

## **Analys av Produktionsflödet**

## **Med hjälp av flödessimulering**

*Analysis of Production Flow*

*With Discrete Event Simulation*

**Examensarbetet inom huvudområdet Produktionsteknik**

**Grundnivå G2E, 30 högskolepoäng**

**Vårtermin 2024**

Ibrahim Aljaje

Kasper Eriksson

Handledare: Miranda Kedbäck

Examinator: Tehseen Aslam

# Sammanfattning

I dagens konkurrensutsatta tillverkningsindustri är effektivitet och förbättringar av produktionsflödet avgörande för företagets framgång. Simulering har uppmärksammats som ett kraftfullt verktyg för att analysera och förbättra produktionsprocesser innan förändringar implementeras i verkligheten. Denna studie fokuserar på att skapa och analysera en prototypsimuleringsmodell för att identifiera förbättringsmöjligheter i en måleriprocess hos ett företag som har en framstående roll inom byggbranschen genom sin design, tillverkning och försäljning av branschrelaterade produkter, där säkerhet och kvalitet är av högsta vikt. Syftet med studien är att utveckla en simuleringsmodell av produktionsflödet genom måleriet för att identifiera och analysera potentiella förbättringsmöjligheter. Genom att använda simuleringsmodellen ska olika scenarier utforskas för att generera förbättringsförslag som kan öka effektiviteten och produktiviteten i måleriprocessen.

För detta arbete har forskningsmetoden Design Research Research (DSR) valts, vilken erbjuder forskare ett strukturerat ramverk för att effektivisera forskningsarbetet. Användningen av DSR har haft en väsentlig påverkan på utformningen av forskningsprocessen och projektplanen. Genom att tillämpa DSR-metoden stegvis har projektet följt ett övergripande ramverk för att implementera Banks (2014) simuleringsteknik och övervaka dess framsteg. Datainsamlingen utfördes genom dokumentstudier, intervjuer, observationer och tidsstudier för att skapa en grund för att utveckla simuleringsmodellen. Genom en strukturerad metodik och användning av simuleringsverktyg konstruerades en prototypsimuleringsmodell som återspeglade det verkliga produktionsflödet genom måleriet. Prototypsimuleringsmodellen användes för att identifiera flaskhalsar och effektiva processer inom måleriprocessen. Genom experiment och analyser kunde potentiella förbättringsförslag utformas för att öka produktiviteten och effektiviteten i måleriet. Studien visar på potentialen i att använda simuleringsmodeller för att förbättra produktionsprocesser inom tillverkningsindustrin. Genom att identifiera och adressera flaskhalsar kan effektiviteten och produktiviteten ökas, vilket i sin tur kan leda till ökad konkurrenskraft och hållbarhet för företaget. Fortsatt arbete och utveckling av simuleringsmodellen kan bidra till att ytterligare förbättra produktionsprocesserna och uppnå långsiktiga förbättringar.

# Abstract

In today's competitive manufacturing industry, efficiency and improvements in production flow are crucial for companies' success. Simulation has been recognized as a powerful tool for analyzing and enhancing production processes before changes are implemented in reality. This study focuses on creating and analyzing a prototype simulation model to identify improvement opportunities in a painting process at a company that plays a prominent role in the construction industry through its design, manufacturing, and sale of industry-related products, where safety and quality are of utmost importance. The purpose of the study is to develop a simulation model of the production flow through the painting process to identify and analyze potential improvement opportunities. By using the simulation model, different scenarios will be explored to generate improvement suggestions that can increase the efficiency and productivity of the painting process.

For this work, the research method Design Science Research (DSR) has been chosen, which provides researchers with a structured framework to streamline research work. The use of DSR has had a significant impact on the design of the research process and the project plan. By applying the DSR method step by step, the project has followed an overall framework to implement Banks' (2014) simulation technique and monitor its progress. Data collection was carried out through document studies, interviews, observations, and time studies to create a foundation for developing the simulation model. Through a structured methodology and the use of simulation tools, a prototype simulation model reflecting the actual production flow through the painting process was constructed. The prototype simulation model was used to identify bottlenecks and effective processes within the painting process. Through experiments and analysis, potential improvement suggestions were formulated to increase the productivity and efficiency of the painting process. The study demonstrates the potential of using simulation models to improve production processes in the manufacturing industry. By identifying and addressing bottlenecks, efficiency and productivity can be increased, leading to increased competitiveness and sustainability for the company. Continued work and development of the simulation model can further improve production processes and achieve long-term improvements.

# Intyg

Denna uppsats har lämnats in av Ibrahim Aljaje och Kasper Eriksson till Högskolan i Skövde som uppsats för erhållande av betyg för på grundnivå G2E inom huvudområdet Produktionsteknik/Maskinteknik.

Undertecknad intygar härmed att allt material i denna uppsats som inte är resultatet av eget arbete har redovisats med källangivelse. Uppsatsen innehåller inte heller material som undertecknandet redan tidigare fått tillgodoräknat sig inom sina akademiska studier.



Ibrahim Aljaje  
Skövde 2024-05-31  
Institutionen för Ingenjörsvetenskap



Kasper Eriksson  
Skövde 2024-05-31  
Institutionen för Ingenjörsvetenskap

# Förord

Vi önskar att uttrycka vår tacksamhet gentemot alla parter i detta examensarbete.

Ett stort tack riktas till företaget för att de har betytt oss med detta projekt och därigenom möjliggjort dess fullbordan. Tack till vår handledare på företaget som har varit ett stort stöd i arbetet och gett oss tillgång till nödvändig information och material.

Ett hjärtligt tack till Miranda Kedbäck och Jacob Bernedixen som har varit våra handledare under examensarbetet. Stort tack för handledningstillfällena, feedbacken och hjälpen som vi fått under arbetet. Det har varit av stor betydelse.

Slutligen vill vi tacka Högskolan i Skövde och alla andra involverade parter för deras bidrag till ett lärorikt, roligt och utmanande arbete.

# Terminologi

DES - Discrete Event Simulation

DSR - Design Science Research

MTTR - Mean time to repair.

MTBF - Mean time between failure

OEE - Overall Equipment Effectiveness

TP - Thinking Process

TH - Throughput per hour

TOC - Theory of Constraints

DT- Digital Twin

# Innehållsförteckning

<b>1. Introduktion</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Problemformulering.....	2
1.3 Syfte och mål.....	2
1.4 Avgränsningar .....	3
1.5 Rapportstruktur.....	4
<b>2. Teori</b> .....	<b>5</b>
2.1 Metod och genomförande av teoretiska referenser .....	5
2.2 Resultat av teoretisk referensram .....	8
2.2.1 Produktionsprocessen.....	8
2.3 Simulering .....	8
2.3.1 Konceptuell modell .....	9
2.3.2 Diskret händelsesimulering.....	10
2.3.3 Simuleringsproceduren .....	10
2.3.4 Möjligheter och utmaningar inom Simulering .....	13
2.4 Simulering och flaskhalsteorin .....	14
2.5 Analys av teoretisk referensram .....	16
<b>3. Metod</b> .....	<b>19</b>
3.1 Övergripande forskningsmetod .....	19
3.1.1 Steg 1: Klargörande av mål och forskningsplan .....	20
3.1.2 Steg 2: Designa och utveckla artefakten.....	20
3.1.3 Steg 3: Utvärdera och analysera artefakten .....	23
<b>4. Genomförande</b> .....	<b>25</b>
4.1 Steg 1: Klargörande av mål och forskningsplan .....	25
4.2 Steg 2: Designa och utveckla artefakten.....	26
4.2.1 Nulägesanalys.....	28
4.2.2 Datainsamling.....	30
4.2.3 Modellkonceptualisering.....	32
4.2.4 Modellöversättning.....	33
4.3 Steg 3: Utvärdera och analysera av artefakten .....	38
4.3.1 Experimentell design.....	39
<b>5. Resultat &amp; analys</b> .....	<b>42</b>
5.1 Utnyttjandegrad .....	43
5.2 Flaskhalsanalys .....	45
<b>6. Diskussion</b> .....	<b>47</b>

6.1 Metod.....	47
6.2 Projektets innehåll, utveckling och resultat.....	48
6.3 Hållbar utveckling, jämställdhet och etik.....	49
<b>7. Slutsats .....</b>	<b>51</b>
<b>8. Framtida arbete .....</b>	<b>53</b>
<b>Referenser .....</b>	<b>54</b>
<b>Bilagor .....</b>	<b>57</b>
<b>Bilaga 1: Intervjufrågor.....</b>	<b>57</b>
<b>Bilaga 2: Klockstudier .....</b>	<b>58</b>
<b>Bilaga 3: Modellarbete .....</b>	<b>59</b>
<b>Bilaga 4: Nuläges-modell (efter valideringskörning).....</b>	<b>60</b>
<b>Bilaga 5: Valideringsdata .....</b>	<b>61</b>
<b>Bilaga 6: Experiment Resultat .....</b>	<b>62</b>

# Tabellbeteckning

Tabell 2:1 <i>Sammanställning av sökningar i litteraturstudien</i> .....	7
Tabell 2:2 <i>Urval av artiklar som har blivit analyserade inom relevanta ämnen</i> .....	17
Tabell 3.1: <i>Rekommenderat antal observationer baserat på cykeltiden</i> .....	22
Tabell 4.1: <i>Utdata från simuleringsmodellen</i> .....	36
Tabell 4.2: <i>Utnyttjandegrad av målerierna</i> .....	36
Tabell 4.3: <i>Validerings tabell med throughputs</i> .....	37
Tabell 4.4: <i>Validerings tabell med distribution produkt A mot B</i> .....	37
Tabell 4.5: <i>Validerings tabell med distribution av måleriflöden och slutmonteringar</i> .....	38

# Figurbeteckning

Figur 1.1: Flowchart av rapportstruktur.....	4
Figur 2.1: Visualisering av sökningsprocess för litteraturstudie .....	6
Figur 2.2: Flowchart av stegen i simuleringsarbeten .....	11
Figur 2.3: Flaskhals visualisering med inspiration.....	14
Figur 3.1: Design Science Research.....	19
Figur 4.1: Illustrering av de steg som omfattas av DSR-metoden i förhållande till Banks metod .....	25
Figur 4.2: Klargörande av mål och forskningsplan .....	26
Figur 4.3: DSR-metod steg 1 för detta arbete visualiserat.....	26
Figur 4.4: Design och utvecklingsfasen .....	27
Figur 4.5: Simuleringsprocessen under Design och utvecklingsfasen.....	27
Figur 4.6: Flowchart av produktionsflödet i måleriet .....	29
Figur 4.7: komponenter som används i modelleringsfasen.....	32
Figur 4.8: Simuleringsmodellen.....	33
Figur 4.9: Attributes som sätts i produkterna vid skapelse för produkt A och B.....	34
Figur 4.10: Utvärdering och analyseringsfasen.....	37
Figur 4.11: Simuleringsprocessen under Utvärdering och analysering fasen.....	39
Figur 4.12: Måleri fördelning med "PaintPath" logik och utan.....	40
Figur 4.13: Före (vänster) och efter (höger) implementering av slutmontering 5 .....	41
Figur 5.1: Utnyttjandegrad av målerierna före och efter förbättrings-implementeringar .....	43
Figur 5.2: Utnyttjandegrad av ugnar och kylar i varje flöde i det originella läget.....	43
Figur 5.3: Utnyttjandegrad av ugnar och kylar i varje flöde efter förbättrings-implementeringar .....	44
Figur 5.4: Utnyttjandegrad av förvänt-buffert (B-produkt) före och efter.....	44
Figur 5.5: Utnyttjandegrad av för-buffertar före och efter förbättrings-implementeringar .....	45
Figur 5.6: simuleringsmodellen över målningsboxarna och härdningsprocessen.....	46

# 1. Introduktion

I detta avsnitt ges en bakgrund till studien, inklusive en kort beskrivning av det involverade företaget samt platsen för projektets genomförande. Efter detta presenteras syftet och målen med projektet, följt av eventuella avgränsningar. Slutligen ges en översikt över rapportens struktur.

## 1.1 Bakgrund

I dagens konkurrensutsatta tillverkningsindustri står företagen inför en allt större utmaning med ökande krav och en komplex marknadsmiljö. Både politiska beslut, som skapar förutsättningar för konkurrenskraftig produktion, och företagens egna strategiska åtgärder blir alltmer avgörande (Bellgran och Säfsten, 2005). För att uppnå konkurrenskraftig produktion finns ett brett spektrum av produktionsutvecklingsmetoder tillgängliga, inklusive Lean konceptet och flaskhalsteorin, som erbjuder verktyg och strategier för att lösa produktionsrelaterade problem. Målet, oavsett vilken metod som används, är att maximera lönsamheten samtidigt som konkurrensfaktorerna hanteras eller förbättras för att stödja beslutsfattandet. Leveranssäkerhet är en särskilt viktig konkurrensfaktor för etablerade företag och spelar en central roll i projektplaneringen.

Enligt Bellgran och Säfsten (2005) ökar den varierande efterfrågan också utmaningen för tillverkningsföretagen genom att kräva flexibla produktionssystem. Detta leder till en ökning av antalet varianter som tillverkas inom ett produktionssystem och därmed ökar även antalet omställningar som kräver beslut. Inom byggbranschen är säkerhet och kvalitet av yttersta vikt, och företaget har en framstående position genom sin design, tillverkning och försäljning av branschrelaterade produkter. Med ett starkt fokus på säkerhet, design och funktionalitet strävar företaget efter att uppfylla de höga kraven och behoven hos sina kunder. Produkter från olika flöden samlas i sju olika buffertar inom måleriet innan de skickas vidare till målningprocessen.

Måleriet består av tre olika flöden, inklusive målningsexboxar och härdugnar, där produkterna först målas, sedan härdas enligt förbestämda färger baserat på kundorder. Efter målningen genomgår produkterna kvalitetskontroller innan de skickas vidare till slutmontering. Simulering har identifierats som ett kraftfullt verktyg för att analysera processer och system på ett virtuellt sätt för att identifiera potentiella förbättringar innan de implementeras i verkligheten (Banks, 2014). Genom att använda simulering kan företag minimera behovet av fysiska prototyper och testning, vilket sparar tid, resurser och minskar avfallsmängderna. Dessutom kan simuleringen hjälpa företag att identifiera och lösa potentiella problem innan de uppstår i verkligheten, vilket minskar risken för miljöpåverkan och ekonomiska förluster. Lundmark (2019) understryker hur simuleringstekniker spelar en viktig roll för att främja hållbar utveckling inom tillverkningssektorn.

Företaget har implementerat avancerad automatisering och tillämpar metoder såsom enstyckflöde och tillverkning på beställning. Måleriet inom företaget genomgår ett komplex flöde, där fördelningen regleras av målpunkter. Detta skapar en utmaning när det kommer till

manuell analys av systemet. Genom att manipulera parametrar och variabler kan simuleringsverktyg användas för att utforska olika scenarier och undersöka hur förändringar påverkar resultatet. Denna metod möjliggör en effektiv jämförelse av olika strategier eller alternativa lösningar utan att behöva genomföra verkliga tester, vilket resulterar i tids- och resursbesparingar. Dessa förbättringar möjliggör en bättre anpassning till efterfrågan och säkerställer en effektiv och hållbar produktionsprocess.

## 1.2 Problemformulering

Företaget betraktar sitt måleri som en integrerad del av hela produktionsprocessen. Enligt företagets beskrivning har måleriet identifierats som en potentiell flaskhals vid ökande efterfrågan. Det är därför av intresse att undersöka hur företagets måleri kan analyseras med hjälp av simuleringsverktyg för att effektivt möta den ökande efterfrågan och samtidigt upprätthålla kundernas krav. En viktig aspekt är att utvärdera den nuvarande graden av resursutnyttjande och tillgänglighet inom det befintliga systemet för att utveckla strategier för att förbättra produktiviteten och undvika att måleriet blir en flaskhals vid ökande efterfrågan.

## 1.3 Syfte och mål

Det primära målet med detta projekt är att utveckla en simuleringsmodell av företagets produktionsflöde genom måleriet för att identifiera och analysera potentiella förbättringsmöjligheter inom detta område. Projektets mål är att utföra en omfattande analys och insamling av data som är relaterad till den befintliga produktionsprocessen, inklusive identifiering av parametrar och begränsningar. Denna information kommer sedan att användas som grund för att skapa en simuleringsmodell. Genom användningen av denna modell kommer olika scenarier att analyseras för att generera förbättringsförslag.

Projektet är avsett att skapa ett användbart verktyg för företagets produktionsavdelning, vilket kommer att underlätta beslutsfattande gällande framtida utvecklingar och uppgraderingar av produktionsprocessen. Modellen förväntas också möta kundernas krav genom att effektivisera systemet och eventuellt öka produktionsvolymen. Genom att göra produktionsprocessen mer effektiv främjas hållbar tillverkning och minskar slöseri av resurser. Dessutom kan modellen användas för kontinuerlig förbättring och för att säkerställa att företaget håller jämna steg med marknadskrav och förväntningar, vilket i sin tur stärker dess konkurrenskraft och hållbarhet.

När det gäller vetenskapliga aspekter innebär projektet användning av avancerade simuleringsverktyg, vilket kräver djupgående kunskaper om simuleringsmetoder och modelleringstekniker för att skapa en korrekt och tillförlitlig modell. På samhällsnivå kan projektet ha vidsträckta konsekvenser genom att effektivisera produktionen, vilket i sin tur kan påverka både företagets anställda och kunderna. Ett viktigt övervägande är de etiska aspekterna kring användningen av simuleringsmodellen och dess inverkan på företagets intressenter, inklusive arbetstagarnas arbetsmiljö och anställningsförhållanden. Projektet struktureras genom att definiera huvudmål.

**Huvudmål:** Skapa en simuleringsmodell av måleriet som ett verktyg för att stödja beslutsfattande och förbättringsprocesser inom företaget.

**Delmål 1:** Fastställa en strukturell grund för projektet som byggs på ett faktabaserat och systematiskt tillvägagångssätt som identifierats genom litteraturstudier.

**Delmål 2:** Genomföra datainsamling från företagets anläggning för att utveckla en nulägesanalys.

**Delmål 3:** Konstruera en prototypsimuleringsmodell som återspeglar det verkliga systemet, grundat på nulägesanalysen och insamlade data.

**Delmål 4:** Presentera potentiella förbättringar genom simuleringsmodellen och att analysera hur dessa förbättringar påverkade företaget produktivitet och effektivitet

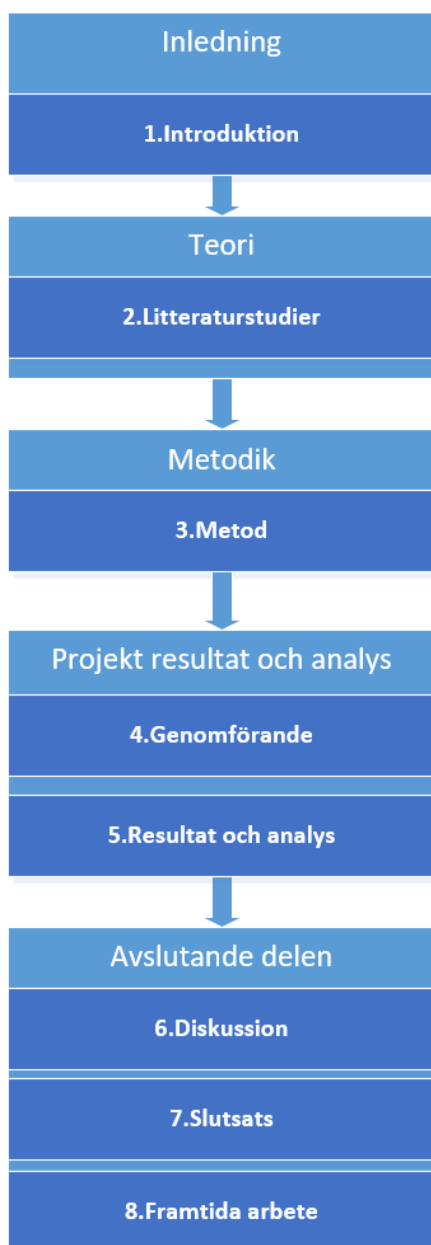
**Delmål 5:** Identifiering av praktiska och etiska övervägandena vid implementering av förbättringsförslagen.

