

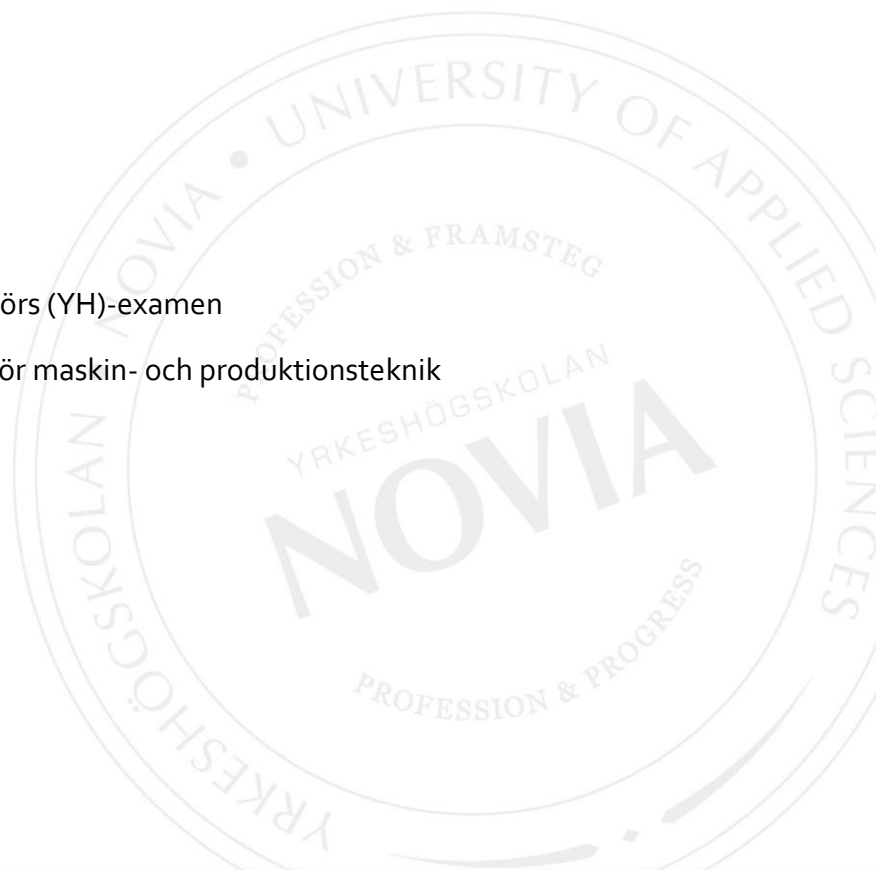
# Planering av tillverkningsprocess med hjälp av Design for Six Sigma

Mathias Wentjärvi

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för maskin- och produktionsteknik

Vasa, 2020



## EXAMENSARBETE

Författare: Mathias Wentjärvi  
Utbildning och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa  
Inriktningsalternativ: Bil- och transportteknik  
Handledare: Rolf Dahlin (Novia), Timo Sivula (Heliostorage)

Titel: Planering av tillverkningsprocess med hjälp av Design for Six Sigma

---

Datum 29.3.2020

Sidantal 35

---

### Abstrakt

Det här examensarbetet utfördes åt företaget Heliostorage i Karleby. Företaget grundades 2016 och dess verksamhet baserar sig på att erbjuda ett utsläppsfritt värmesystem som inte förlitar sig på användningen av fossila bränslen.

Syftet med examensarbetet var att planera tillverkningsprocessen för företagets solfångare med metoderna som leder upp till Design for Six Sigma. Som delsyfte skulle behovet för komponentlagrets storlek granskas och en lösning hittas för hur man kan hantera svackor som uppstår i produktionen på grund av förändringar i efterfrågan.

Metoder som användes för att utföra arbetet var att läsa litteratur och skaffa information om ämnet. Diskussioner hölls med personalen från företaget för att få en bättre uppfattning om vilka faktorer som var viktiga att tänka på vid implementeringen. Utrymmet för tillverkningen studerades sedan noggrant och alternativ ritades upp i AutoCAD.

Det valda alternativet förvandlades sedan till verklighet och ett testförsök gjordes för att få en uppfattning om hur allt fungerade. Mätningar utfördes sedan på processen och nödvändiga förbättringar genomfördes. Slutliga resultat var att man nu har en bra grund att fortsätta från för att göra ytterligare förbättringar när tillverkningsprocessen sätts igång.

---

Språk: svenska

Nyckelord: tillverkningsprocess, Design for Six Sigma

---

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Mathias Wentjärvi
Koulutus ja paikkakunta:	Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto:	Auto- ja kuljetustekniikka
Ohjaajat:	Rolf Dahlin (Novia), Timo Sivula (Heliostorage)

Nimike: Valmistusprosessin suunnittelu Design for Six Sigman avulla

---

Päivämäärä 29.3.2020

Sivumäärä 35

---

### Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty Kokkolassa sijaitsevalle yritykselle Heliostorage. Yritys perustettiin vuonna 2016 ja sen liiketoiminta perustuu päästöttömän lämmitysratkaisun tarjoamiseen. Lämmitysratkaisu ei turvaudu fossiilisten polttoaineiden käyttämiseen.

Opinnäytetyön tavoite oli suunnitella valmistusprosessi yrityksen aurinkokeräimelle käyttäen menetelmiä, jotka johtavat Design for Six Sigmaan. Osatavoitteena oli osavaraston koon tarpeen tarkistaminen ja ratkaisun löytäminen siihen, miten valmistuksessa syntyvien kysynnän aiheuttamia laskuja voisi parhaiten hoitaa.

Menetelmät, joita käytettiin opinnäytetyön suorittamiseen olivat kirjallisuuden lukeminen ja tietojen hankkiminen aiheesta. Paremman ymmärryksen saamiseksi käytiin myös keskusteluja henkilöstön kanssa siitä, mitkä asiat olisivat tärkeitä toimeenpanoa ajatellen. Tilaa, missä valmistus tapahtuisi, tutkittiin myös tarkasti ja vaihtoehtoja piirrettiin AutoCADissa.

Valittu vaihtoehto toteutettiin ja prosessi testattiin paremman ymmärryksen saamiseksi toimivuudesta. Mittauksia suoritettiin prosessista ja tarvittavia parannuksia toteutettiin. Lopputuloksena yrityksellä on nyt hyvä pohja, johon päälle voi rakentaa ja tehdä lisää parannuksia, kun valmistusprosessi käynnistetään.

---

Kieli: ruotsi

Avainsanat: valmistusprosessi, Design for Six Sigma

---

## BACHELOR'S THESIS

Author: Mathias Wentjärvi  
Degree Programme: Mechanical and Production Engineering, Vasa  
Specialization: Automotive and Transport Technology  
Supervisors: Rolf Dahlin (Novia), Timo Sivula (Heliostorage)

Title: Planning of a Manufacturing Process with the help of Design for Six Sigma

---

Date March 29, 2020

Number of pages 35

---

### Abstract

This thesis was made for the Finnish company Heliostorage located in Kokkola. The company was founded in 2016 and its business is based on providing an emission free heating solution that does not rely on the use of fossil fuels.

The main goal of this thesis was to plan a manufacturing process for the company's solar collector using the methods leading up to Design for Six Sigma. The second goal was to review the size of the parts inventory and find a solution for how to manage dips that occur in the manufacturing process due to demand changes.

Methods used to execute this thesis were to read literature and gather information about the subject. Discussions were held with the personnel from the company to get a better understanding about which factors were important to think about during the implementation. The space to be used for the process was carefully studied and alternatives were drawn in to AutoCAD.

The chosen alternative was then made in to reality and a test run was carried out to get a clear picture about how everything was working. Measurements were then taken on the process and necessary improvements implemented. The final result was that there is now a good base to continue from to make further improvements when the manufacturing process is started.

---

Language: swedish

Key words: manufacturing process, Design for Six Sigma

---

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Syfte .....	2
1.3	Mål.....	2
1.4	Avgränsning.....	2
1.5	Heliostorage .....	2
2	Teori .....	4
2.1	5S Kvalitetssystem.....	4
2.2	Lean manufacturing .....	5
2.2.1	De fem principerna inom Lean.....	6
2.3	Toyota Production System.....	7
2.3.1	Just-in-time .....	8
2.3.2	Jidoka.....	9
2.3.3	Heijunka .....	9
2.3.4	Kaizen.....	10
2.3.5	Muda .....	10
2.3.6	Mura.....	12
2.3.7	Muri.....	12
2.4	Six Sigma.....	13
2.4.1	DMAIC .....	14
2.4.2	Lean Six Sigma .....	14
2.5	Design For Six Sigma.....	15
2.5.1	DMADV.....	15
3	Metod.....	17
4	Resultat .....	18
4.1	Utgångsläge.....	18
4.2	Planering av utrymmet för produktionen .....	19
4.2.1	Monteringsbordet.....	20
4.2.2	Transportpallarna .....	20
4.2.3	Polykarbonatskivor .....	21
4.2.4	Stenullsskivor och resterande komponenter .....	21
4.2.5	Alternativ .....	22
4.2.6	Implementering.....	24
4.3	Testförsök .....	26
4.3.1	Mätning av processen .....	26
4.3.2	Förbättringar.....	28

4.4	Lagerstorlek för produktionen .....	30
4.5	Resultatanalys .....	31
4.6	Kritisk granskning av arbetet.....	32
4.7	Förslag till fortsatt forskning.....	33
5	Diskussion.....	34
6	Källförteckning.....	35

# 1 Inledning

Detta examensarbetet handlar om att planera en tillverkningsprocess med hjälp av Design for Six Sigma metoden. I det här kapitlet redogörs bakgrunden, syftet och målet med examensarbetet samt en kort beskrivning om företaget och dess verksamhet.

## 1.1 Bakgrund

Företaget Heliostorage har utvecklat en egen solfångare som man hittills endast har tillverkat i små mängder. Det som skiljer den jämfört med andra konkurrenter är att man även kan använda den som takmaterial på nybyggen eller ersätta gamla befintliga tak.

Solfångaren blir byggd som en modul där huvudkomponenten är en svartmålad aluminiumprofil som vätskan cirkulerar i. Åtta profiler fästs bredvid varandra på en stenullskiva för att få den önskade bredden på ungefär 1 meter, medan längden kan variera från 1 till 12 meter. I båda ändorna monteras fördelningsstockar och slutligen sätts en polykarbonat skiva överst för att förhindra att värmen åker iväg med vinden.

Hittills har man inte haft något system att följa under tillverkningsprocessen, vilket har resulterat i lång tillverkningstid. Nu finns det behov att ändra på detta eftersom man kommer att börja tillverka solfångaren för kommersiellt bruk.



*Figur 1. Gammalt tak ersatt med solfångare.*

## **1.2 Syfte**

Huvudsyftet med detta examensarbete var att planera om tillverkningsprocessen för solfångaren med hjälp av stegen som leder upp till Design for Six Sigma, och att få en standardiserad lösning som underlättar produktionens varje steg. Eftersom solfångaren är en beställningsvara kommer det att uppstå svackor i produktionen. Därför blev ett delsyfte av arbetet att tänka på hur man på bästa möjliga sätt kan hantera dessa svackor från produktionens synvinkel samt hur litet lager med komponenter man kan ha utan att det inverkar negativt på produktionen.

