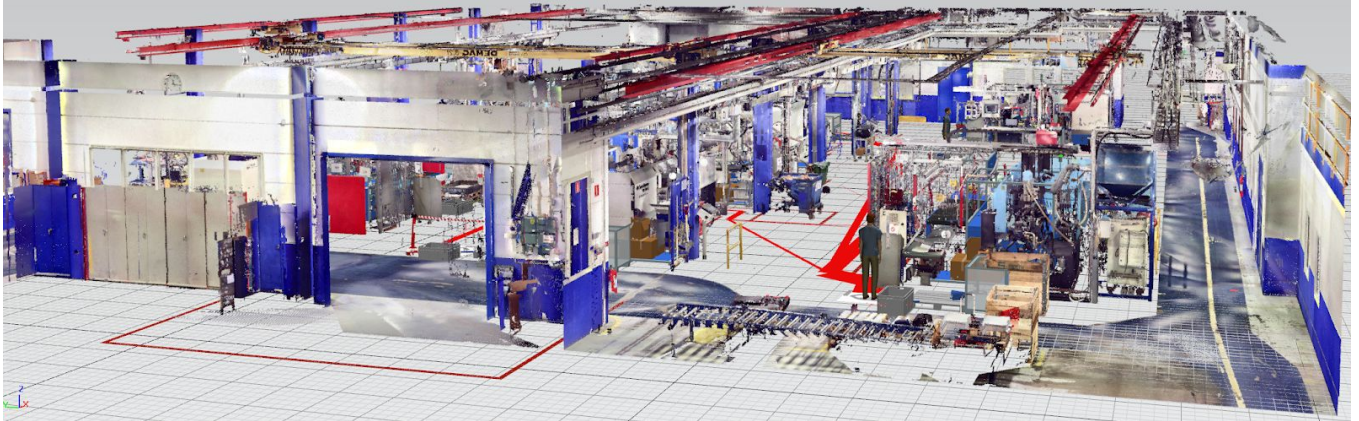




CHALMERS



Effektivisering av produktionsflöde med digital tvilling

Examensarbete inom Maskiningenjörsprogrammet

LUDVIG LUCKMEIER
SARA FORSBERG

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Gothenburg, Sweden 2020
www.chalmers.se

Kandidatarbete 2020

Effektivisering av produktionsflöde med digital tvilling

Författare

Ludvig Luckmeier
Sara Forsberg

Handledare
Jonatan Berglund



CHALMERS

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap CHALMERS
TEKNISKA HÖGSKOLA Göteborg, Sverige 2020

Effektivisering av produktionsflöde med
digital tvilling

Ludvig Luckmeier, Sara Forsberg

© Ludvig Luckmeier, Sara Forsberg

Institutionen för industri- och materialvetenskap, Maskiningenjörsprogrammet
Chalmers Tekniska Högskola SE- 412 96 Göteborg Sverige
Telefon + 46 (031) 772 10 00

Förord

Detta examensarbete avslutar vår högskoleingenjörsutbildning inom Maskinteknik vid Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet motsvarar 15 högskolepoäng och har genomförts på institutionen för industri- och materialvetenskap. Examensarbetet har genomförts som ett delprojekt inom projektet DIP - Digital tvilling för installation och utveckling av produktionssystem hos en av projektdeltagarna KB Components. Målsättningen har varit att med hjälp av en digital tvilling hitta alternativa lösningar till ett effektivare produktionssystem

Detta projekt har varit mycket givande och lärorikt och vi vill tacka samtliga involverade. Ett stort tack till vår handledare Jonatan Berglund för råd och stöd. Vi vill även tacka Christoffer Erlandsson och resterande medarbetare på KB Components samt medarbetarna på RISE.

Abstract

KB Components industrial factory is located in a small town called Örkeljunga, where hard plastic components are produced and delivered to well-known companies in Sweden. In a specific area of the factory, the current location of machines is not optimal for production and needs to be relocated. A major problem today is that the machines are placed through space and not to help production which leads to unnecessary walking distances that contribute to non-value-adding time.

The thesis project is part of DIP - Digital twin for the development and installation of production systems, which is a research project in which Chalmers is one of the participating research partners.

This thesis project aims to create more efficient work for the operators with shorter movements, less waiting times, and better production flow. To achieve the purpose of the project partners created a digital twin by use of 3D scanning and discrete event simulation in Plant Simulation. Discrete event simulation lets various locations of the machines be simulated and analyzed.

The result of simulation and analysis with a digital twin in Plant Simulation is that machines should be placed in one high frequency cell and one low-frequency cell. A large material storage area for in- and outgoing material should be placed near truck traffic for time optimization and minimize walking distances for the operator.

The conclusion drawn is that repositioning is necessary to reduce non-value adding time. When repositioning, a standardized approach should be followed, whereby deviations in the new flow can be identified and eliminated. The point cloud simulation model developed within the project can be used in the future to change or develop the flow that has been developed.

Sammanfattning

I Örskelljunga ligger KB Components industrianläggning där hårda plastdetaljer produceras och levereras till välkända företag i Sverige. I en avgränsad del av anläggningen är nuvarande placering av maskiner inte optimal för produktionen och behöver omplaceras. Ett stort problem idag är att maskinerna står ute efter plats och inte efter procentuell bemanning, vilket gör att onödiga gångsträckor bidrar till icke värdeökande tid.

Examensarbetet ingår i DIP - Digital tvilling för utveckling och installation av produktionssystem som är ett forskningsprojekt där Chalmers är en deltagande forskningspartner.

Syftet med examensarbetet är att skapa ett effektivare arbete för operatörerna med kortare förflyttningar, mindre väntetider och bättre produktionsflöde. För att uppnå syftet med projektet har en digital tvilling skapats med hjälp av 3D-skanning och simulering i programmet Plant Simulation, där olika placeringar av maskinerna simulerats och analyserats.

Resultatet av simulering och analysering med digital tvilling i Plant Simulation är att maskiner med hög respektive låg frekvens bör placeras nära varandra. En stor avlastningsyta för in och utgående material bör placeras nära truckgången för tidsoptimering och avlastning för operatören.

Den slutsats som dragits är att en omplacering är ett bra sätt att reducera icke värdeadderande tid. Vid omplacering bör ett standardiserat arbetssätt följas, därav kan avvikelser i det nya flödet identifieras och elimineras. Den simuleringsmodell med punktmoln som tagits fram inom projektet kan användas i framtiden för att förändra eller utveckla det flödet som utarbetats.

Innehållsförteckning

Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Forskningsprojekt: DIP - Digital tvilling för utveckling och installation av produktionssystem	2
1.1.2 KB Components	3
1.2 Syfte	3
1.3 Avgränsningar	3
2. Teoretisk referensram	4
2.1 Lean	4
2.1.1 Värdeskapande tid och slöserier	5
2.1.2 Standardiserat arbetssätt	5
2.1.3 5S ordning och reda	6
2.3 Spagettidiagram	6
2.4 Digital tvilling	7
2.4.1 Simulering	7
2.4.1.1 Plant simulation	7
2.4.2 3D scanning	7
2.4.3 Hantering av 3D-data	8
2.5 DataFit och Expert Fit	8
2.6 Hållbar utveckling	8
3. Metod	9
3.1 Datainsamling	9
3.1.1 Nuläge	9
3.1.2 Observation	9
3.1.3 Tidmätning	9
3.1.4 Dokumenterade mätdata från KB Components	10
3.1.5 Layoutritning	10
3.1.6 Spagettidiagram	10
3.1.7 3D skanning	10
3.1.8 Behandling av 3D data i SCENE och Cloud Compare	10
3.1.9 Grundmodell i Plant Simulation	11
3.1.8 DataFit och Expert Fit	11
3.1.9 Simulering av nuvarande layout	11
3.2 Framtida flöde	12
3.2.1 Framtagning av layoutförslag	12
3.2.2 Simulering av layoutförslag	12
3.2.3 Värdering av layoutförslag	12

4. Resultat	14
4.1 Nuläge	14
4.1.1 Spagettidiagram	15
4.1.2 Observation	15
4.1.3 Insamlad mätdata	16
4.1.3.1 Cykel- och taktider	16
4.1.3.2 Insamling av mätdata av projektmedlemmar	16
4.1.3.3 Dokumenterade mätdata från KB Components	19
4.1.3.4 Indata till Plant Simulation	19
4.1.4 Simulering av nuvarande placering	22
4.2 Framtida placering	24
4.2.1 Layout 1	25
4.2.2 Layout 2	26
4.2.3 Värdering av layoutförslag	27
4.2.4 Simulering av layoutförslag	28
4.2.4.1 Layout 1	28
4.2.4.2 Layout 2	29
4.3 Sammanfattning av resultat	30
5. Diskussion	32
5.1 Observation	32
5.2 Insamling av mätdata	33
5.3 Nuvarande layout	33
5.4 Framtagning av layoutförslag	33
5.4.1 Layout 1	34
5.4.2 Layout 2	34
5.5 Värdering av olika alternativ	34
5.6 Simulering och resultat	35
5.7 Hållbar utveckling	36
5.7.1 Sociala aspekter	36
5.7.2 Ekologiska aspekter	36
5.7.3 Ekonomiska aspekter	36
5.8. Fortsatt arbete	36
6. Slutsats	37
Litteraturförteckning	38
Bilagor	40
Bilaga 1	40
Bilaga 2	40
Bilaga 3	41
Bilaga 4	44
Bilaga 5	46

1. Inledning

Små till medelstora företag har inte samma ekonomiska möjlighet till att göra eventuella ändringar i produktionssystemet för att minska kostnader, tidsåtgång vid produktion samt underlätta modellering och installationer. Därav utvecklas digital tvilling inom projektet DIP-Digital tvilling för utveckling och installation av produktionssystem för att ge dessa företag liknande förutsättningar som stora företag att digitalt visualisera och utforma ett produktionssystem med hjälp av 3D-skanning av produktionsanläggningen.

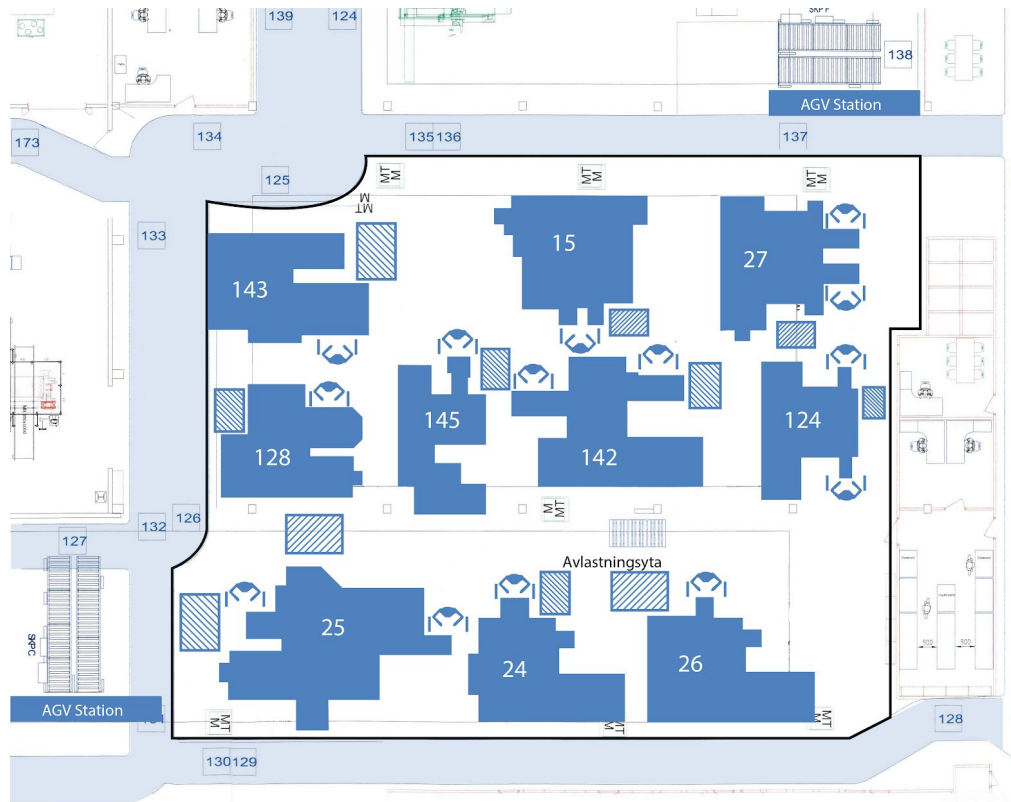
1.1 Bakgrund

I takt med att befolkningen och den ekonomiska tillväxten ökar, enligt Ekonomifakta (2019), har även utvecklingen av fabrikers produktionssystem fortsatt med allt mer automatiserad produktion och nya sätt att effektivisera hela eller delar av produktionssystemet. Liker (2004) ger i sin bok *The Toyota Way* exempel på hur det kan gå till. Den ökade köpkraften och tillväxten gör även att planeringen av själva produktionssystemen behöver utvecklas.