## 1.4 Avgränsningar

På grund av den omfattande komplexiteten i hela anläggningen, de avancerade automationsnivåerna i produktionssystemet och det begränsade tidsspannet för projektet, uteslöts simulering av hela produktionen. I stället kommer en simuleringsmodell att utvecklas för att fokusera på måleriprocessen. I måleriet kombineras produkter parvis innan de transporteras för målning. Måleriet består av tre olika flöden. Efter målningen transporteras produkterna till monteringslinan 1, där de monteras ihop med andra komponenter. Efter monteringen placeras produkterna i ett lager i väntan på transport. Företaget har även en andra monteringslinje som kan aktiveras vid behov, vilket innebär att måleriet kan fungera som en flaskhals som begränsar produktionsvolymen vid ökad efterfrågan. Projektet kommer att fokusera på att analysera måleriprocessen och identifiera övergripande begränsningar. Implementering av lösningar kommer inte att ingå i examensarbetets omfattning. Resultaten kommer att presenteras i form av förbättringsalternativ för företaget.

## 1.5 Rapportstruktur

I detta avsnitt beskrivs rapportens struktur, som illustreras i figur 1. Inledningsvis redogörs för företagets bakgrund, projektets mål samt de specifika frågeställningar som projektet syftar till att besvara. Därefter behandlas den teoretiska referensramen och litteraturstudien, vilka presenterar den aktuella forskningen inom projektets område. I metod- och genomförande delen beskrivs de metoder som använts i projektet och hur de olika stegen har utförts. Rapporten avslutas med en presentation av resultaten, följt av en diskussion kring projektets genomförande och resultat, slutsatser samt en analys av hur framtida arbete kan påverka projektet.



Figur 1.1: Flowchart av *Rapportstruktur*

## 2. Teori

Detta kapitel presenterar en teoretisk ram som utgör grunden för studien. Det omfattar en genomgång av relevant litteratur, inklusive tidigare forskning, etablerade teorier och modeller. Denna litteratur utgör en ram som hjälper till att förstå och tolka resultaten inom de studerade ämnesområdena. Generellt sett innebär litteraturstudier planering och genomförande av en systematisk granskning av befintlig litteratur inom ett specificerat ämnesområde enligt Säfsten & Gustavsson (2019). Detta kapitel introducerar relevant teori genom en omfattande redogörelse för genomförandet av en litteraturstudie inom tillverkningsindustrin, med särskilt fokus på områdena simuleringprocedur och flaskhalsanalys. Analyserna av den genomförda litteraturstudien presenteras i efterföljande avsnitt, och kapitlet avslutas med slutsatser.

### 2.1 Metod och genomförande av teoretiska referenser

Vid genomförande av studien är det av avgörande betydelse att förvärva insikter om den aktuella forskningsfronten inom produktionsprocessen, särskilt med avseende på simuleringproceduren och flaskhalsanalys. Genomförandet av detta kunskapsförvärv sker genom en systematisk litteraturstudie som omfattar planering, genomförande och resultatanalys enligt den metodologi som föreslagits av Säfsten & Gustavsson (2019). Detta kräver en välgjord litteraturstudie och en systematisk planering, vilket innefattar följande steg:

**Specificera syftet med litteraturstudien:** identifiera målet och syftet med studien för att skapa en vägledning för utförande av aktuella arbeten.

**Identifiera lämpliga sökord:** Utforma och fastställa de mest relevanta sökorden för att säkerställa korrekta träffar.

**specificera kriterier för att inkludera och utesluta litteratur:** Definiera tydliga kriterier för att välja ut relevant litteratur och utesluta icke relevanta.

**Välj sökverktyg och databaser:** Avgör vilka verktyg och databaser som är mest lämpliga för att nå önskat resultat.

**Formulera sökstrategi och utföra den:** Utarbeta och implementera en effektiv sökstrategi för att identifiera relevanta källor.

**Sammanfattande genomgång av identifierad litteratur:** Skapa en översiktlig sammanfattning av den insamlade litteraturen för ökad överskådlighet.

**Djupgående genomgång av identifierad litteratur:** Utför en detaljerad granskning av varje identifierad källa för att bedöma dess relevans och pålitlighet.

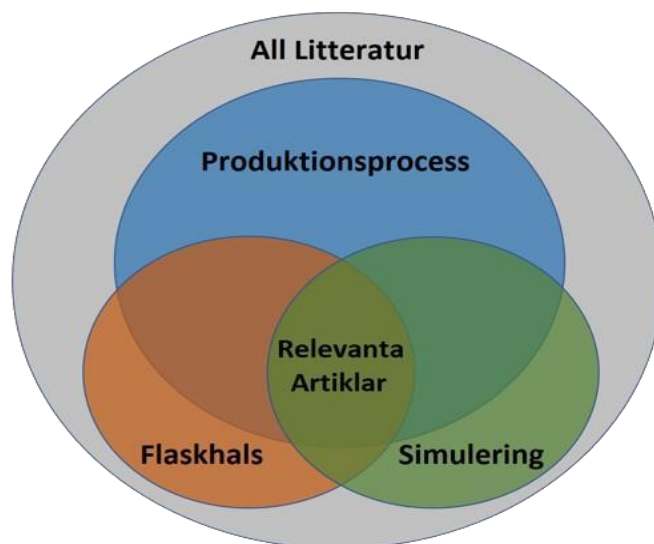
**Extrahera data och skapa en sammanfattning:** Extrahera relevant information från varje källa och skapa en sammanfattning för att underlätta analysen.

**Analysera materialet:** Tillämpa en noggrann analys av den insamlade informationen för att identifiera mönster och trender.

**Presentera resultatet – litteraturöversikt:** Sammanställ och presentera resultaten av litteraturstudien genom att skapa en översikt som belyser huvudfynden och sambanden mellan de studerade områdena.

I strävan efter vetenskapliga artiklar genomfördes systematiska sökningar i olika databaser, där booleska sökningar användes för att precist definiera sambandet mellan sökorden. Booleska villkor, såsom AND, OR eller NOT, användes för att exakt specificera hur sökorden skulle kombineras. AND-operatören tillämpades för att avgränsa sökningen och därigenom reducera antalet träffar. En noggrann formulering av sökorden användes för att genomföra sökningar av avancerade strängar. Sökningarna anpassas enligt de principer som beskrivs av Säfsten & Gustavsson (2019), snöbollsstrategi med två huvudtyper. Framåtsnöboll och bakåtsnöboll.

Vid framåtsnöboll identifierades och analyserades redan relevanta artiklar. Sedan söktes efter andra artiklar som hänvisade till dessa redan relevanta artiklar, vilket möjliggjorde upptäckten av nyare eller ytterligare forskning relaterad till det aktuella ämnet. Bakåtsnöboll innebär granskning av referenslistor i redan identifierade relevanta artiklar för att finna äldre källor eller grundläggande forskning som hade inspirerat de aktuella artiklarna. Detta tillvägagångssätt bidrog till en fördjupad förståelse för ämnets utveckling och grundläggande koncept. Följande figur visualiserar sökningsprocessen (se figur 2.1).



Figur 2.1: Visualisering av sökningsprocess för litteraturstudie.

För att generera söktermer definieras ämnesord som är relevanta för området "simulation," "bottleneck" och "Industry 4.0" Dessa valda ämnesord används som söktermer i den valda databasen. Därefter kombineras söktermerna med booleska villkor, antingen "AND" eller "OR," för att förtydliga och begränsa sökningen samt identifiera relevanta träffar.

I tabell 2:1 nedan för kolumn 3 illustreras hur söktermerna kombineras med varandra med hjälp av booleska villkor för att skapa preciserade sökfrågor. Genom att använda "AND" specificeras att resultatet ska inkludera samtliga söktermer, medan användning av "OR" möjliggör att artiklar som innehåller minst en av de angivna termerna inkluderas. I kolumn ett redovisas vilken databas som användes i sökningen. Valet av databas kan påverka

sökresultaten, omfattning och relevans. Kolumn två presenterar vilka publiceringsårtalet som användes vid sökningarna. Dessutom anges det totala antalet träffar som erhöles från sökningen. Denna information ger en indikation på det valda ämnesområdet aktualitet och omfattning inom den givna tidsramen. därefter granskas för att identifiera relevanta artiklar inom det sökta området. Denna process bidrar till att säkerställa att endast relevant och adekvat information hämtas från databasen, vilket är avgörande för att upprätthålla vetenskaplig relevans. Litteraturstudien syftar på att fördjupa förståelsen för potentialen hos simuleringsmetoder inom tillverkningsindustri och deras roll i att identifiera flaskhalsar. De centrala fokusområdena för studien omfattar avancerade simuleringstekniker och flaskhalsanalys. Forskningsfrågor som utforskades och omfattade följande frågeställningar:

**Frågeställning 1:** Vilka tillämpningsområden finns det för simulering och flaskhalsdetektering?

**Frågeställning 2:** De utmaningar som uppstår vid simulering och analys av flaskhalsar?

**Frågeställning 3:** Utmaningar som uppstår vid identifiering av flaskhalsar?

**Frågeställning 4:** Metoder för att identifiera flaskhalsar och skapa simuleringsmodeller?

**Frågeställning 5:** Vilken påverkan har simuleringsmetodikerna på etiska principer och global hållbarhet?

Jämfört med de tidigare beskrivna metoderna för sökningar av forskningsartiklar skapades ursprungliga sökord för att forma söktermer, vilka sedan användes i databaser som Scenedirect, Academic Search Premier och Google Scholar. Sökorden finjusteras kontinuerligt under studiens gång för att bättre återspegla förståelsen av begreppen. För att säkerställa relevans och aktualitet begränsades valet av artiklar till perioden 2020–2024. Resultaten från dessa sökningar redovisas i Tabell 2.1.

Tabell 2.1: *Sammanställning av sökningar i litteraturstudien.*

Databas	Årtal	Sökterm/avancerat sök:	Antal Träffar	Efter urval:1	Efter urval:2
Academic Search Premier	2020–2024	"simulation" AND "bottleneck" OR "bottleneck analysis"	25	2	1
Academic Search Premier	2020–2024	"simulation" AND "manufacturing" OR "production"	31	3	2
Academic Search Premier	2020–2024	"simulation" AND "sustainability"	17	10	2
Academic Search Premier	2020–2024	"simulation" AND "bottleneck" AND "manufacturing"	36	4	3
Scenedirect	2020–2024	"simulation" AND "bottleneck"	90	12	1
Scenedirect	2020–2024	"simulation" AND "manufacturing"	140	15	3
Scenedirect	2020–2024	"simulation" AND "sustainability"	135	18	2
Scenedirect	2018–2024	"Simulation" AND "bottleneck" AND "manufacturing"	24	11	1
Google Scholar	2020–2024	"simulation" AND "bottleneck" AND "manufacturing" OR "production"	190	25	6

Urval 1 avser bedömningen av litteraturens relevans för ämnet baserat på en genomgång av sammanfattningen, medan urval 2 innebär en ytterligare bedömning som görs efter att hela publiceringen har lästs igenom.

## 2.2 Resultat av teoretisk referensram

Genomförandet av den teoretiska referensramen resulterar till dykning i följande ämnen som forskningsprocessen ansåg som relevant för projektarbetet.

### 2.2.1 Produktionsprocessen

Enligt Bellgran och Säfsten (2005) utgör layouten den viktigaste delen av en produktionsprocess, då den definierar den fysiska placeringen av utrustning i en verkstad. Det finns grundläggande metoder för att arrangera utrustningen: fast position, där all bearbetning sker på samma plats; funktionell layout, där utrustning av samma typ är grupperade tillsammans; flödesgrupp (cell), där olika utrustningar och processer som krävs för att producera en produkt är samlokaliserade; och linjebaserad layout, där utrustningen för att producera en produkt är placerad i en följd enligt ordningen av aktiviteter.

Processer inom tillverkningsindustrin kan enligt Bellgran och Säfsten (2005) kategoriseras baserat på volym och antal varianter. Enstyckeprocessen och intermittent process används för att tillverka diskreta produkter, där varje produkt betraktas som en individuell enhet och specificeras styckvis. Individuella enheter kan vara enkla eller sammansatta produkter, där de senare består av minst två delar sammanfogade till en helhet. Produkter av samma typ återkommer med varierande intervaller i tillverkningsprocessen. Inom intermittent process är produktslagen vanligtvis liknande varandra, och produkterna tillverkas i olika steg med mellanlagring mellan operationerna. Bellgran och Säfsten (2005) framhäver att intermittenta processer kan delas in i kopplade och okopplade flöden, där kopplade flöden följer varandra som en ström medan okopplade flöden har en buffert eller mellanlager som delar upp flödet. I kontinuerliga processer tillverkas samma produktslag oavbrutet, med ett kontinuerligt flöde mellan olika processteg och en kontinuerlig tillverkningslinje från råvara till färdig produkt.

För att bibehålla konkurrenskraften i dagens affärsklimat måste företag vara ledande inom produktionsstyrning och lagerhantering, enligt Olhager & Feldmann (2022). Många tillverkningsföretag främjar principen Make-To-Order (MTO), där produkter tillverkas först när en specifik kundorder har mottagits. MTO är särskilt vanligt inom branscher med komplexa produkter eller stor variation i produktspecifikationer, och det möjliggör skräddarsydda produkter som ökar kundtillfredsställelsen och bidrar till starkare kundrelationer.

Enligt Åhlund (2010) kan användningen av indikatorer vara lämplig för att förstå resursutnyttjandet i tekniska system. Mean Time Between Failure (MTBF) mäter tiden mellan fel och driftstopp för utrustningen, medan Mean Time To Repair (MTTR) representerar tiden det tar att reparera utrustningen vid ett driftstopp. Dessa tidsmått är viktiga för att upprätthålla produktionstiden och för att illustrera driftsäkerheten för det aktuella systemet.

## 2.3 Simulering

Banks et al. (2014) definierar simulering som processen att modellera, representera eller imitera ett system eller en process. Syftet med simuleringen är att få insikter och studera hur något fungerar utan att behöva genomföra det i verkligheten. Det kan användas inom

områden som vetenskap, forskning, utveckling och produktionssystem. Enligt Banks et al. (2014) kan simuleringar vara antingen fysiska eller digitala. Fysiska simulationer involverar att skapa en fysisk modell av systemet eller processen för att observera dess beteende under olika förhållanden. Digitala simulationer utnyttjar mjukvara och datorer för att skapa virtuella representationer och simulera händelser eller processer.

Inom ramen för Industri 4.0 spelar simulering en central roll i utformningen och optimeringen av olika aspekter inom den industriella produktionen Dalpadulo et al. (2024). En mängd verktyg och metoder inom simulering tillämpas inom dagens industriella sektor, vilka kommer att granskas noggrant med en analys av deras fördelar och nackdelar. Specifik uppmärksamhet ges åt analysen av sambandet mellan simulering och flaskhalsteorin. Genom att tillämpa simulering för att identifiera och hantera flaskhalsar inom produktionsprocesser, visar detta avsnitt hur simulering fungerar som ett strategiskt verktyg för att förbättra effektiviteten inom den moderna industriella miljön. Dessutom kommer den konceptuella ramen för simulering att förklaras i relation till dess praktiska tillämpningar och dess viktiga roll i skapandet av flexibla och anpassningsbara produktionsprocesser.

### **2.3.1 Konceptuell modell**

Simulering definieras enligt Ferreira et al. (2020) som processen att skapa en modell av ett verkligt eller hypotetiskt system för att beskriva och analysera dess beteende. De fundamentala komponenterna i denna definition innefattar modellering, vilket är processen att skapa en modell; modell, som utgör en abstrakt och förenklad representation av ett system med uppsättningar av antaganden, ofta framställd med matematiska eller logiska samband; samt system, som representerar processen som analyseras. Enligt Abioye et al. (2021) omfattar den konceptuella modellen fyra olika koncept: prototypisk, modellbaserad, gränssnittsorienterad och serviceorienterad. Inom prototypisk konceptuell simulering ligger fokus på att ingående beskriva den information som utbyts mellan de fysiska och digitala tillgångarna. Abdelmagid et al. (2020) förtydliga att en prototyp eller en representativ modell skapas för att klart definiera överföringen och hanteringen av data och information mellan de fysiska och digitala aspekterna av systemet.

Enligt Mourtzis, D. (2020) kan modellbaserad konceptuell simulering definieras som den digitala kopian som en sammansättning av olika modeller. Dessa modeller representerar olika aspekter av systemet, inklusive fysiska applikationer och deras beteenden, detta angreppssätt möjliggör en detaljerad och specialiserad analys av olika delar av det fysiska systemet genom användning av distinkta modeller. Gränssnittsorienterad konceptuell simulering fokuserar på att precis specificera gränssnittet mellan det fysiska och digitala området. Enligt Abioye et al. (2021) ligger betoningen på processen snarare än på de individuella tillgångarna. Målet är att tydligt definiera hur de två världarna interagerar och samverkar vid gränssnittet. Abdelmagid et al. (2020) belyser att inom serviceorienterad konceptuell modell är operatörerna centrala, utformningen och strukturen av systemet är inriktad på att tillhandahålla tjänster och möjligheter för operatörerna, vilket innebär att operatörernas behov och interaktioner står i centrum för utformningen och strukturen av den digitala kopian. Utformningen av dessa fyra koncept utgör grunden för utvecklingen inom industrin och andra sektorer. Med tanke på den snabba utvecklingstakten och den omfattande variationen inom simuleringsmjukvaran kan

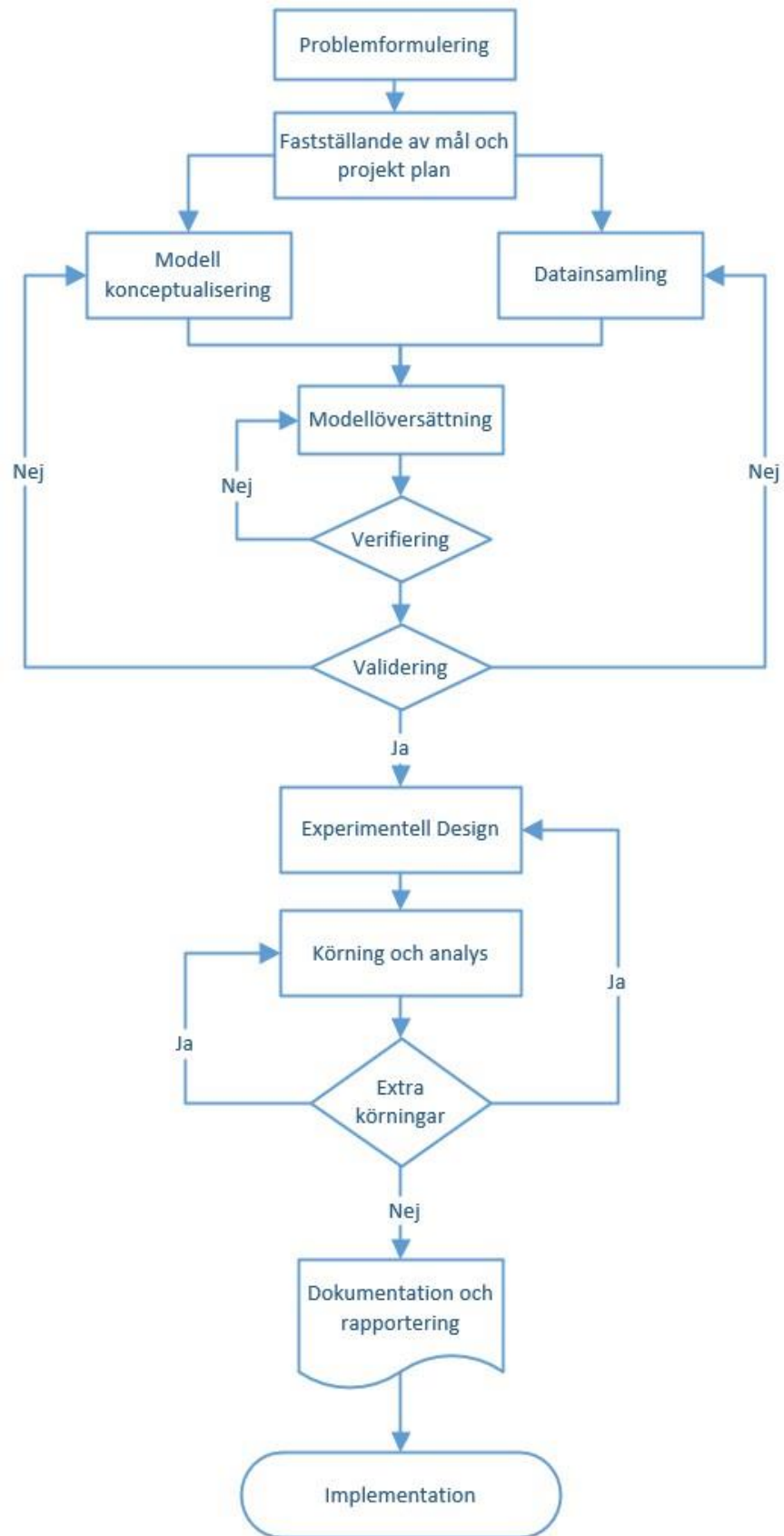
dessa koncept tillämpas på olika tillvägagångssätt. Dessutom omfattar dagens industri en mångfald av metoder och tillvägagångssätt. Detta resonemang stöds av Abioye et al. (2021).