## **1.3 Mål**

Målet med arbetet var att förbättra produktiviteten och effektiviteten. Och att ha ett system för produktionen som man kan använda sig av i framtiden för att göra fortsatta förbättringar vid tillverkningen av solfångaren samt andra produkter som företaget tillverkar.

## **1.4 Avgränsning**

Examensarbete avgränsades till den del av tillverkningsprocessen som sker i lokalen som Heliostorage har sin verksamhet i och behandlar därför inte sådana steg av processen som sker före eller efter på annat håll.

## **1.5 Heliostorage**

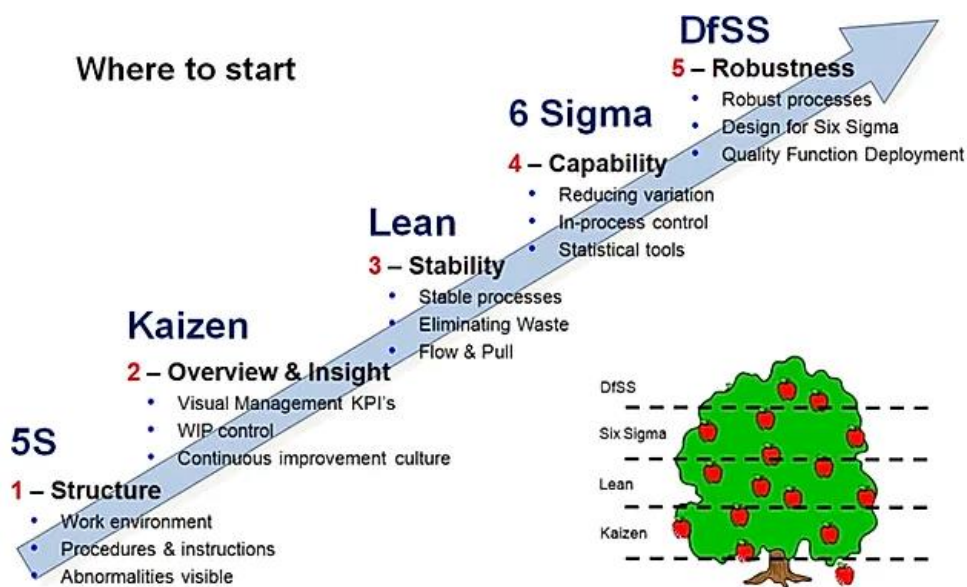
Heliostorage är ett finländskt startup-företag som grundades 2016 och som nu har sju anställda. Företagets mål är att bidra till en renare miljö genom att erbjuda en hållbar värmelösning som inte förlitar sig på fossila bränslen. Systemet baserar sig på att under sommaren lagra sol och outnyttjad värme i ett värmelager i marken, för att sedan under vintern återvinna värmen med hjälp av endast en vattencirkulationspump. I dagsläget har Heliostorage ett produktsortiment som innehåller allt som behövs för att ta ett sådant system i bruk. Man har en egen solfångare, ett kontrollskåp med programvara som styr hela systemet samt en lösning för konstruktionen av värmelagret. (Heliostorage, u.å.)



*Figur 2. Rörsystem på ytan av ett värmelager.*

## 2 Teori

I det här kapitlet behandlas förutom teorin om Six Sigma, Lean Six Sigma och Design for Six Sigma också grundläggande teori om 5S Kvalitetssystemet, Lean manufacturing och Toyota Production System. Dessa tre sistnämnda är viktiga verktyg att använda sig av för att standardisera och förbättra processer, och på så vis få bättre resultat vid användning av Six Sigma metoder som är mera baserade på mätdata från processen.



Figur 3. Stegen som leder upp till Design for Six Sigma. (Excellence center, 2018)

### 2.1 5S Kvalitetssystem

5S är ursprungligen ett japanskt system som blir mycket använt inom massproduktionen. Utan 5S är risken stor för att det inom företag samlas slöseri som man eventuellt blir blind för och som har en negativ inverkan på affärsverksamheten. Tillsammans och när använt på rätt sätt skapar 5S en process av fortsatt förbättring inom arbetsmiljön. De fem olika punkterna i 5S är följande:

- Sortera (seiri). Gå igenom allt material och alla verktyg och skilj på sådant som blir använt dagligen ifrån saker som inte behövs lika ofta. Sådant som absolut inte behövs skall man helst göra sig av med.
- Systematisera (seiton). Efter att man sorterat och blivit kvar med det som man använder sig av mera eller mindre är det dags att skapa permanenta platser åt föremålen. Sådant som blir använt dagligen skall vara lättåtkomligt medan det som används mer sällan kan placeras längre bort. Man skall sträva till att använda sig av

visuella hjälpmedel för att identifiera föremålens plats. På så vis är det lätt att se ifall någonting fattas eller till exempel var ett verktyg skall vara.

- Städa (seiso). För att upprätthålla ordningen är det viktigt att man dagligen och helst genast efter att man slutfört ett arbetsmoment sätter tillbaka sakerna som använts på sin plats. På det här viset försäkras man sig om att arbetsplatsen hålls ren och prydd vilket också inverkar positivt på arbetsmiljön och säkerheten.
- Standardisera (seiketsu). Efter att de tre första stegen är avklarade är det viktigt att man tillämpar ett system inom företaget som upprätthåller det som man hittills åstadkommit, annars finns det stor risk för att allt så småningom återvänder till startpunkten. Effektiva metoder är att göra regler, checklistor samt att fotografera arbetsmiljön. Dessa kan man sedan använda sig av vid regelbundna granskningar för att säkerställa sig om att det inte skett någon oönskad förändring.
- Sköt om (shitsuke). När man tagit i bruk systemet krävs det att man hela tiden arbetar för att göra fortsatta förbättringar. Tanken med 5S är inte att man en gång om dagen kommer ihåg att städa efter sig. Istället är det en längre process som borde läras in som någonting naturligt. För att systemet verkligen skall fungera krävs det att alla inom företaget är medvetna om vad de behöver göra för att upprätthålla ordningen.

(Liker, 2004, s. 150)

## 2.2 Lean manufacturing

Lean manufacturing är ett begrepp som grundar sig på effektiv tillverkning och verksamhet. Lean systemet växte sig ur Toyotas produktionssystem under mitten av 1900-talet och baserar sig därför på samma principer. Filosofin om Lean är att från kundens synvinkel leverera en produkt eller tjänst med maximalt värde genom att eliminera så mycket slöseri som möjligt. Tanken med Lean är att med fortsatt förbättring behålla kvaliteten medan att man på samma gång kan utföra mindre arbete. Slutliga målet är att ge kunden maximalt värde genom en perfekt process som inte innehåller något slöseri. Det här blir möjligt endast när varje enskild arbetare uppnår sin fulla potential och på så vis ger sitt största möjliga bidrag till processen. Med Lean strävar man till att alla som medverkar i en process skall vara stolta med sin insats. För att detta skall bli verkligt måste man ge makt åt den vanliga arbetaren. Ett vanligt tänkande är att man måste respektera kunden, men lika viktigt är det att respektera

arbetare, leverantörer och samarbetspartner. På det här sättet visar man att det finns förtroende vilket är en bra grund för fortsatta förbättringar. (Skhmot, 2017)

### **2.2.1 De fem principerna inom Lean**

De fem principerna inom Lean introducerades första gången i boken *The Machine That Changed the World* (1991) skriven av James P. Womack, Daniel T. Jones och Daniel Roos. Innan författarna skrev boken hade de studerat flera tillverkningsystem inklusive Toyotas. De fem principerna betraktas som ett recept för att förbättra effektiviteten på arbetsplatsen. (Skhmot, 2017)

1. Definiera värde. För att förstå den första principen måste man först förstå vad värde är. Värde är vad kunden är villig att betala för. Något som går hand i hand med kundens behov. Det är inte heller ovanligt att kunden är osäker på vad dom egentligen vill ha. Därför är det viktigt att undersöka behovet, till vilket pris och vilka saker som produkten eller tjänsten måste innehålla för att värdet skall möta det som kunden vill betala för och som dom har råd med.
2. Kartlägg värdeflödet. Den andra principen involverar att identifiera och kartlägga värdeflödet. Man använder det som kunden anser som värde som startpunkt och väljer ut alla steg i processen som bidrar till detta värde. Det som inte bidrar till värdet räknas som slöseri. Det delas sedan in i två kategorier, nödvändigt och icke nödvändigt slöseri. Det senare är sådant slöseri som bör minskas eller elimineras helt och på så sätt minska kostnaderna för den produkten eller tjänst som kunder är ute efter.
3. Skapa flöde. Efter att ha minskat eller helt fått bort allt slöseri från värdeflödet är det viktigt att de resterande stegen i processen löper smidigt utan avbrott och förseningar. Strategier för detta är bland annat att dela upp processen i mindre steg, omstrukturera stegen, jämna ut arbetsbördan och träna personalen att vara mångsidiga och anpassa sig till behovet.
4. Pull. Ett stort lager anses vara ett av det största slöserien i ett produktionssystem. Genom att skapa ett dragsystem istället för ett system som trycker på försöker man motverka att lagret växer. Målet är inte att bara minska på lagret utan istället att lagret bara innehåller det som verkligen är nödvändigt. Dragsystem möjliggör Just-In-Time

metoden och att produkter endast tillverkas i den takt som det finns efterfråga på från kundens sida.

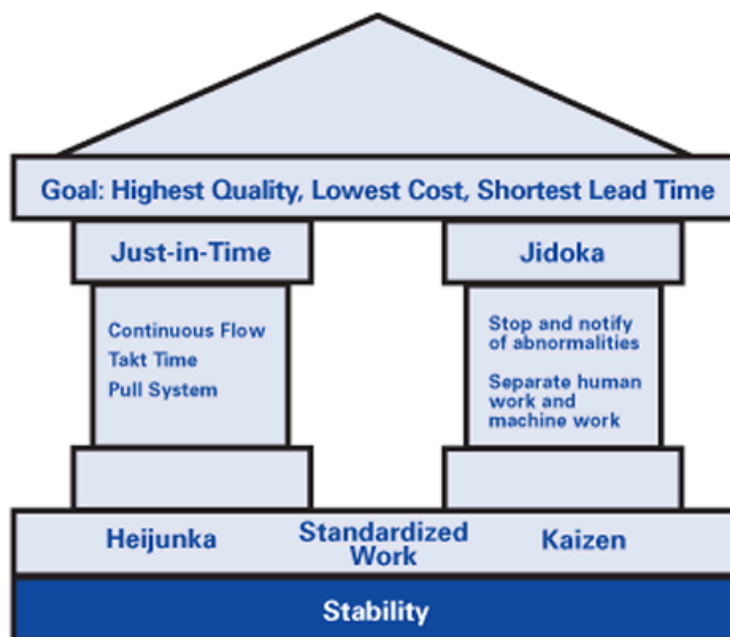
5. Sträva efter perfektion. När man följer de första fyra stegen förhindrar man att slöseri uppstår men det femte steget är den viktigaste av dem alla. Att sträva efter perfektion betyder att hela tiden göra fortsatta förbättringar, och att skapa en kultur i organisationen vars mål är att lära sig och hela tiden bli lite bättre. Alla arbetare skall sikta på perfektion i sin uppgift för att leverera produkter som motsvarar kundens behov.