Att bygga, testa och optimera en produktionslina tar tid och kostar pengar och ju längre tid som produktionen ligger nere på grund av detta desto större blir förlusterna.

Ledningsgrupper i företag är intresserade av korta installationstider för nya produktionssystem eller införandet av nya produkter. Är resultatet ett längre stopp för en ombyggnation är detta ofta inte intressant (Cohen et al., 1996). En lösning på det problemet är att använda sig av en så kallad digital tvilling där en kopia av ett befintligt eller framtida produktionssystem skapas digitalt. Tester och optimeringar kan då göras på en dator varefter ett fullt fungerande system kan installeras med minimalt produktionsavbrott som följd (Becker et al., 2005).

I det avgränsade området på KB Components har 10 maskiner som genom formsprutning tillverkar diverse plastdetaljer till bland annat fordonsindustrin. Maskinerna sköts av operatörer som går mellan varje maskin och tömmer dem på färdiga produkter vilka packas i lådor. Dessa maskiner har blivit placerade utefter utrymme och inte efter effektivitet vilket har resulterat i onödigt långa gångsträckor mellan maskinerna då personalen ska utföra sitt arbete. Dagens placering upplevs dessutom som trång och det saknas uppmärkta ytor för färdigt material och emballage vilket skapar oreda. För att lösa problemet och ta fram en ny layout krävs att en utredning görs där skapandet av en digital tvilling av det avgränsade området är ett bra verktyg. Figur 1 nedan visar dagens uppställning av maskiner i det avgränsade området.



Figur 1 . Nuvarande placering av maskiner i det avgränsade området

1.1.1 Forskningsprojekt: DIP - Digital tvilling för utveckling och installation av produktionssystem

Detta examensarbete ingår som en delprojekt i forskningsprojektet Digital tvilling för utveckling och installation av produktionssystem. Det syftar till att få små till medelstora tillverkande företag att använda sig av 3D-skanning och simuleringsverktyg för att effektivisera ombyggnationer och flyttar av produktionssystem. Dessa verktyg medför att en optimal layout kan installeras istället för att förlita sig till trial-and-error (RISE, 2019).

I projektet deltar en rad olika företagspartners och dessa är bland annat:

- RISE
- Chalmers
- ATS
- GIAB
- Volvo Cars
- Parker Hannifin
- Plastal
- KB Components
- Blomdahls
- Plamex
- 3ButtonGroup
- Siemens Industrial Software

1.1.2 KB Components

År 1947 grundades företaget KB Components i södra Sverige, närmare bestämt Örkelljunga. KB Components har idag en produktion som avser avancerad teknik för tillverkning av plastkomponenter. Företaget har huvudkontor och produktionsanläggning i Örkelljunga men erbjuder också internationella produktionsanläggningar i Litauen, Mexiko och Kina. Denna aktör säljer plastkomponenter till företag inom bland annat fordonsindustrin (<http://www.kbcomponents.com>).

1.2 Syfte

Att med modern teknik skapa en digital tvilling av en fabrik för att kunna göra förändringar och optimera verksamheten digitalt. Detta medför att ett virtuellt testat och verifierat system kan installeras direkt vilket minimerar tiden produktionen behöver stå stilla.

KB Components vill göra nuvarande system med nuvarande placeringar effektivare genom uppmärkning av avlastningsplatser för material. De vill även få förslag på en omflyttad framtida layout. Syftet är att skapa en layout där kortare förflyttningar, mindre väntetider och en effektivare produktion gynnar operatörens arbetssätt.

1.3 Avgränsningar

Projektet kommer att begränsas till en mindre del i fabriken, och fokuseras till att skapa ett välfungerande flöde mellan maskinerna inom detta område. Maskinernas effektivitet kommer inte att behandlas, endast relationer mellan dem. Det avgränsade området innehåller idag 10 maskiner. I det avgränsade området har KB Components önskemål att omplacera maskiner. KB Components önskar också att maskinerna ska ha en tydlig struktur med in och utgående material.

Av dessa maskiner är M124 under demontering och M24 kommer plockas ned framöver. Projektet kommer därmed inte behandla dessa två.

2. Teoretisk referensram

I detta kapitel beskrivs teorin bakom förekommande termer och uttryck längs hela rapporten. Tanken är att få en djupare förståelse för bakgrund till metoder och resultat.

2.1 Lean

Lean produktion kommer ursprungligen från företaget Toyota som skapade "Lean production" eller "Lean Manufacturing" vilket bygger på att reducera förluster genom ständiga förbättringar. Lean produktion gör skillnad på värdeskapande tid och slöserier, implementerar ett standardiserat arbetssätt samt håller ordning och reda genom att använda 5S. Detta beskrivs i avsnitten nedan. I Lean finns det 14 grundläggande principer för att nå en välfungerande verksamhet. Liker (2004) poängterar att dessa principer inte är en verktygssamling, utan en uppmuntran om att alltid sträva efter ständiga förbättringar och att inkludera alla medarbetare i förbättringsprocessen. Dessa principer beskrivs nedan:

1. Basera beslut på långsiktigt tänkande även om de sker på bekostnad av kortsiktiga finansiella mål.
2. Skapa kontinuerliga processflöden för att föra upp problem till ytan.
3. Använda dragande system för att undvika överproduktion.
4. Jämna ut arbetsbelastningen.
5. Skapa en kultur där processer stoppas för att reda ut problem.
6. Standardiserat arbete är grund för ständiga förbättringar och för medarbetarnas medverkan.
7. Använd visuell styrning så att inga problem döljs.
8. Använd bara pålitlig, väl beprövad teknik som passar medarbetare och processer.
9. Se till att ledningen känner verksamheten på djupet, lever enligt företagets filosofi och lär andra att göra det.
10. Utveckla människor och arbetslag som följer företagets filosofi.
11. Respektera partners och leverantörer genom att hjälpa dem att bli bättre.
12. Gå och se med egna ögon för att bättre förstå en situation.
13. Fatta beslut långsamt och i samförstånd. Överväg alla alternativ och genomför sedan valt beslut snabbt.
14. Bli en lärande organisation genom att ständigt reflektera och förbättra.

2.1.1 Värdeskapande tid och slöserier

I en produktionsprocess finns det värdeskapande tid, nödvändig tid och slöserier. Den värdeskapande tiden är den tid kunden faktiskt betalar operatören för att utföra ett specifikt arbetsmoment. Den övriga tiden som finns i ett arbetsmoment kan delas upp i två delar. Den ena tiden kallas nödvändig tid, alltså en tid som måste finnas i ett moment men som kunden inte betalar för vilket till exempel kan till exempel vara att gå och hämta en palldragare. Den andra tiden kallas för slöseri, denna tid är inte nödvändig inom ett arbetsmoment och kan delas in i åtta kategorier vilka kallas 7+1 slöserier (Liker, 2004).

1. **Överproduktion**

Att producera mer än vad kunden efterfrågar är en viktig slöseri. Denna ger upphov till andra slöserier som lagerkostnader, ändring av artikel med för kassering av tidigare.

2. **Väntan**

Onödig väntan på maskiner, service eller information. Kan vara vid haveri, väntan på en maskin, förseningar i logistik.

3. **Rörelse och förflyttningar**

Långa gångsträckor till maskiner eller verktyg.

4. **Överarbete**

Moment vilka ej skapar värde för kunden.

5. **Mellanlager och förråd**

Att lagra mer produkter än vad som faktiskt används tillför mycket lagerkostnader för företaget. Produkter som lagras kan behöva kasseras vid ändring av produkt.

6. **Transport**

Onödiga transporter kan medföra kvalitet och försenings problem.

7. **Omarbete och kassation**

Upprepade arbetsmoment, där till exempel en skruv monteras men måste demonteras senare i flödet.

8. **Ej utnyttjad kompetens**

Alla medarbetare sitter på olika kompetenser. En stor slöseri är att inte utnyttja kompetenser och att sprida kunskap inom företaget.

2.1.2 Standardiserat arbetssätt

För att ett produktionsflöde ska bli så effektivt som möjlig gäller det att minimera slöserier och maximera värdehöjande tid. Standardiserat arbetssätt betyder att tydliga instruktioner för alla operationer finns och att dessa följs. Detta ger grunden för att avvikelser (slöserier) tydligt kan lyftas fram till ytan och elimineras (Liker, 2004).

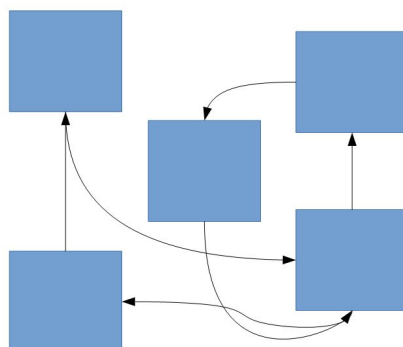
2.1.3 5S ordning och reda

5S är en effektiv metod för att skapa ett normaltillstånd av ordning och reda på en arbetsplats, men också för att upprätthålla och förbättra detta tillstånd. För att skapa detta tillstånd bör alla 5S följas (Liker, 2004).

1. **Sortera** - *Separera det nödvändiga från det onödiga*
2. **Systematisera** - *En plats för allting och allt på sin plats*
3. **Städa** - *Regelbunden städning*
4. **Standardisera** - *Använd tidigare 3S och tillämpa dem*
5. **Se till** - *upprätthåll 5S i dagliga arbete och sträva efter förbättringar genom att skapa en vana för att bibehålla ordningen.*

2.3 Spagettidiagram

Ett spagettidiagram eller material flödeskarta följer materialets eller operatörens väg genom en operation. Denna väg visualiseras på en karta över det berörda området. I Figur 2 visas ett exempel på hur ett spagettidiagram kan se ut. Spagettidiagram är en bra metodik i ett område som uppfattas som otydligt och där en operation kan genomföras på många olika sätt. I diagrammet kan information om tider och avstånd i de rörelser som operatören eller materialet tar presenteras. Metodiken ligger till grund för att utveckla ett framtida läge för processflödet (Sörqvist, 2013). För att skapa ett spagettidiagram behövs papper och penna. Den enklaste sättet är om det redan finns en karta eller en skiss över det avgränsade området, men det går lika bra att rita en egen karta över området. Därefter studeras en produkt eller en operatör genom att rita linjer mellan operationerna på skissen.



Figur 2. Ett exempel på ett spagettidiagram. De blå boxarna representerar arbetsstationer, pilarna är gångvägar operatören tar.

2.4 Digital tvilling

En digital tvilling är en virtuell representation av till exempel ett produktionssystem. En digital tvilling skapas med hjälp av med 3D-skanning skapa ett punktmoln, vari man kan göra simuleringar av ett nutida eller framtida scenario. 3D-skanning och simulering är lämpliga att kombinera när en produktionsprocess eller ett flöde ska skapas eller ändras. Denna kombination ger en skalenlig spegling av det nuvarande systemet och ligger som grund för en kommande förändring (Fei Tao et al.,2017).

2.4.1 Simulering

Simuleringar är ett sätt att visualisera ett system eller en process i en virtuell prövning, utan att fysiskt ändra eller tillverka något. I en simulering är det möjlig att undersöka mycket komplexa system och processer samt få en uppfattning hur subsystem integrerar med varandra. Detta genom att ändra mätvärden i modellen.

Det finns många olika användningsområden inom simulering och det går att simulera väldigt många olika processer och flöden. Inom produktionsområdet används diskret händelsebaserad simulering för att analysera sambandet mellan processer och flöden. I den virtuella modellen kan simulering ske av till exempel maskintider och slumpmässiga utfall av stokastiska variabler. Med detta verktyg finns det möjlighet att identifiera eventuella flaskhalsar, produktionskapacitet, minska ledtider och verifiera integration mellan produktdesign och produktionen (Banks et al.,1996).

2.4.1.1 Plant simulation

Plant Simulation är ett program för diskret händelsebaserad simulering skapat av Siemens som används till att simulera fabriker (Siemens, 2019). En modell av en fabrik skapas där maskiner och även arbetares gångvägar och gångtider kan simuleras. Här kan en visuell bild av fabriken byggas upp där även 3D-skanningsdata kan laddas in för att få simuleringen att likna verkligheten än mer.

2.4.2 3D scanning

En 3D-scanner används för att mäta i 3 dimensioner ett objekt eller en miljö, såsom en lokal eller en plats utomhus. Vid analysen samlas information om form och eventuellt färg in vilka kan användas för att skapa en tredimensionell modell. Resultatet av en 3D-scanning kallas för ett punktmoln (Lindskog et al., 2012). För att skapa en komplett 3D-modell, av till exempel en fabrikslokal, kan ett flertal punktmoln behöva skapas på grund av att skanningsverktyget alltid har en begränsad räckvidd. Med andra ord så kan ett flertal skanningar behöva göras i flera olika vinklar och positioner. Dessa punktmoln kombineras sedan i ett datorprogram till ett gemensamt punktmoln som då förhoppningsvis liknar objektet, eller lokalen, man skannat in.