### **2.3.2 Diskret händelsesimulering**

Enligt Robinson (2014) representerar DES-modeller "Discrete Event Simulation", en teknik för simulering som används för att analysera realtidsproblem av komplex natur som uppstår vid diskreta tidpunkter, där systemets tillstånd förändras av en sekvens av diskreta händelser över tiden. Författaren betonar att DES tar itu med logiken bakom när och varför systemhändelser uppstår, samt andra aspekter såsom köprioritering, funktioner, processhändelser, efterfrågan och hantering av omställningstider. Banks et al. (2014) poängterar att DES används för att studera systemets beteende och effektivitet under varierande scenarier och för att identifiera flaskhalsar eller områden för förbättring. MacCrann et al. (2022) understryker DES som en balanserad och effektiv metod för att simulera komplexa flöden, vilket gör det till ett kraftfullt verktyg inom områden som strömningsmekanik, fordonsteknik och aerodynamik. Med dagens komplexa produktionssystem och kraven på att designa tillverkningsprocesser för högkvalitativa produkter till låga kostnader och hög produktivitet, är det nödvändigt för företag att tillhandahålla olika metoder och verktyg för att utveckla dessa produktionssystem (Robinson 2014).

### **2.3.3 Simuleringsproceduren**

Banks et al. (2014) presenterar en flowchart (se figur 2.2) och beskriver tolv steg som kan användas för att utföra simuleringsarbeten med syfte att identifiera och implementera förändringar i verkligheten. Från problemformulering av det verkliga systemet, till uppbyggandet av en simuleringsmodell och slutligen en identifierad förändring som implementeras i verkligheten.



Figur 2.2: Flowchart av stegen i simuleringsarbeten. Inspirerad av Banks et al. (2014)

Banks et al. (2014) beskriver dessa tolv steg som följande:

- 1. Problemformulering** innebär att fastställa det problem som simuleringen har i syfte att lösa. I detta steg är det viktigt att alla delaktiga parter verkligen förstår problemet och accepterar formuleringen.
- 2. Fastställande av mål och projektplan.** I detta steg ska det först fastställas ifall simulering är den rätta metoden att lösa problemet på. Därefter fastställa målet med simuleringsarbetet och planen för genomförande med fastställda delmoment, deadlines, medverkande, ansvarsområden med mera.
- 3. Modell konceptualisering** innebär att börja bygga en enkel modell för att sedan implementera mer komplexa ändringar som gör modellen mer lik verkligheten.
- 4. Datainsamling** innebär insamling av nödvändig input-data för simuleringsmodellen. Medan komplexiteten i modellen ökar så brukar den nödvändiga datan för modellen också öka i komplexitet. Datainsamling brukar vara den mest tidskrävande delen av simuleringsarbeten.
- 5. Modellöversättning.** I detta steg bestäms hur modellen ska "översättas" till digital form, vilket digitalt program som ska användas och hur programmet ska användas. Det finns flera olika datorprogram och programmeringsspråk tillgängliga för simulering med unika förmågor, verktyg och dessa har olika för- och nackdelar.
- 6. Verifiering.** Steget innebär att säkerställa att programmet som används för simuleringen är korrekt utformat. Med komplexa modeller är det vanligt att behöva "de-bug:a" i programmet. Om input-datan och den logiska strukturen av modellen representeras korrekt i programmet så är verifieringssteget klart.
- 7. Validering** innebär att jämföra modellen mot verkligheten. I detta steg är det väldigt vanligt att behöva kalibrera och justera modellen med ännu mer data tills att modellen efterliknar verkligheten tillräckligt mycket.
- 8. Experimentiell design.** I detta steg bestäms vilka alternativ som ska simuleras. Vad ska simuleringen testa? Vilka parametrar ska testas att göra förändringar på? För varje alternativ krävs ett visst antal körningar och en viss tidslängd på simuleringskörning för att ge bra resultat som kan användas.
- 9. Körningar och Analys** av simuleringsmodellen och dess resultat. I detta steg utförs mätningar av prestandan i modellen och de situationer som testas. Resultatet analyseras.
- 10. Extra körningar** av modellen behöver ofta utföras för att få bra resultat. Ändringar kan behöva utföras för att simulera och analysera andra situationer med förändrade parametrar.
- 11. Dokumentation och rapportering.** I detta steg dokumenteras vanligtvis två olika saker: program och framsteg. Programmet dokumenteras främst som en instruktion av hur det fungerar och användas för ifall programmet och modellen ska användas igen i framtiden för andra arbeten. Dokumentation av framsteg i arbetet, såsom delmål, framsteg och tagna beslut är användbart för att hålla arbetet i fas.
- 12. Implementering.** Detta slutliga steg går ut på att lyckas implementera de förbättringarna som simuleringsarbetet och analysen kommit fram till. Framgången av implementationen beror mycket på genomförandet av de föregående stegen. Steg 7 (Validering) är oftast det steg som är av största betydelse för en framgångsfull implementering.

Enligt Song et al. (2020) utgör simuleringsproceduren en effektiv och kostnadseffektiv metod för att utforska och erhålla insikter om komplexa system och processer, vilket gör det till ett värdefullt verktyg inom många olika områden och discipliner. Författarna betonar att simuleringsproceduren möjliggör en kvantitativ undersökning av olika parametrar och scenarier, vilket ger en djupare förståelse för systemets beteende under varierande förhållanden. Vidare påpekar de att simuleringar tillåter testning av olika scenarier och förutspår potentiella resultat utan behov av att genomföra kostsamma eller riskfyllda verkliga experiment eller tester.

### **2.3.4 Möjligheter och utmaningar inom Simulering**

Relevanta artiklar och litteraturstudier belyser fördelarna med att tillämpa konceptuell simulering inom olika sektorer. Ferreira et al. (2020) beskriver hur simulering visat sin användbarhet i praktiska tillämpningar och forskning. Det ger möjlighet att förstå och analysera komplexa system, vilket är användbart inom områden som stadsplanering, trafikstyrning och klimatmodellering. Enligt Mourtzis, D. (2020) möjliggör konceptuell simulering en övergripande översikt över systemet, dess interaktioner och övergripande mål. Författaren framhäver att på en avancerad nivå används simuleringsmodellen digitala tvillingar(DT) för processövervakning och processplanering. Detta underlättar identifiering och hantering av risker i systemet. Genom att simulera olika scenarier kan man bedöma potentiella risker och utforska strategier för att minimera dem.

Ghaitaranpour et al. (2024) tillämpar simuleringsmodellen för att studera värme- och massöverföring i bröddeg under gräddning. Modellen, som är modellbaserad och tvådimensionell, inkluderar en intern deg struktur för att bättre efterlikna den verkliga situationen i bröddeg. Författaren framhåller att modellen möjliggör studier av förändringar i termofysiska egenskaper, såsom densitet, specifik värmekapacitet och värmeledningsförmåga i brödsulorna och skorpan under gräddningen. Simuleringsmodellen, som användes i forskningsuppdraget, är flexibel och kan enligt författaren användas för att uppskatta temperatur, termofysiska egenskaper och vattenhalt bröd med olika jäsnings förhållanden. Författarna föreslår att modellen kan vara framgångsrik för att förbättra fermenterade bageriprodukter.

Abdelmagid et al. (2020) beskriver fördelarna med konceptuell modellering som en resurs för högnivå modellkonstruktioner och identifiering av datakrav. En central aspekt är möjligheten att återanvända konceptuella modeller för att skapa flera simuleringsmodeller inom samma tillämpningsområde, en metod som underlättar förståelsen av komplexa system. Genom att genomföra abstraktioner kan konceptuell modellering fånga de avgörande komponenterna och beteendet hos operativsystemet på ett strukturerat sätt.

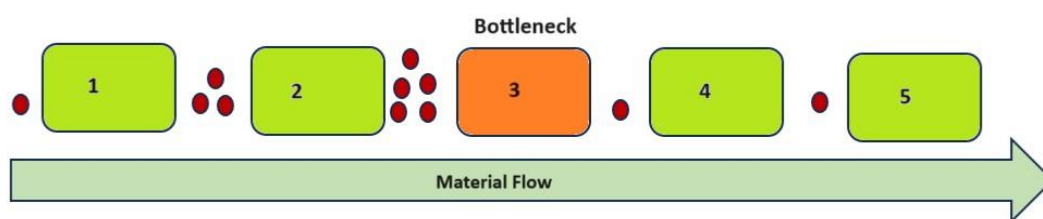
Begränsningarna inom användningen av simuleringar i vissa sektorer är mångfacetterade, enligt Abioye et al. (2021). Utmaningarna och begränsningarna som uppstår vid genomförandet av simuleringar inom byggbranschen varierar och inkluderar faktorer som kräver en djupgående förståelse av branschens specifika behov och utmaningar för att optimera processer och hantera dem framgångsrikt. Byggprocessen karakteriseras ofta av

omfattande komplexitet, med många variabler och faser som måste hanteras för att simuleringarna ska generera meningsfulla resultat och förbättringar. Den betydande mängden data som genereras under hela byggnadens livscykel inom byggbranschen utgör en ytterligare utmaning för hantering och analys inom ramen för simuleringar, och detta kräver hållbara strategier för datahantering. Mourtzis, D. (2020) betonar vikten av tillförlitlig och tillräcklig data för att möjliggöra noggranna simuleringar. Utmaningar uppstår när det gäller att samla in och använda högkvalitativa data. Abdelmagid et al. (2020) förklarar att införandet av simuleringar i byggbranschen kräver avancerad teknisk infrastruktur och tillgång till pålitliga digitala verktyg.

Många företag inom byggbranschen står inför utmaningar när de försöker uppgradera och anpassa sina befintliga system för att möjliggöra en smidig implementering av dessa teknologier. Författaren belyser den specialiserade expertis som krävs för framgångsrik tillämpning av simuleringar inom byggbranschen och poängterar den påtagliga bristen på kvalificerad personal med förståelse för både byggprocesserna och de tekniska aspekterna av simuleringar. Abioye et al. (2021) framhäver att antagandet av nyare och kraftfullare tekniker, som djupinlärning, inom konstruktionsforskningen har utvecklats långsamt. Motståndet mot att införa och anpassa sig till dessa teknologier utgör en ytterligare utmaning. Författaren understryker vikten av att integrera simuleringar med andra framväxande trender, såsom Building Information Modeling (BIM), Internet of Things (IoT), augmented reality, cybersäkerhet och blockchain. Denna integration kan vara tekniskt komplicerad och kräver samordning mellan olika teknologier, vilket ytterligare komplicerar implementeringsprocessen.

## 2.4 Simulering och flaskhalsteorin

Goldratt & Cox (1993) definierar en flaskhals inom ramen för Theory of Constraints (TOC) som en specifik del av produktionsprocessen där kapaciteten är begränsad och där flödet av material eller arbete begränsas (se figur 2.3). Flaskhalsen representerar den kritiska punkten där produktionen inte kan ökas eller förbättras utöver den befintliga kapaciteten. Författarna introducerar inom (TOC) en metodisk förbättringsprocess som framhäver betydelsen av att identifiera och hantera flaskhalsar för att förbättra effektiviteten och lönsamheten inom tillverkningsindustrin. Processen för att hantera en flaskhals kan struktureras enligt följande steg: Först genomförs en noggrann analys och övervakning av produktionsflödet för att identifiera flaskhalsar, som kan vara överbelastningar, ojämnheter eller förluster. Därefter prioriteras flaskhalsarna baserat på deras påverkan på produktionen, och kommunikation av dessa är avgörande för att skapa medvetenhet inom organisationen.



Figur 2.3: Flaskhals visualisering med inspiration (case study mateusz).

För att genomföra flaskhalsanalysen presenterar Lai et al. (2021) tre strategier. För det första föreslås ett systematiskt tillvägagångssätt enligt TOC för att systematiskt närma sig förbättring av genomströmningen. För det andra diskuteras flaskhalsdetektering, som innefattar simuleringsbaserade, analytiska och datadrivna metoder. Utmaningar med datadrivna metoder diskuteras också, särskilt fokuserat på dynamisk flaskhalsdetektering. Slutligen beskriver Prasetyo et al. (2020) användningen av utrustningseffektivitet "Overall Equipment Effectiveness" (OEE) som ett effektivt verktyg för att identifiera flaskhalsar genom att analysera tillgänglighet, prestanda och produktkvalitet. Flera hinder för en framgångsrik implementering av flaskhalsanalys diskuteras i litteraturen. Su et al. (2022) betonar de dynamiska produktionsförhållandena som kräver kontinuerlig uppdatering av flaskhalsanalyser. Komplexiteten hos produktionsanläggningar och motstånd mot förändringar från personalen utgör också utmaningar, enligt Lai et al. (2021) och Abdelmagid et al. (2020). Begränsade ekonomiska och mänskliga resurser kan också hindra implementeringen.

Goldratt & Cox (1993) definierar skiftande flaskhalsar som en term som syftar på föränderliga eller varierande flaskhalsar inom en process eller ett system. Lai et al. (2021) betonar att dessa skiftande flaskhalsar inte är konstanta utan kan förändras över tid på grund av olika faktorer såsom förändrade marknadsförhållanden, teknologiska framsteg, förändrade kundbehov eller tillgång på resurser.

Implementeringen av flaskhalsanalyser inom praktiken står inför flera utmaningar, enligt Su et al. (2022). En första utmaning är tolkningen och definitionen av flaskhalsar i det specifika produktionsproblemet, där forskare kan ha olika perspektiv. En andra utmaning, enligt Abdelmagid et al. (2020), ligger i att flaskhalsar kan ha flera underliggande orsaker, vilket komplicerar identifieringen av den primära orsaken till flaskhalsen. Su et al. (2022) belyser även den tredje utmaningen, som återspeglar den dynamiska naturen hos flaskhalsar inom ett system, enligt Lai et al. (2021). Vidare presenterar Su et al. (2022) en ytterligare definition av den första utmaningen och det generella steget inom flaskhalsanalyser, vilket rör definieringen av den resurs som begränsar kapaciteten inom ett system. Detta steg fortsätter att vara föremål för oenighet bland forskare och kan beskrivas och kategoriseras på fyra olika sätt: resurser med högst aktuell arbetsbelastning, resurser med den lägsta bearbetningshastigheten, resurser med störst inverkan på systemets huvudsakliga prestandaindikator (vanligtvis genomströmning), eller resurser vars kapacitet understiger efterfrågan.

Enligt Su et al. (2022) och Subramaniyan et al. (2020) bidrar flaskhalsanalys till hållbar utveckling genom att effektivisera resursanvändningen, minska avfall och överproduktion, öka produktionskapaciteten utan expansion, förbättra energieffektiviteten och förbättra produktkvaliteten. Su et al. (2022) belyser att genom att effektivisera produktionsprocesserna kan företag minska sin miljöpåverkan och bidra till en mer hållbar tillverkning. Litteraturen betonar vikten av att effektivt identifiera och hantera flaskhalsar för att förbättra produktionsflödet och öka övergripande produktivitet. Med framstegen inom simuleringsmetodik och fokus på att förbättra effektiviteten inom tillverkningsindustrin, blir

tillförlitliga verktyg för att hantera flaskhalsar allt viktigare för att hantera den ökande komplexiteten inom tillverkningsindustrin.

## 2.5 Analys av teoretisk referensram

Detta avsnitt utför en omfattande granskning och tolkning av de insamlade forskningsresultaten och idéerna som presenterats i litteraturstudien inom det specifika ämnesområdet, litteraturstudien fokuserar på ämnena simulering, flaskhalsteorin och deras koppling till Industri 4.0, samt de utmaningar och möjligheter som detta innebär. Författarna betonar användningen av olika verktyg och metoder inom simulering och utforskar fördelarna och nackdelarna med dessa. Vidare understryks simuleringens relation till flaskhalsteorin och dess strategiska roll för att analysera och förbättra effektiviteten inom den industriella miljön. Resultaten från den insamlade informationen om simulering visar att flera författare stöter på liknande svårigheter vid konceptuell modellering, såsom sorteringsprocesser för data, identifiering av nyckelfaktorer som påverkar processen, skapandet av realistiska modeller och utvärdering av simuleringsresultat. Litteraturstudier bekräftar den simuleringsprocedur som presenteras och indikerar att flera av de tidigare stegen har bekräftats genom genomförda projekt. Det påpekas dock att vissa steg, såsom validering och experimentell design, är odefinierade i de analyserade forskning artiklarna och kan kräva ytterligare dokumentation och presentation i projektet.

Forskningen tydliggör den centrala roll som simulering spelar inom Industri 4.0 och dess bidrag till utformningen och förbättringen av olika aspekter inom den moderna industriella produktionen. Flera författare framhäver kopplingen mellan Industri 4.0 och simulering, där Industri 4.0 betonar automatisering och skapandet av digitala tvillingar (DT) av fysiska system. Simulering används för att skapa dessa digitala tvillingar, vilka utgör virtuella modeller av verkliga produktionsprocesser. Det möjliggör realtidsanalys och övervakning av systemets prestanda och kan användas för att testa och optimera olika scenarier innan de implementeras i den verkliga världen. Andra forskare understryker hur användningen av simulering bidrar till att öka effektiviteten, flexibiliteten och innovationen inom den industriella sektorn och hur simulering blir en central komponent för att testa och optimera de komplexa och dynamiska system som kännetecknas av Industri 4.0.

Fördelarna med konceptuell simulering belyses, inklusive dess användbarhet inom områden som stadsplanering, trafikstyrning och klimatmodellering. Samtidigt identifieras utmaningar, såsom behovet av tillförlitlig data och avancerad teknisk infrastruktur. Studier av värme- och massöverföring i bröddeg och identifiering av flaskhalsar exemplifierar tillämpningar och möjligheter inom simulering. Vissa forskare inom litteraturstudier betonar hur flaskhalsteorin lyfts fram som en viktig aspekt där simulering används för att identifiera och hantera flaskhalsar inom produktionssystem. Forskaren framhäver strategier såsom Theory of Constraints, flaskhalsdetektering och användning av utrustningseffektivitet (OEE) för att adressera dessa utmaningar. Begränsningar inkluderar dynamiska produktionsförhållanden, komplexitet hos produktionsanläggningar och motstånd mot förändringar från personalen.