(Do, 2017)

### **2.3 Toyota Production System**

Toyota Production System (TPS) är ett världskänt produktionssystem som har utvecklats under många år med fortsatta förbättringar. Toyotas mål med TPS är att tillverka bilar som blir beställda av kunden på det snabbaste och mest effektiva sättet för att leverera dem så fort som möjligt. Systemet baserar sig på filosofin om att eliminera allt slöseri som inte höjer på värdet genom att använda sig av de mest effektiva metoderna för processen.

Allt detta grundar sig på de två stöttepelare Just-In-Time och Jidoka. Genom användningen av dessa två filosofier lyckas Toyota producera bilar en åt gången med utmärkt kvalité som fullständigt uppfyller kundens krav. TPS och dess inställning till kostnadsbesparing har med åren blivit en av orsakerna till Toyotas konkurrenskraftighet jämfört med andra biltillverkare. (Toyota Motor Corporation, u.å.)



Toyota Production System "House."

Figur 4. Toyota huset med de två stöttepelarna Just-in-Time och Jidoka. (Lean Enterprise Institute, u.å.)

### 2.3.1 Just-in-time

Just-In-Time (JIT) är ett system med en samling principer, tekniker och verktyg som gör det möjligt för företag att producera och leverera små mängder produkter med korta ledtider för att kunna möta mera specifika kundbehov. En enkel beskrivning på JIT är att man levererar rätt vara i rätt mängd och vid rätt tidpunkt. Med hjälp av JIT kan man minska på lagerutrymme medan det också blir lättare att reagera på dagliga förändringar i kundens efterfråga.

W. Edwards Deming var en amerikansk kvalitetspionjär som gav seminarier i Japan om kvalitet och produktivitet. Enligt honom hör det till alla inom en organisation att möta och överträffa kundens krav. Han definierar ordet kund som både interna och externa kunder. Interna kunder är varje person eller steg i en produktionslinje eller affärsprocess och de skall förses med exakt vad de behöver vid exakt tidpunkt. Det här tankesättet är grunden för principen "nästa process är kunden". I korthet betyder detta att den tidigare processen alltid måste göra vad den efterföljande processen säger, annars är det svårt att få JIT att fungera. (Liker, 2004, s. 23)

### 2.3.2 Jidoka

Jidoka brukar vanligtvis beskrivas som automatisering med mänsklig beröring och är den andra grundpelaren i TPS. Med Jidoka strävar man till att utveckla maskiner och utrustning som en människa inte är bunden till men som ändå känner av fel och misstag i produktionen. Från det att en ny process tas i bruk sker det kontinuerliga förbättringar (Kaizen) ända tills operatören inte medför mera värde till processen och kan lägga sin tid på något annat. Vid ett sådant tillfälle att ett fel uppstår stannar processen automatiskt vilket kräver att man genast löser problemet innan man kan fortsätta. På det här viset försäkras man sig om att inga produkter med defekter kommer vidare till nästa del av processen. (Liker, 2004, s. 129)

### 2.3.3 Heijunka

Heijunka är en metod inom TPS och Lean för att minska på ojämnheter i produktionsprocesser och minimera risker för överbelastning. Termen Heijunka är japanskt och betyder utjämning. Med hjälp av metoden kan man enklare reagera på förändringar i efterfrågan och använda företagets tillgängliga resurser på bästa möjliga sätt. I den bakom heijunka är att man skall sluta producera produkter i omgångar och istället enligt medeltalet för efterfrågan från kundens sida. Det här resulterar i att man kan minska på lagret och dess kostnader och på så sätt ha mindre produkter som bara står och väntar på att bli köpta när efterfrågan är låg. Från en annan synvinkel så skyddar man processer och sin personal från överbelastning när efterfrågan stiger eftersom man producerar enligt medeltalet för beställda produkter. Inom Toyota har man redan länge sen övergett det mera traditionella sättet att producera i omgångar och istället enligt efterfrågan. På så vis kan man producera och leverera produkter med högt värde till kunden i jämn takt men ändå ha möjlighet att reagera på förändringar i genomsnittliga efterfrågan. Man brukar vanligtvis dela upp metoden i två delar.

1. Utjämning enligt volym. Man producerar enligt den genomsnittliga volymen för inkommande beställningar. Till exempel kan det en dag komma en beställning på 2 produkter, nästa dag 4 produkter och den tredje dagen 6 produkter. I det här fallet skulle man varje dag producera genomsnittet på 4 produkter och på så sätt jämna ut produktionen.
2. Utjämning enligt typ. Samma filosofi gäller här också men istället för endast antalet så producerar man också enligt genomsnittet för typer av produkter som blivit beställda. Till exempel om man för första dagen har 3 beställningar för produkt A, andra dagen 6 beställningar för produkt B och tredje dagen 9 beställningar för

produkt C. I det här fallet skulle man varje dag producera en A produkt, två B produkter och tre C produkter.

(Kanbanize, u.å.)

#### **2.3.4 Kaizen**

Kaizen är ett japanskt ord som översatt betyder förbättring. Uttrycket kan tillämpas på både stora men också mindre stegvisa förändringar. Till skillnad från japanska företag så är det vanligt att man i västvärlden inte har samma kultur gällande små förbättringar. Istället fokuserar man på större förändringar som möjligtvis leder till något genombrott. Därför är Kaizen en av de viktigare sakerna som till exempel Toyota lär ut till sin personal på fabriker i västvärlden. Fortsatt Förbättring definierar Toyotas inställning till sin verksamhet. Deras filosofi är att man skall ifrågasätta, men ännu viktigare än de förbättringar som man hittar på är att skapa en miljö var man ständigt lär sig. (The Toyota way, 2004)

Syftet med Kaizen är att göra stegvisa förbättringar, oavsett deras storlek. Och på så vis eliminera allt slöseri som bidrar till kostnader utan att höja på värdet för att uppnå målet om en total lean verksamhet. För att allt detta skall vara möjligt måste man också involvera de vanliga arbetarna i bestämmandet. Och motivera dem att komma upp med lösningar till problem. Lösningar blir testade och data samlas ihop som man sedan analyserar innan man gör det slutliga beslutet om en förändring. (Liker, 2004, s. 24)

#### **2.3.5 Muda**

Muda översatt från japanska betyder slöseri. Med slöseri menar man sådant arbete som utförs i en process som inte ökar värdet på produkten men som kunden ändå måste betala för. Vanligtvis brukar man dela in Muda i två olika huvudtyper. Den första typen av Muda är sådant som är nödvändigt för produkten men som inte direkt höjer på värdet, till exempel granskningar och säkerhetstestning. Den andra typen av slöseri kan man få bort ur processen och de brukar delas upp i åtta olika typer som i vissa fall beskrivs med engelska ordet DOWNTIME, enligt de första bokstäverna ur varje kategori. (Liker, 2004, s. 114)

1. Omarbete (Defects). Fel och defekter som uppstår i produktionen och som kräver att man reparera, kastar bort eller ersätter är arbete som inte ger mera värde åt produkten.

2. Överproduktion (Overproduction). Man producerar mera produkter än vad det finns beställningar för. Det här resulterar i överbemanning och kostnader på grund av transporter och överfyllda lager.
3. Väntan (Waiting). Allt väntade som uppstår när man övervakar en maskin eller väntan på nästa skede av en process är slöseri. Även saker som att man inte har rätt verktyg, fördröjning i leveranser, brist på komponenter, maskinstopp och flaskhalsar i produktionen hör till väntan.
4. Oanvänd förmåga (None utilizing talent). Talang och förmågor som arbetare och maskiner har men som inte blir utnyttjade. Om detta pågår tillräckligt länge förlorar man tid, idéer och möjlighet till förbättringar.
5. Transport (Transport). Transportering av ofärdiga produkter från plats till plats, ineffektiva transporter, flyttandet av material och att flytta färdiga produkter in och ut ur lager är alla slöseri som hör till transport.
6. Lager (Inventory). En stor extra kostnad för företag är lagerutrymmen fyllda med råmaterial, ofärdiga och färdiga produkter. När man har ett stort lager ökar risken för att komponenter blir skadade. Något som man sällan tänker på är att ett stort lager döljer problem som uppkommer i produktionen, med leverantörer och maskiner. När man minskar på lagret flyter problemen upp till ytan varefter man blir tvungen att korrigera dem.
7. Rörelse (Movement). All onödig rörelse som en arbetare måste göra för att utföra arbetet är slöseri. Vanliga orsaker är att man söker efter något verktyg, hämtar en komponent eller flyttar en färdig produkt. Allt gående räknas till rörelse och därför är det viktigt att ha allt som arbetet kräver så nära arbetspunkten som möjligt.
8. Överbearbetning (Excess processing). Till överbearbetning räknas onödiga steg som begås under bearbetning av komponenter. Orsaker till detta kan vara dåligt planerade produkter eller dåliga verktyg som resulterar i onödiga rörelser och fel i produktionen. Även en process där resultatet har bättre kvalitet än vad som egentligen behövs räknas som överbearbetning.

(Liker, 2004, s. 28)

### **2.3.6 Mura**

Mura betyder ojämnheter och kan i vissa fall ses som orsaken till Muda och Muri. I vanliga tillverkningsprocesser är det vanligt att mängden arbete varierar. Ibland finns det för mycket arbete som arbetare och maskiner inte hinner utföra medan det en annan dag inte finns tillräckligt att göra. Ojämnheter i produktionen uppstår på grund av oregelbundna tidsscheman. Orsaker till detta är bland annat förändringar i efterfrågan. Men också interna problem som när maskiner stannar, delar som inte passar och defekter kan inverka stort på tidsschemat. Med tanke på detta brukar man säga att Muda är ett direkt resultat av Mura. Ojämnheter i produktionsmängderna brukar också resultera i att företag är tvungna att ha mera material, utrustning och arbetare för att täcka de högsta produktionskraven även om medeltalet är mycket mindre. (Liker, 2004, s. 114)

### **2.3.7 Muri**

Muri är det japanska ordet för överbelastning och syftar både på personal och utrustning. Muri är den totala motsatsen till Muda eftersom Muri beskriver en situation där en person eller maskin opererar över sin naturliga gräns. Snabbt så låter detta som en positiv sak men med tiden orsakar överbelastning hos arbetare säkerhets- och kvalitetsproblem och risken ökar för att maskiner drabbas av störningar och producerar defekter. (Liker, 2004, s. 114)



Figur 5. Visuell beskrivning på Muda, Mura och Muri. (Lean Enterprise Institute, u.å.)

## 2.4 Six Sigma

Six Sigma utvecklades först vid företaget Motorola under slutet av 1980-talet. Kvalitetsingenjören Bill Smith lade grunden för metodiken med målet om att förbättra hur kvalitét och mätsystem fungerade för att rensa bort fel. Största orsaken till detta var att systemen som användes på Motorola tolererade väldigt höga mängder fel som resulterade i mycket omarbete, skrot och onöjda kunder. Six Sigma metodiken fokuserar på att identifiera och ta bort allt som orsakar variationer i en process. När man fått bort variation ur processen är det enklare att exakt förutsäga resultatet varje gång. Man kan sedan eliminera processfel genom att planera processen så att dessa förutsägbara resultaten faller inom området som kunden anser som acceptabel kvalitét. Namnet Six Sigma härstammar från matematiken och betyder praktiskt sett en process där 99,99966% av alla produkter eller tjänster producerade är fria från fel. Alltså av en million försök så uppstår det 3,4 fel. Att uppnå Six Sigma kvalitét kan vara svårt och därför är det viktigt att komma ihåg att trots det kommer ändå fel som uppstår att minska. (GoSkills, u.å.)