2.4.3 Hantering av 3D-data

Vi hantering av 3D-data kan olika program komma att användas. Dessa program hanterar datan på olika sätt. Här nedan presenteras tre program:

- *SCENE* är en mjukvara som är specificerad för behandling av 3-dimensionerad laser skannings data. Användaren kan exportera 3D-komponenter till CAD format eller olika punktmoln samt enklare mätningar på olika 3D vyer utföras. En viktig funktion är att användaren kan klippa ut objekt, såsom en maskin, och exportera det som ett enskilt punktmoln i en egen fil (Faro, 2019).
- *CloudCompare* är en öppen programvara som hanterar 3D-punktmoln. I detta program kan användaren filtrera bort data som inte behövs samt kombinera flera punktmoln till ett (CloudCompare, 2019).
- *Bentley Pointools PODcreator* används för att omvandla punktmolnen till .pod format för att kunna laddas in i Siemens Plant Simulation (Bentley Pointools Podcreator, 2019).

2.5 DataFit och Expert Fit

Expert Fit är ett vetenskapligt verktyg som används inom ingenjörsyrken för att förenkla dataplotting (Flexsim, 2019). I Expert Fit matas data in där den sedan jämför olika fördelningar och betygsätter den mest lämpliga funktionen för beteendet av datan, vilken sedan exempelvis kan matas in i ett simuleringsprogram som Siemens Plant Simulation för att beskriva hur lång tid en arbetsuppgift tar.

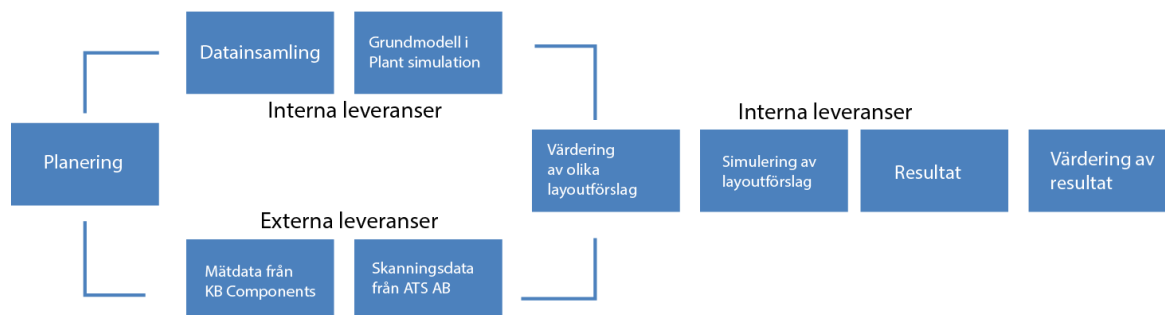
Programmet DataFit kan göra samma saker som Expert Fit. Dock är DataFit en inbyggd funktion i programmet Siemens Plant Simulation och de framtagna statistiska fördelningarna presenteras på ett sätt som är anpassat för just Siemens Plant Simulation. För att DataFit ska kunna göra en trovärdig bedömning av en samling mätvärden får dessa inte vara för få till antalet. Expert Fit har en funktion för att interpolera fram en fördelning då mätvärdena är få vilket gör Expert Fit till ett bra komplement till det inbyggda verktyget DataFit.

2.6 Hållbar utveckling

Begreppet hållbar utveckling myntades av den amerikanske miljövetaren Lester Brown 1981 och lanserades 1987 i Brundtlandrapporten av Världskommissionen för miljö och utveckling. Hållbar utveckling syftar till att tillgodose behoven för dagens generation utan att äventyra framtida generationers behov. Detta kräver att inte bara ekonomisk utveckling ska styra utan även social- och ekologisk hållbarhet bör anses lika viktiga. För att samhället ska få en hållbar utveckling bör dimensionerna ekologisk-, social- och ekonomisk hållbarhet vävas samman och bero av varandra (Förenta Nationerna [FN], 2020).

3. Metod

I metodkapitlet beskrivs tillvägagångssättet kring den vetenskapliga metodik som använts i projektet. Figur 3 beskriver arbetsgången för metodiken genom hela projektet.



Figur 3. Arbetsgång för metodiken i projektet.

3.1 Datainsamling

I detta kapitel beskrivs och visualiseras en objektiv bild av nuvarande produktionssystem och layout i det avgränsade området. Här har alla detaljer som finns i enheten analyserats.

3.1.1 Nuläge

Hela det avgränsade området har beaktats och dokumenterats. En karta över området har gjorts där placering av alla maskiner, truckgångar och avlastningsytor i området har sammanställts i en virtuell bild.

3.1.2 Observation

Hela arbetsflödet med alla olika arbetsuppgifter observerades utifrån perspektivet Lean produktion som togs upp i avsnitt 2.1.

3.1.3 Tidmätning

Operatören i det avgränsade området har observerats med två olika inmätningmetoder. Med och utan interaktion med operatören. Båda metoderna har utförts med iakttagelser av olika operatörer som utfört en arbetsprocess. I det avgränsade område för insamling av data har loggning av operatörens cykel- och taktider utförts.

Projektmedlemmar har kontakt med operatören under första inmätningmetoder och följt med denne under hela arbetsprocessen för att samtala samt mäta cykel- och taktider. Detta för att förstå och interagera med flödesprocessen utifrån hur verkligheten ser ut och hur operatören uppfattar processen.

Den andra metoden innebar tidmätning utan interaktion med operatören där projektdeltagarna befunnit sig i mitten av det avgränsade området. Detta för att inte påverka operatörens arbetsprocess med en dialog som försämrar en verklighetstrogen bild. Loggning av data har utförts av projektmedlemmar som har tagit tider när operatören utfört ett helt arbetsmoment.

3.1.4 Dokumenterade mätdata från KB Components

Genom samtal med anställda ingenjörer på KB Components undersöka om det finns dokumenterade mätdata för respektive maskin.

Vid besöken noterades även artiklarna respektive maskin producerade. KB Components har ett gediget system med data över samtliga artiklar som produceras, där information om aktuell artikel presenteras på ett A4-papper vid varje arbetsstation. Informationen som presenteras är bland annat artikelnummer, maskinens cykeltid och bemanningsgrad. Bemanningsgraden är uppmätt som den andel operatören arbetar mot maskinens cykeltid. Information samlades in från varje maskin utom 15 och 26 som stod stilla vid alla mättillfällen.

3.1.5 Layoutritning

Hela det avgränsade området har setts över med dess placering av maskiner, inventarier och emballage, samt placering av ingående- och utgående material.

3.1.6 Spagettidiagram

Genomförandet av spaghetti diagrammet har gjorts med papper och penna. En befintlig ritning över det avgränsade området har tilldelats till projektmedlemmarna. Denna karta har använts för att rita upp vilken väg operatören tagit när denne utför hela operationen. Alla förflyttningar till och från maskiner samt förflyttningar mellan materialhantering har dokumenterats.

3.1.7 3D skanning

3D-skanningsdata över den berörda enheten på KB Components har erhållits från ATS AB via projektet DIP (<https://www.ats.se>).

3.1.8 Behandling av 3D data i SCENE och Cloud Compare

Utifrån 3D-skanningsdatan har ett punktmoln skapats. Denna data har bearbetats i SCENE där områden i fabriken som ligger utanför projektet har klippts bort. Det av projektet avgränsade området samt alla maskiner har klippts ut till separata filer och sparats i ett filformat som kan öppnas i Cloud Compare. Dessa enskilda filer har använts för att skapa nya layouter med exakta koordinater. Filerna har konverterats till pod filer i programmet Bentley PODcreator för att kunna öppnas i Plant Simulation.

3.1.9 Grundmodell i Plant Simulation

En modell av den nuvarande processen i det avgränsade området har byggts upp i Plant Simulation där punktmolnet från 3D-scanningen laddats in. Detta innebär att en simulering görs med nuvarande placering av maskiner, dels för att verifiera insamlade mätdata men även för att samla in ny. Nya data kan vara om maskiner eller operatörer väntar eller är blockerade samt hur lång gångsträckan blir under ett arbetspass. De dokumenterade cykeltiderna och beläggning på maskinerna i avgränsade området har använts för att göra simuleringsmodellen så lik den verkliga processen som möjligt. Utifrån det spagettidiagram som tagits fram, kommer personalen i nuvarande simuleringsmodell att följa samma gångbana och ha samma arbetstider som operatören i den verkliga processen.

3.1.8 DataFit och Expert Fit

För att kunna göra en trovärdig simulering av det avgränsade området behöver de loggade operatörstiderna beskrivas på ett sätt som ett datorprogram förstår. I Plant Simulation finns möjligheten att simulera hur lång tid en arbetsuppgift tar med hjälp av en statistisk fördelning. I Plant simulation har verktyget DataFit använts för att hitta en lämplig statistisk fördelning som motsvarar de loggade operatörstiderna. I DataFit matas data in där den sedan jämför olika fördelningar och betygsätter den mest lämpliga funktionen för beteendet av datan, vilken sedan kan matas in i en arbetsstation i Plant Simulation för att beskriva hur lång tid en arbetsuppgift tar. För att Datafit ska kunna göra en trovärdig bedömning av en samling mätvärden får inte dessa vara för få till antalet. I de fall där enbart ett fåtal tider kunde loggas användes ett fristående program som heter Expert fit (Flexsim, 2019). Expertfit kan räkna ut en lämplig Weibullfördelning utefter ett förmodat lägsta värde och ett värde motsvarande 90:e percentilen som antogs till att vara dubbla genomsnittet av de mätvärden som samlats in.

3.1.9 Simulering av nuvarande layout

Utifrån tidsfördelningen från Datafit och Expertfit och processtider på maskiner från KB Components har simuleringar gjorts på den nuvarande placeringen. Ett punktmoln med nuvarande placering laddades in med maskinerna 24 och 124 bortklippta.

Vid simuleringen av nuvarande placering valde projektmedlemmarna att simulera tre scenarier där de tre operatörerna som studerades simulerades var för sig. Vid inställning av maskiner i Plant Simulation valdes cykeltider och förpackningsstorlek efter de artiklar som observerats av projektmedlemmar.

Ett fjärde scenario där alla maskiner går för fullt simulerades. I det fallet valdes artiklar efter högst bemanningsgrad. I alla fyra fallen gick simuleringen över 8 timmar med rast i en timme för att simulera en vanlig arbetsdag.

3.2 Framtida flöde

Det framtida flödet har tagits fram med hjälp av metoderna ovan. Utifrån observationer, önskemål från företaget och insamlade mätdata har dessa sammanställts för att ligga till grund för ett framtida flöde.

3.2.1 Framtagning av layoutförslag

Två förslag på layouter har tagits fram med hjälp av information, förslag och önskemål från KB Components samt observationer projektmedlemmar gjort vid besök hos företaget.

3.2.2 Simulering av layoutförslag

Utifrån tidsfördelningen från Datafit och Expertfit och processtider på maskiner från KB Components har simuleringar gjorts på layoutförslagen. Punktmoln med nya maskinplaceringar har skapats i Cloud Compare som sedan laddats in i Plant Simulation. Simuleringen gjordes sedan på samma sätt som för den nuvarande placeringen med fyra olika scenarier. Tilldelningen av maskiner till de simulerade operatörerna var samma som vid simuleringen av nuvarande placering.

All indata till Plant Simulation var samma som vid den nuvarande placeringen och simuleringstiden var 8 timmar med rast i en timme.

3.2.3 Värdering av layoutförslag

Som ytterligare en jämförelse användes en värderingsmall där olika faktorer kunde undersökas om de uppfylls av layoutförslagen. De olika faktorerna baseras på vad KB Components anser vara viktigast och kan ses i listan nedan.

- Säkerhet - En operatör får ej arbeta intill och med ryggen vänd mot en truckgång.
- Åtkomst med travers - För att utföra verktygsbyten måste traverserna kunna nå samtliga maskiner.
- Korta gångtider.
- Maskiner med låg respektive hög beläggning nära varandra.
- Materialflöde åt samma håll - in- och utgående material bör gå åt samma håll i det fall flera maskiner står på rad.
- Lätt installation - Kan layouten skapas genom att flytta få maskiner?
- Emballage hantering - Finns det plats för pallar med utgående material samt övrigt emballage?

Figur 4 visar värderingsmallen som användes. Värderingen går till på så sätt att varje faktor tilldelas en siffra, en vikt. I Figur 4 har "Säkerhet" fått den högsta vikten 10. Layouten får sedan ett betyg på hur väl den uppfyller faktorn, i form av en bokstav som representerar ett värde. Vikten multipliceras sedan med betyget vilket ger poängen och proceduren upprepas för nästa faktor. Detta adderas sedan för varje layout och vi kan jämföra vilken layout som uppfyller kraven bäst.

Utifrån denna mall har projektmedlemmarna gjort en värdering av de layouter som tagits fram och jämfört med dagens layout. Samma layouter och mall har skickats till KB Components för en värdering utifrån deras perspektiv. De faktorer som används av projektmedlemmar har inte inkluderats i mallen som skickats till KB Components för att undvika påverkan av resultatet.