Sammanfattningsvis belyser litteraturstudien hur simulering spelar en central och mångsidig roll inom Industri 4.0, från att optimera produktionsprocessen till att hantera och förbättra effektiviteten inom olika sektorer. Konceptuell modellering ger olika angreppssätt för att applicera simulering på olika aspekter av systemet. Trots fördelarna identifieras flera utmaningar, inklusive behovet av pålitliga data och avancerad teknisk infrastruktur. Integreringen av simulering och flaskhalsteorin inom Industri 4.0 öppnar möjligheter för att förbättra produktivitet och systemförståelse, men dessa framsteg möter hinder såsom komplexa produktionsanläggningar och motstånd mot förändringar. Sammantaget understryker texten vikten av att överväga både möjligheter och utmaningar när simulering tillämpas inom den moderna industriella kontexten. Utifrån litteraturstudier identifieras följande möjligheter för vidare arbete inom projektet.

- Simulering är en användbar metod för att undersöka produktionsprocesser i industriell sektor. Genom att skapa simuleringsmodeller av fysiska system kan olika produktionsstrategier utvärderas och analyseras för att identifiera den mest kostnadseffektiva metoden. Detta bidrar till förbättrade företagsmål under projektarbete och kan förkorta analyser av företagets måleriprocesser.
- Simulering erbjuder möjligheten att testa och identifiera förbättringar, komplexa samt dynamiska system, inklusive automatiseringssystem. Genom simulering kan effektiviteten och flexibiliteten förbättras. Denna insats kan bidra till att skapa förståelse för produktionsflödets logik på företaget under projektarbetet.
- Simulering används för att upptäcka och hantera flaskhalsar i produktionssystem. Genom att tillämpa strategier som TOC kan produktionseffektiviteten förbättras. Detta kan nyttjas i projektet för att identifiera möjliga förbättringar på företaget.

En aggregering av analyserade forskningsartiklar presenteras i tabell 2.2, där tabellen specificerar forskningsområdet, författarna till dessa artiklar och det totala antalet citeringar enligt Google Scholar.

Tabell 2.2: *Urval av artiklar som har blivit analyserade inom relevanta ämnen.*

Forskningsområden:	Författaren:	Citeringar i Google Scholar
Simulering	Abioye et al. (2021)	306
Simulering	Abdelmagid et al. (2020)	37
Simulering	Mourtzis, D. (2020)	111
Simulering	Stieber, S. et al. (2023)	10
Simulering	Ghaitaranpour et al. (2024)	75
Simulering, Industri 4.0	Ferreira et al. (2020)	278
Simulering	MacCrann et al. (2022)	79
Simulering, Hållbarutveckling	Ojstersek et al (2020)	57
Simulering, Hållbarutveckling	Song et al. (2020)	143
Simulering, Industri 4.0	Cimino et al. (2022)	11
Simulering, Industri 4.0	Dalpadulo et al. (2024)	10
Simulering, Flaskhalsanalys	Lai et al. (2021)	9
Simulering, Flaskhalsanalys	Prasetyo et al. (2020)	21
Simulering, Flaskhalsanalys	Su et al. (2022)	7

Trovärdigheten hos artiklarna granskades genom flera metoder, inklusive citeringar i Google Scholar och antalet källor som artiklarna refererade till. Scopus, där artiklarna var publicerade, granskades också genom att kontrollera referenslistorna. Eftersom artiklarna var av modern relevans, fanns det endast ett begränsat antal referenser i Scopus, vilket begränsar dess användbarhet som en kontrollmetod för artiklarna. Artiklar som hade genomgått en peerreview process ansågs ha högre trovärdighet, vilket är en vanlig standard inom vetenskaplig publicering. Det var också viktigt att ta hänsyn till författarnas expertis inom det relevanta ämnesområdet, oavsett om de representerade ett forskningsföretag eller en akademisk institution. Detta bidrog till att bedöma artiklarnas trovärdighet och kvalitet. Sammantaget gav en kombination av dessa metoder en helhetsbild av artiklarnas trovärdighet och användbarhet för studiens syfte.

## 3. Metod

Detta kapitel presenterar den metod och strategi som används för genomförandet av detta arbete som är baserat på resultatet av litteraturstudien och teoretisk referensram.

### 3.1 Övergripande forskningsmetod

Design Science Research(DSR), enligt Smuts et al. (2022), är en forskningsmetod som innebär skapande av nya artefakter såsom system, modeller eller metoder för att lösa praktiska problem. DSR-processen, illustrerad i figur 3.1, omfattar flera faser, inklusive design, utveckling och utvärdering av artefakterna. I designfasen identifieras problemet och designkraven för artefakten fastställs. Därefter skapas en design för artefakten baserad på dessa krav. I utvecklingsfasen implementeras och byggs artefakten enligt den tidigare designen, vilket kan innebära programmering av system, konstruktion av modeller eller utveckling av metoder. Utvärderingsfasen innefattar bedömning av artefaktens effektivitet, användbarhet och prestanda genom tester, användarstudier eller jämförelser med befintliga metoder. Genom att följa dessa faser kan forskare skapa och utvärdera artefakter för att lösa praktiska problem inom olika områden som informationssystem, teknik eller design. DSR-processen kräver en kombination av design färdigheter, teknisk expertis och forskningsmetodik för att framgångsrikt skapa användbara och effektiva lösningar (Smuts et al., 2022).



Figur 3.1: Design Science Research inspireras av Process av Jabu Mtsweni (2017)

Under processens gång är det viktigt att vara medveten om att stegen inte nödvändigtvis följer en strikt sekvens. Existerande kunskap och teorier inom området används för att guida beslut och handlingar vid varje steg. Dessutom grundas arbetet inom DSR på väl etablerade metoder och principer för att öka replikerbarheten, verifiering och validering av forskningsresultaten. Enligt DSR-metoden, som beskriven i figur 3:1 ovan, följer forskningsprojekt flera viktiga steg. Först klargörs bakgrunden till projektet och samarbetet med företaget för probleminentifiering och framställning av problemet. Därefter skapas en projektspecifikation och tidsplan baserat på mål och problemlösning genom litteraturstudier och datainsamling,

samt avgränsningar för arbetet och planer för resultat. När artefakten ska designas och utvecklas inkluderas olika aktiviteter såsom nulägesanalys, modellbygge och experiment, där input från företaget används för att säkerställa relevans. Därefter utvärderas och valideras prototypen av artefakten mot verklig produktion för att mäta systemets tolerans, varpå utdata analyseras. Iterationen av processen upprepas för att uppfylla kraven och spegla det framställda problemet, följt av sammanfattning av resultaten för presentationen till företaget

### **3.1.1 Steg 1: Klargörande av mål och forskningsplan**

Enligt Sein et al. (2011) utgör problemformuleringen inom Design Science Research (DSR) en central del av forskningsprocessen. Fasen kännetecknas av att aktivt identifiera och definiera det problem eller behov som avses att adresseras genom utformningen och utvecklingen av en artefakt. Detta inkluderar insamling av relevant data relaterat till det identifierade problemet samt att bestämma initialt relevant litteratur och analysera befintliga lösningar inom området. I detta sammanhang formuleras även relevanta forskningsfrågor, vilka bör vara tydligt utformade och förankrade både i det praktiska problemet och den vetenskapliga litteraturen inom området. Därefter fastställs målen för forskningsarbetet genom att klargöra vilka resultat som avses uppnås genom att lösa det identifierade problemet. Resultaten av denna fas presenteras i form av en kravspecifikation som belyser den övergripande forskningsplanen för projektet.

### **3.1.2 Steg 2: Designa och utveckla artefakten**

Design och utveckling av artefakten inom DSR enligt Smuts et al. (2022) innefattar en strukturerad process för att konstruera en lösning på det identifierade problemet eller behovet. Sein et al. (2011) förklarar design- och utvecklingsprocessen där det krävs förståelse för det specifika problemet eller behovet som ska hanteras med hjälp av artefakten. Detta innebär att relevant data måste samlas in om det system eller den process som ska analyseras, samt identifiering av de centrala kraven och målen för artefakten. Utifrån den insamlade informationen och de specificerade kraven påbörjas utformningen av artefakten. Detta inkluderar att välja lämpliga modelleringsmetoder och definiera de olika komponenterna och variablerna i modellen.

### **Datainsamling**

Enligt Säfsten och Gustavsson (2019) beror valet av datainsamlingsmetod på forskningsfrågan, tillgängliga resurser och den önskade typen av data. Ofta används en kombination av olika metoder för att få en mer komplett förståelse av det undersökta fenomenet. Enligt författaren kan datainsamling genomföras med hjälp av två huvudsakliga tekniker: primärdata och sekundärdata. Primärdata innebär att information samlas in för att direkt svara på forskningsfrågor, medan sekundärdata utgörs av data som samlats in av andra parter och används för att stödja primärdata. Observationer, intervjuer och tidsstudier betraktas främst som primärdata, medan sekundärdata vanligtvis består av dokument såsom statistik eller offentliga register, där en noggrann granskning av källorna är avgörande. Inom projektet bestod de huvudsakliga metoderna för datainsamling av intervjuer, observationer, tidsstudier samt dokumentstudier.

## Intervjuer

Enligt Säfsten och Gustavsson (2019) beskrivs intervjuer som en metod för datainsamling där man kommunicerar direkt med deltagarna för att samla in information om det studerade ämnet. Under intervjun ställs frågor till deltagarna och man får svar i form av verbala svar eller respons. Intervjuer kan vara strukturerade, där frågeställningen är förberedd och följer en förutbestämd ordning, eller ostrukturerad, där diskussionen är mer öppen och följer deltagarnas svar och reaktioner.

I en intervjustudie, enligt Säfsten och Gustavsson (2019), är det viktigt att fokus ligger på deltagarnas svar och reaktioner samt att vara öppen för att utforska nya ämnen eller följa upp på intressanta svar. Intervjuer underlättar att få djupgående och detaljerad information om deltagarnas tankar, åsikter, erfarenheter och perspektiv relaterade till det studerade ämnet. Det är också viktigt att respektera deltagarnas integritet och konfidentialitet för att skapa en trygg och öppen atmosfär där deltagarna känner sig bekväma att dela sina åsikter och erfarenheter.

## Observationer

Enligt Säfsten och Gustavsson (2019) utgör en metod för datainsamling där arbetet noga observeras och dokumenteras beteenden, händelser och interaktioner i en given miljö. Denna metod möjliggör för datainsamling i realtid och studerar fenomenet direkt i dess naturliga kontext. Observationer kan antingen vara deltagande, där forskaren aktivt engagerar sig i den studerade situationen, eller icke-deltagande, där observationer genomförs utan att påverka händelserna. De kan vara strukturerade med förutbestämda kategorier och variabler, eller ostrukturerade där observeras alla relevanta aspekter av ämnet. Författarna framhäver att observationer kan ge djupgående och detaljerade insikter om beteenden, relationer och kontexter i den aktuella miljön.

Olhager (2013) identifierar flera fördelar med användningen av observationer som en metod för datainsamling inom forskning. Genom observationer kan datainsamlingen genomföras utan att vara beroende av deltagarnas subjektiva tolkningar, vilket resulterar i en ökad objektivitet i datainsamlingen. Dessutom möjliggör observationer, studier av beteenden, interaktioner och händelser i deras naturliga miljöer, vilket bidrar till en mer realistisk förståelse av det studerade ämnet. Djupgående förståelse av det undersökta ämnet kan uppnås genom observationer då underlättas att observera detaljerade beteenden och interaktioner som kanske är svåra att fånga med andra datainsamlingsmetoder. Observationers flexibilitet gör det möjligt att anpassa och justera metoden efter behov under forskningsprocessen, vilket underlättar utforskningen av olika aspekter av det studerade objektet och att undersöka nya forskningsfrågor som kan uppstå under observationerna. Slutligen kan observationer komplettera andra datainsamlingsmetoder, såsom enkäter eller intervjuer, och därigenom bidra till en mer omfattande och mångsidig förståelse av det studerade fenomenet (Olhager, 2013).

## Tidsstudier

Enligt Olhager (2013), är en metod för realtidsobservation av arbetsutförande för att fastställa standardtider för olika produktionsprocesser, inklusive individuella arbetsmoment och omställningstider. Målet är att använda dessa standardtider för kapacitetsplanering och produktkalkyleringen. Metoder som används inkluderar klockstudier, elementartidssystem och frekvensstudier.

## Klockstudier

Enligt Olhager (2013), är en metod där tidpunkter för olika händelser eller aktiviteter mäts, registreras och dokumenteras noggrant för att analysera tidsanvändningen inom en specifik process eller verksamhet. Detta gör det möjligt att identifiera ineffektiviteter, begränsningar eller möjligheter till effektivisering. Freivalds & Niebel (2013) beskriver att klockstudier kan utföras manuellt, där en person registrerar tidpunkterna med hjälp av en klocka eller tidtagarutrustning, eller automatiskt genom datorprogram eller sensorer. Oavsett utförande metod ger klockstudier detaljerad information om tidsanvändningen inom en process och kan användas för att förbättra processens effektivitet och produktivitet. Olhager (2013) betonar att klockstudier är ett användbart verktyg för att få insikt i tidsaspekterna av olika verksamheter eller processer och för att eliminera onödigt tidsförbruk. Freivalds & Niebel (2013) poängterar att det nödvändiga antalet observationer beror på cykeltiden för en specifik operation, vilket kan beräknas från följande ekvation eller härledas från tabell 3.1.

$$n = 3.84p(100-p) / l^2 \quad \text{Vid 95\% konfidensintervall}$$

n: antal observationer, p: stopptiden för operationer

l: felmarginalen

Tabell 3.1: Rekommenderat antal observationer baserat på cykeltiden, enligt Freivalds & Niebel (2013)

Cykeltid (Minuter)	Rekommenderat antal observationer
0,10	200
0,25	100
0,50	60
0,75	40
1,00	30
2,00–5,00	15
10 – 20	8
20 – 40	5
40 över	3

## Dokumentstudier

Enligt Säfsten & Gustavsson (2019) innebär dokumentstudier en metod för datainsamling där forskaren analyserar och utvärderar sekundärdata typer i form av dokument eller skriftliga material för att samla in information relaterad till det studerade ämnet. Dessa dokument kan inkludera texter, rapporter, protokoll, lagar, och andra typer av skriftlig information. En fördel med dokumentstudier enligt författaren är att de tillhandahåller tillförlitlig och strukturerad

information som kan vara till nytta för forskningen. Dessutom kan dokumentstudier vara användbara när det är svårt eller omöjligt att genomföra andra typer av datainsamlingsmetoder, såsom observationer eller intervjuer. Säfsten & Gustavsson (2019) betonar att det är viktigt att vara kritisk och noggrann vid genomförandet av dokumentstudier för att säkerställa att de valda dokumenten är relevanta och tillförlitliga för forskningsändamål. Dessutom är det viktigt att forskaren är medveten om eventuella otydligheter eller begränsningar i de dokument som används och tar hänsyn till detta i analysen av data.

### **Simuleringsmetodik**

Banks (2014) beskriver modellöversättning som processen att omvandla en modell från en form till en annan för att möjliggöra simulering. Detta inkluderar översättning av en konceptuell modell till en DES-simuleringsmodell inom ramen för modellkonceptualisering. Denna fas involverar identifiering och definition av systemets centrala komponenter, variabler och relationer för att skapa en övergripande förståelse för systemet.

Datainsamlingen genomfördes med tidigare beskrivna metoder, där de insamlade data implementeras i en prototypsimuleringsmodell. Därefter implementerades modellen i lämplig simuleringsprogramvara och konfigurerades för att köra simuleringen med hjälp av insamlade data och parametrar. Efter simuleringskörningen jämfördes resultaten med verkliga observationer eller data för att validera och verifiera modellens tillförlitlighet och korrekthet.

### **Val av programvara**

Efter att ha utforskat företagets process och konsulterat med en simuleringsexpert vid högskolan, fattades beslutet att använda Plant Simulation som simuleringsverktyg. Enligt Bangsow (2020) är Plant Simulation en utvecklad mjukvara som erbjuder kraftfulla verktyg för modellering och analys av produktions- och tillverkningsprocesser. Genom att möjliggöra skapandet av detaljerade 3D-modeller av produktionsanläggningar och arbetsflöden ger den användarna möjlighet att effektivt visualisera och optimera sina produktionsprocesser. Med hjälp av avancerade simuleringsalgoritmer kan Plant Simulation analysera produktionskapacitet, identifiera flaskhalsar och optimera resursanvändning. Dessutom integreras mjukvaran sömlöst med andra verktyg och system inom Siemens Tecnomatix-plattformen, vilket underlättar för företaget, särskilt för dem som är bekanta med Siemens Tecnomatix-plattformen.

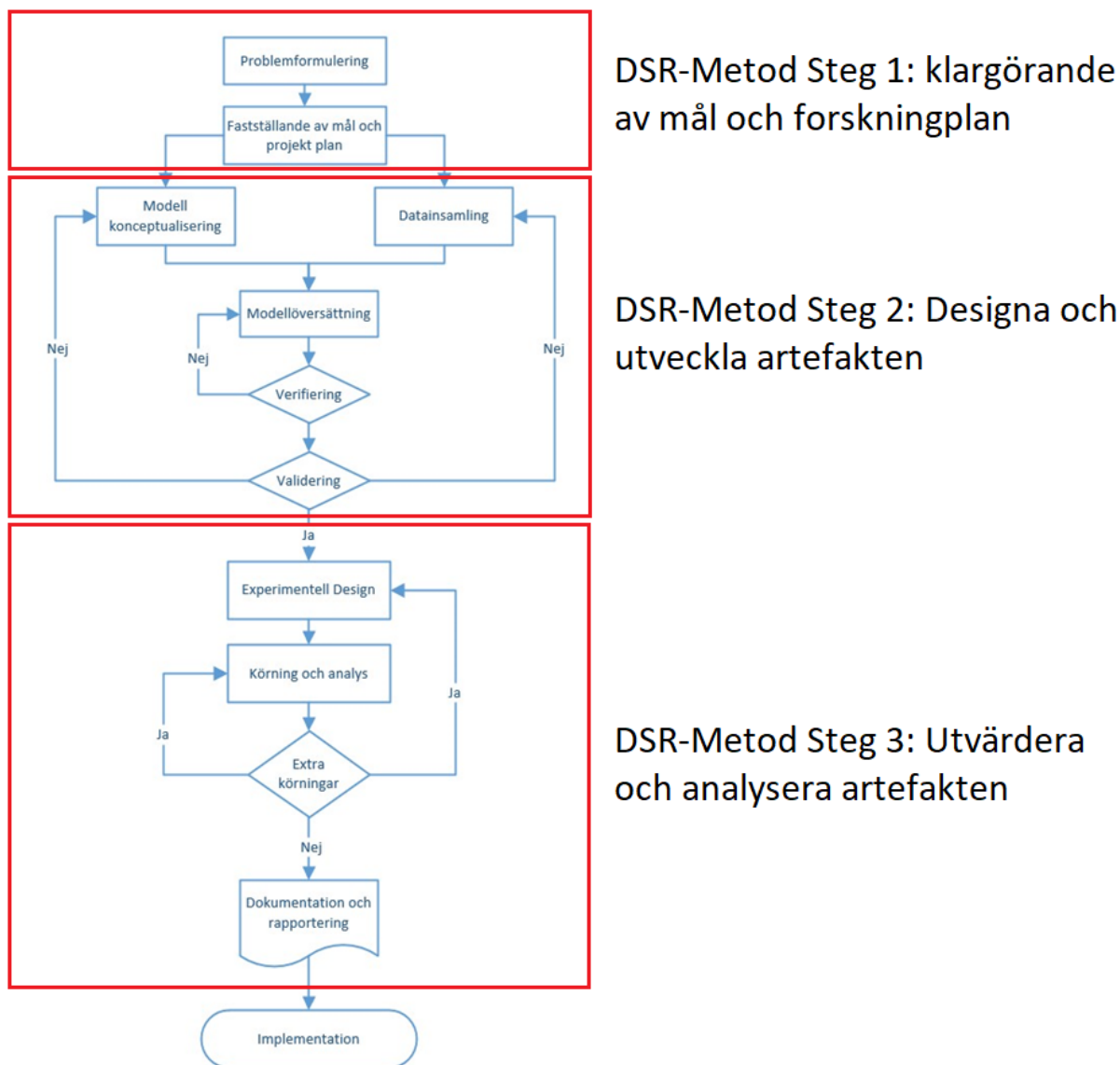
#### **3.1.3 Steg 3: Utvärdera och analysera artefakten**

Att utvärdera och analysera en artefakt inom DSR, enligt Smuts et al. (2022), utgör en central fas för att bedöma artefaktens effektivitet och relevans för att adressera det identifierade problemet eller behovet. Enligt Sein et al. (2011) beskrivs utvärderings- och analyseringsprocessen där kriterier fastställs för att bedöma artefaktens egenskaper. Dessa kriterier kan omfatta artefaktens tillförlitlighet, användbarhet, relevans för det identifierade problemet och dess förmåga att generera insikter eller stödja beslutsfattande. Därefter genomförs utvärderingen av artefakten med hjälp av de fastställda kriterierna. Detta inkluderar testning av olika scenarier med artefakten och analys av resultaten för att bedöma

dess prestanda och användbarhet. Efter avslutad utvärdering analyseras resultaten för att dra slutsatser om artefaktens effektivitet och eventuella brister. Detta kan innebära jämförelser av resultaten med verkliga data eller förväntade resultat för att identifiera avvikelser eller brister i modellen. Därefter diskuteras implikationerna av utvärderingsresultaten för det identifierade problemet eller behovet. Detta inkluderar att identifiera artefaktens styrkor och svagheter samt att diskutera hur den kan användas för att stödja beslutsfattande eller generera insikter inom det relevanta området.