### 2.4.1 DMAIC

Ingenjörerna på Motorola viste från tidigare erfarenheter att många processförändringar inte var effektiva eftersom man inte kom till roten av problemet. Det som vanligtvis skedde var att operatörerna sakta men säkert återgick till de gamla vanorna för processen. Därför delade man upp metodiken i fem olika faser kallad DMAIC.

- **Definiera (Define).** I den första fasen sätter man gränser för processen som man analyserar. Man definierar också förväntningar och önskad prestanda för processen sett från kunden synvinkel. Allt detta för att säkerställa att förändringar inte försämrar kundupplevelsen utan istället förbättrar den.
- **Mäta (Measure).** Andra fasen handlar om att mäta prestandan för den nuvarande processen, produkten eller tjänsten för att förstå vad som egentligen händer och speciellt med tanke från kundens synvinkel. Tanken bakom det här är att analysen och lösningen är baserade på verklig prestanda och inte på teoretisk information.
- **Analysera (Analyze).** I den tredje fasen analyserar man processen, produkten eller tjänsten med den data man skaffat från tidigare fas för att fastställa källan eller källorna till variationer som orsakar problem. På det här sättet försäkras man sig om att man finner roten till problemen och inte bara symptomen.
- **Förbättra (Improve).** Fjärde fasen handlar om att bedöma de möjliga förändringarna i processen, produkten eller tjänsten och planera förändringar som bli testade. På så vis kan man vara säker på att förändringarna har den önskade effekten att minska på variationer.
- **Kontrollera (Control).** I den sista fasen blir förändringarna implementerade, stödsystem uppdaterade och processen, produkten eller tjänsten sätts på övervakning. Sedan måste man säkerställa att lösningen blir fullt implementerad på ett hållbart sätt för att identifiera om prestandan börjas försämras.

(GoSkills, u.å.)

### 2.4.2 Lean Six Sigma

Lean Six Sigma är en processförbättringsmetod som är skapad för att få bort slöseri, problem och ineffektivitet ur processer och förbättra arbetsförhållanden för att enklare svara på kunden behov. Lean Six Sigma kombinerar de metoder, verktyg och principer från Lean och

Six Sigma för att tillsammans skapa en kraftfull filosofi om att förbättra en organisations verksamhet. Även om dessa två metoder är olika så komplimenterar dom varandra när de kombineras och går att användas till lika på samma process. Skillnaden är ändå tillräckligt stor för att lösa olika slags problem. Där Lean mest fokusera på att ta bort slöseri så fokuserar Six Sigma på att reducera variationer och avvikelser från önskat slutresultat i en process. (GoSkills, u.å.)

## **2.5 Design For Six Sigma**

I den nuvarande globala marknaden är konkurrensen för nya produkter och tjänster väldigt hög. Det finns stort utbud på liknande produkter och tjänster och därför försöker alla tillverkare konstant komma upp med nya produkter eller komma in på nya marknader. När nya produkter eller tjänster släpps är det inte alltid säkert att de motsvarar kundens behov och förväntningar. I sådana fall brukar företag planera om produkten i flera olika versioner som man sedan väljer den bästa av innan man lanserar den på marknaden igen. När en produkt planeras om flera gånger blir kostnader väldigt stora och slöseri uppstår. Med Design for Six Sigma (DFSS) fokuserar man på att förstå kundens förväntningar och behov redan i det skedet som produkten eller processen börjar planeras.

I vanliga Six Sigma och även i vissa fall inom DFSS så använder man sig av DMAIC. Den här metoden är mest effektiv när man har som mål att förbättra nuvarande processer eller göra små förändringar på existerande produkter. Till skillnad så använder man DFSS mest för att helt planera om en produkt eller process. Precis som Six Sigma har också DFSS processen olika typer av metoder som den delats upp i, bland annat DMADV (Define, Measure, Analyze, Design, Verify) och IDOV (Identify, Design, Optimize, Verify) varav DMADV är den kändare. Vad båda dessa har gemensamt är att fullt förstå kundens behov för att använda informationen när en ny process eller produkt planeras. (Quality-One, u.å.)

### **2.5.1 DMADV**

Som tidigare nämnt är DFSS en metod som används främst vid planering av nya processer och produkter. Trots detta finns det vissa aspekter som DFSS metodiken delar med Six Sigma. Båda metoderna bör involvera tvärfunktionella team från hela organisationen. Det är en teaminsats där alla borde fokusera på kundens krav och kritisk till kvalitéparametrar. Teamet borde också sätta tid på att studera och förstå problem med tidigare system innan

man utvecklar något nytt. Till detta finns det många metoder varav den mest använda är de fem faserna i DMADV.

- Definiera (Define). Målet med den första fasen i DMADV är att identifiera syftet med projektet, processen eller tjänsten. Varefter man kan sätta upp realistiska och mätbara mål sett från organisationens sida och skapa tidscheman och riktlinjer för processen. Man skall också identifiera potentiella risker som kan förekomma. En tydlig definition av projektets helhet fastställs där strategier och mål måste vara i linje med både företagets och kundens förväntningar.
- Mäta (Measure). I andra fasen identifierar man kundens önskemål gällande produkten eller tjänsten och förvandlar dem till egenskaper som det slutliga resultatet sedan skall innehålla. När dessa egenskaper är kända är det lättare att ta ställning till hur tillverkningsprocessen skall påbörjas. I det här skedet är det viktigt att förstå vad som är viktigt för företaget gällande slutresultatet och att förvandla kundens krav till klara mål för processen.
- Analysera (Analyze). I det här steget skall man skapa olika koncept att välja från och hitta optimala kombinationer mellan krav för att uppnå värde inom ramarna för den planerade processen. Av dessa väljer man sedan det bästa konceptet som uppfyller alla mål och som man fortsätter att vidareutveckla.
- Design (Design). Fjärde fasen handlar om att ha en färdig och hög detaljerad design för det valda konceptet varefter man börjar söka efter passande komponenter. Nästa steg är att bygga en detaljerad prototyp för att identifiera fel och problem som uppstår för att sedan göra nödvändiga förändringar.
- Verifiera (Verify). I den sista Fasen i DMADV försäkras man sig om att den slutliga designen är accepterad av alla involverade och är fungerande i verkliga världen. Pilotprojekt eller flera produktionsomgångar är nödvändiga för att vara säker på att kvalitén är så hög som möjligt. Resultaten av dessa pilotprojekt och produktionsomgångar används sedan för att bekräfta förväntningarna och målen som lagts upp för processen. Dokumentation blir också gjord för saker som man lärde sig under hela processen. Slutligen görs en plan upp för hur man fullständigt och hållbart kommer att ta processen i bruk.

(Quality-One, u.å.)

### **3 Metod**

För att utföra den praktiska delen av arbete började jag först med att läsa litteratur om ämnet både i form av böcker och information på nätet. Även om målet med examensarbetet var att planera processen med hjälp av Design for Six Sigma metoden så krävdes det mycket information om teorin kring 5S, Lean manufacturing och TPS för att standardisera processen och på så sätt ha en bra grund att fortsätta från. Till att börja med spenderades mycket tid på diskussioner med kollegor gällande utrymmet där produktionen skulle ske och om hur allt skulle placeras för att göra processen så smidig som funktionell möjligt. När tillverkningen sedan påbörjades så studerades varje arbetsmoment väldigt noggrant för att få en klar bild över vad som ytterligare kunde förbättras.

## 4 Resultat

I det här kapitlet beskrivs resultat från examensarbetet, börjande från utgångsläget, hur planeringen för processen gick till väga, och de alternativ som togs fram samt implementeringen av det valda alternativet. I kapitlet kommer det också fram hur tillverkningsprocessen fungerade i verkligheten och vilka förbättringar som gjordes som resultat av mätdata som insamlades.

### 4.1 Utgångsläge

Byggnaden som företaget Heliostorage har sin verksamhet i är en gammal industribyggnad med på ungefär 500 m<sup>2</sup> inklusive kontor. Tidigare användes byggnaden av ett metallbearbetningsföretag. Efter att företaget flyttade ut blev det kvar en hel del verktyg och maskiner, bland annat svetsutrustning, metallsvav och fräs som nu blir mycket använda vid tillverkning av prototyper. Byggnaden blev redan tömd och golvet målat i det skedet som Heliostorage startade sin verksamhet. Men man sparade en hel del onödiga saker som sedan flyttades in tillbaka och som nu upptar en stor del av utrymmet. Därför påbörjades den praktiska delen av arbetet med att jag tillsammans med några medarbetare började sortera igenom allt som inte såg ut att höra till företagets verksamhet. Det som inte behövdes kastades bort medan sparade föremål och verktyg blev angivna permanenta platser för att man sedan skall ha lättare att hitta dem.



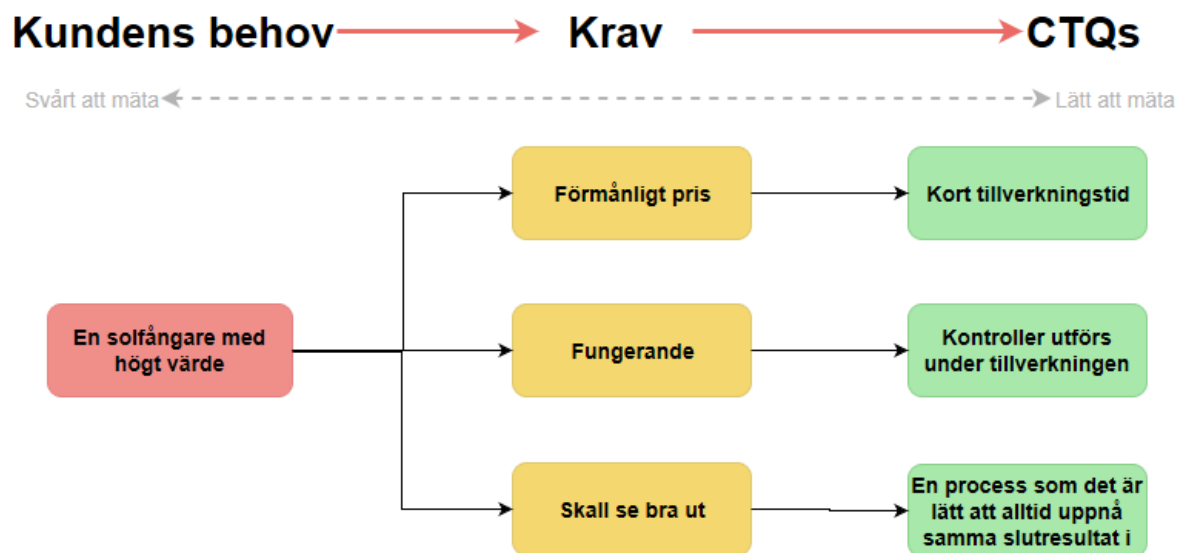
Figur 6. Utgångsläget för utrymmet.

