytterligare stärker argumentationen om att lastcellens placering under kistan inte vore ett lämpligt val vid montering i produktionen.

Genom att eliminera friktions- och krypförluster som dessa faktorer mycket troligt åstadkommer på lastcellen, har systemet med stor sannolikhet mycket större möjlighet att fungera med maskinen. Detta påstående bygger på resultatet som uppvisats då systemet blivit utsatt för en kontinuerligt minskande vikt, vilket syns både i figur 30 och 37.

## 5.5 Systemets användbarhet

Trots att systemet inte nådde ett produktionspositivt resultat vid projektets avslut anses systemet vara möjligt att fungera vid rätt placering av lastcellen/lastcellerna. Det anses även vara möjligt för systemet att implementeras i andra applikationer och fabriker. Dessa applikationer kan exempelvis innefatta mängdkontroll på behållare som manuellt fylls på, men med en modifikation av koden skulle Arduinon troligen även kunna användas för att skicka en utsignal som tas upp som insignal av ett PLC system, för att signalera påfyllning.

Montering under kistan eller i sprinthål genererar en sinusformad kurva när färgverket är i drift, vilket medför stora problem då värdet drifftar på grund av värdesiffror, friktion eller kryp. Kurvans toppar och dalar kan då inte användas som säkra mätpunkter. Om dessa felkällor kan elimineras, skulle datahanteringen underlättat dramatiskt.

## 6 Slutsats

Trots att projektleverans inte nåddes inom bestämd tidsram, har projektet lyckats ta fram koncept med potential för vidareutveckling. Anledningen till detta är att systemet påvisade mycket positiva resultat vid stegvisa och kontinuerligt skiftande värden. Utifrån resultatet bedöms systemet ha stor potential för att fungera vid montering på en position som inte påverkas av friktion likt kistan gör.

Inspänningsskruvarna bedömdes vara den främsta orsaken till att systemet inte fungerade optimalt under kistan då dessa drastiskt minskade utslaget från pålagd last. Eftersom kistan inte fungerar utan skruvarna, utan kommer hamna ur rätt position väldigt fort, kan slutsatsen även dras att systemet inte fungerar då lastcellen monteras under denna.

Vid montering av lastceller på andra positioner på färgverket – förslagsvis så att de väger en kistformad behållare som sänkts ner i kistan – skulle systemet troligtvis fungera avsevärt bättre. Anledningen till detta påstående är att en sådan position dels skulle ignorera de pulserande krafterna men även då de enbart väger en lätt behållare med färg i. På så vis bör inga andra faktorer spela in på den kontinuerliga mätningen av värden, bortsett från mjuka och hårda färger, vars självomrörande rörelser eventuellt kan orsaka mindre variationer i det avlästa värdet. Dessa variationer skulle däremot troligtvis inte ha lika stor påverkan som de mätvärden som uppstår då lastcellen monteras direkt under kistan.

Systemet anses även vara möjligt att användas i andra applikationer och är inte enbart användbart vid uppskattning av färgmängd på en färgläggningsmaskin.

## 7 Referenser

### [A] Hemsidor

[1] Ball Corporation, (2017, januari 4), Quick Facts [Online], Tillgänglig:  
<http://www.ball.com/eu/about-ball/overview/quick-facts>

[2] Schmitt Industries, Inc, (2017, februari 6), Principles of measurement used by laser sensors [Online], Tillgänglig:  
<http://www.acuitylaser.com/measurement-principles>

[3] Pepperl+Fuchs, (2017, mars 21), Ultrasonic sensors [Online], Tillgänglig:  
[https://www.pepperl-fuchs.us/usa/en/classid\\_182.htm?view=productgroupoverview](https://www.pepperl-fuchs.us/usa/en/classid_182.htm?view=productgroupoverview)

[4] Britannica Academic, (2017, april 24), Strain Gauge [Online], Tillgänglig:  
<http://academic.eb.com.miman.bib.bth.se/levels/collegiate/article/strain-gauge/69876>

[5] Interface Force, (2017, april 24), Fatigue Theory [Online], Tillgänglig:  
<http://www.interfaceforce.com/index.php?mod=library&show=2>

[6] William P. Kennedy, (2017, februari 6), The Basics of Triangulation Sensors [Online], Tillgänglig:  
<http://archives.sensorsmag.com/articles/0598/tri0598/>