## 4. Genomförande

I detta avsnitt redogörs för genomförandet av den enskilda metoden för Design Science Research (DSR). Denna metod följer simuleringsprocedurer enligt Banks (2014), vilka närmare beskrivs i avsnitt 2.3.3 och visualiseras i figur 4.1, för att belysa samspelet mellan dessa två distinkta metoder.

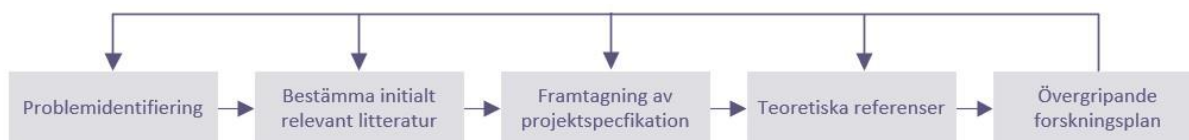


Figur 4.1: Illustrering av de steg som omfattas av DSR-metoden i förhållande till Banks metod.

### 4.1 Steg 1: Klargörande av mål och forskningsplan

Efter att den inledande definitionen av uppdragsgivarens problem, mål och syfte har fastställts, genomfördes en mer detaljerad diskussion kring problemformuleringen och dess avgränsningar tillsammans med handledaren och uppdragsgivaren för att etablera grunden för projektspecifikationen, resultatet presenteras i kapitel införande. Detta involverade en beskrivning av problemet, projektets syfte, omfattning och tidsplan. Även en bedömning av

vilka ämnen och litteratur som initialt var relevanta för projektet utfördes under diskussionen. Relevanta ämnen inom områdena simulering, flaskhalsdetektering och industry 4.0 studerades och analyserades för att inhämta övergripande teoretisk kunskap, vilken skulle användas som referensram under genomförandet av arbetet. Arbetsstrukturen för problemformuleringen formulerades enligt DSR-ramverket, vilken bröts ner till fem iterativa steg som presenteras i figur 4.2.



Figur 4.2: Klargörande av mål och forskningsplan

Samtidigt som projektspecifikationen utarbetades, genomfördes även en sammanställning av den teoretiska referensramen med relevant litteratur, se resultatet i kapitel 2. Målet för problemformuleringen var att förstå problemets kontext och att tydligt formulera vilka målforskningen skulle uppnå. Tydliggörande av mål och forskningsplanen illustrerar stegen som ingår i DSR-metoden jämfört med Banks (2014) -metoden, vilket visas i figur 4.3.



DSR-Metod Steg 1: klargörande av mål och forskningsplan

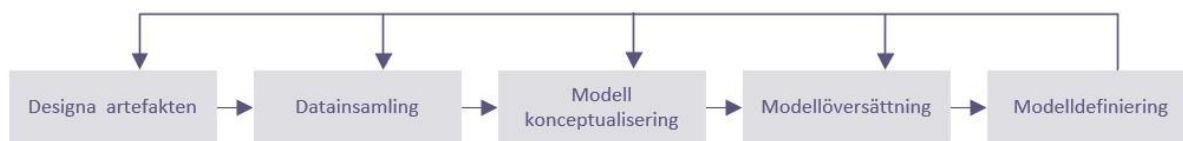
Figur 4.3: DSR-metod steg 1 för detta arbete visualiserat.

Detta inkluderade även att utforma en forskningsstrategi och metodik, där valet av lämplig simuleringsmetodik, aktuella simuleringsverktyg och strategier för datainsamling ingick. Dessutom planerades hur artefakten, i form av en modell, skulle designas, utvecklas och utvärderas. För att fastställa en forskningsplan och tidsram identifierades specifika aktiviteter och milstolpar som skulle genomföras inom en angiven tidsram. En strategi och metodik för att uppnå dessa mål för design- och utvecklingsfasen, med fokus på att omvandla initiala koncept och idéer till en konkret modell för att adressera det identifierade problemet med hjälp av simulering och flaskhalsdetektering.

## 4.2 Steg 2: Designa och utveckla artefakten

När designen är klar inleds implementeringen av artefakten. Detta innebär att konvertera designen till en konkret modell med hjälp av lämplig programvara eller programmeringsspråk. Under denna fas skapas de algoritmer och beräkningar som krävs för att analysera det valda systemet eller processen. Innan modellen kan användas för att fatta beslut eller dra slutsatser måste den genomgå en validerings- och verifieringsprocess för att säkerställa dess tillförlitlighet och korrekthet. Detta kan uppnås genom att jämföra modellens resultat med verkliga data eller resultat från andra källor. Design- och utvecklingsfasen initierades genom

en grundlig förståelse av det aktuella problemet eller behovet som skulle åtgärdas genom användning av artefakten. Denna fas genomfördes med en strukturerad metod baserad på fem steg, vilka hämtades från DSR-ramverket och följde Banks et al. (2014) simuleringsprocess, vilket illustreras i figur 4.4.

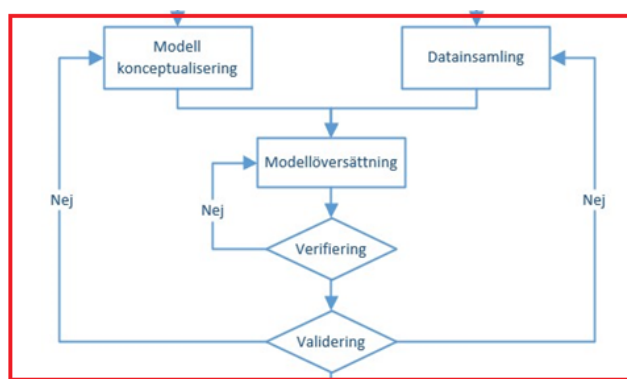


Figur 4.4: Design och utvecklingsfasen

Inledningsvis låg fokus på en modellkonceptualisering, där en grundlig nulägesanalys genomfördes för att förstå systemets grundläggande struktur och funktioner, samt för att definiera olika komponenter och variabler i systemet. Detta inkluderade även inkludering av logiska strukturer och hierarkier som beskriver hur olika delar av systemet är relaterade till varandra och hur de samverkar. Genom denna process underlättas valet av lämpliga modelleringsmetoder och ledde till skapandet av en konceptuell modell. Därefter genomfördes en datainsamling för att samla relevant information om det system som skulle analyseras, samt för att identifiera centrala krav och mål för artefakten. För att erhålla omfattande insikter, användes metoder såsom observationer, intervjuer och tidsstudier.

Efter att de nödvändiga detaljerna hade specificerats genomfördes en översättning av den konceptuella modellen till ett format som möjliggjorde genomförandet av simuleringar. I detta steg bestämdes hur modellen skulle "översättas" till digital form, vilket digitalt program som skulle användas och hur programmet skulle användas. Det finns flera olika datorprogram och programmeringsspråk som kan användas för detta ändamål. Denna process inkluderade att välja en lämplig lösning för att representera systemets dynamik över tid.

Som ett exempel valdes en DES-modell för att studera och analysera system där händelser inträffar vid diskreta tidpunkter, enligt Robinson (2014). En visualisering av den föreslagna proceduren för de nämnda stegen presenteras i figur 4.5.



DSR-Metod Steg 2: Designa och utveckla artefakten

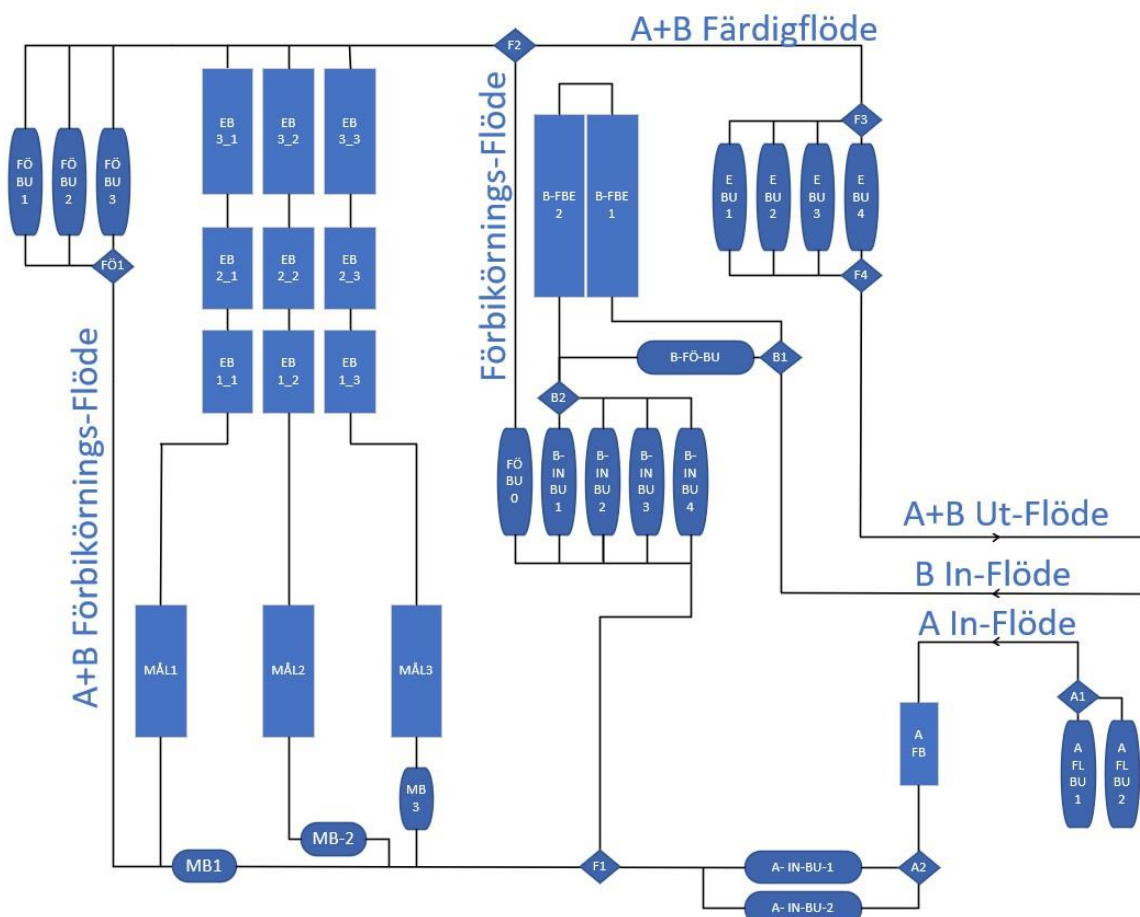
Figur 4.5: *Simuleringsprocessen under Design och utvecklingsfasen*. Inspirerad av Banks et al. (2014)

Efter att DES-modellen hade implementerats, enligt Banks et al. (2014), krävdes en validering och verifiering för att säkerställa att den adekvat representerade det verkliga systemet eller processen. Denna process innebär en jämförelse av simuleringens resultat med observationer från verkliga händelser för att garantera dess tillförlitlighet och korrekthet.

#### **4.2.1 Nulägesanalys**

Kapitlet inleds med en beskrivning av styr- och övervakningssystemet samt materialflöde och buffertar för hela produktionsanläggningen, inklusive de centrala komponenterna i måleriet. Dessutom ges en översikt av måleriets olika delprocesser och flödesschemat som ligger till grund för modellöversättningen. Denna process involverar insamling och analys av data relaterat till produktionsflödet och resursanvändningen. Genom att noggrant observera måleriet och genomföra intervjuer med personalen, utvecklades en övergripande förståelse för både systemets och styrningssystemets funktioner.

Systemet hanterar målningen av två olika produkter, A- och B-produkter, som senare ska monteras ihop. Både A- och B-produkterna har unika egenskaper och det är specifikt en Aprodukt som ska monteras ihop med en specifik B-produkt. Dessa produkter börjar tillverkas och behandlas nästan samtidigt i separata flöden innan de når måleriet och sedan hamnar i monteringen för "parning". Varje A-produkt är parat med en specifik B-produkt genom identifieringsnummer i systemet. Måleriprocessen omfattar tre parallella flöden där både A- och B-produkter kan behandlas. Förbehandling utförs också separat för både A- och Bprodukter innan de går in i måleriet. Efter målning och härdningsprocessen transporteras produkterna genom ett conveyorsystem och placeras i buffertar innan de vidare transporteras till slutmonteringen. Systemet har flera "valpunkter" där en identifieringsmarkör läses av och styr produkternas fortsatta färd genom processen. Huvudsakligen styrs systemet automatiskt med hjälp av ett PLC-system, men körordningen inom måleriet kan genomföras både manuellt och automatiskt. Operatörerna utför detta manuellt för att undvika omställningstid för färgbyte. En flödesschema av systemet har skapats för att visualisera och kartlägga processerna, se figur 4.6.



Figur 4.6: Flowchart av produktionsflödet i måleriet.

### Komponenterna för måleriet

**Tvätten:** Tvättprocessen för både Produkt A och Produkt B omfattar flera steg. För produkt A inkluderar processen tvätt och torkning, följt av transport till Buffert BU-IN-A1 eller BU-IN-A2 medan för Produkt B involverar processen tvättning i FB-1-B och sedan torkning i FB-2-B, med en torktid på 16 minuter. Efter detta transporteras Produkt B till buffertar BU-IN-B1, BU-IN-B2, BU-IN-B3 eller BU-IN-B4.

**Målningsboxar:** Måleriet är utrustat med tre målningsboxar, betecknade som Mål-1, 2 och 3. Produkterna transporteras till dessa boxar från Mål-1, Mål-2 och Mål-3. Inne i varje målningsbox finns två färgsprutor som används för att måla varsin sida av produkten. Boxarna är också försedda med tre färgpatroner, och färgbyte utförs manuellt av operatörerna vid behov. Produktflödet från buffertar A och B styrs manuellt av operatören, vilket innebär att operatörerna bestämmer i vilken ordning produkterna ska målas. Efter måleriet förflyttas produkterna till flash-off-zonen, där de väntar på att transporteras in i härdningsugnarna, enligt schemat som visas i figur 9 ovan.

**Härdningsugnar:** Efter målningsbehandling åker produkterna in i diverse härdningsprocesser som består först av en "flash-zon" där produkterna får vänta och lufttorka en stund i väntan på tillgänglig plats i ugn-flöde. Därefter den första ugnen som produkterna ska härdas inuti i

elva minuter, därefter den andra ugnen där produkterna ska härdas i 19 minuter och slutligen en kylzon som produkterna ska stanna i minst nio minuter.

**Transporten:** transporten av produkterna utförs med en takconveyor, som ansvarar för att förflytta produkterna från hissarna utanför måleriet för Produkt A och Produkt B från samtliga flöden i systemet. Vid hissarna sker en övergång från golvconveyor till takconveyor. Takkonveyorn transporterar produkterna genom hela måleriet ända fram till slutmonteringen, där produkterna lyfts ner för att monteras ihop och för att montera andra komponenter på dem. Konveyorn har två olika hastigheter: utanför målningsboxarna är hastigheten 8,5 m/min och inom målningsboxarna, samt vid tvätt-, härdnings- och kylprocesserna, är hastigheten 1,5 m/min.

#### 4.2.2 Datainsamling

Datainsamlingen genomfördes med utgångspunkt i de metoder som tidigare presenterats i avsnitt 3.2. I detta underavsnitt presenteras strategier och resultat för insamling av primärdata såsom observationer, intervjuer och tidsstudier, samt insamling av sekundärdata genom dokumentstudier.

**Intervjuer och observationer:** Intervjuerna genomfördes parallellt med både direkta och strukturerade observationer, vilka baserades på en tidigare genomförd nulägesanalys med företagets personal. Den första intervjun genomfördes med den tekniska chefen på företaget och var utformad som en halvstrukturerad intervju. En halvstrukturerad intervju valdes för att möjliggöra en öppen diskussion om produktionen och för att kunna utforska eventuella ytterligare frågor som kunde uppstå. Genom dessa diskussioner uppstod direkta observationer där företagets personal delade insikter om produktionsflödet.

Under intervjun framkom uppfattningar om potentiella begränsningar i produktionsflödet. Det noterades att flödet från buffertar till målningsboxar manuellt styrs av operatören och att produktionen planeras på veckovis. Dessutom placerades färgvalet på åttonde plats på företagets prioriteringslista i körplanen. Detta resulterade i en tydligare avgränsning av projektet till ett ytterligare fokusområde utöver det primära. Med en fördjupad förståelse för logiken bakom produktionsflödet genomfördes en ytterligare halvstrukturerad intervju med personalen.

Den andra intervjun fokuserade på hur de olika komponenterna opererar i produktionen och hur de samverkar med varandra, inklusive hur produkterna A och B parar ihop sig med varandra för slutmontering. För att skapa en förståelse för logiken bakom detta efterfrågades information om hur valpunkterna i flödet styr fördelningen av produktionsflöden. Genom observationsmetoderna som beskrivs i kapitel 3.2.3 uppnåddes en förståelse för produktionen och dess kritiska komponenter.

De första observationerna genomfördes ostrukturerat för att samla in information om produktionen, dess drift och flödet av olika produkter genom produktionen. När tillräckligt med information samlats in genomfördes strukturerade observationer i samband med tidsstudier. De strukturerade observationerna var inriktade på de olika processerna

individuellt, inklusive både hastigheten och kapaciteten på transportsystemet, och analyserades för eventuella förbättringar eller effektiviseringar, se bilaga 1.

**Klockstudier:** Studiens metodik byggde på den tidigare presenterade metoden snapback, där tiden stoppades vid orelaterade moment som avbröt processen. Tidsregistreringen skedde efter varje observerat moment. För att skapa en mer detaljerad bild av den verkliga processen delades processerna, som innefattar färgbyte i måleriet och tiden för hissning då produkter flyttas från golv conveyor till tak conveyor, upp i olika moment. Nästa steg innebar att tydligt definiera start- och slutpunkter för varje moment i processen, vilket var nödvändigt för att säkerställa att alla tidsstudier utfördes på samma sätt och genererade pålitliga data. Observationerna genomfördes genom att studera styrningen över conveyor-systemet och ger en visuell representation av buffert-nivåer i hela produktionsflödet, från råmaterial till färdig produkt.