	FACTOR / CONSIDERATION	WT.	ALTERNATIVE				
			A	B	C		
1	Säkerhet ^(*)	10	E	I	I		
2	Åtkomst med travers	9	A	A	A	A	Almost perfekt
3	Korta gångtider	8	O	I	O	I	Especially good
4	Maskiner med låg resp. hög beläggning nära varandra	7	I	U	E	O	Important results
5	Maskinflöde åt samma håll	6	I	I	O	U	Ordinary Results
6	Få operatörer	5	A	A	E	X	Unimportant Results
7	Lätt installation	4	I	O	O		Not Acceptable
8	Emballage placering (skapar trängsel)	3	E	E	U		
	Total		0	0	0		Description of Alternativ
						A.	
						B.	
						C.	

Figur 4. Exempel på mall till värdering av olika alternativ

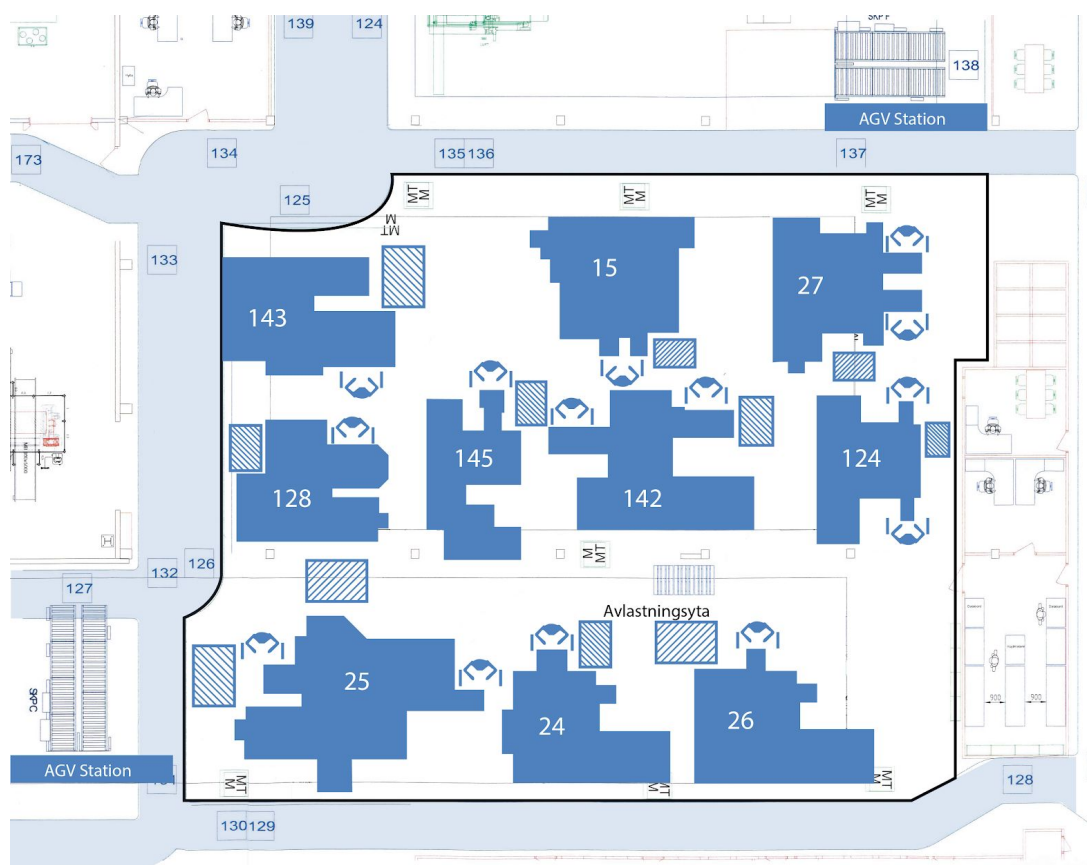
4. Resultat

I följande kapitel presenteras resultaten som erhöles.

4.1 Nuläge

Figur 5 visar en ritning över den nuvarande placeringen i det avgränsade området. Maskinerna är markerade med blå boxar namngivna med maskinnummer. Trucktrafik åker i den ljusblåa markerade gången och två AGV stationer ligger längs med truckgången. De streckade ytorna bredvid maskinerna är avlastningsytor. De används idag för att operatören ska lasta utgående material på en palldragare för att sedan transportera material till en AGV station.

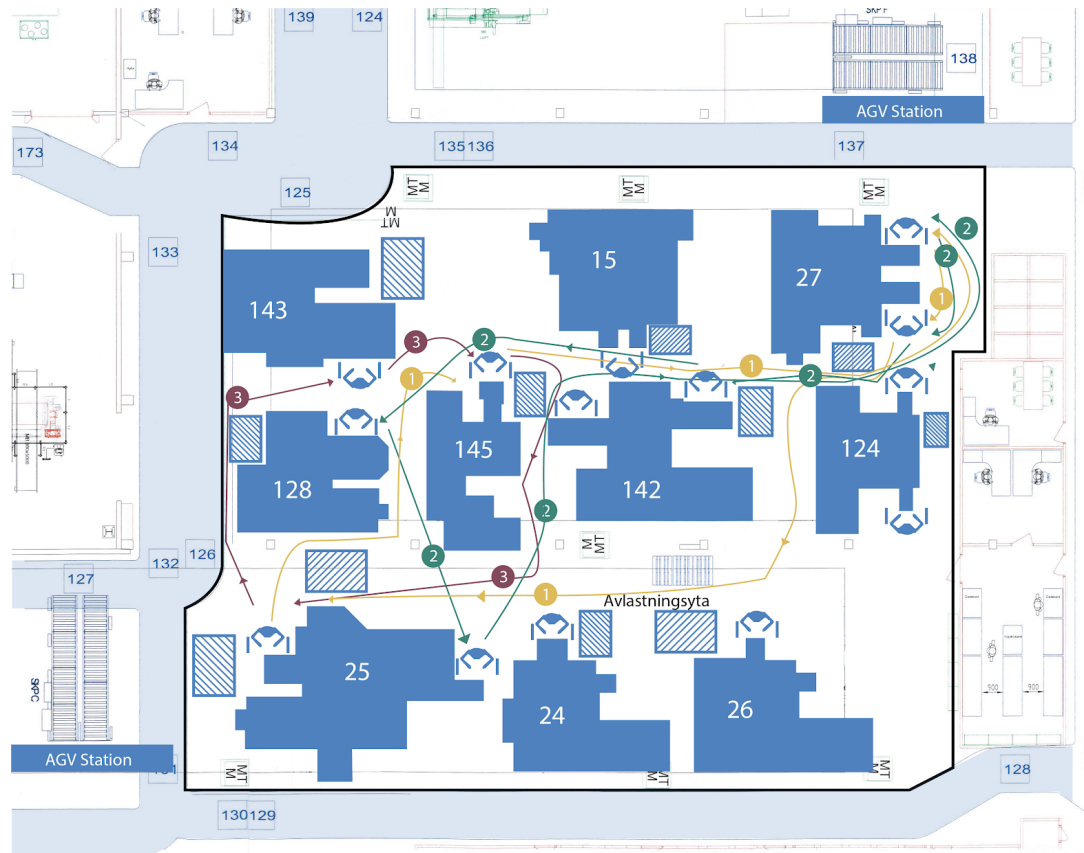
Idag finns det tio maskiner på området men maskinerna 24 och 124 tas inte med i projektet då de är under demontering.



Figur 5. Nuvarande placering av maskiner i det avgränsade området

4.1.1 Spagettidiagram

Figur 6 visar spagettidiagrammet som är resultatet av projektmedlemmarnas observationer där gångsträckorna för dem tre observerade operatörerna har ritats in. Varje färgmarkerad linje beskriver respektive operatör och pilen visar i vilken riktning operatören går. I avsnitt 4.2.1 beskrivs vilka maskiner som körs under respektive operation.



Figur 6. Spagettidiagram över nuvarande placering av maskiner

4.1.2 Observation

Då arbetsflödet observerades upptäcktes flera "slöserier" enligt Lean. Dessa var

- Långa gångsträckor
- Onödiga transporter
- Omarbete

De långa gångsträckorna upptäcktes mellan arbetsmomenten på maskinerna. Detta illustreras i spagettidiagrammet i avsnittet ovan där operatörerna flertalet gånger förflyttar sig tvärs över området.

De onödiga transporterna skedde då operatörerna med hjälp av palldragare förflyttade färdigt material till en av AGV-stationerna. Eftersom operatören inte kan lyfta upp pallen på AGV-stationen krävs att en truck gör det sista momentet och lyfter upp pallen. Det innebär att det krävs två skilda moment för att få upp en pall med färdigt material på en AGV-station. Detta innebär även ett omarbete. När en operatör flyttar material från en maskin till AGV-stationen utsätts denna även för en säkerhetsrisk då en truckgång måste korsas.

5S tillämpas i stor utsträckning hos KB Components med uppmärkningar för verktyg samt avställningsplatser för färdigt material. Dock gör trängseln inom området att färdigt material måste stå vid varje maskin innan det sedan förflyttas till AGV-stationerna.

Operatörerna som arbetar i det avgränsade området går ofta iväg till andra områden i fabriken för att hjälpa till när de anser att tid finns. Det kan riskera att problem såsom maskinstopp kan missas och inte åtgärdas i tid.

4.1.3 Insamlad mätdata

Alla mätdata som har samlats in av projektmedlemmarnas kommer att redovisas i detta kapitel.

4.1.3.1 Cykel- och takttider

Det finns mätdata som projektmedlemmar har samlat in och redan dokumenterade mätdata från företaget.

4.1.3.2 Insamling av mätdata av projektmedlemmar

Tabell 1, 2 och 3 nedan visar vilka maskiner operatören haft ansvar för, hur lång tid arbetsuppgiften tagit, hur lång takttiden är för att göra ett varv och sedan börja om samt balanseringsförlusten. Mätningarna för de olika operatörerna är gjorda vid olika tillfällen. Alla tider är i sekunder.

Tabell 1. Visar takttid, cykeltid och balanseringsförlust för operatör 1.

Operatör 1

Tagning	Cykeltider vid maskin [s]				Summa [s]	Takttid [s]	Balanseringsförlust [s]
	M2 5	M2 7	M128	M145			
1	271	143			414	1028	614
2		157			157	990	833
3			575		575	1800	1225

Värt att tillägga är att maskin 145 var igång under tidsmätningen för operatör 1. Dock fanns ingen möjlighet till observation och tidsregistrering vid mättillfället då maskinen körs så sällan.

Tabell 2. Visar taktid, cykeltid och balanseringsförlust för operatör 2.

Operatör 2

Tagning	Cykeltider vid maskin [s]				Summa [s]	Taktid[s]	Balanseringsförlust [s]
	M25	M27	M142	M128			
1	133	85	74	140	432	500	68
2	401	77		183	661	870	209
3	150				150	700	550
4	167	120			287	480	193
5	600	45			645	840	195
6	122	60			182	486	304

Tabell 3. Visar taktid, cykeltid och balanseringsförlust för operatör 3.

Operatör 3

Tagning	Cykeltider vid maskin [s]			Summa [s]	Taktid[s]	Balanseringsförlust [s]
	M25	M143	M145			
1	490	375		864	1411	547
2	260	345		605	666	61
3	110	99		209	336	127
4	149			149	463	314
5	106	237		343	643	300
6	240	280		520	535	15
7	180	82		262	319	57
8	432	150		582	590	8

9	191	147	230	568	590	22
10	65	237		302	484	182
11	319	62		381	540	159
12	113	238		351	358	7
13	381	85		466	480	14
14	296	237		533	544	11
15	410	143		553	564	11

Tabell 4 visar mätningar gjorda enbart på maskin 128. Vid detta tillfälle kördes denna maskin av en operatör som hade hand om maskiner utanför det avgränsade området. Valet gjordes då att enbart ta hänsyn till cykeltiderna för maskin 128 och inte övriga maskiner denna operatör hade hand om.

Tabell 4. Tabell över operatörens cykeltider för specifikt maskin 128.

	Cykeltider vid maskin [s]
Tagning	M128
1	535
2	780
3	472

Dessa mätdata slogs sedan ihop maskin för maskin och användes för att räkna ut statistiska fördelningar med Datafit och Expertfit. Arbetstiderna för maskinerna 25 och 143 ansågs ha tillräcklig mängd mätvärden för att Datafit skulle kunna räkna ut en fördelning. Arbetstiderna för maskinerna 27, 128 och 145 matades in i Expertfit för att interpolera fram en Weibullfördelning. Maskin 142 har endast en mätning vilket ansågs vara för lite för att använda, maskin 15 och 26 var avstängda vid alla mättillfällena.

4.1.3.3 Dokumenterade mätdata från KB Components

För alla maskiner finns det dokumenterade cykeltider, olika typer av artiklar, antalet artiklar per låda samt artiklarnas bemanningsgrad. På grund av sekretess kan detta inte presenteras i rapporten.

4.1.3.4 Indata till Plant Simulation

Resultat från Expertfit och Datafit som använts som indata till arbetsstationerna i Plant Simulation kan ses i Tabell 5. Arbetstiden för maskin 15 och 26 bedömdes kunna ha samma fördelning som maskin 27. Arbetstid för maskin 142 bedömdes kunna ha samma fördelning som maskin 25. Bedömningen gjordes utifrån jämförelser mellan maskinernas cykeltider, antal producerade artiklar samt bemanningsgrad.