[7] Senix, (2017, mars 21), Frequently asked questions about ultrasonic transducers [Online], Tillgänglig: <https://senix.com/frequently-asked-questions/>

[8] Sveriges tekniska forskningsinstitut, (2017, mars 23), IP-klassning [Online], Tillgänglig: <http://www.sp.se/sv/index/services/ip/sidor/default.aspx>

[9] Researchgate, (2017, mars 23), PVC chemical resistance chart [Online], Tillgänglig:  
<https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=57f571373d7f4b1e532d4ca1&assetKey=AS%3A413942938652675%401475703095955>

**[B] Böcker**

[1] Björk, K., “Hållfasthetslära”, i Formler och tabeller för mekanisk konstruktion, 7e uppl. Spånga, Sverige: Karl Björks Förlag HB, 2013, s. 24–27,

[2] Kaila, S. och Avérous, L., *Biopolymers: Biomedical and Environmental Applications*, 1a uppl. Salem, MA: Wiley-Scrivener, 2011, s. 183-217

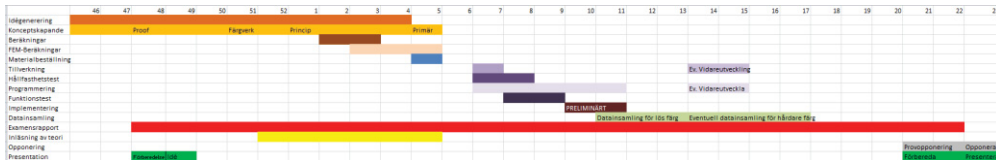
[3] VanGundy, A.B., *Techniques of Structured Problem Solving*, 2a uppl., New York: Van Nostrand Reinhold. 1988, s. 151–152

[4] Burge, S., “Pugh Matrix”, *The Systems Engineering Tool box*, 1a uppl., Rugby, Warwickshire: Burge Hughes Walsh, 2009, s. 1-15

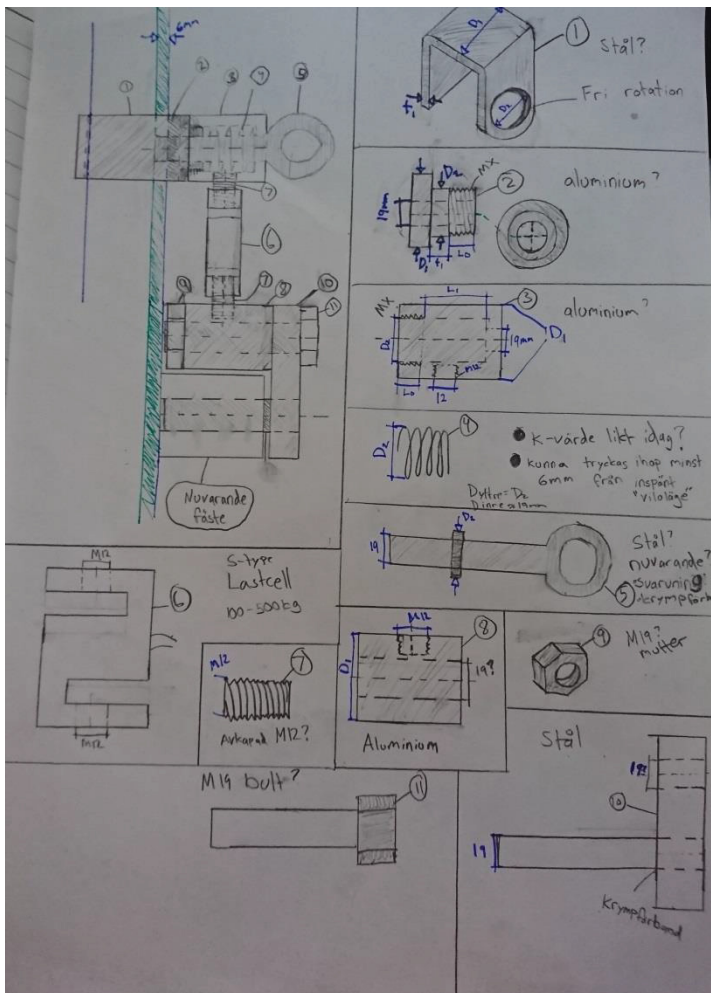
**[C] Personreferenser**

[1] Tarik Lu, Forsentek, Shenzen, [tarik.lu@forsentek.com](mailto:tarik.lu@forsentek.com)