De första observationerna gav insikter om den tid det tar för färgbyte i processen samt hissningstiden för att fastställa antalet observationer som krävdes för varje moment, enligt specificerad tabell 3 i kapitel 3.2.3. Styrsystemet möjliggjorde även övervakning av conveyor hastigheter, torktider och härdningstider vilket möjliggjorde insamling av relevant data för studien. Tidsstudier utfördes på färgbyten vid målningsboxarna, då denna process innebär en avbrott i produktionsflödet. Färgbyten sker antingen när färgen tar slut eller när målningsboxen behöver ställas om för en ny färg. Operatörerna laddar systemet med färgpatroner, vilket varierar mellan tre och tio liter beroende på produktionsplaneringen och det antal produkter som ska målas i samma färg. Under tiden som färgsprutan rengörs sker detta automatiskt. Vid hissarna, där produkterna lyfts till takconveyorn, monterar operatörerna krokarna på produkterna för att hissa upp dem. Eftersom omställningstiden för färgbyte och hissningsprocessen varierar mellan två och tre minuter, bedömdes antalet observationer behöva vara 15 enligt tabell 3 i kapitel 3.2.3. Resultaten från tidsstudierna för färgbyten och hissningsprocessen presenteras i bilaga 2.

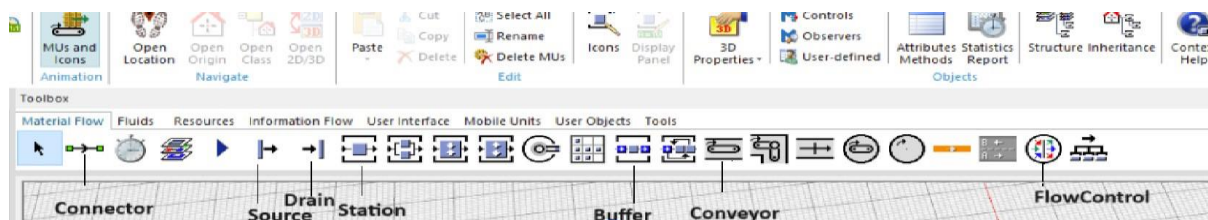
**Dokumentstudier:** Under datainsamlingen på företaget stötte vi på utmaningar med att exakt mäta transporttiden mellan olika buffertar på grund av antalet stopp och valpunkter som styrde flödet och körordningen. Informationen om processtider för härdningsugnar, kylzoner och torken hämtades från styrsystemet. För att underlätta datainsamlingen tillhandahöll företaget detaljerade CAD-ritningar över hela conveyorsystemet med korrekta uppgifter om längd, kedja och krokavstånd, stopp/valpunkter och hastigheter för samtliga conveyorer. Dessa ritningar utgjorde grund för skapandet av en simuleringsmodell med rätt skala och hastighet, vilket ökade noggrannheten i modellen och säkerställer att den speglade det faktiska systemet korrekt.

Företaget försedde historisk data i form av tabell av ett 16-timmars produktion-pass som företaget ansedde var "typiskt". Datan inkluderade typ av produkt, tider för när produkterna pålastades till conveyor, tid för när produkterna anlände till olika buffertar och tid när produkterna anlände till monteringsarna. Denna datan är utgångspunkt för modellen och ska användas som input och för validering av modellen.

### 4.2.3 Modellkonceptualisering

Nedan följer en summering och förklaring av den sammantagna systemförståelsen och de nödvändiga komponenterna för att skapa den slutgiltiga simuleringsmodellen baserade på simuleringsmetodiken som beskrivs i kapitel 3.2.1. En noggrann datainsamlings-fas genomfördes för varje delprocess av måleriets buffert-nivåer, conveyor-kapacitet samt hastighet, omställningstiderna i målningsboxarna samt processtiderna för de samtliga härdningsugnar, kylningszoner samt torkprocesser. Med andra ord identifierades all stopptid eller process tid som potentiellt kan påverka produktionsflödet. De olika komponenterna i systemet identifierades huvudsakligen genom styrsystemet och genom förståelse av flöden via observationer och intervjuer om aktiviteterna, flöden och fördelningslogiken inom conveyorsystemet och resurserna i de olika delsystemen. Dessa komponenter bröts sedan ner till detaljnivå för att inkluderas i prototypmodellen, där varje detalj övervägdes noggrant för att avgöra om den skulle inkluderas eller uteslutas.

Baserat på komponenterna från övervakningssystemet utarbetades ett flödesschema över system. Dessa komponenter och flödesscheman utvärderades kontinuerligt och diskuterades med företaget för att säkerställa tillräckligt trovärdighet vid modellöversättning. Simuleringsmodellen skapades enligt simuleringsprocessen som beskrivs i figur 4.6 i kapitel 4.2. Modellen byggs upp genom att definiera de olika huvudkomponenterna i anläggningen. Ritningen från CAD filen används som underlag för att modellera ett conveyorsystem med rätt skala därefter implementerades hastigheter och stopptider för samtliga conveyor. För modelleringsfasen användes Siemens Plant Simulation som programvara. Beskrivning för Siemens Plant Simulations presenteras i kapitel 3.2.2. Figur 4.7 beskriver vilka funktioner i plant simulation som användes för att skapa modellen.

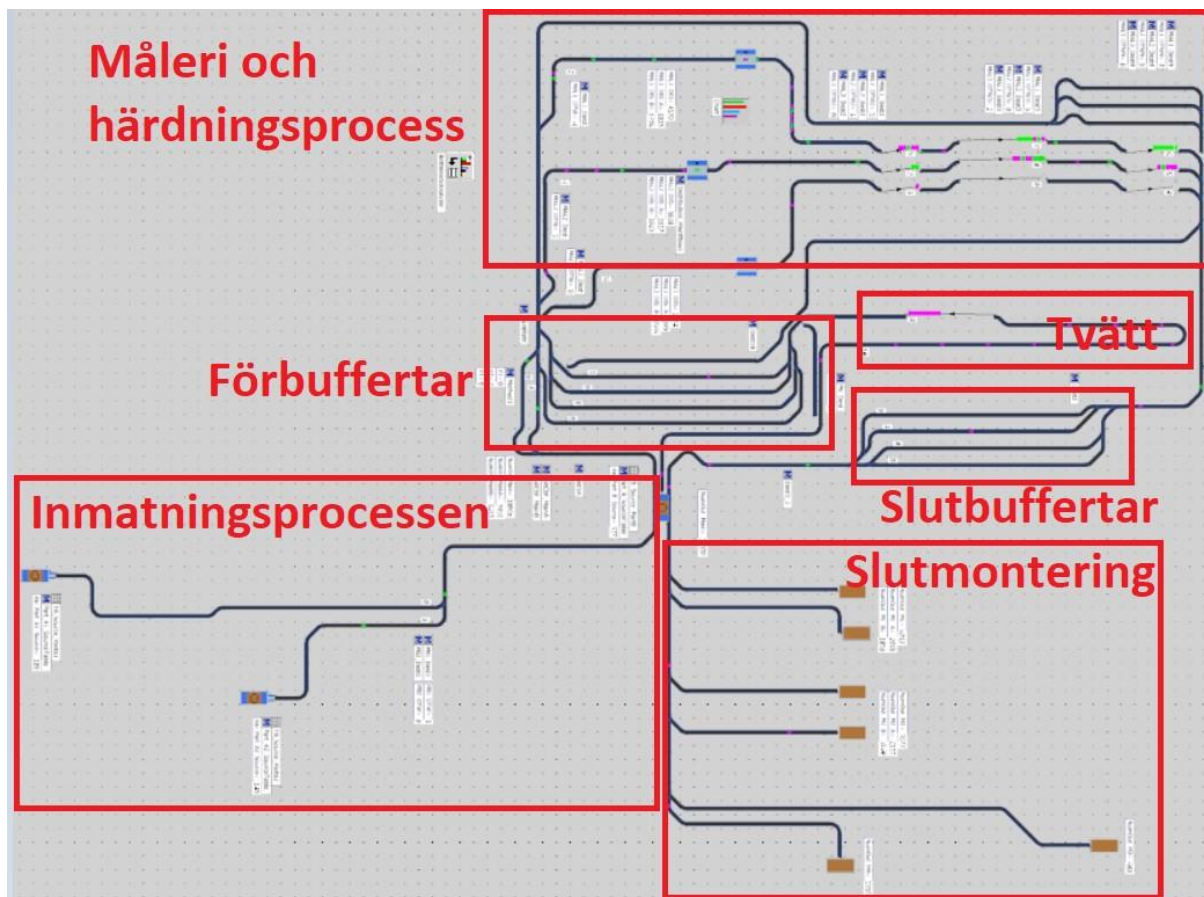


Figur 4.7: komponenter som används i modelleringsfasen.

Observationer och intervjuer bidrog till information om antalet buffertar och stationer som modellen kräver, antalet variationer som ska flöda genom modellen och hur processflöden ska modelleras. Under modelleringsfasen modellerades och testades delsystemen separat enligt litteraturstudier och tidigare genomförda projekt som använt liknande metoder. För att minska komplexiteten och underlätta felsökning implementerades kontroller av delsystemflöden efter varje fas av stationer, variationer och operationstider innan nästa delsystem modellerades och kontrollerades på samma sätt. Slutligen sammanslogs delsystemen till en sammanhängande prototypsimuleringsmodell.

#### 4.2.4 Modellöversättning

I detta avsnitt framställs den definitiva simuleringsmodellen, vilken visuellt framställs nedan i figur 4.8 tillsammans med detaljerade beskrivningar av de olika delprocesser som inkluderar systemet.



Figur 4.8: Simuleringsmodellen

Den första prototypen utgjorde en simuleringsmodell som inkluderade samtliga komponenter i processflödet: transport conveyor, målningsboxar, härdningsugnar, kylzoner och torken. Denna prototyp skapades av ett tryckande flöde genom systemet, vilket inte motsvarade det fysiska systemets mer fragmenterade och responsiva karaktär. Det fysiska systemet kännetecknas istället av ett styckeflöde samt ett dragande system, vilket reagerar på kundorder.

#### Inmatningsprocessen

Inmatningsprocessen omfattar en hisslogg där produkterna A1, A2 och B1 transporteras från golv-conveyor till häng-conveyor för vidare leverans till buffertar PB1 och PB2 för produkt A. Sourcen för produkt B skickas direkt till tvätten enligt figur 4.8 ovan. Hiss-principen tillämpas i Source funktionen där den dokumenterade datan som tillhandahålls av företaget används som inmatning vid Sourcen. Datan implementerades i programmet genom att "data-tabeller" kallades in i sourcen vid korrekt "skapelse-tidpunkt". Inom "data-tabellen" definierades också tre olika "attribut" som specificerade namnen på produkterna (t.ex. PB1) och deras destinationsadresser: vilket måleri (NSB), och vilken buffert efter målning, vilket i sin tur

avgjorde vilken slutmontering produkten skulle tillhöra (ALB). Produktionen kördes i loop med två skift för att upprätthålla produktionsvolymen i modellen. För att förtydliga: egenskaperna skapades för produkt Part-A1 och illustrerades redan vid skapandet av Källa-A1, och "attributen" skapades på liknande sätt för sourcen-A2 och sourcen-B. Dessa "attribut", benämnda "Dest1", "Dest2" och "Dest3", användes för att säkerställa att modellen skickar produkterna till rätt flöde, buffert och slutmontering enligt figur 4.9. Dest1 avgör vilken av de sex buffertarna som samtliga produkter ska passera innan målningen, Dest2 indikerar vilket av de tre målerier som produkten ska till, och Dest3 styr till vilken av de sex slutbuffertarna (ALB1, ALB2 för Part-A1 och Part-A2 samt ALK1, ALK2, ALK3 och AL4 för PartB i slutmonteringar) produkten ska skickas till.

Name	Value	Type	C	I.	Name	Value	Type	C	I.
Dest1	PK1	string	*		Dest1	PB2	string	*	
Dest2	NSB2	string	*		Dest2	NSB2	string	*	
Dest3	ALK2	string	*		Dest3	ALB2	string	*	

Figur 4.9: Attributer som sätts i produkterna vid skapelse för produkt A och B.

## Måleriet och härdningsprocessen

Denna process består av tre parallella flöden som initieras genom tre buffert-conveyors, benämnda FS 1, FS 2 och FS 3, vilka har en kapacitet på 8, 7 respektive 5 produkter. Produkterna buffras och vidarebefordras till målningsexboxar, identifierade som NSB 1, NSB 2 och NSB 3. I dessa boxar genomgår både produkt A och B målningsexprocessen. Det är specificerat i Sourcen att produkterna ska riktas mot särskilda destinationer enligt figur 4.9 ovan. Varje målningsexbox kan hantera upp till åtta vagnar samtidigt och har en processstid på 8 minuter. En vagn kan bära en produkt av typ A och upp till två produkter av typ B. Läkningsexprocessen tillämpas så att endast en produkt målas per minut (Cykeltiden "CT").

Efter målningen transporteras produkterna till flash off-zonen EB buffertar, enligt figur 4.6 ovan i kapitel 4.2.1, där de väntar på att gå in i härdningsexprocessen. EB buffertarna fungerar som en conveyor som håller produkterna tills utrymme blir tillgängligt. EB1 har en kapacitet på 11 produkter. Efter flashoff-zonen transporteras produkterna till första härdningsexugnen som har en kapacitet på 7 produkter och en CT på 11 minuter, med en temperatur på 90 grader. Därefter förflyttas produkterna till andra härdningsexugnar med en kapacitet på 16 produkter, en CT på 19 minuter och en temperatur på 180 grader.

Efter härdningsexprocessen lagras produkterna i kylzoner, såsom EB3, där fläktar används för att kyla ner produkterna innan de transporteras till buffertar (BUM 1, 2, 3, 4) inför slutmonteringen. Flödena mellan buffertarna i måleriet är dragande; FS-buffertarna skickar inte produkter till målningen om det inte finns tillräckligt med plats i flash off-zonens buffertar efter målning. Samma logik tillämpas efter målningen samt mellan härdningsexprocesserna och kylzoner.

För att den simulerade modellen skulle återspegla det verkliga systemet krävdes programmering för att implementera den logik som representerar det faktiska flödet. Under programmeringsfasen användes "SimTalk", ett programmeringsspråk specifikt utformat för Plant Simulation. Logiken utformades så att slutmonteringen (MA 1, MB 1, MA 2, MB 2, MB 3

och MB 4) hade två buffertar för produkterna part A1, part A2 och part B. Alla monteringsstationer efterfrågade produkter från buffertarna 1, 2, 3 och 4 i måleriet, enligt figur 9 ovan. I koden används kommandot "@.move(plats)" för att dirigera produkterna till specifika conveyors för att placeras i rätt buffertar.

För att undvika kollisioner mellan produkterna i conveyors och korsningar implementerades villkoret att endast en produkt kan befinna sig i en del av conveyors åt gången, vilket motsvarar det verkliga systemet med stopp och sensorer. Dessutom implementerades logik som styr att endast en produkt åker i en gemensam conveyor till olika buffertar åt gången vid platser där conveyors delas in i olika buffertar. Detta uppnåddes genom användning av "method"komponenter i programmet där kommandot "waituntil (variabel = 0)" användes. Variabeln är inställd på 1 när den delen av conveyorn är upptagen och återställs till 0 när produkten lämnar den delen av conveyorn. För conveyors med längre sträckor tillämpades istället villkoret "Minimum Gap (between parts)" för att efterlikna det verkliga tillståndet. Dessa minsta avstånd beror på conveyors fysiska system och PLC-programmets inställningar för minst antal krokor mellan produkterna.

## Verifiering och Validering

Under verifieringsprocessen genomfördes en noggrann analys av simuleringsmodellens logik och experiment utfördes för att övervaka alla processflöden och säkerställa korrekt funktion vid varje steg för att generera önskad slutprodukt. Diverse aspekter av modellen jämfördes med historiska 2-skift-data (17 timmar och 45 minuter) (se tabell X). Indatan som användes för simuleringen inkluderade förutbestämda krav på var produkterna skulle lagras i buffertar. Denna data simuleras enligt en specificerad tidsram, och statistiken hämtades från den senaste dagen.

Tidigt i verifieringsprocessen identifierades en obalans i flödet och en "back up" vid Buffert 1 för produkt B innan målning, när en simuleringsperiod på 100 dagar användes. Vid en närmare analys av den ursprungliga 2-skiftsdatan framkom det att hela 45% av produkt B skulle riktas mot slutmontering 1, vilket innebar att samma andel produkter skulle riktas mot Buffert 1 före målning. Detta resulterade i en betydande "back up" vid Buffert 1 efter en längre simuleringsperiod (över 20 dagar), vilket påverkade flödet för alla inkommande B-produkter negativt. Även om det möjligen fanns en förklaring till varför så många produkter riktades mot slutmontering 1 och Buffert 1 under den aktuella dagen, visade det sig att en sådan ojämn fördelning inte var hållbar för långvarig simulering. Att rikta hela 45% av produkterna till en av de fyra möjliga för-buffertarna kunde fungera under kortare perioder, som 2-skiftsarbete eller några dagar, men på sikt skulle detta leda till störningar i flödet. Att använda data från en enda dag under en längre simuleringsperiod visade sig vara otillräckligt och resulterade i obalans i systemet.



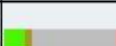
Därefter bestämdes att modellen skulle simuleras enligt följande tabell 4.1. Resultaten som presenteras i tabell 4.1 visade att modellen hade en genomströmning (TH) på 51 enheter per timme och att 910 produkter passerade under en produktionstid på 17 timmar och 45 minuter, vilket överensstämde med det fysiska systemet.

Tabell 4.1: Utdata från simuleringsmodellen.

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added
ALK4	Part_B	2:05:17.3511	152	9	1.45%	57.92%	40.63%	0.80%
ALK3	Part_B	2:03:04.1659	37	2	1.26%	58.65%	40.09%	0.81%
ALK2	Part_B	2:04:50.2485	128	7	1.54%	54.83%	43.63%	0.81%
ALB2	Part_A	1:24:51.9616	184	10	2.91%	51.80%	45.30%	1.71%
ALK1	Part_B	2:14:07.0297	162	9	1.58%	57.42%	41.00%	0.76%
ALB1	Part_A	1:37:27.0720	247	14	2.65%	55.63%	41.72%	1.69%

Experimentet som genomfördes avslöjade utnyttjandegraden för de tre målningsboxarna, se tabell 4.2. Statistikens graf tydliggör väntetiden för samtliga operationer. Den brungula stapeln representerar omställningstiden som inträffar i processen var tionde produkt, medan den röda stapeln bekräftar tillgängligheten på 95% och MTTR-värdet på 2 minuter. Systemet upplever inga blockeringar, vilket kan tillskrivas den logik som möjliggör ett sömlöst flöde genom hela systemet. Det innebär att produkter inte kan passera vidare till nästa process förrän efterfrågan uppkommer. Mål 3 upplever en väntetid på 73% av produktionstiden för produkter, medan väntetiden för mål 1 och mål 2 är 26,10% respektive 37,61%. Detta indikerar att processen hindras av transportsystemet före målningen, eller att den logik som skapar dragande flöden har resulterat i väntetid

Tabell 4.2: Utnyttjandegrad av målerierna.