## 4.2 Planering av utrymmet för produktionen

Planering för produktionen började med att mäta upp hela utrymmet som skulle användas för ändamålet samt nödvändiga föremål och större materialkomponenter som hade mera utrymmesbehov. Det här ritades sedan upp i AutoCAD för att lätt kunna visualisera hur man kunde placera allt för att ändå ha utrymme att arbeta och röra på sig.

Själva utrymmet som används är 20 meter brett och 18 meter långt, ganska nära mitten finns en stöpelare och fast i den en längre hylla som delar upp utrymmet i ett u format. I ena änden av byggnaden finns två lyftdörrar och i motsatta sida ett större arbetsbord och två hyllor av olika storlek, samt ett hörn som är avskilt med skyddsdraperi och som används som aluminiumsvetsningsutrymme.

För att enklare se vilka saker som var viktiga att tänka på under planeringen så gjordes det ett kritisk till kvalitédiagram från den information som man fått av potentiella kunder som varit intresserade av solfångaren. I diagrammet ser man kundens behov för produkten som man sedan delar upp i olika krav som måste uppfyllas för att möta behovet. Från dessa krav är det sedan lättare att se vilka saker i tillverkningen som är viktiga att tänka på vid planeringen.



Figur 7. Ett kritisk till kvalitédiagram som beskriver mätbara mål med processen.

### 4.2.1 Monteringsbordet

Det längsta föremålet är själva bordet som solfångaren blir ihop monterad på. Bordet består av två delar som båda är 1 meter breda och 6 meter långa. Dessa två går att sätta ihop med varandra för att få den totala längden på 12 meter. Beroende på hur långa solfångarna som blir tillverkade är så går det alltså att använda sig av ett eller två bord. Vid planeringen var det därför viktigt att tänka på hur man kunde placera dem för att sedan utnyttja det extra utrymmet som uppstår ifall bara ett av borden används.

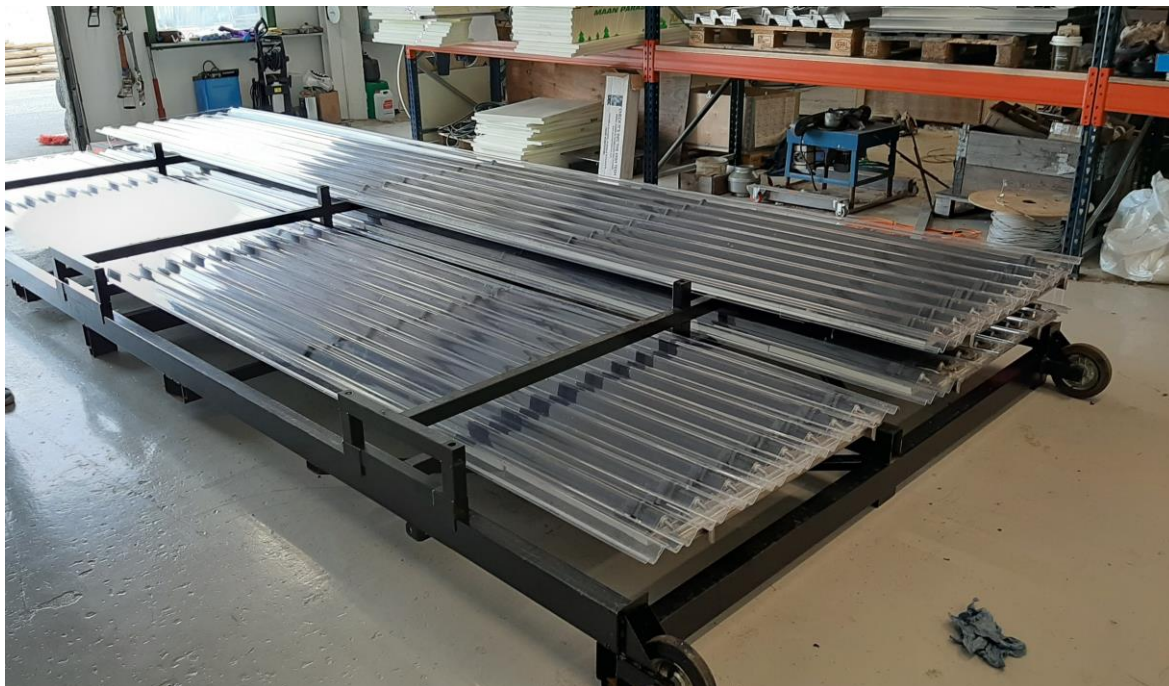


*Figur 8. Ett av monteringsborden.*

### 4.2.2 Transportpallarna

Det andra föremålet som upptar mycket utrymme är transportpallarna som blir använda för att transportera målade aluminiumprofiler till tillverkningen och färdiga solfångare till kunden. Bredden på de transportpallar som blir använda är 2,4 meter och längden 6 meter, dock kan utrymmesbehovet för längden variera beroende på aluminiumprofilernas längd. För att lätt kunna lasta av aluminiumprofilerna på monteringsbordet och sedan lyfta färdiga solfångare på en ny transportpall så var kravet att dessa skulle placeras så nära bordet som möjligt.

Eftersom det inkommande projektets längd för solfångaren är 8 meter så planerades placeringen enligt detta. Trots att monteringsbordet ger möjlighet till att tillverka 12 meter långa solfångare så är man medveten om att en realistisk längd i detta utrymme är runt 9 meter, något som beaktades i planeringen.



*Figur 9. Transportpall lastad med tidiga prototyper av solfångaren.*

#### **4.2.3 Polykarbonatskivor**

Det tredje föremålet vars utrymmeskrav är stort är lastpallen som polykarbonatskivorna är packade på. Bredden på lastpallen är en 1 meter och längden varierar. Kravet för det här var också att den skulle placeras så nära monteringsbordet som möjligt och helst i samma riktning för att undvika onödiga rörelser när skivan installeras.

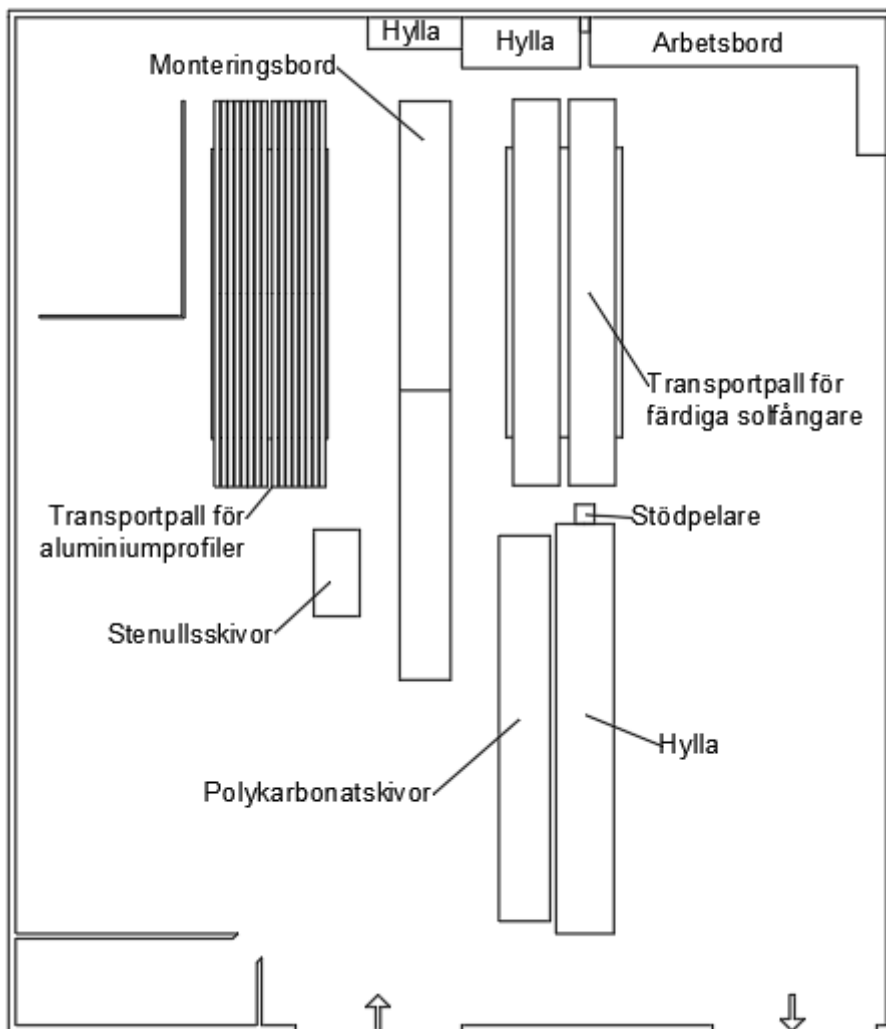
#### **4.2.4 Stenullsskivor och resterande komponenter**

Ett sista föremål som också måste beaktas i planering är lastpallen med stenullsskivorna som blir använda som isolering under solfångaren. Storleken på den är 1,8 meter lång och 0,95 meter bred. Vikten per styck för dessa är ganska hög och därför blev även önskemålet att dom skulle placeras så nära monteringsbordet som möjligt.

Förutom dessa större komponenter och utrustning så skulle det också finnas plats för mindre delar som blir använda i tillverkningsprocessen. Grundregeln i planeringen var att alla komponenter som används i tillverkningsprocessen skulle placeras så nära som möjligt den plats där dom blir monterade. På det här viset undviker man slöseri som annars kan uppstå i form av väntan, transporter och rörelse. Det var också viktigt att med positioneringen och planeringen skapa ett flöde i processen, det vill säga att när komponenter tas in skall de så fort som möjligt bli använda i tillverkningen och sedan skickas iväg i form av en färdig produkt till kunden.