Tabell 5. Tabell över resultat från Datafit och Expertfit. Minsta och högsta värde är uppskattade efter analys av mätresultat.

Maskin	Fördelningstyp	Fördelningsdata	Minsta/högsta värde [min]
15	Weibull	Alpha:1.6788, Beta 1:34.315	0:45,3:20
25	Erlang	Mu:3:54.8387, Sigma:2:15.5842	1:05,10:00
26	Weibull	Alpha:1.6788, Beta 1:34.315	0:45,3:20
27	Weibull	Alpha:1.6788, Beta 1:34.315	0:45,3:20
128	Weibull	Alpha:1.379, Beta:6:22.38	6:40,18:20
142	Erlang	Mu:3:54.8387, Sigma:2:15.5842	1:05,10:00
143	Erlang	Mu:3:25.5445, Sigma:1:42.7722	0:50,8:20
145	Weibull	Alpha:1.35, Beta:1:47.947	2:00,5:20

Indata till maskiner samt ytterligare nödvändiga data som använts i Plant Simulation har erhållits från KB Components. Denna data var vilka olika produkter varje maskin kan tillverka, olika cykeltider dessa ger maskinerna, produkternas bemanningsgrader samt hur många detaljer som packas per låda. Artiklarna har av projektmedlemmarna valt utifrån

observationer vid besök hos KB Components förutom för maskin 15 och 26 där artiklar antagits utefter högst bemanningsgrad.

Tabell 6 visar en sammanställning över maskinerna med respektive artikel samt total bemanning vid simuleringen av de tre operatörerna som observerades vid besöken. Den totala bemanningen för aktuella artiklar är 194% vilket kräver 2 operatörer, då en operatör inte kan arbeta mer än 100%. Denna kombination av artiklar körs dock aldrig samtidigt i simuleringen då varje operatör simuleras ensam och resterande maskiner antas stå avstängda. Fördelningen av maskiner till operatörerna kan ses i respektive avsnitt för resultat av simuleringen.

Tabell 6. Sammanställning av artiklar för simulering av de tre operatörerna.

Maskin	Artikel	
15	A	
25	B	
26	C	
27	D	
128	E	
142	F	
143	G	
145	H	
Total bemanning		194%

Tabell 7 visar en sammanställning av de artiklar som användes vid simuleringen av det teoretiska scenariot med full beläggning. Här har artiklar valts utefter högst bemanningsgrad där den totala bemanningsgraden uppgår till 309%, vilket betyder att detta scenario kräver minst tre operatörer

Tabell 7. Sammanställning av artiklar för simulering av ett teoretiskt scenario med full beläggning.

Maskin	Artikel	
15	A	
25	B-2	
26	C	

27	D-2	
128	E	
142	F-2	
143	G	
145	H-2	
Total bemanning		309%

Tabell 8 och 9 visar fördelningen av maskiner mellan fyra operatörer vid simuleringen av det teoretiska scenariot. Fördelningen har gjorts efter respektive artikels bemanningsgrad samt för att flödet i det avgränsade området ska bli så bra som möjligt. Notera respektive operatörs bemanningsgrad som inte överstiger hundra procent. Vad gäller "Orange operatör" så är tanken att 30% av operatörens arbetstid går åt till maskin 143, resterande 70% utförs på annat håll i fabriken.

Tabell 8. Fördelning av maskiner för röd och grön operatör.

Röd Operatör		Grön Operatör	
Maskin	Artikel	Maskin	Artikel
15	A	26	C
25	B-2	142	F-2
128	E	145	H-2
Total bemanning	98%	Total bemanning	81%

Tabell 9. Fördelning av maskiner för lila och orange operatör.

Lila Operatör		Orange Operatör	
Maskin	Artikel	Maskin	Artikel
27	D-2	143	G
Total bemanning	100%	Total bemanning	30%

4.1.4 Simulering av nuvarande placering

Den nuvarande placeringen av maskinerna har simulerats där spagettidiagrammet som togs fram efterliknas. Bilder med gångsträckorna från simuleringen kan ses i Figur 11, 12 och 13 som visar simuleringen av de tre operatörerna och Figur 14 som visar simuleringen av det teoretiska scenariot. Dessa hittas i bilaga 3. Bredden på linjen beskriver hur ofta en operatör går just den sträckan.

I Tabell 10 redogörs hur långa distanserna är för varje operatör, vilka maskiner den har hand om samt mängden producerade lådor. Simuleringen har gjorts på de tre operatörer som observerades under besöken på KB Components. Simuleringstiden var åtta timmar.

Tabell 10. Tabell över resulterande sträckor och producerade lådor för operatör 1, 2 och 3.

Operatör	Gångsträcka [m]		Maskiner			
1	1324		25	27	128	145
		Producerade lådor	20	21	6	1
2	1532		25	27	143	145
		Producerade lådor	20	21	6	1
3	764		25	143	145	
		Producerade lådor	20	12	1	

Nedan i Tabell 11 visas resultaten från simuleringen av det teoretiska scenariot med full beläggning. I detta scenario kallas operatörerna för "Röd", "Grön", "Lila" och "Orange". Figuren visar distanserna varje operatör går, vilka maskiner den har hand om samt producerade lådor vid varje maskin.

Tabell 11. Visar gångsträckor och mängden producerade lådor för de fyra operatörerna vid det teoretiska scenariot.

Operatör	Gångsträcka [m]		Maskiner		
1	872		15	25	128
		Producerade lådor	10	16	6
2	522		26	142	145
		Producerade lådor	10	17	4

3	248		27		
		Producerade lådor	12		
4	120		143		
		Producerade lådor	13		

4.2 Framtida placering

Förslagen på nya layouter har tagits fram med hjälp av dokumenterade data från KB Components där information om hur ofta maskinerna körs har varit avgörande. Nedan i Tabell 12 kan man se hur ofta maskinerna körs.

Tabell 12. Tabell över maskinbeläggning

Maskinbeläggning

Varje dag	Minst en gång i veckan	En gång i veckan	En gång varannan vecka	En gång i månaden
143	25	15	27	26
145		128		
		142		

En ny förbättrad layout bör vara uppdelad i två celler med hög respektive låg beläggning. De maskiner som går oftare än en gång i veckan bör stå tillsammans och de som går mer sällan bör stå tillsammans. Maskinerna som går en gång i veckan vävs in mellan dessa celler.

4.2.1 Layout 1

I denna layout placeras maskiner utifrån vilka som körs alla dagar respektive de maskiner som endast körs en gång i veckan eller mer sällan. Det skapar två celler, med hög respektive låg beläggning, där tanken är att det endast finns en operatör under majoriteten av tiden. Operatören kommer att arbeta i högbeläggningscellen och även köra en maskin i lågbeläggningscellen den dagen en sådan maskin körs. Två eller fler operatörer krävs enbart då två eller fler maskiner är igång i lågbeläggningscellen. De maskiner som körs varje dag ligger i översta delen av det avgränsade området. Den undre delen av det avgränsade området är maskiner som inte körs varje dag. Layout 1 kan ses i Figur 7 nedan.

Avlastningsytor ligger nära truckgången, den ljusblå markeringen, och samtliga maskiner. Detta kommer underlätta för både trucktrafik och operatören, då denne inte behöver transportera utgående material med palldragare till en AGV station. Följden av denna lösning kommer öka säkerheten för personal i truckgångar och minsta gångsträckorna.

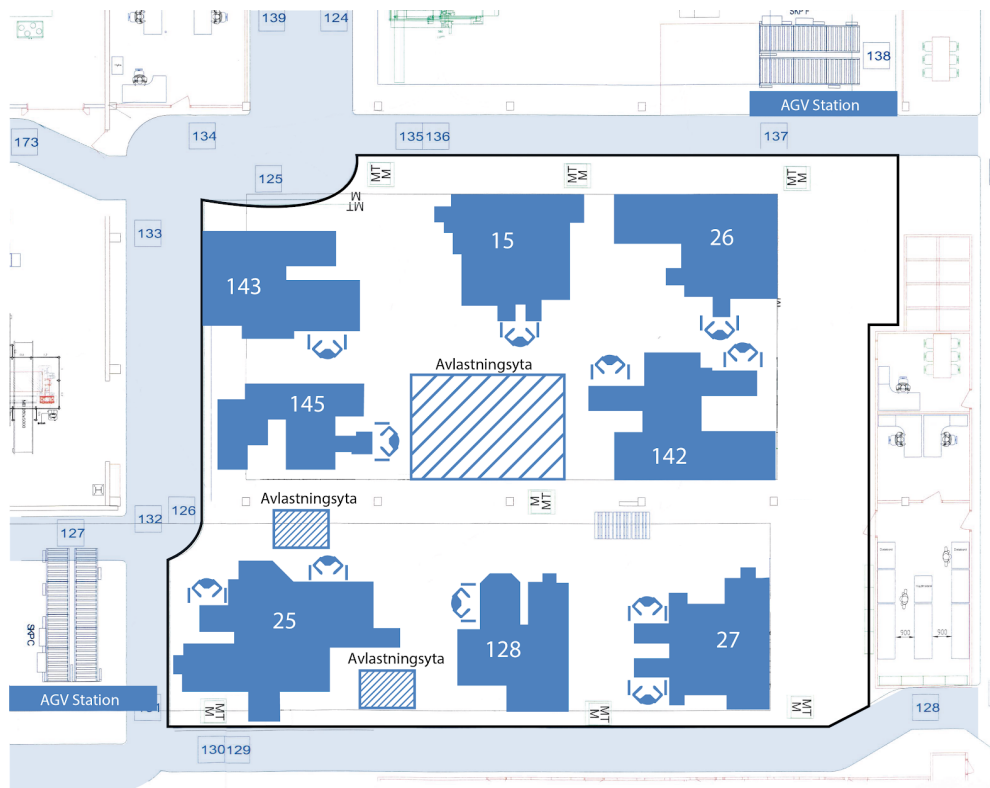


Figur 7. Layout 1

KB Components gav som önskemål om öppna ytor vilket presenteras i denna nya modell. Det finns gott om ytor för material- och emballagehantering samt inventarie- och verktygsskåp. Samtliga maskiner har god tillgång till traverser i taket och då vissa maskiner har samma placering som i nuvarande placering behövs endast förflyttning göras på ett fåtal maskiner.

4.2.2 Layout 2

Precis som i Layout 1 är maskinerna placerade enligt maskinbeläggning fast på ett annat sätt. I denna layout är placeras ingående och utgående material för att skapa ett flöde i mitten av enheten. Det finns gott om plats och tydliga markeringar för att underlätta för operatör och truck. Denna placering av avlastningsyta minskar gångsträckan för operatören att transportera utgående material med palltruck. Den öppna ytan ger en god översikt över hela det avgränsade området. Layout 2 kan ses i Figur 8.



Figur 8. Layout 2

4.2.3 Värdering av layoutförslag

De två förslagen på layouter har jämförts i en värderingsmall med nuvarande placering som referens. Enligt poängsättningen av funktionskraven har layout 1 fått högst poäng vilket betyder att placering av maskiner är mer optimal att implementera än att behålla nuvarande placering. Nedan i Tabell 13 och 14 finns resultat från jämförelser gjorda av projektmedlemmar samt KB Components. De ifyllda formulären kan ses i sin helhet i bilaga 1 och 2.

Tabell 13. Värdering av de två layoutförslagen gjorda av projektmedlemmar

Layout 1	Layout 2	Nuvarande layout
145 poäng	122 poäng	94 poäng

Tabell 14. Värdering av de två layoutförslagen gjorda av KB Components

Layout 1	Layout 2	Nuvarande layout
174 poäng	71 poäng	134 poäng

4.2.4 Simulering av layoutförslag

Under denna rubrik kommer resultatet från simuleringen av layout förslagen presenteras.

4.2.4.1 Layout 1

I Tabell 15 visas distanserna samt producerade lådor material för operatör 1,2 och 3. Tabell 16 visar distanserna för operatörerna samt producerade lådor vid det teoretiska scenariot. Bilder med gångsträckorna från dessa simuleringar kan ses i Figur 15,16 och 17 som visar simuleringen av de tre operatörerna och Figur 18 som visar simuleringen av det teoretiska scenariot. Dessa hittas i bilaga 4. Bredden på linjen beskriver hur ofta en operatör går just den sträckan.