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
P_MAI1	35.63%	33.52%	26.10%	0.00%	0.00%	4.74%	0.00%	0.00%	0.00%	
P_MAL2	30.27%	26.94%	37.61%	0.00%	0.00%	5.18%	0.00%	0.00%	0.00%	
P_MAL3	17.76%	4.59%	72.68%	0.00%	0.00%	4.97%	0.00%	0.00%	0.00%	

Efter att den prototypiska modellen hade färdigställts, genomfördes en validering av modellen enligt Banks simuleringsprocedur i kapitel 2.3.3. Valideringsprocessen syftar till att fastställa om modellen korrekt återspeglar det verkliga systemet den är avsedd att simulera. Detta innebär en jämförelse av modellens resultat med verkliga data från det fysiska systemet. Under valideringsfasen undersöktes om modellen lyckas fånga de viktiga egenskaperna och beteendemönstren hos det verkliga systemet. Olika aspekter av modellen analyserades, inklusive kapacitetsdata (TH) och genomströmning för samtliga målboxar och slutmonteringar för produkt A och B, enligt tabell 4.3.

Resultaten visar att throughputs för utvalda punkter i modellen överensstämmer med det fysiska systemet inom 98% konfidensintervall. Specifikt var output för samtliga slutmonteringar per timme 51,27 i modellen jämfört med 51,07 i det fysiska systemet enligt

de simulerade data. Dessa resultat diskuterades med företaget för att bedöma tillförlitligheten och förtroendet för simuleringsmodellen.

Tabell 4.3: Valideringstabell med throughputs

Throughputs				
Object	Unit	Real Data	Model Run Data	Avg. Diff. %
<b>All Paintflows</b>	<b>Avg. Entries / h</b>	<b>51,09</b>	<b>51,33</b>	<b>100,47%</b>
Paintflow 1	Avg. Entries / h	22,14	22,15	100,05%
Paintflow 2	Avg. Entries / h	18,36	18,31	99,73%
Paintflow 3	Avg. Entries / h	10,59	10,87	102,64%
Sink M1-A	Avg. Output / h	13,8	13,92	100,87%
Sink M1-B	Avg. Output / h	8,96	9,13	101,90%
Sink M2-A	Avg. Output / h	10,37	10,37	100,00%
Sink M2-B	Avg. Output / h	7,32	7,21	98,50%
Sink M3-B	Avg. Output / h	2,08	2,08	100,00%
Sink M4-B	Avg. Output / h	8,56	8,56	100,00%
<b>All Sinks</b>	<b>Avg Output / h</b>	<b>51,09</b>	<b>51,27</b>	<b>100,35%</b>

En jämförelse av distribution av Produkt A mot B i olika punkter som kunde jämföras med datan från verkligheten (se tabell 4.4) och det visade i de flesta punkter hamna inom 98% konfidensintervall. Den enda punkten där stor skillnad uppmättes var i måleri-flöden tre där distributionen av Produkt A mot B var hela 19% över real-datan. Det tredje måleri-flödet är det som används betydligt mer än de andra måleri-flödena(kan ses i tabell 4.4).

Tabell 4.4: Valideringstabell med distribution produkt A mot B

Distrubution of Products A against B				
Object	Unit	Real Data	Model Run Data	Avg. Diff. %
<b>Pre-Paint</b>	<b>Distrubution A/B %</b>	<b>47,29</b>	<b>47,36</b>	<b>100,15%</b>
Paintflow 1	Distrubution A/B %	62,34	61,85	99,21%
Paintflow 2	Distrubution A/B %	50	49,93	99,86%
Paintflow 3	Distrubution A/B %	11,17	13,32	119,25%
Sinks M1	Distrubution A/B %	60,64	60,61	99,95%
Sinks M2	Distrubution A/B %	58,59	58,66	100,12%
Sinks M3	Distrubution A/B %	0	0	100,00%
Sinks M4	Distrubution A/B %	0	0	100,00%
<b>Alla Sinks</b>	<b>Distrubution A/B %</b>	<b>47,29</b>	<b>47,35</b>	<b>100,13%</b>

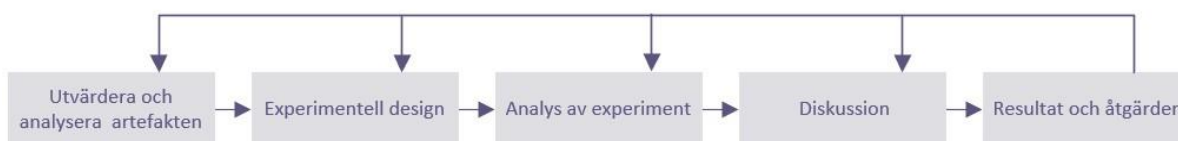
Slutligen jämfördes distribution av måleri-flöden och slutmonteringar i modellen mot verkligheten (se tabell 4.5). Återigen hamnar resultatet inom 98% konfidensintervall.

Tabell 4.5: Valideringstabell med distribution av måleriflöden och slutmonteringar.

Distrubution of Paintflows and Assembly Lines				
Object	Unit	Real Data	Model Run Data	Avg. Diff. %
Paintflow 1	Distrubution %	43,33	42,97	99,17%
Paintflow 2	Distrubution %	35,94	36,01	100,19%
Paintflow 3	Distrubution %	20,73	21,02	101,40%
Sinks M1	Distrubution %	44,54	44,52	99,96%
Sinks M2	Distrubution %	34,62	34,71	100,26%
Sinks M3	Distrubution %	4,08	4,19	102,70%
Sinks M4	Distrubution %	16,76	16,58	98,93%

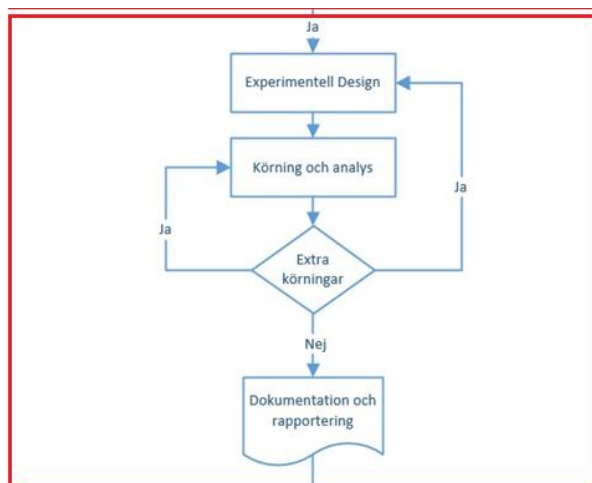
### 4.3 Steg 3: Utvärdera och analysera av artefakten

Slutligen reflekteras över utvärderingsprocessen och identifieras eventuella lärdomar eller förbättringsområden för framtida forskning och utveckling. Arbetsstrukturen för utvärdering och analys av artefakten formulerades enligt DSR-ramverket, vilken uppdelades i fem iterativa steg som återges i figur 4.10.



Figur 4.10: Utvärdering och analyseringsfasen.

Efter att modellöversättningen från fas 2 i DSR-modellen avslutats, vilket resulterade i en prototypsimuleringsmodell, genomfördes validering av modellen för att säkerställa att den adekvat återspeglade det verkliga systemet samt för att identifiera eventuella begränsningar i systemet. Utvärderingen och analysen av artefakten genomfördes enligt DSR-ramverket och följde Banks et al. (2014) simuleringsprocess, vilket illustreras i figur 4.11.



### DSR-Metod Steg 3: Utvärdera och analysera artefakten

Figur 4.11: Simuleringsprocessen under Utvärdering och analyseringsfasen. Inspirerad av Banks (2014)

Experimentdesignen planerades genom att välja vilka scenarier som skulle undersökas och hur de skulle jämföras. Detta innebar att ett antal olika scenarier valdes för simulering med syftet att identifiera potentiella förbättringar genom simuleringsmodellen och att analysera hur dessa förbättringar påverkade måleriets produktivitet och effektivitet. Simuleringar genomfördes för varje scenario enligt den plan som fastställts, vilket innebar att systemets beteende simuleras under olika förhållanden eller konfigurationer. Data samlades in under simuleringen för varje scenario, inklusive prestandamått, tider, resursanvändning och andra relevanta variabler som definierats för experimentet. Resultaten från varje scenario analyserades för att dra slutsatser om systemets beteende under olika förhållanden, vilket inkluderar jämförelse av prestanda mellan olika scenarier, identifiering av flaskhalsar och förståelse för hur olika faktorer påverkade systemets beteende. Slutsatser drogs baserat på analysen av resultaten, vilket kunde inkludera rekommendationer för förbättringar, identifiering av förbättringsmöjligheter eller förståelse för systemets prestanda under olika förhållanden. Resultaten och slutsatserna från experimenten rapporterades och dokumenterades, och simuleringsmodellen presenterades som ett verktyg för att stödja beslutsfattande och förbättringsprocesser inom företaget.

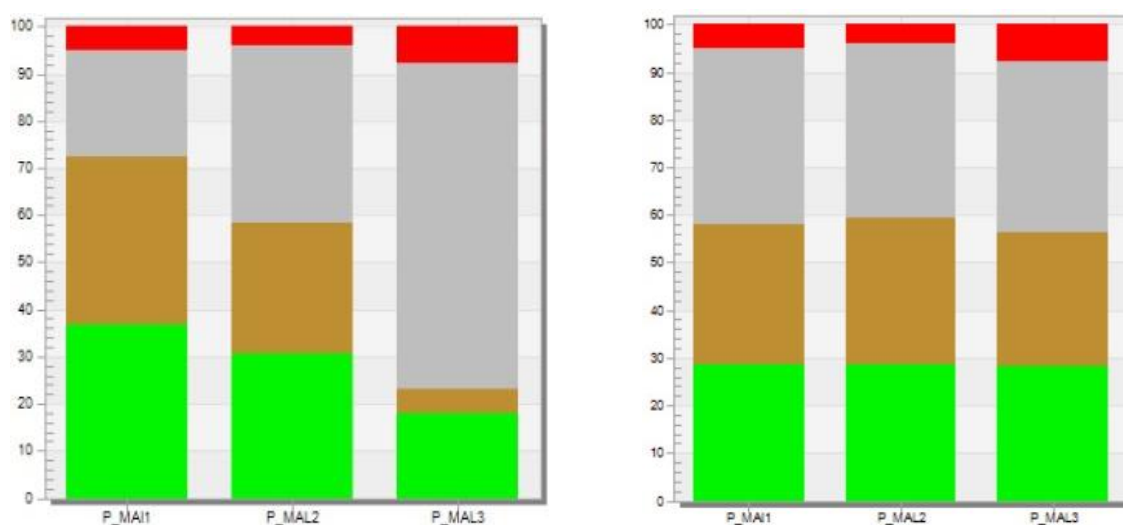
#### 4.3.1 Experimentell design

Under design- och experimentfasen bestämdes de experimentella scenarierna som skulle utföras för att undersöka hur olika variabelvärden påverkar utdatan i slutmonteringen. Detta innebar att olika kombinationer av variabler och deras värden planerades. Det första scenariot utfördes genom att minska skapandetiden för alla källor med 10%, vilket resulterade i en ökning av TH per timme i slutmonteringen från 51,27 produkter till 57,07, se bilaga 6. Vid ytterligare minskning av skapandetiden med 20% uppstod störningar i för-buffertarna för produkter A och B, vilket ledde till blockerade flöden och en minskning av TH till 45,9.

I modellen syns att alla måleri-flödena inte används lika mycket (se figur 4.12) och detta var även känt från observationer och diskussion med operatörer i verkligheten. Anledningen till

detta är att minska omställningstider med färgbyten. Därför är det norm att idag köra alla Aprodukter från A-flöde 1 och respektive B-produkter i måleri 1, och majoriteten av Aprodukter från A-flöde 2 körs i måleri 2, och i måleri 3 körs resten av A-flöde 2 produkter samt respektive B-produkter.

Det andra experimentparametret handlade om att testa att ta bort denna begränsning och logik. Därför inaktiverades "PaintPath"-metoden som använde "Dest2"-attributen för att styra till vilket måleriprodukterna åker till. I stället fick produkterna åka in till vilket måleri som helst, det måleri som först är tillgängligt med platser. För detta sattes även omställnings-frekvensen till var fjärde produkt i stället för tidigare var tionde produkt. Efter experimenten visade det sig att samtliga boxar arbetade lika mycket, se staplarna i figur 4.12, där grön innebär användning/utnyttjande, bruna är omställningstid, gråa är vänta in och röda är oplanerat stopp.



Figur 4.12: Måleri fördelning med "PaintPath" (vänster) logik och utan (höger).

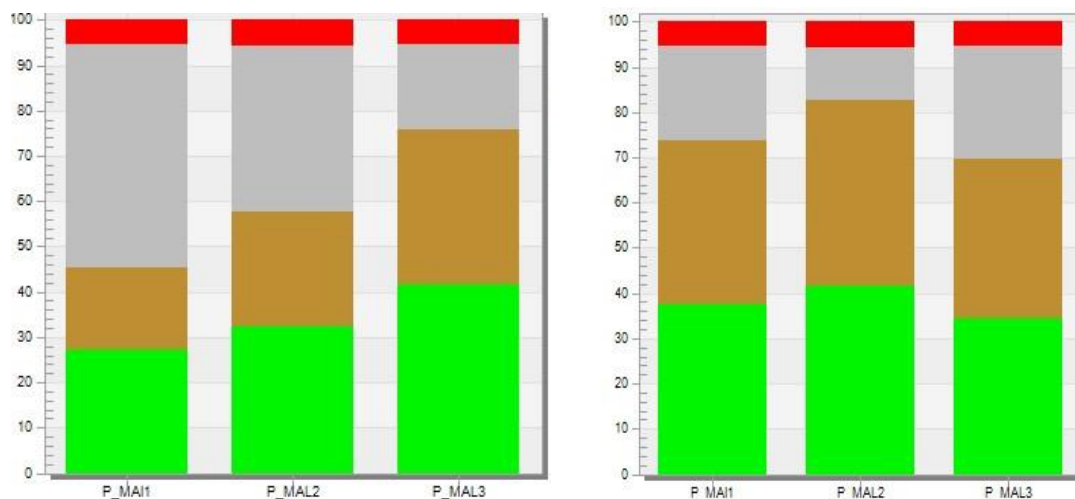
Experimentet visade ingen märkbar förändring i TH, från 51,27 till 50,92. Därefter testades en till parameter: att ta bort för-buffert logiken med "Dest1A" och "Dest1B"-metoderna som använde "Dest1" attributen för att bestämma till vilken för-buffertprodukterna ska till. Produkterna fick alltså åka in i första lediga för-buffert. Detta experiment visade en minskning i TH från 51,33 till 47,54. Vid noggrannare visuell analys uppmärksammades störningar med "backup" i "korsningarna" före buffertarna.

Sedan valdes att experimentera med fortare skapelse-tid utan målningsbox-logik fast fortfarande med förbuffert-logik. Först testades ännu en gång att minska skapelsedagarna med -10% i alla Source. Det resulterade i en TH på 56,96, likt de 57,07 som uppkom efter första experimentet med -10% skapelsetid. Därefter testades att minska igen till -20% skapelsetid som medförde att TH hamnade på 63,88. Detta tyder på att med jämnt fördelade måleri-flöden ökar TH. En skapelsetid med -30% testades och resulterade i att TH hamnade på 45,07, likt de 45,9 som uppkom efter -20% skapelsetid utan jämnt fördelade målerier. Med -25% skapelsetid hamnade TH på 68,27, vilket är en +33% ökning från originella 51,27.

Slutligen testades en sista parameter att ändra på: minsta avstånd mellan produkter i måleriflöderna. Avståndet minskades med ca 27% till det lägsta avståndet som är möjligt att implementera i verkligheten. TH hamnade ännu en gång på 68,27 med -25% skapelsetid. Ett sista experiment med -30% skapelsetid utfördes som resulterade ännu en gång i instabilitet och en minskning av TH till 45,12 per timme.

Ett scenario som genomfördes för att testa att utsätta systemet för högre takt det skapade en produkt i sourcen A1 och B1 till slutmonteringar ALK5 och ALB 5 och för att se hur systemet reagerar vid högre takt (se figur 4.13). modelleras också för buffert BB\_3 för att lagra produkten som ska till slutmontering 5 för produkt A för produkt B lagrades i buffert PK3 . experimentet kördes med -25 % av skapelsen tiden i samtliga sourcen experimentet resulterar TH på 63 produkter för samtliga slutmonteringen

Andra experiment genomfördes med att inaktivera path logiken samt minska omställningstiden från var åttonde produkt till var fjärde produkt experiment kördes med 25% av skapande tiden i samtliga sourcen i slutmineringar resultera en TH värde på 69.



Figur 4.13: Före (vänster) och efter (höger) implementering av slutmontering 5.

Att öka kapaciteten på för buffertar innan målning boxar bidrar med att öka värde på TH till en viss grad, det testas att köra simulering med -30% av skapande tid i sourcen men detta leder till instabilt system vilket innebär att conveyor systemet innan måleriet blir blockerade vilket det minskar TH värde.

## 5. Resultat & analys

Analysen av DES-simulering kopplade experiment avslöjar viktiga insikter om hur olika variabler inverkar på systemets prestanda och dynamik. Genom att minska skapandetiden för alla källor med 10% visade experimentet en ökning av genomströmningshastigheten (TH) per timme i slutmonteringen. Detta antyder att kortare skapandetider kan accelerera produktionstakten och därmed förbättra genomströmningen i systemet. Vid en ytterligare minskning av skapandetiden med 20% uppstod emellertid störningar i för-buffertarna för produkter A och B, vilket ledde till blockeringar och en minskning av TH. Det indikerar att det finns en gräns för hur mycket skapandetiden kan reduceras utan att negativt påverka systemets stabilitet. Detta tyder även på att måleriet är en flaskhals med dessa skapelsetider.

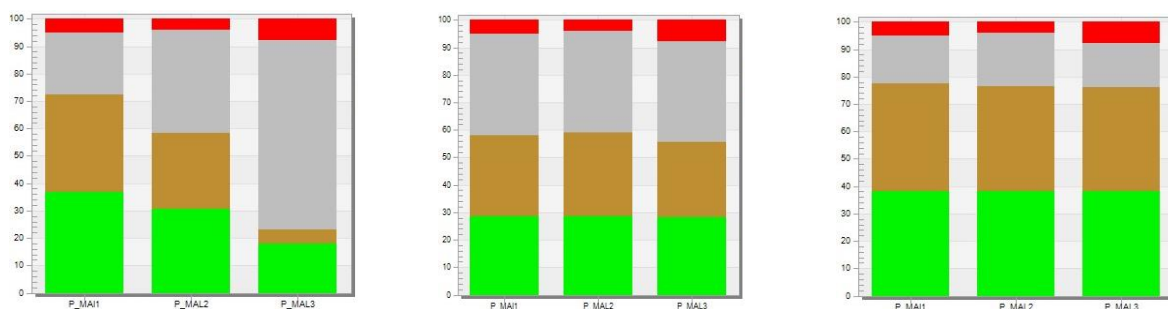
Genom att inaktivera logiken för "PaintPath"-logiken och "Dest2"-attribut observerades en ökning av TH när produkterna skickades till den första lediga boxen med -20% i skapelsetid. Detta tyder på att med jämnt fördelade måleriflöden blir systemet mer stabilt. Vid ytterligare minskning av skapandetiden till -30% noterades blockeringar i för-buffertarna och tvätten och torken för produkt B, vilket resulterade i en minskning av TH och understryker vikten av att balansera skapandetiden med andra variabler för att undvika störningar. Experimentet visade att ett minskat avstånd mellan produkterna i målningsboxarna inte hade någon signifikant effekt på TH, vilket tyder på att detta inte påverkade genomströmningen i systemet avsevärt.

DES-simuleringen framhävde den avgörande rollen som företaget bidrog med genom att styra logiken genom systemet och skapa en modell som hanterade variation med enstycksflöde och adresserade produkter till specifika buffertar. Resultatet visade att systemet kunde simulera en betydande volym under en specifik tidsperiod.