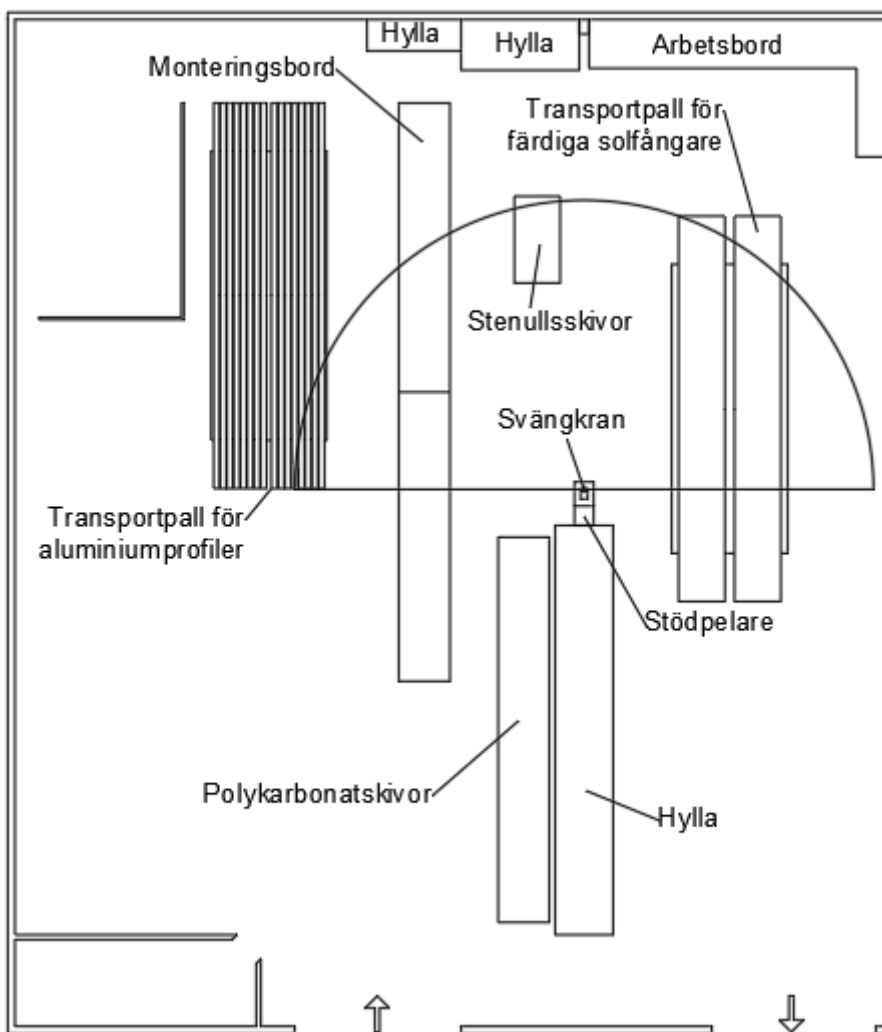
#### 4.2.5 Alternativ

När allt var mätt upp och riktlinjer gjorts för hur och var saker skulle finnas så var det dags att börja ta fram olika alternativ i AutoCAD för att få en uppfattning om hur allt kunde placeras. Det som gjorde saker knepigt var stödpelaren som är placerade mitt i hallen.



Figur 10. Alternativ 1, ena transportpallen inklämd mellan hyllan och stödpelaren.

I alternativ 1 var tanken att ha monteringsbordet så att båda transportpallarna kunde placeras på varsin sida om bordet. Det här förslaget blev genast problematiskt eftersom den ena transportpallen blir inklämd mellan väggen och stödpelaren och i situationer när längden på solfångaren närmar sig 9 meter så tar utrymmet slut. I samband med detta började vi också tänka på att det inte från arbets säkerhetens synvinkel går att för hand lyfta så långa solfångare från monteringsbordet till transportpallen eftersom vikten långt överstiger 100kg. Det var då som det bestämdes att en svängkran skulle installeras vilket också underlättade planeringen.



Figur 11. Alternativ 2, halvcirkeln representerar svängkranens arbetsområde.

I alternativ två förblir monteringsbordet och transportpallen för aluminiumprofilerna på samma plats men transportpallen för färdiga solfångare är nu placerad lite längre bort tack vare svängkranens räckvidd. Polykarbonatskivorna är placerad nära monteringsbordet och är lätta att komma åt när de behövs. Även stenulls skivorna är nu alldeles bredvid monteringsbordet och går lätt att flytta med pumpkärra. I det här alternativet är också transportpallarna placerade så att de lätt går att flytta in och ut genom de båda lyftdörrarna.

I det här skedet valdes hyllan längs med väggen bredvid arbetsbordet som en station för inkommande komponenter som blir använda till produktionen av solfångaren. Eftersom hyllan befinner sig nära ändan av monteringsbordet så är det lätt att komma åt komponenter som blir monterade i övre delen av solfångare. Sådana delar som blir använda i andra änden av monteringsbordet går att flytta dit i början av arbetsdagen i sådana mängder som täcker dagskravet för att minska på onödiga rörelser.

Det bestämdes också att hyllor skulle placeras under och längs med monteringsbordet för delarsom blir monterade på specifika ställen längs med solfångaren. På det här sättet sparar man ytterligare lite tid eftersom rörelsen som skulle ske när man hämtar delarna från hyllan helt lämnar bort.

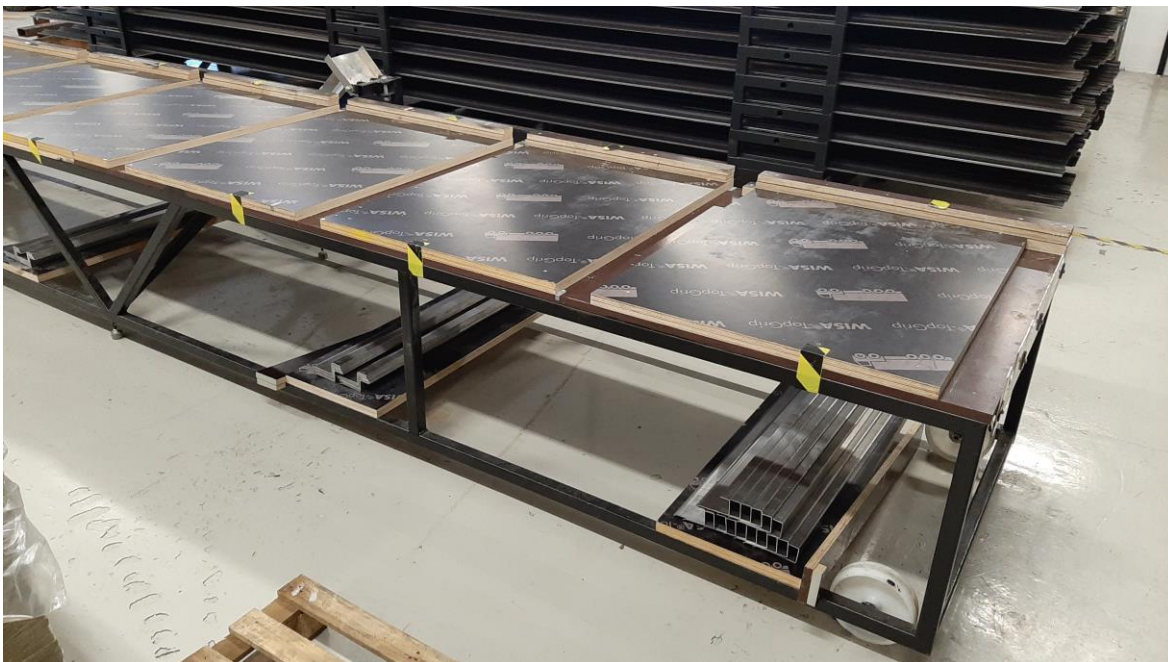
#### 4.2.6 Implementering

Efter att utrymmesplaneringen var klar och alternativ 2 för positioneringen av utrustning och komponenter vald så påbörjades arbetet med att placera allt enligt ritningen för att se om lösningen var funktionell i riktiga världen.



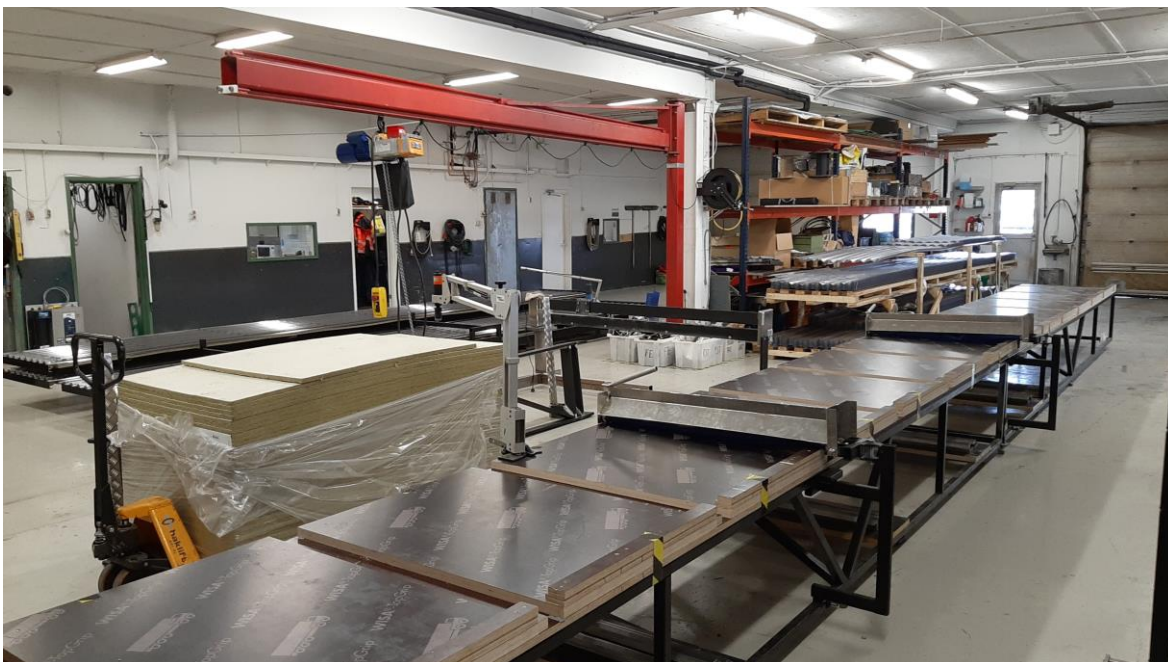
*Figur 12. Monteringsbordet på sin plats, transportpall med aluminiumprofiler till vänster och polykarbonatskivor i olika våningar till höger.*

Längs med monteringsbordet blev de flyttbara hyllorna tillverkade, installerade och fyllda med delar som blir monterade längs med solfångaren för att minska på tiden som det skulle ta att hämta dem länge ifrån.



*Figur 13. Flyttbara hyllor med komponenter installerade under monteringsbordet.*

Svängkranen med en elektrisk vinsch blev också installerade och kommer att underlätta arbetat att lyfta färdiga solfångare till transportpallen längre bort.



*Figur 14. Svängkranen installerad. Lastpallen med bergullsskivorna placerat bredvid monteringsbordet.*

### 4.3 Testförsök

När allt var på sin plats var det dags att påbörja testförsök för tillverkningsprocessen. Ett par stycken solfångare blev ihop monterade för att få en klarare bild över hur och i vilken ordning monteringen skulle ske av alla komponenter. Eftersom monteringsbordet är väldigt långt så är det mycket viktigt att tillverkningsprocessen sker på ett sådant sätt att inga onödiga rörelser förekommer. Det betyder alltså att man skall sträva till att så långt som det går montera komponenter från ena ändan till den andra. Efter att alla steg i processen ordnats upp logiskt så gjordes det en lista som beskriver i vilken ordningen stegen skulle utföras i tillverkningsprocessen.