Tabell 15. Resultande gångsträckor och producerade lådor för tre operatörer

Operatör	Gångsträcka [m]		Maskiner			
			1	988		25
		Producerade lådor	20	21	6	1
2	1158		25	27	143	145
		Producerade lådor	20	21	6	1
3	424		25	143	145	
		Producerade lådor	20	12	1	

Tabell 16. Teoretiskt scenario för Layout [1]

Operatör	Gångsträcka [m]		Maskiner		
			1	452	
		Producerade lådor	10	16	6
2	509		26	142	145
		Producerade lådor	10	17	4
3	262		27		
		Producerade lådor	12		
4	206		143		
		Producerade lådor	13		

4.2.4.2 Layout 2

I Tabell 17 visas distanserna och antal producerade lådor med färdigt material för operatör 1, 2 och 3. Tabell 18 visar distanserna och antal producerade lådor med färdigt material för operatörerna vid det teoretiska scenariot. Bilder på gångsträckorna från dessa simuleringar kan ses i Figur 19,20 och 21 som visar simuleringen av de tre operatörerna och Figur 22 som visar det teoretiska scenariot. Dessa kan ses i bilaga 5. Bredden på linjen beskriver hur ofta en operatör går just den sträckan.

Tabell 17. Resultande gångsträckor och producerade lådor för de tre operatörerna

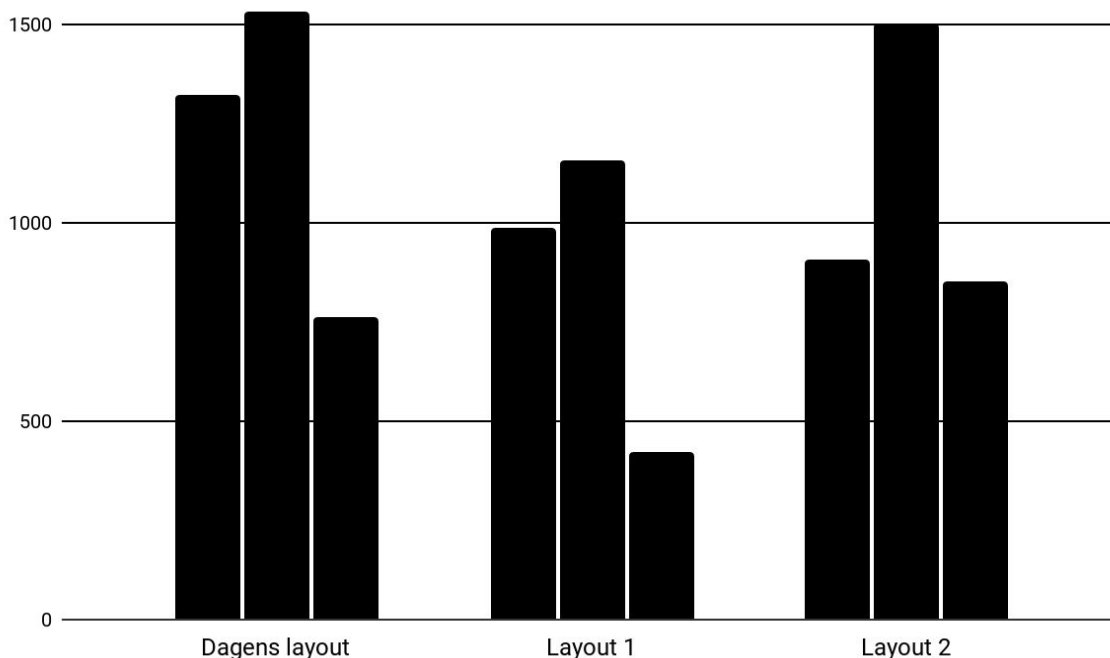
Operatör	Gångsträcka [m]		Maskiner			
			1	907		25
		Producerade lådor	20	21	6	1
2	1503		25	27	143	145
		Producerade lådor	20	21	6	1
3	850		25	143	145	
		Producerade lådor	20	12	1	

Tabell 18. Teoretiskt scenario för Layout 2

Operatör	Gångsträcka [m]		Maskiner		
			1	850	
		Producerade lådor	10	16	6
2	714		26	142	145
		Producerade lådor	10	17	4
3	180		27		
		Producerade lådor	12		
4	94		143		
		Producerade lådor	13		

4.3 Sammanfattning av resultat

Nedan följer en sammanställning av resultaten från simuleringen. Figur 9 visar gångsträckorna för de tre operatörerna som simulerades var för sig. Gångsträckorna vid det teoretiska scenariot med full beläggning visas i Figur 10. De samlade sträckorna, totalt för varje layout med jämförelse mot dagens layout, visas i Tabell 19 för de tre operatörerna och Tabell 20 för det teoretiska scenariot.

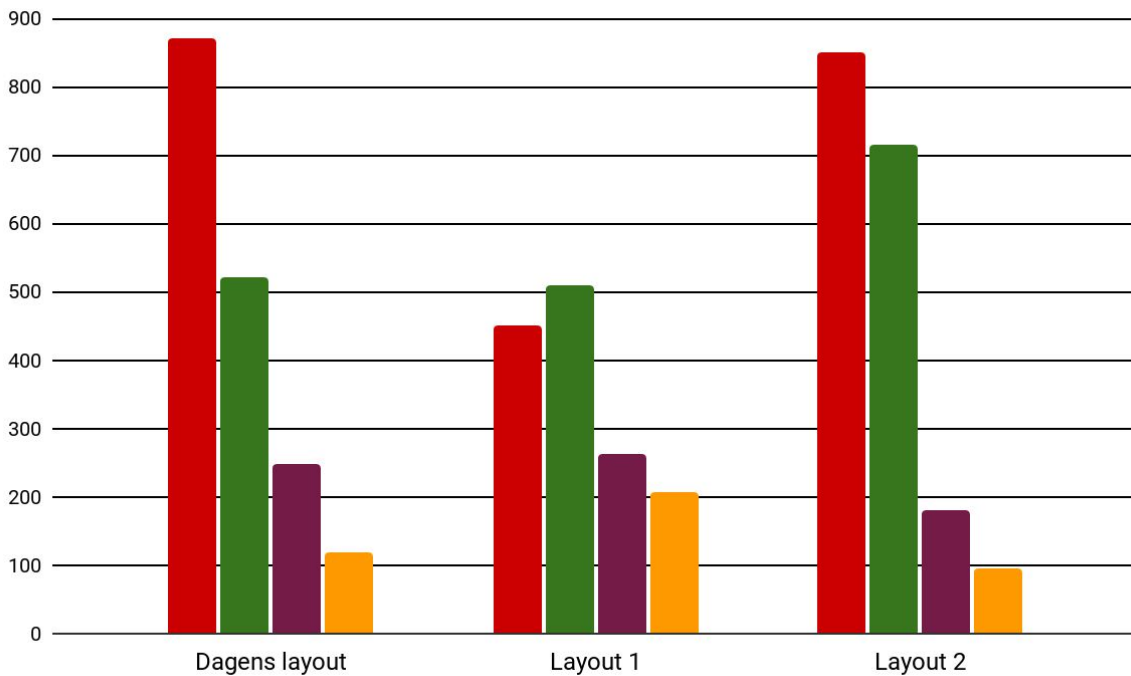


Figur 9. Diagrammet visar gångsträckorna [m] för de tre operatörerna i de olika layouterna. För varje layout visas, från vänster, operatör 1, 2 och 3.

Tabell 19. Visar de totala gångsträckorna i varje layout för de tre operatörerna layout med jämförelse mot dagens layout.

Layout	Total gångsträcka [m]	Förändring
Dagens layout	3620	-
Layout 1	2570	-1050 [m] / -30%
Layout 2	3260	-360 [m] / -10%

Antalet producerade lådor var lika i alla tre layouterna.



Figur 10. Diagrammet visar gångsträckorna [m] vid det teoretiska scenariot med full beläggning. Här visas varje layout med röd, grön, lila och orange operatör.

Tabell 20. Visar de totala gångsträckorna i varje layout för det teoretiska scenariot med jämförelse mot dagens layout.

Layout	Total gångsträcka [m]	Förändring
Dagens layout	1762	-
Layout 1	1429	-333 [m] / -20%
Layout 2	1838	+76 [m] / +4%

Antalet producerade lådor i det teoretiska scenariot var lika i alla tre layouterna.

5. Diskussion

I detta kapitel diskuteras alla viktiga faktorer från de metoder som använts och från det resultatet som tagits fram.

5.1 Observation

Det största problemet med det avgränsade området var de slöserier vi observerade:

- Långa gångsträckor
- Onödiga transporter
- Omarbete

Vi anser att dessa kan lösas med båda layouterna, men framförallt för layout 1 som har god framkomlighet för gaffeltruck och därmed minskar de onödiga transporterna för operatören att transportera utgående material till agv stationer. Därmed elimineras omarbete vid agv station då gaffeltrucken kommer för att lyfta upp pallen på agv station, kan den istället både hämta och lyfta upp utgående material. I och med att operatören inte längre behöver korsa truckgång är säkerheten i området förbättrad.

I de framtagna layouterna behöver inte operatören gå långa gångsträckor mellan maskinerna eftersom dessa är placerade utifrån maskinfrekvens. Detta kan bidra till mindre stress och mer fokus på rätt arbete.

5s var en annan aspekt som vi observerade översiktligt under nulägesanalysen. Det stod både in- och utgående material samt inventarier lite överallt på det avgränsade området. Därför markerade vi tydligt och förenklade vart utgående material ska stå i de nya layouterna. Denna placering ska underlätta för operatören genom uppmärkning på golvytan där även trucktrafik kommer att ha god överblick över området och enkelt kunna hämta färdigt material. Detta ger ännu en möjlighet för KB Components att använda 5S i det dagliga arbetet då det kan resultera i ett mer systematiskt arbetssätt för att hantera färdigt material.

En öppnare och mer optimalt placerad layout kan även resultera i att ett mer standardiserat arbetssätt hålls. Dels att truckar kan hämta det färdiga materialet direkt och en bättre ordning inom området kan hållas, men även att KB Components kan utnyttja personalen mer effektivt. Resultatet visade på förkortade gångsträckor där layout 1 visade på en minskning med 30%. En sådan minskning kan ge att fler maskiner kan köras samtidigt och operatörerna kan då utnyttjas mer effektivt.

5.2 Insamling av mätdata

När vi för första gången analyserade arbetsgången i det avgränsade området märkte vi av mättningsfel på grund av den mänskliga faktorn. Vi gick med en operatör längs hela arbetsgången och märkte snabbt att de cykel- och takttider som samlats in under tiden inte kunde användas i en analys. Detta för att vi längs hela arbetsgången hade en kommunikation med operatören och därmed störde mätdatan. Det resulterade i att arbetsgången fick väldigt stora balanseringsförluster och ojämnheter. Däremot fick vi en inblick i hur processen verkligen fungerade och det fanns mycket positivt med att följa operatören. Vi kunde tydligt se hur en operation gick till och hur emballage hanterades.

Vid nästa besök och analys av processen bestämde vi oss för att analysera operatören på avstånd. Vi ställde oss i mitten av enhet två för att sedan klocka operatörens cykel- och takttid vilket gav oss ett jämnare resultat och en mer trovärdig datainsamling.

De maskiner som inte var under produktion när insamlingen av mätdata gjordes har använts i simuleringsmodellen med antagna mätvärden. Dessa mätvärden grundar sig i de insamlade mätvärden och mätdata som vi fått från KB Components. Vi ansåg att vi hade för lite mätdata eller ingen alls. Mätdatan som vi fått från KB Components fanns det dokumenterade cykeltider från alla maskiner för samtliga artikelnummer, beläggning på maskiner samt statistiskt på hur ofta maskinerna går. Detta gjorde att vi kunde se vissa samband mellan maskinfrekvens samt bemanning och göra antagande utefter det.

5.3 Nuvarande layout

Den placering av maskiner i det avgränsade området som KB Components har idag skapar mycket trånga ytor, speciellt mellan maskin 15 och 142. Då KB Components hade som önskemål att förlänga transportbanden till maskin 15 kommer det inte finnas mycket yta för operatören att röra sig inom. Eftersom utgående material transporteras med palltruck till en av AGV stationerna blir gångsträckan för operatören betydligt större än om det skulle finnas en avlastningsyta där gaffeltruck kan hämta materialet. Eliminering av förflyttningar skulle innebära värdeskapande tid vid maskinerna. Det finns också risker att ha gående personal i truckgångar och därför bör allt utgående material hanteras av gaffeltruck. I spagettidiagrammet på nuvarande läge har långa gångsträckor mellan maskinerna observerats. Detta för att maskinerna tidigare placeras utefter yta, travers och säkerhet men inte alls med hänsyn till hur ofta maskinerna går. Därför har arbetsgången lett till långa gångsträckor och värde minskade tid till transporter av utgående material.

5.4 Framtagning av layoutförslag

Eftersom maskinerna inte har någon koppling mellan varandra, så finns det många olika kombinationer av layoutförslag som kan presenteras. Därför har vi valt att simulera två olika modeller med olika placering av maskinerna. Dessa layoutförslag har utgångspunkt från vilka maskiner som kör mest frekvent.

5.4.1 Layout 1

Placera maskinerna efter vilka maskiner som kör mest frekvent ger ett väldigt jämnt flöde. Då finns det möjlighet att en operatör hela tiden arbetar. Då kommer processen att kunna reducera många onödiga steg och operatören kommer inte behöva vänta på att packa en produkt. Det resultat som simuleringen gett, visar på ganska korta gångsträckor och en kontinuerlig tidsåtgång. Det kommer i vissa fall beroende på vilka lågfrekventa maskiner som går samtidigt att endast ha en operatör som utför arbete. Om det endast finns en operatör som utför arbetet kommer dock gångavståndet mellan maskinerna att öka något då lågfrekventa maskiner står för sig och högfrekventa för sig. Dessa extra gångsträckor kommer ersättas med kostnaden för en extra operatör.