# Bilaga 1

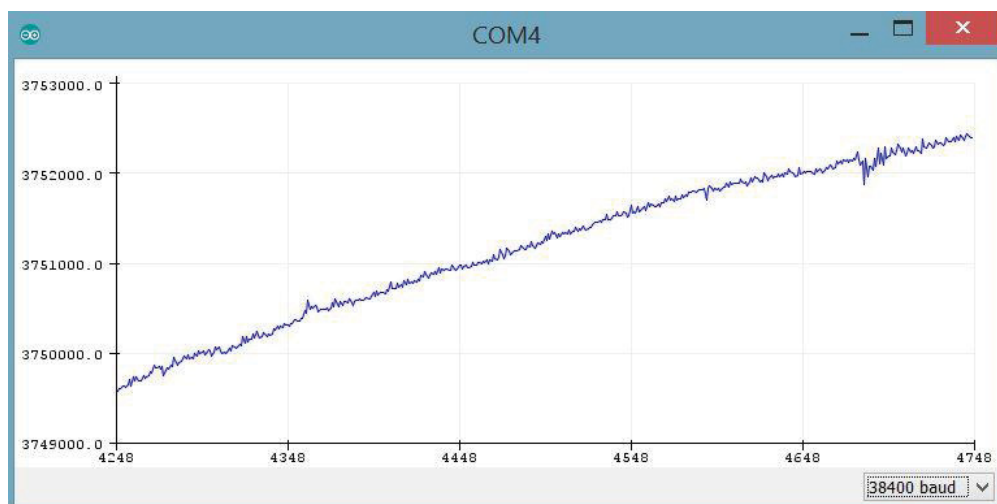


Figur B1.1: GANT-schema (tryck [HÄR](#) för större bild)

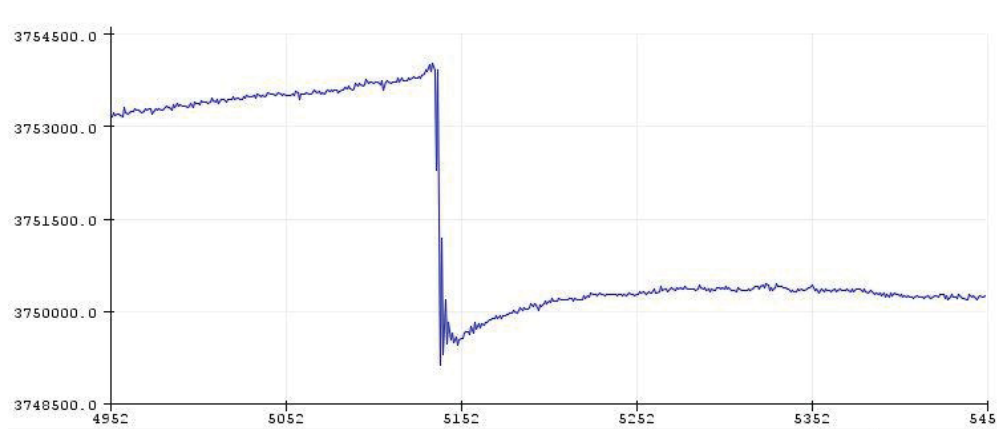


Figur B1.2: Skiss för principlösningskoncept.

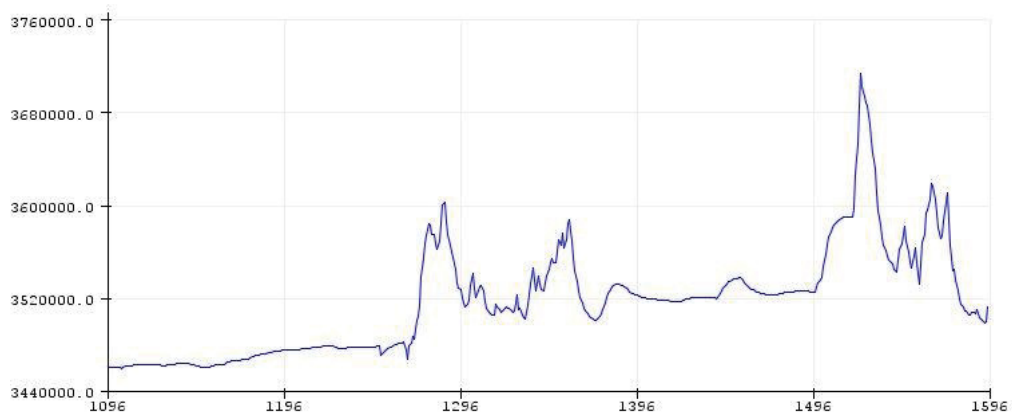
## Bilaga 2 – Grafer vid olika belastningsfall