1.	Fasa hålen i aluminiumprofilerna.
2.	Sätt in aluminium plattor i stenulls skivorna.
3.	Lyft modul lås och stenullsskivorna på monteringsbordet.
4.	Skär sista stenulls skivan till rätt längd och placera nedre aluminiumlist.
5.	Lyft aluminiumprofilerna på stenulls skivorna.
6.	Fäst aluminiumprofilerna med de tillfälliga jigg fästen.
7.	Smörj hålen i båda ändorna av aluminiumprofilen.
8.	Installera fördelningsstockar tillfälligt i båda ändorna.
9.	Kontrollera att allting sitter på sin plats.
10.	Sätt glid spacers på sin plats.
11.	Sätt övre spacern på sin plats.
12.	Borra genom profilerna, övre spacern, modul låsen och aluminium plattorna i stenulls skivan.
13.	Fäst delarna som blev borrade med drag nitar.
14.	Lösgör tillfälliga jigg fästen.
15.	Fäst fördelningsstockar med två lås i övre änden och skruva fast.
16.	Fäst fördelningsstock med två lås i nedre änden och skruva fast.
17.	Sätt på och starta trycktest.
18.	Flytta glid spacers till märkta positioner.
19.	Installera övre tättningslist.
20.	Installera nedre tättningslist.
21.	Såga polykarbonatskivan till rätt längd.
22.	Placera polykarbonat skivan på glid spacerna.
23.	Borra genom polykarbonatskivan vid övre spacern, lägg till aluminiumfäste och fäst med drag nitar.
24.	Borra genom polykarbonatskivan vid resterande glid spacers och fäst med drag nit.
25.	Fäst ändplåt i nedre änden med drag nitar.
26.	Avsluta trycktest.
27.	Fäst övre skyddsplåt med skruvar tillsammans med aluminiumlist.
28.	Sätt skarvhylsor på övre fördelningsstockar.
29.	Kontrollera att alla komponenter är fästa och på rätt sätt.
30.	Gör slutlig dokumentation för produkten.

Figur 15. Lista över stegen i tillverkningsprocessen.

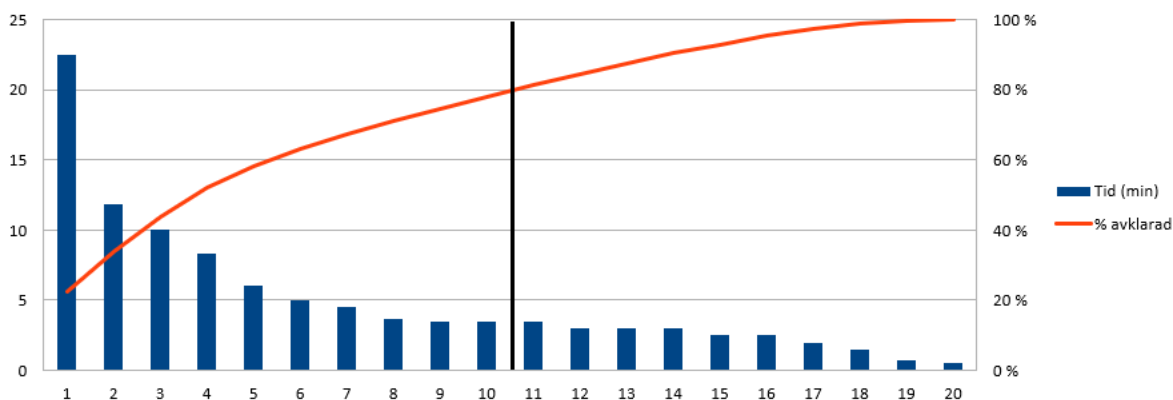
#### 4.3.1 Mätning av processen

Nästa moment var att dela in hela processen i större enskilda arbetsmoment som det enklare gick att ta tid på. Sedan utfördes monteringsprocessen med två arbetare på en 8 meter lång solfångare i sådan takt som det är möjligt att arbeta med under en hel arbetsdag samtidigt

som en tredje person tog tid för varje steg. Resultatet av mätningen blev det sedan gjord en paretoanalys på som ger information om använd tid för varje moment samt hur stor del procentuellt av hela processen ett steg är. På det här sättet får man en bra överblick över vilka steg i processen som är mest tidskrävande och som man först borde förbättra på för att göra tidsbesparingen så stor som möjligt.

I samband med paretoanalyser brukar man också tala om 80/20 regeln, det vill säga att 20 procent av orsakerna står för 80 procent av resultatet. (Tardi, C, 2020)

Steg	Tid (min)	% av processen	% avklarad
1 Borra hål och fäst profiler, övre spacer, modul lås och aluminiumplatta i stenullsskivan	22,5	22,28%	22,28%
2 Smörj och installera fördelningsstockar och tillhörande lås	11,8	11,68%	33,96%
3 Borra hål genom polykarbonatskivan och fäst till spacer	10	9,90%	43,86%
4 Installera skarvhylsor, gör dokumentation och lyfta solfångaren till transportpall	8,3	8,22%	52,08%
5 Fäst nedre ändplåt och övre skyddplåt	6	5,94%	58,02%
6 Sätt in aluminiumplattor i stenullsskivorna	5	4,95%	62,97%
7 Fäst spacers till aluminiumprofilerna	4,5	4,46%	67,43%
8 Lyfta aluminiumprofiler på stenullsskivan	3,7	3,66%	71,09%
9 Fasa hålen i aluminiumprofilerna	3,5	3,47%	74,55%
10 Lyfta modul lås och stenullsskivorna på monteringsbordet	3,5	3,47%	78,02%
11 Starta trycktestet	3,5	3,47%	81,49%
12 Skär sista stenullsskivan till rätt längd	3	2,97%	84,46%
13 Flytta spacers till markerade positioner	3	2,97%	87,43%
14 Installera tätningslister	3	2,97%	90,40%
15 Rengöring med tryckluft och damsugare	2,5	2,48%	92,87%
16 Såga polykarbonatskivan till rätt längd	2,5	2,48%	95,35%
17 Granska att allt är rätt positionerat	2	1,98%	97,33%
18 Lyfta polykarbonatskivan på spacers	1,5	1,49%	98,81%
19 Fäst aluminiumprofiler med tillfälliga jig fästen	0,7	0,69%	99,50%
20 Lösgör tillfälliga jig fästen	0,5	0,50%	100,00%
<b>Total</b>	<b>101</b>		



Figur 16. Paretoanalys på använd tid för de olika stegen i tillverkningsprocessen.

Genom att studera diagrammet ser man att den totala tiden för processen blev 101 minuter. Man ser också att steget att borra hål och fästa aluminiumprofilerna med varandra till modullåsen tog över 22 minuter vilket resulterade i att steget utgör över 22% av hela tillverkningsprocessen. Från det här resultat kunde man dra slutsatsen att borrhandet var något som i första hand måste förbättras.

Ett annat problem som också visade sig när man studerade personerna som gjorde monteringen var att monteringsbordet inte var tillräckligt högt. Det här orsakade att arbetspositionen var väldigt framåtlutande och ibland togs det även stöd med ett knä mot marken för att komma närmare bordet i sådana situationer som det krävdes mera precision.

### 4.3.2 Förbättringar

Eftersom borrarandet skedde med en vanlig batteriborrmaskin och krävde rätt så mycket fysiskt arbete beslöts det att en avlastningsarm med luftborr skulle inskaffas för att göra arbetet snabbare och lättare för arbetaren. Eftersom räckvidden för armen låg på under 1 meter krävdes det att en vagn byggdes med en utvikbar arm som man kan förflytta längs med monteringsbordet till de punkter där borrarandet är nödvändigt. På vagnen blev även en dammsugare monterade med ett munstycke runt borren för att få bort största delen av arbetsmomentet att rengöra ytan från borrarflis.



*Figur 17. Avlastningsarm med borrarverktyg monterad på vagnens utvikbara arm.*

Problemet med höjden löstes i det här skedet med att börja sätta tråklossar under fötterna på monteringsbordet för att få en uppfattning om hur förändringen inverkar på arbetsergonomin. På det här viset kan man prova sig fram till en lämplig höjd och sedan i framtiden göra en mera permanent lösning.

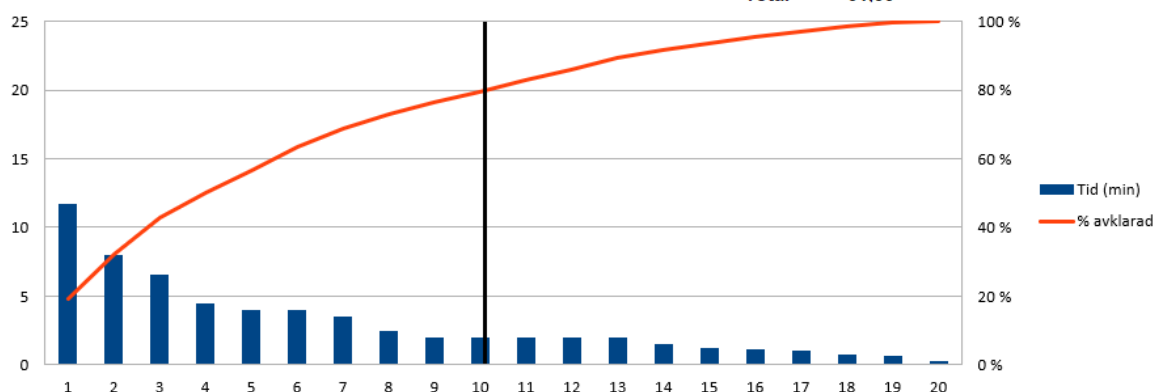


*Figur 18. Arbetspositionen fortfarande ganska framåtlutande i samband med borrarbetet.*

Efter att dessa förbättringar gjorts startades tillverkningsprocessen för beställningen som företaget hade på de 8 meter långa solfångarna. Efter några dagars arbete som också användes för inläring av processen för arbetarna så gjordes en exakt liknande mätning på processens varje steg som tidigare och monterings tiden hade nu minskat till ungefär en timme.

Genom att studera paretoanalysen nedan för processen efter förbättringarna så kan man genast se att borrarbetet och fästandet som tidigare tog över 22 minuter nu endast tar ungefär 12 minuter. Procentuellt så sjönk arbetsmomentets del av hela processen från 22% till 19% med tanke på 80/20 regeln borde momentet ytterligare förbättras. Förutom detta har tiden minskat för största delen av arbetsmomenterna eftersom processen hela tiden blir mera inlärd och därför sker allt mera naturligt utan att man behöver tänka på vad man gör.

Steg	Tid (min)	% av processen	% avklarad
1 Borra hål och fäst profiler, övre spacer, modul lås och aluminiumplatta i stenulesskivan	11,7	19,07%	19,07%
2 Borra hål genom polykarbonatskivan och fäst till spacer	8	13,04%	32,11%
3 Smörj och installera fördelningsstockar och tillhörande lås	6,6	10,76%	42,87%
4 Fäst spacers till aluminiumprofilerna	4,5	7,33%	50,20%
5 Installera skarvhylsor, gör dokumentation och lyfta solfångaren till transportpall	4	6,52%	56,72%
6 Fäst nedre ändplåt och övre skyddplåt	4	6,52%	63,24%
7 Fasa hålen i aluminiumprofilerna	3,5	5,70%	68,95%
8 Lyfta aluminiumprofiler på stenulesskivan	2,5	4,07%	73,02%
9 Sätt in aluminiumplattor i stenulesskivorna	2	3,26%	76,28%
10 Lyfta modul lås och stenulesskivorna på monteringsbordet	2	3,26%	79,54%
11 Starta trycktestet	2	3,26%	82,80%
12 Flytta spacers till markerade positioner	2	3,26%	86,06%
13 Rengöring med tryckluft och damsugare	2	3,26%	89,32%
14 Granska att allt är rätt positionerat	1,5	2,44%	91,77%
15 Installera tätningslister	1,2	1,96%	93,72%
16 Såga polykarbonatskivan till rätt längd	1,1	1,79%	95,52%
17 Skär sista stenulesskivan till rätt längd	1	1,63%	97,15%
18 Lyfta polykarbonatskivan på spacers	0,75	1,22%	98,37%
19 Fäst aluminiumprofiler med tillfälliga jig fästen	0,7	1,14%	99,51%
20 Lösgör tillfälliga jig fästen	0,3	0,49%	100,00%
<b>Total</b>	<b>61,35</b>		



Figur 19. Paretoanalys gjord på processen efter förbättringarna.