5.4.2 Layout 2

Tanken med denna layout är att skapa ett flöde och avlastningsyta i mitten av det avgränsade området. Detta skulle skapa ett in och utflöde av råmaterial respektive färdig produkt på en samlad plats. Upphämtning i mitten av enheten skulle innebära god framkomlighet för trucktrafik och helt eliminera onödiga gångsträckor för operatör med gångtruck. Ur ett säkerhetsperspektiv finns det maskiner som ligger närmre truckgången än placering av maskiner i Layout 1. Detta vill helst undvikas då operatören står med ryggen mot truckgången och har inte någon riktigt uppsikt för trucktrafiken. Det kan också innebära en säkerhetsrisk för operatören då trucktrafik rör sig inom området. På grund att säkerhet är KB Components högst prioriterade funktionskrav är inte denna placering av material och maskiner relevant.

Enligt resultatet av spaghetti diagrammet visar Layout 2 längre gångsträckor mellan maskinerna vilket skapar onödiga slöserier och mindre fokus på värdeskapande tid. Vi tror att denna placering av maskiner skulle uppfattas mer stressad för en operatör än Layout 1 då gångsträckorna blir något längre även om överblicken över området är bättre.

Kring maskinerna 26 och 142 kan ytan kännas något trång. Men med tanke på att det endast arbetar en operatör kommer det inte att ske någon kollision. Enda problemet kan vara att transportera pall från maskin till avlastningsyta.

5.5 Värdering av olika alternativ

I metodkapitlet tog vi upp att vi har inkluderat KB Components i att värdera olika layoutförslag men inte inkluderat de faktorer som finns med på den värderingsmodellen som vi gjort. Detta beslut grundar sig i att KB Components inte ska bli påverkade av de faktorer som vi tagit fram. Resultaten skiljer sig något, dels för att vi och KB Components använde något skilda faktorer, dels för att de har en helt annan erfarenhet och syn på hur verksamheten fungerar. KB Components underkände layout 2 på grund av framkomligheten mellan maskin 15 och 143. Det resulterade i högre risk för arbetare då trucktrafiken går allt för nära dessa maskiner. Av samma anledning faller layout 2 på in- och utflyttning av material ur området då en truck måste köra för nära nämnda maskiner.

Både vi och KB Components rankade layout 1 högst vilket ändå visar på att det är det bättre förslaget, även jämfört med dagens placering.

5.6 Simulering och resultat

I jämförelse av dagens läge samt de två layoutförslagen i simuleringen gav resultat i form av förkortade gångsträckor för operatörerna under en arbetsdag. Detta gäller för båda layoutförslagen där layout 1 visade på bäst resultat med en total minskning med 30% för operatörerna som simulerades var för sig och en minskning med 20% vid det teoretiska scenariot. Layout 2 visade på en total minskning med 10% för operatörerna som simulerades var för sig men däremot en total ökning på 4% vid det teoretiska scenariot. Det ska nämnas att Lila och Orange operatör hade kortare gångsträckor i layout 2 än i layout 1 vid det teoretiska scenariot på grund av kortare gångväg till och från avställningsplatser för utgående material. Det visar på en svaghet i layout 1 där placeringen av avställningsplatserna för vissa maskiner orsakar onödigt mycket spring för operatörerna. En orsak till det specifika fallet kan bero på just den aktuella kombinationen av maskiner. Hade en annan kombination valts för varje operatör hade andra resultat erhållits, dock visar ändå layout 1 på så pass stora förbättringar att det är troligt att denna layout 1 varit bäst ändå.

Vad gäller antalet producerade lådor gav de två nya layouterna inga förbättringar gentemot dagens läge, trots kortare gångsträckor, vilket kan ha flera orsaker. Dels är maskinerna relativt statiska och producerar artiklar i samma takt hela tiden, kortare gångsträckor mellan maskinerna resulterar då enbart i längre väntan för operatören. Då operatörer har fördelats mellan maskiner utefter de av KB Components uträknade bemanningsgraderna, kan det vara så att bemanningsgraderna inte kan simuleras realistiskt, även om man får anta att dessa faktiskt stämmer.

En annan orsak kan vara att simuleringstiden är för kort där en simulering gjord över en längre tidsperiod, till exempel en månad, hade kunnat visa på förbättringar även för produktionen. För att göra en sådan simulering hade mer data behövts i form av produktbyten, ställtider, information om maskinstopp, hur mycket personal som används och hur de rör sig inom området.

Det kan även diskuteras hur verklighetstrogen en simulering av detta slag verkligen är. I Plant Simulation är operatörernas arbetstider styrda efter statistiska fördelningar framtagna av projektmedlemmarna med hjälp av resultaten från tidsmätningarna. Vissa av dem är uträknade med tillräcklig mängd mätdata, andra var tvungna att interpoleras fram och för tre maskiner fick de statistiska fördelningarna antas. Dessa arbetstider har dessutom använts för att simulera operatörernas arbete när maskinerna tillverkar andra artiklar än de som observerats vid de tillfällen tidsmätningarna gjordes. Detta skapar flera osäkerheter som nästan kan liknas vid viskleken där sanningen förvrängs något varje gång ett antagande görs. En mer exakt simulering hade krävt ett stort antal tidsmätningar av operatörens arbetstider på varje maskin och varje artikel som maskinerna tillverkar.

5.7 Hållbar utveckling

För att vår värld ska kunna nå kraven på hållbar utveckling gäller det att företag och organisationer följer riktlinjerna för hållbar utveckling, oavsett bransch. I detta arbete med att ta fram en förbättrad layout hos KB Components är det viktigt att göra en jämförelse om resultatet ger en förbättring av sociala-, ekologiska och ekonomiska aspekter.

5.7.1 Sociala aspekter

Resultatet av arbetet gav förkortade gångsträckor hos de båda nya layoutförslagen med en minskning upp till trettio procent hos layout 1. Då arbetarna får en mer optimerad uppställning av maskinerna där de går mindre kan detta resultat leda till minskad stress, mindre förslitningsskador och ökat välbefinnande. En undersökning om stress och förslitningsskador var förekommande gjordes dock inte utan detta är bara ett antagande och en undersökning mer inriktad på arbetsmiljö skulle behöva göras för att få fram mer konkreta resultat.

5.7.2 Ekologiska aspekter

De ekologiska aspekterna som detta arbete kan påverka är om operatörernas förkortade gångsträckor kan leda till en ökad produktion vilket då leder till en mer effektiv energianvändning av maskinerna. Som visats i resultatet och som diskuterats tidigare kunde inte detta arbete visa på någon ökning i produktionen då antalet producerade lådor inte ökade trots kortare gångsträckor.

5.7.3 Ekonomiska aspekter

Arbetet gav inga förbättringar i produktionen då antalet producerade lådor inte ökade trots att operatörerna gick mindre. Som diskuterats tidigare kan det bero på att simuleringsmodellen var för simpel och simuleringstiden för kort. Det kan även bero på att maskinerna faktiskt är statiska och inte kan producera mer bara för att de kan tömmas oftare. En mer optimerad layout som togs fram i detta arbete kan däremot ge att ytterligare maskiner kan startas vilket leder till ökad produktion med samma antal operatörer, dock med risken att arbetarnas gångsträckor och arbetsbelastning ökar. En ekonomisk vinning, om arbetsbelastningen hålls på nivån som nåtts i detta arbete, är att om förslitningsskador och stress visar sig minska kan sjukskrivningar minska vilket minskar företagets kostnader.

5.8. Fortsatt arbete

Utöver att finna en layout som fungerar bra i enheten är det viktigt för arbetsprocessen att skapa ett standardiserat arbetssätt och tydliga instruktioner. Detta kommer gynna arbetsflödet i kommande ändringar för att lyfta fram eventuella problem eller kvalitetsavvikelser.

6. Slutsats

Undersökningarna som gjordes visade att en omplacering av maskiner är nödvändig för att reducera icke värdeökande tid. Utifrån syftet med projektet och KB Components önskemål har målet att skapa en layout med kortare förflyttningar, mindre väntetider och en effektivare produktion som gynnar företaget och operatörens arbetssätt uppnåtts. Vid en omplacering bör ett standardiserat arbetssätt implementeras, därav kan avvikelser i det nya flödet identifieras och elimineras. Den simuleringsmodell med punktmoln som tagits fram inom projektet kan användas i framtiden för att förändra eller utveckla det flöde som utarbetats.

Säkerhet är en viktig del av resultatet där det avgränsade området har blivit säkrare när det gäller arbetsmoment i närhet av trucktrafik. Materialhantering finns på tydligt uppmärkta platser, som är lättillgängliga för både operatör och truck, men inte på bekostnad av säkerheten.

Något att beakta är att resultaten från detta arbete i huvudsak kommer från virtuella simuleringar och det är först när något implementeras i en verklig process som det uppdagas om resultaten verkligen stämmer. En annan sak att ha i åtanke är datainsamlingen. Den data som användes för att komma fram till sagda resultat är begränsad både till tidsspann och detaljer men är även till vissa avseenden antagen. Det ger osäkerheter kring hur verklighetstroga simuleringarna blev och då i förlängning hur trovärdiga resultaten är.

Med det sagt så visar simuleringarna på att layout [1] överlag resulterade i kortast gångsträckor sett över åtta timmar. Vid värderingen av layoutförslagen rankade både projektmedlemmarna och KB Components layout [1] högst vilket tillsammans med resultatet från simuleringen visar att om KB Components beslutar att göra en omflyttning kan de inspireras av detta arbete. En omplacering kan innebära högre lönsamhet för företaget men också lönsamhet för personalen ur ett ergonomiskt perspektiv.

Vår rekommendation för framtida studier är en mer omfattande datainsamling och en simulering som täcker ett större tidsspann. En simulering över vad som händer i en fabrik under till exempel en månad hade kunnat ge ett helt annat resultat än denna studie, som sträcker sig över åtta timmar i kombination med begränsade data. För att åstadkomma detta krävs data och tidsmätningar när arbetarna tömmer samtliga maskiner och alla dess olika produkter samt historik över maskinstopp och produktbyten. Simuleringen bör även innehålla detaljer såsom operatörernas hantering av avfall samt trucktrafik. Ett sådant arbete skulle ge en mer verklighetstrogen och större simulering vilket i slutändan kan ge ett annat resultat.

Litteraturförteckning

Banks, J., Carson, J., Nelson, B., Nicol, D. (1996) *Discrete-event system simulation* (vol.3). Prentice hall

Becker, M. C., Salvatore, P., & Zirpoli, F. (2005). The impact of virtual simulation tools on problem solving and new product development organization. *Research Policy*, 34(9), 1305-1321. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.03.016>

Bentley Pointools podcreator. (2019). *Bentley Pointools podcreator*
Hämtat 2019-12-17 från <https://bentley-pointools-podcreator.software.informer.com/2.0/>

CloudCompare. (2019). *CloudCompare* (version 2.11) [mjukvara]. Hämtat 2019-12-17 från <http://www.cloudcompare.org/>

Cohen, M. A., Eliashberg, J., & Ho, T. (1996). New product development: The performance and time-to market tradeoff. *Management Science*, 42(2), 173-186.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.42.2.173>

Fei Tao, Jiangfeng Cheng, Qingling Qi, Meng Zhang, He Zhang & Fangyuan Sui (2017). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International journal of advanced manufacturing Technology*, 94, 3563–3576.
<https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>

Ekonomifakta. (2019). *BNP-tillväxt*. Hämtat 2019-10-22 från <https://www.ekonomifakta.se/Fakta/Ekonomi/Tillvaxt/BNP---internationellt/>

Faro. (2019). *Scene*. Hämtat 2019-11-8 från <https://www.faro.com/products/construction-bim/faro-scene/>

Flexsim. (2019). *Expertfit*. Hämtat 2019-12-17 från <https://www.flexsim.com/expertfit/>

FN. (2020). *Hållbar utveckling*. Hämtat 2020-6-18 från <https://fn.se/wp-content/uploads/2016/08/Faktablad-2-12-H%C3%A5llbar-utveckling.pdf>

Lars Sörqvist. (2013). *Lean : processutveckling med fokus på kundvärde och effektiva flöden*. Lund Studentlitteratur

Liker, J. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.