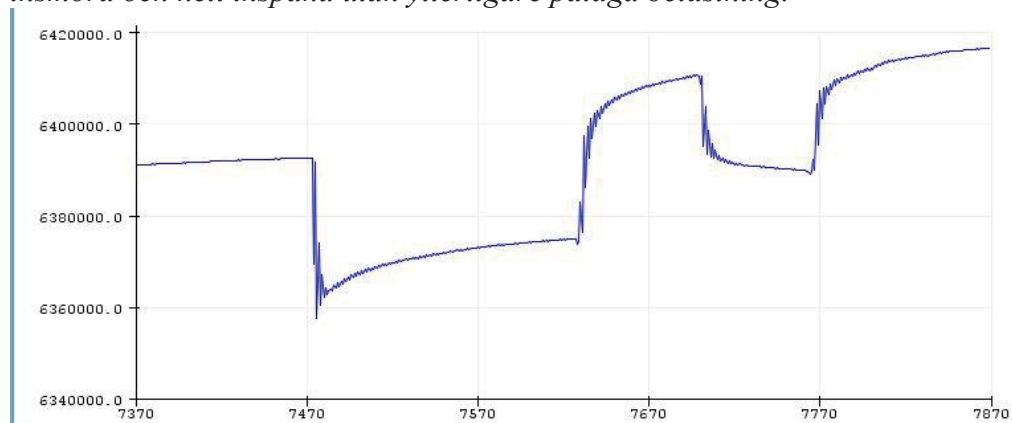
Figur B2.1: Ovan graf visar värdekryptet då kistan var helt inspänd utan ytterligare pålagd belastning



Figur B2.3: Ovan graf visar då kistan var helt inspänd varpå den belastades med 41 muttrar strax innan 5152 på x-axeln

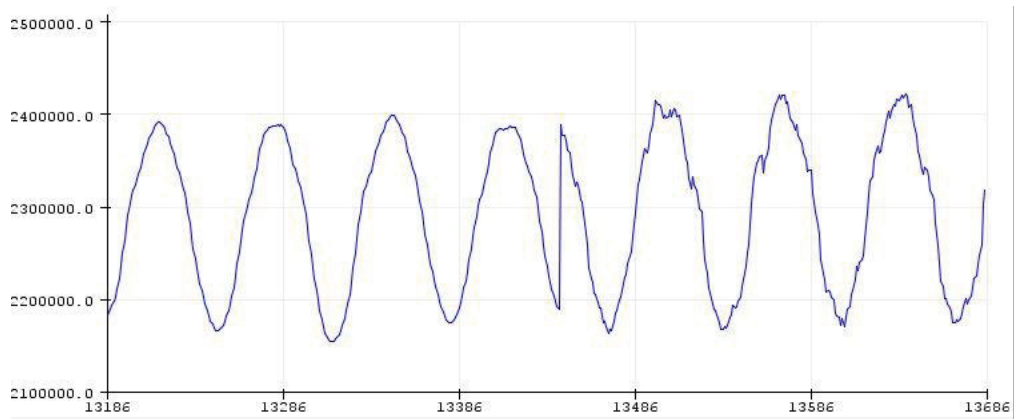


*Figur B2.3: Ovan graf visar medelvärde av en värdeflukturering då kistan var insmord och helt inspänd utan ytterligare pålagd belastning.*



*Figur B2.4: Ovan graf visar en helt insmord och fritt pålagd färgkista som lastats och avlastats två gånger (där dipparna motsvarar lastning).*





*Figur B2.5: Ovan graf visar kistan helt inspänd och olastad med maskinen kopplad till testmotor. Vänster hälft är medelvärde och höger är direkt avläst. Kanten som uppstår innan och efter varje topp till höger är då överföringsvalsens kommer i kontakt med insugsvalsens och sedan lämnar.*