För att fortsättningsvis också göra förbättringar så bestämdes det att man regelbundet gör nya mätningar för processen för att få en uppfattning om var det finns tid att spara. Förutom detta borde man också åtminstone en gång i veckan ordna ett kort kaizen möte med de arbetare som arbetar med monteringen ifall det finns förslag på förbättringar som skulle resultera i minskat slöseri.

#### 4.4 Lagerstorlek för produktionen

Ett delsyfte med arbetet var att tänka på komponentinventariets storlek och därför sattes också en del av tiden på detta. De flest av huvudkomponenterna i solfångaren som aluminiumprofilerna, polykarbonatskivorna och stenulesskivorna blir beställda enligt mått och har alla beroende på beställningens storlek en leveranstid på åtminstone några veckor ända upp till flera månader. De resterande mindre komponenterna som används har alla en kortare leveranstid. Från det här kan man dra den enkla slutsatsen att det inte i nuläget är nödvändigt att ha dessa komponenter i lager om man inte heller har tillräckligt med

huvudkomponenter. Dock finns det möjligtvis ett undantag, fördelningsstockarna som blir använda kräver mera tid att tillverka jämfört med andra mindre komponenter eftersom processen innehåller fler steg. Det här betyder att tiden från beställningen till färdig komponent också är längre. Med tanke på detta kunde det vara bra att ha ett sådant antal i lager som man ungefär använder på en vecka. I nuläget är det dock svårt att säga vad det här antalet är eftersom produktionshastigheten hela tiden stiger.

I framtiden om man bestämmer sig för att också börja sälja enligt standardmått så kräver det såklart att situationen granskas igen, men även i den situationen kan det vara svårt att säga något antal till att börja med innan man får en klar bild över efterfrågan. Det är också viktigt att komma ihåg att komponenter som bara sitter i ett lager är en onödig kostnad, kan innehålla fel som inte upptäckts och kan bli skadade som följd av onödig transport.

Svackor som uppstår i produktionen är också ett resultat av måttbeställning eftersom man inte kan producera något på förhand innan man har en beställning och alla tillhörande komponenter. Ifall man i nuläget skulle få en större beställning så har man inte heller tillräckligt med arbetskraft för att täcka efterfrågan. Som tur har Heliostorage nära samarbete med ett antal andra företag som också lider av förändringar i efterfrågan på deras produkter och tjänster. Det här betyder att man vid behov när en stor beställning kommit kan hyra in mera arbetskraft till tillverkningsprocessen för den tid som det tar att tillverka produkten. I nuläget är den här lösningen billigare än att anställa någon permanent men precis som situationen med komponentlagret så kan det här också förändras i framtiden. Ett alternativ som man kan tänka på är att anställa personal som också kan arbeta med andra saker inom företaget när behovet för solfångaren är mindre.

## **4.5 Resultatanalys**

Syftet med examensarbetet var att planera tillverkningsprocessen med metoder ledande upp till Design for Six Sigma. Eftersom inget system följts tidigare så blev planeringsområdet ganska stort med både planering för utrymmet och stegen i processen.

Vid planeringen för utrymmet var det viktigt att få en lösning som skapar ett flöde i processen, det vill säga att inga komponenter blir och stå utan istället så fort som möjligt blir använda i tillverkningen. Även teorin om dragsystem och Just-In-Time utnyttjades i form av att man i nuläget inte har onödiga komponenter i lager utan istället väntar på att en produkt blir beställd, varefter komponenter blir beställda och levererade enligt den tidpunkt som de behövs.

Positioneringen av utrustningen och större komponenter var väldigt viktigt för att inte skapa onödigt slöseri i form av väntan, transporter och rörelse. Med tanke på detta valdes alternativ 2 i kapitel 4.2.1.

När utrymmet sen ordnades upp enligt det valda alternativet så konstaterades det att lösningen även var funktionell i verkligheten. Själva stegen i processen blev sedan planerade enligt information om kundens behov. Här sattes mycket tid på att få en process med enkla steg och tillräckliga hjälpmedel för att minimera överbelastning samt slöseri i omarbete och outnyttjade förmågor.

Mätningar gjordes på processen och resultaten studerades för att förbättra processen. En plan gjordes även för ytterligare mätningar och diskussioner med arbetarna gällande fortsatt förbättring i framtiden.

Något direkt resultat gällande svackor i produktionen blev det inte eftersom man endast för tillfället erbjuder produkter som beställningsvaror. Och därför är det också billigare i nuläget att hyra in arbetskraft istället för att anställa fler arbetare. Trots detta skaffades det en hel del teori om utjämning av ojämnheter i processen som det går att använda sig av i framtiden.

När man nu efteråt studerar arbetet så kan man konstatera att den följer till största dels DMAIC metoden som är mera vanlig när man förbättrar processer. Först blev det definierat vilka krav man hade för processen. Sedan när processen prövades så gjordes det mätningar som sedan analyserades. Efter det här skedde det förbättring. Den sista fasen om att kontrollera processen är redan planerad och kommer att ske i takt med att produktionen fortsätter.

När jag nu efteråt ser på planeringen av processen och sedan jämför det med hur det blev i verkligheten så är jag väldigt nöjd över slutresultatet. Man har nu enligt min åsikt en väldigt bra grund att fortsätta utvecklingen av tillverkningsprocessen från i framtiden.

## **4.6 Kritisk granskning av arbetet**

Huvudsyftet med arbetet att planera tillverkningsprocessen med stegen som leder upp till Design for Six Sigma uppfylldes och en lösning för tillverkningsprocessens varje steg hittades. Dock blev teoridelen om själva Design for Six Sigma lite kort och användes inte heller så mycket i resultatet. En orsak till detta var att man redan hade en färdig produkt och ett sätt att tillverka den på och därför påbörjades inte heller arbetet helt från noll.

Lösningar för delsyften gällande svackor i produktionen och komponentlagrets storlek hittades till största dels men det kräver att situationen granskas om i framtiden om det sker förändringar i produktsortimentet eller efterfrågan.

Det skulle ha varit bra om man till att börja med hade gjort upp lite mera bestämda krav för processen som man kunde ha följt under planeringen.

Trots detta blev slutresultatet bra och det var intressant att se processen förvandlas från planering till en fungerande verklighet.

#### **4.7 Förslag till fortsatt forskning**

En stor del av resultatet i detta arbete kommer från teorin om 5S, Lean och Toyota Production System medan teoridelen gällande Six Sigma, Lean Six Sigma och Design for Six Sigma blev kortare och mindre använda i resultatet. Därför vore nästa steg att närmare studera teorin för dessa och på så sätt få mera information om statistiska verktyg som det går att använda sig av för att ytterligare förbättra tillverkningsprocessen.

## 5 Diskussion

När jag tog emot det här examensarbetet och satte igång med att läsa teori så hade jag egentligen ingen information om ämnet tidigare. Därför gick det också väldigt sakta framåt till att börja med och det kändes svårt att bestämma sig för vad som var viktigt och vad som var mindre relevant gällande ämnet. Det blev ganska fort uppenbart att det krävdes mycket teori om att standardisera en process innan man kunde använda sig av Six Sigma metoder som mera behandlar användningen av statistiska verktyg.

Eftersom examensarbetet utfördes på min arbetsplats så gick den praktiska delen egentligen hand i hand med den arbetsuppgift som jag hade. Tack vare det här så blev planeringen av utrymmet den lättaste delen av arbetet eftersom det var något som jag redan tänkt på en längre tid. Det intressantaste med hela processen var att få se när planeringen förvandlades till verklighet, och att det alternativet som valdes också var funktionellt. Eftersom produkten redans fanns så planerades arbetsmomenten i processen enligt den och på ett sådant sätt att inga onödiga rörelser skulle förekomma. Det här märks när man nu studerar arbetare som utför montering, men det finns alltid rum för förbättring.

När jag nu tittar på resultatet som en helhet så är jag väldigt nöjd eftersom allt i princip fungerar som planerat. Och sådana saker som var lite problematiska blev genast förbättrade. Men om jag nu skulle göra om arbetet så hade jag börjat med att sätta noggrannare krav för processen som speciellt skulle ha underlättat att skriva teoridelen. Då kanske det också hade funnits mera tid att studera och använda sig av flera Six Sigma verktyg i tillverkningsprocessen.

Det viktigaste som jag lärde mig under arbetets gång var hur många olika slags metoder det går att använda sig av för att göra processer smidigare och minska på onödiga kostnader. Det är också nu lättare för mig att identifiera saker som orsakar slöseri inom ett företag. Det som nu i framtiden blir intressant att se är hur man kan använda dessa metoder inom företaget för att fortsättningsvis göra förbättringar som också resulterar i besparingar.

Slutligen vill jag ge ett stort tack till min handledare Timo Sivula från Heliostorage som erbjöd mig det här arbetet och som under hela processens gång försökte motivera mig att få det klart. Hans kunskap om ämnet var väldigt värdefullt i situationer när jag hade kört fast. Ett tack går också till min handledare Rolf Dahlin från skolans sida som gav mig goda råd under arbetets gång.

## 6 Källförteckning

Do, D., 2017. *The Five Principles of Lean*. [Online]  
<https://theleanway.net/The-Five-Principles-of-Lean>  
[Använd 5 Januari 2020].

Excellence center, 2018. *Improvement Roadmap*. [Online]  
<https://www.theexcellencecenter.org/single-post/2018/01/30/Improvement-Roadmap>  
[Använd 20 Mars 2020].

GoSkills, u.å.. *What is Lean Six Sigma*. [Online]  
<https://www.goskills.com/Lean-Six-Sigma>  
[Använd 6 Februari 2020].

Heliostorage, u.å.. *Our company*. [Online]  
<https://heliostorage.com>  
[Använd 15 December 2019].

Kanbanize, u.å.. *What is Heijunka?*. [Online]  
[Använd 19 Januari 2020].

Lean Enterprise Institute, u.å.. *MUDA, MURA, MURI*. [Online]  
<https://www.lean.org/lexicon/muda-mura-muri>  
[Använd 3 Mars 2020].

Lean Enterprise Institute, u.å.. *Toyota Production System*. [Online]  
<https://www.lean.org/lexicon/toyota-production-system>  
[Använd 25 Februari 2020].

Liker, J. K., 2004. *The Toyota Way*. New York: McGraw-Hill.

Quality-One, u.å.. *Design for Six Sigma*. [Online]  
<https://quality-one.com/dfss/>  
[Använd 2 Mars 2020].

Skhmot, N., 2017. *What is Lean?*. [Online]  
<https://theleanway.net/what-is-lean>  
[Använd 3 Januari 2020].

Tardi, C, 2020. *80/20 Rule*. [Online]  
<https://www.investopedia.com/terms/1/80-20-rule.asp>  
[Använd 25 Mars 2020].

Toyota Motor Corporation, u.å.. *Toyota Production System*. [Online]  
<https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/>  
[Använd 8 Januari 2020].