Lindskog, E., Berglund, J., Vallhagen, J., Berlin, R., & Johansson, B. (2012). Combining point cloud technologies with discrete event simulation. *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC)*. 4-7. <https://doi.org/10.1109/WSC.2012.6465210>

RISE. (2019). *DIP*. Hämtat 2019-11-10 från <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/dip-digital-tvilling-utveckling-och-installation-av-produktionssystem>

Siemens. (2019). *Siemens Plant Simulation*. Hämtat 2019-11-8 från <https://www.plm.automation.siemens.com/store/en-us/trial/plant-simulation.html>

Bilagor

Bilaga 1

Värdering av layoutförslag gjorda av projektmedlemmar

	FACTOR / CONSIDERATION	WT.	ALTERNATIVE				
			A	B	C		
1	Säkerhet ^(a)	10	E 30	I 20	I 20		
2	Åtkomst med travers	9	A 36	A 36	A 36	A	Almost perfekt
3	Korta gångtider	8	E 24	I 16	O 8	I	Important results
4	Maskiner med låg resp. hög beläggning nära varandra	7	E 21	E 21	O 7	U	Unimportant Results
5	Maskinflöde åt samma håll	6	I 12	I 12	E 18		Not Acceptable
6	Lätt installation	5	I 10	O 5	O 5	A.	Description of Alternativ Layout [1]
7	Emballage placering (skapar trängsel)	4	E 12	E 12	U 0	B.	Layout [2]
	Total					C.	Nuvarande
			145	122	94		

Bilaga 2

Värdering av layoutförslag gjorda av KB Components

	FACTOR / CONSIDERATION	WT.	ALTERNATIVE				
			A	B	C		
1	Production safety	10	A 40	X 0	b. 40		
2	Access for overhead traveling crane	9	A 36	A 36	A 36	A	Almost perfekt
3	Material access	8	E 24	E 24	E 24	E	Especially good
4	Stacking truck access	7	A 28	X 0	b. 21	I	Important results
5	Machine placement	6	E 18	O 6	O 6	O	Ordinary Results
6	Production flow	5	A 15	X 5	b. 0	U	Unimportant Results
7	Ingoing material	4	O 4	X 0	b. 4	X	Not Acceptable
8	Outgoing material	3	E 9	X 0	b. 3		
	Total		174	71	134		
	Referensnote:						
	a. Problem with ingoing material and packaging on machine 25						
	b. To reach the unloading/loading area a truck need to pass through a production area						

Bilaga 3



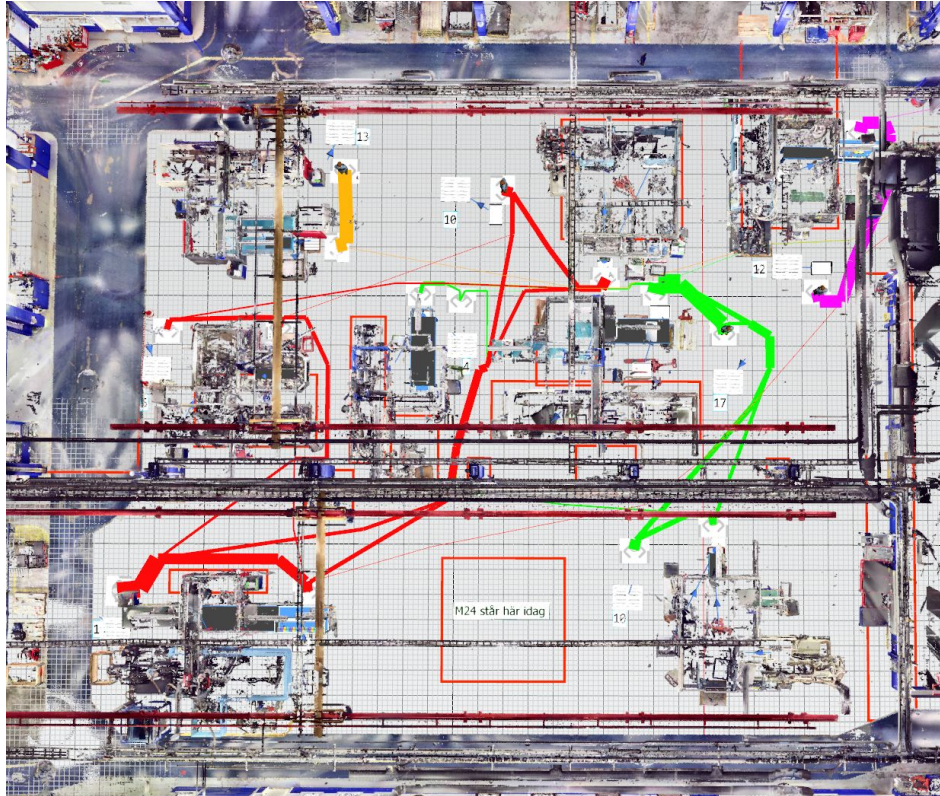
Figur 11. Visar gångsträckan för operatör 1.



Figur 12. Visar gångsträcken för operatör 2.



Figur 13. Visar gångsträcken för operatör 3



Figur 14. Visar gångsträckorna för fyra operatörer vid ett teoretiskt scenario med full beläggning

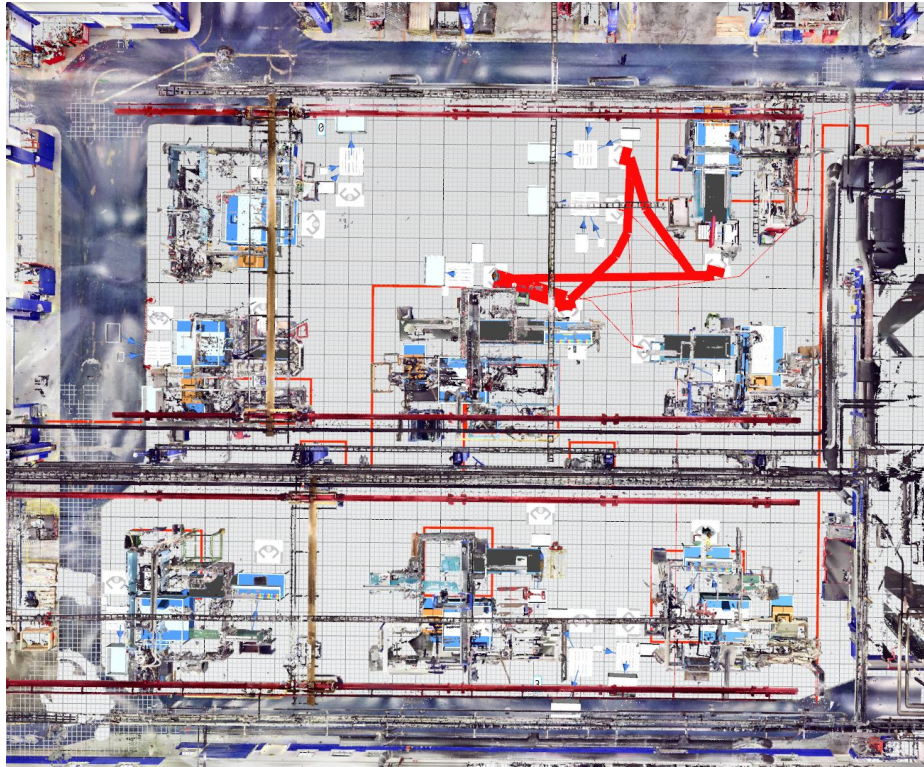
Bilaga 4



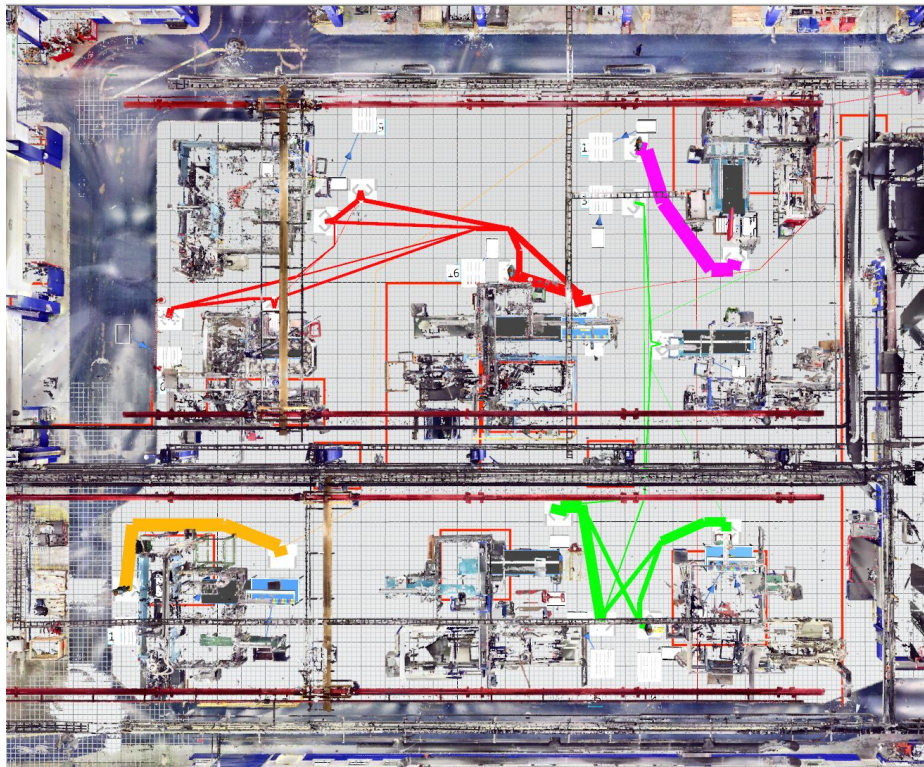
Figur 15. Visar gångsträckan för operatör 1.



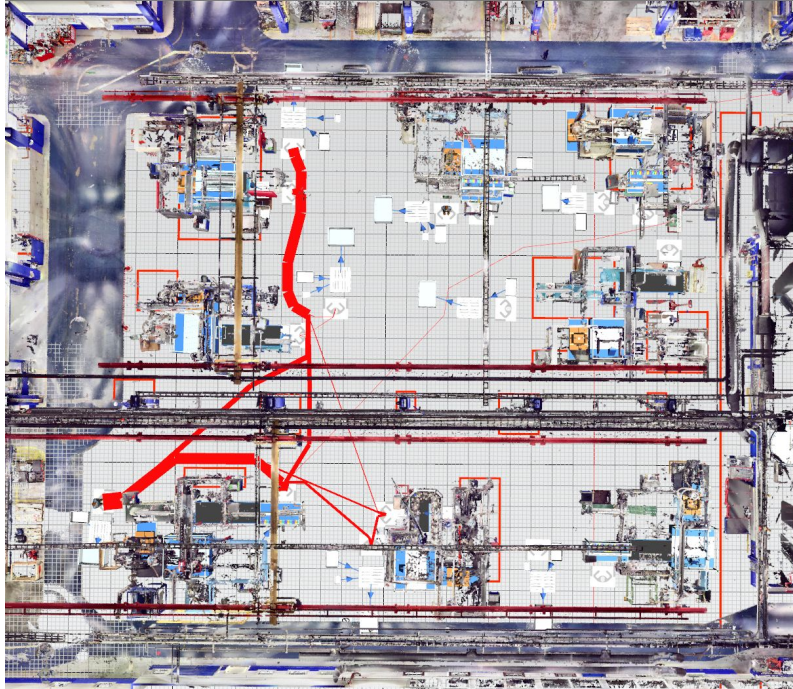
Figur 16. Visar gångsträckan för operatör 2.



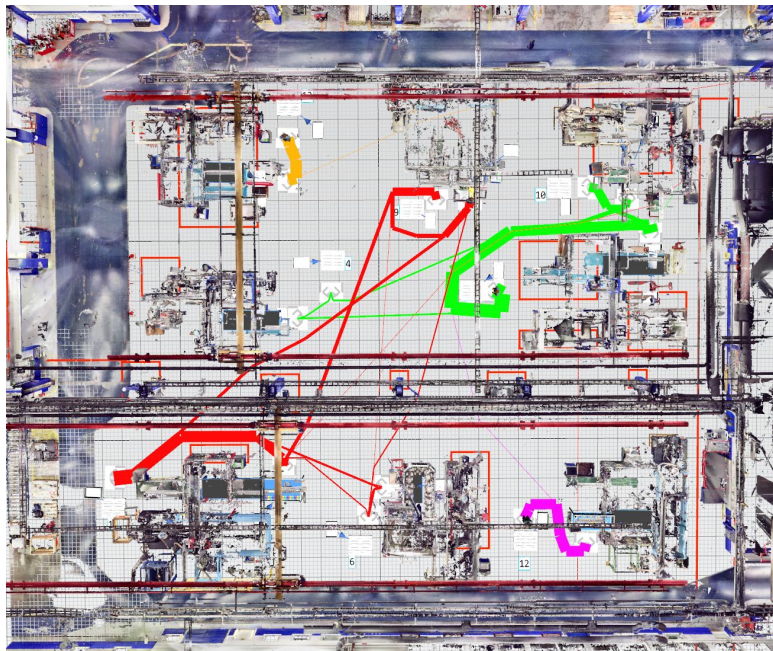
Figur 17. Visar gångsträckan för operatör 3.



Figur 18. Visar gångsträckor för fyra operatörer vid ett teoretiskt scenario med full beläggning.



Figur 21. Visar gångsträckan för operatör 2.



Figur 22. Visar gångsträckor för fyra operatörer vid ett teoretiskt scenario med full beläggning.



CHALMERS