Under experimentet avslöjades utnyttjandegraden för de tre målningsboxarna. Genom statistisk analys kunde väntetiden för samtliga operationer tydligt identifieras. Det observerades att systemet inte upplevde några blockeringar, vilket tillskrivs den logik som möjliggör ett smidigt flöde genom hela systemet. Det noterades att Mål 3 hade en väntetid på 73% av produktionstiden för produkter, medan väntetiden för Mål 1 och Mål 2 var 26,10% respektive 37,61%. Dessa resultat antyder att processen möjligen hindrades av transportsystemet före målningen, eller att den logik som skapade dragande flöden resulterade i väntetid, vilket indikerar att måleriet kan vara en flaskhals vid ökad efterfrågan från härdningsprocessen. Härdningsprocessen har också en begränsad kapacitet vid ökande efterfrågan från nästkommande operation. Analysen ger experimentet värdefulla insikter om systemets prestanda och dynamik, vilket ger riktlinjer för att förbättra systemet och maximera genomströmningen med hänsyn till olika operationella variabler och begränsningar.

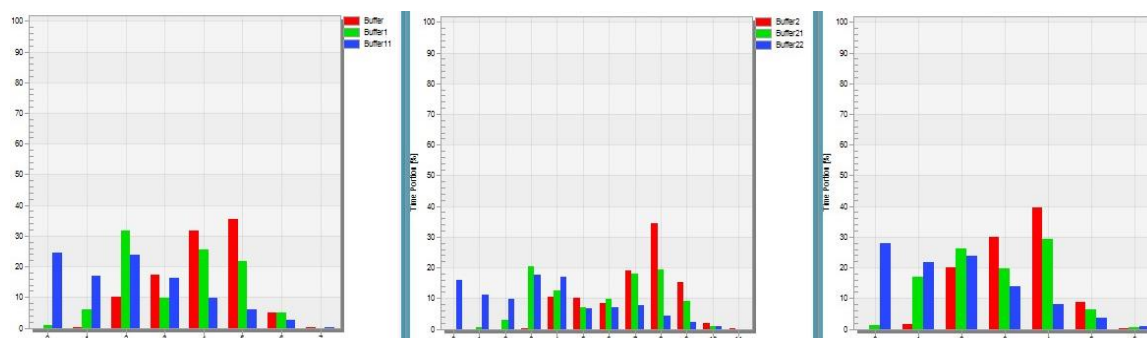
## 5.1 Utnyttjandegrad

I figur 5.1 visas utnyttjandegraden för modellens måleriprocessen i deras ursprungliga tillstånd, efter avaktivering av "PaintPath"-logiken, samt efter implementeringen av förbättringarna som genererade bäst (TH) från experiment 8. Figurens gröna staplar innebär användning/utnyttjande, bruna innebär omställning, grått är väntan in och rött är oplanerat stopp. Det är av vikt att observera att utnyttjandegraden i dessa grafer inte återspeglar exakt verkligheten, då i modellen endast processer placeras inom en sträcka av 1,5 meter av de cirka 8 meter som måleriet sträcker sig över. Resten av måleriet i modellen utgörs av en transportör som saknar data om utnyttjandegrad. I verkligheten tenderar det att finnas fler produkter inom det område som definieras som "måleriet", med värdeskapande tid som inte återges i dessa grafer. Därför används dessa grafer enbart för att observera skillnader och förbättringar genom att jämföra nivåskillnader, snarare än att försöka kvantifiera exakt hur mycket bättre eller sämre resultatet blev. Trots detta framgår det av graferna att genom att avaktivera "PaintPath"-logiken och öka skapelsehastigheten åstadkoms en mer jämn och högre utnyttjandegrad i målerierna.



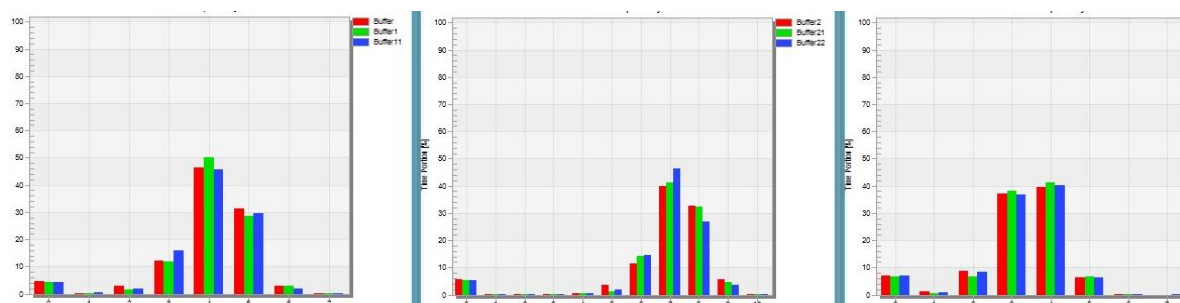
Figur 5.1: Utnyttjandegrad av målerierna före och efter förbättrings-implementeringar.

En analys av härdningsprocesser och kylzonens buffertar utnyttjandegrader i varje flöde utfördes av det originella läget (se figur 5.2) där grafen till vänster är ugn 1, mitten är ugn 2 och höger är kylzon. I graferna är de röda staplarna för flöde 1, de gröna staplarna flöde 2 och de blåa staplarna flöde 3. Staplarna visar hur många platser i buffertarna är upptagna i andelar av tiden. Graferna visar att ingen av buffertarna någonsin är helt fulla. Graferna visar också att flöde 1 och 2 utnyttjas betydligt mer än flöde 3. Detta tyder på att ugnarna och kylzoner inte är en flaskhals i det originella läget.



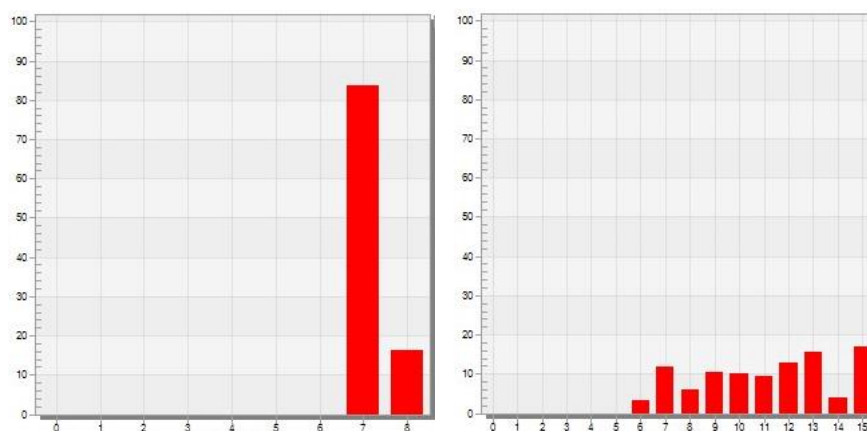
Figur 5.2: Utnyttjandegrad av ugnar och kylar i varje flöde i det originella läget.

Därefter gjordes en analys av samma buffertar efter implementationer av de förbättringar som gav bäst TH, Experiment 8, som visas i figur 5.3. I detta läget är flödena mer utjämnade mot varandra. Dessutom utnyttjas buffertarna till en högre grad och mestadels av tiden är buffertarna halvfulla.



Figur 5.3: *Utnyttjandegrad av ugnar och kylar i varje flöde efter förbättrings-implementationer.*

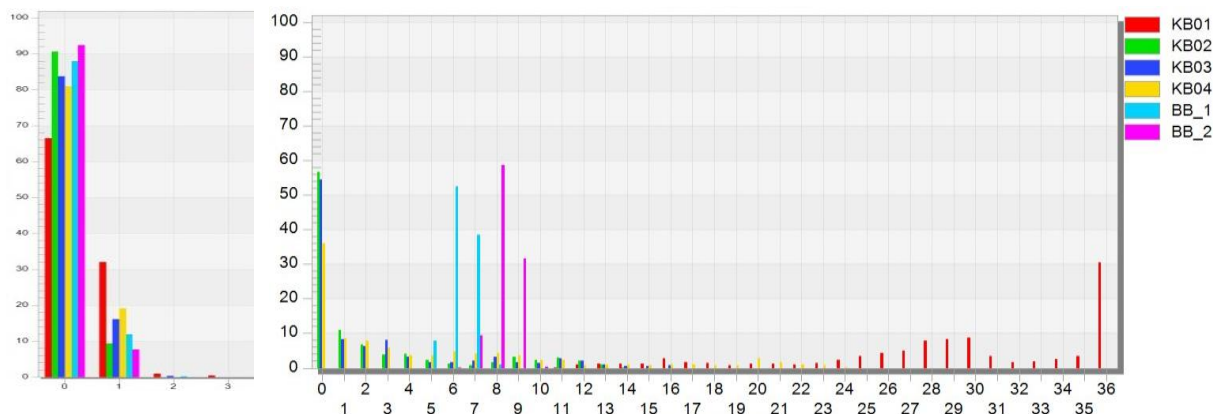
I figur 5.4 visas utnyttjandegrad för tvätt-bufferten för B-produkter innan måleriet. I det originella läget syns att bufferten brukar vara halvfull nästan hela tiden med 7 och 8 platser (totalt 15 platser) och efter implementationerna från Experiment 8 brukar bufferten vara varierande och oftast över halvfull och ibland även helt full. I detta läge kan bufferten (som är en torkzon efter tvätten med minst väntetid 16 minuter) ses som en flaskhals som ibland inte hinner med att tömma sina platser lika fort som tvätten innan levererar.



Figur 5.4: *Utnyttjandegrad av förtvätt-buffert (B-produkt) före och efter förbättringsimplementationer.*

Slutligen genomfördes en analys av utnyttjandegraden för förbuffertarna innan måleri flödena, som visas i figur 5.5. Dessa grafer illustrerar att samtliga buffertar till största delen var tomma innan några förbättringar implementerades. Efter genomförandet av förbättringarna som framkom i Experiment 8 visar graferna istället att buffertarna oftare var mer fyllda. De blåa och rosa staplarna representerar buffertarna för A-produkter, och i det andra scenariot observeras att dessa buffertar är nästan helt fyllda med sina 8 respektive 10 platser. Den röda stapeln representerar buffert 1 för B-produkter som ska till slutmontering 1. I grafen för det andra scenariot syns att denna buffert är helt fylld (36 platser) ungefär 30% av

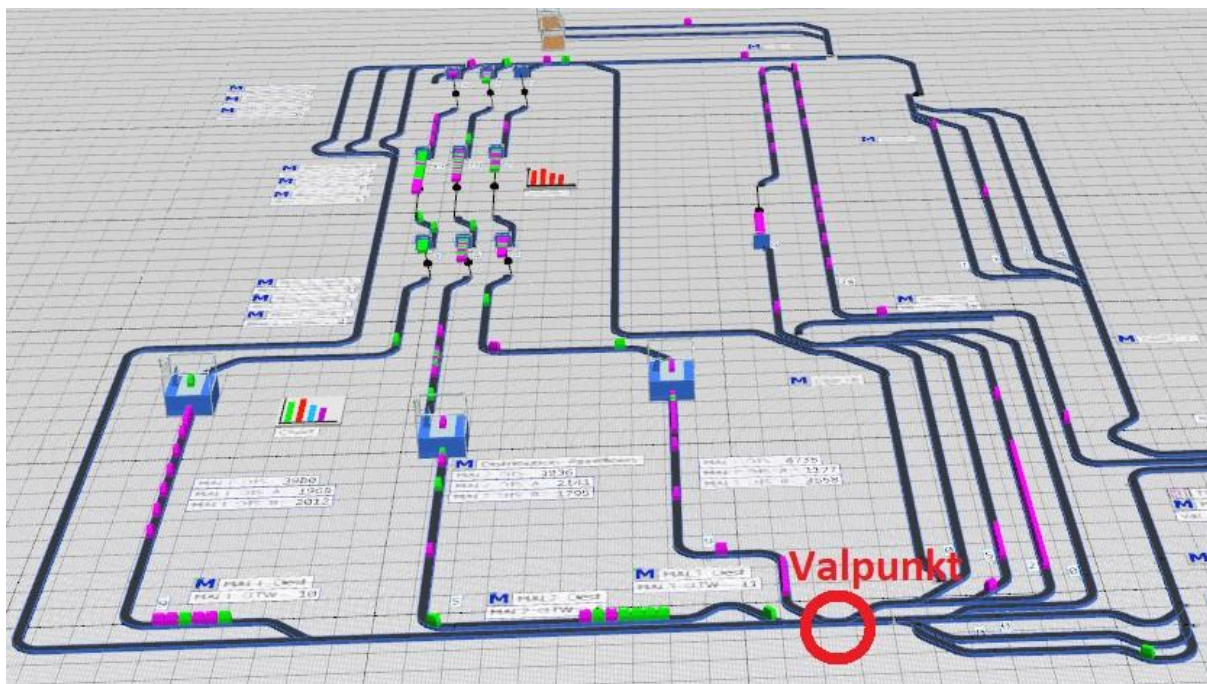
tiden. Orsaken till detta är att hela 45% av B-produkterna är avsedda för slutmontering 1 och därför skickas till buffert 1 enligt den historiska datan som modellen är baserad på.



Figur 5.5: Utnyttjandegrad av för-buffertar före och efter *förbättrings-implementeringar*.

## 5.2 Flaskhalsanalys

Analysen av flaskhalsar diskuteras med hänsyn till de definitioner av flaskhalsar som behandlades i kapitel 2.5. Detta innebär att de delar av processen som utgör flaskhalsar i systemet identifieras. Samtliga målning flöden (1, 2, 3), inklusive härdningsprocessen och kylzoner, utgör flaskhalsar eftersom conveyor-systemet inom dessa processer har begränsade hastigheter på 1,5 m/min, medan hastigheterna för resterande system ligger på 8,5 m/min. Detta resulterar i en generell fördröjning för hela systemet. Figuren 5.6 tydliggör hur produkterna i FS-buffertar hindras av måleriet och väntar på att flash off buffertar efter målning boxarna ska bli tillgängliga. Målningsboxarna har en CT på en minut och en omställningstid på 1 minut och 44 sekunder.



Figur 5.6: simuleringsmodellen över målningsexarna och härdningsprocessen

Figur 5.6 ovan visualiserar även hur flöden hindras av härdningsprocessen efter målning. Härdningsugnar har CT på 11 och 19 minuter samt kapaciteter på 9 och 16 produkter. Detta indikerar att systemet har en skiftande flaskhals som förändras med variationer i produkterna. Detta understryker sambandet mellan utnyttjandegraden av operationer och förekomsten av flaskhalsar. När en verksamhet når sin maximala kapacitet på grund av en flaskhals, tenderar utnyttjandegraden för de resurser som är involverade i flaskhalsen att vara hög, medan andra delar av verksamheten kanske inte utnyttjas fullt ut. Observera figur 5.3 ovan, vilket visualiserar utnyttjandegraden för härdnings- och kyl buffertarna. Figuren klargör att kapaciteten når maximala värden.

En analys av flaskhalsen indikerar att den använda körordningen inom måleriet, vilken hindrar utnyttjandet av samtliga målningsexar, utgör en flaskhals som begränsar systemets maximala kapacitet. "PaintPath-logiken" orsakar blockering av conveyorn före måleriet, vilket leder till att produkterna väntar i buffertar, eftersom samtliga produkter måste passera valpunkten, som illustreras i figur 5.6. Vid omdimensionering av conveyorsystemet ökade genomflödes hastigheten (TH) från 51 till 63. Vid inaktivering av "PaintPart"-logiken ökade TH från 63 till 69. Vid analys av måleriflödet framkom att målningsexarna, inklusive härdnings- och torkningsprocessen, utgör en flaskhals med begränsad kapacitet. För att uppnå en produktion på mer än 69 produkter per timme krävs byggandet av en fjärde målningsex för att öka kapaciteten för härdningsprocessen.

## 6. Diskussion

I detta avsnitt utforskas tre centrala områden och deras relevans för projektet, samtidigt som en jämförelse görs med tidigare resultat. Dessa områden presenteras under rubrikernas metod, resultat och hållbar utveckling.

### 6.1 Metod

DSR har haft en betydande inverkan på strukturen av forskningsprocessen och utformningen av projektplanen. En framträdande utmaning inom DSR har varit att bedöma skillnaden mellan den aktuella situationen och det önskade framtida tillståndet. Detta utmanas av att projektarbetet främst inriktar sig på modellering och analys av den nuvarande systemkonfigurationen. Denna inriktning resulterade i en bristande klarhet angående det framtida systemets karaktär efter dess implementering, vilket komplicerade utformningen av en väldefinierad övergångsplan och prognos av de nödvändiga förändringarna för att uppnå det önskade tillståndet.

Projektet genomfördes stegvis med DSR-metoden som det övergripande ramverket för att övervaka Banks simuleringsteknik, vilket tidigare introducerades i avsnitt 2.3.3. Uppenbarelsen av en brist på tillgänglig data under projektets gång nödvändiggjorde justeringar av projektmålen och genomförandet. På grund av komplexiteten i det fysiska systemet och tidsbegränsningar för datainsamlingen användes dokumenterad data från företaget, samt historiska data som företaget vill simulera, som ingångsvärden i simuleringsmodellen. Dock visade sig dessa data representera en begränsad tvåskift (17h 45min) verksamhet och var därmed otillräckliga för att fullt ut spegla verkligheten. Företaget saknade även data över oplanerade stopptider i produktion vilket påverkar MTTR värdet modellen.

Genom att använda det utvecklade DSR-verktyget reviderades projektmålen baserat på en noggrann analys av tillgänglig data och dialog med de relevanta intressenterna. På samma sätt genomfördes justeringar i simuleringsmodellen, där en djupgående analys av modellens resultat gav riktlinjer för de åtgärder som krävdes för att säkerställa att modellen var korrekt och användbar för att uppfylla projektets mål och krav. Att identifiera skillnader i modelleringstiden visade sig vara en utmaning. Modellering av ett system upprepade gånger med olika metoder kan påverka resultatets tillförlitlighet, eftersom forskaren får en ökad insikt om systemet efter varje iteration. Detta understryker behovet av väldefinierade experimentella förhållanden och involvering av en bredare grupp simuleringanalytiker för att uppnå trovärdiga resultat.

## 6.2 Projektets innehåll, utveckling och resultat

Skapandet av simuleringsmodellen baserades på tolkningar av övervakningssystemet för den faktiska produktionsanläggningen, vilket stöddes av dokumentstudier, observationer och intervjuer. Under projektets gång genomfördes flera besök hos företaget, där strukturerade intervjufrågor användes för att öka förståelsen för företagets transportsystem som helhet. Processen blev iterativ på grund av de olika fynd som gjordes vid observationerna och besöken. Tillvägagångssättet var tidskrävande och alternativa metoder kunde ha minskat den totala tiden för modelleringen. Detta skulle ha minskat förståelsen för modellens förmåga att efterlikna det verkliga systemet, då det skulle ha lett till att egna antaganden gjordes inom delsystemen.

Insamlingen av tidigare beskrivna data möjliggjorde konstruktionen av en verifierad simuleringsmodell för produktionssystemet. Simuleringsmodellen tillät simulering av produktionen med hjälp av data från en tabell som företaget bidrog med för att testa produktionskapaciteten och den tidsåtgång som krävdes för att slutföra en order. Genom att testa olika scenarier i simuleringsmodellen för att förbättra genomströmningstiden (TH) utan att påverka den faktiska produktionen, kunde eventuella utnyttjandegraden för måleriet samt conveyor-system identifieras. Eftersom modellen inte inkluderade eventuella produktionsfel, såsom maskinhaveri, visade resultaten från simuleringsmodellen en produktion utan fel. Detta möjliggjorde analys av hur dessa fel påverkar den faktiska produktionen och hur kapaciteten skulle se ut utan produktionsstopp.

Den presenterade simuleringsmodellen i projektet inkluderade inte alla operationer som fanns i det faktiska systemet. Vissa processer implementerades som buffertar, exempelvis att härdnings processerna var konstanta och inte kunde påverkas.

Under projektets utveckling uppstod flera utmaningar och hinder som hade betydande inverkan på både innehållet och resultatet. Vissa av dessa hinder uppstod under konstruktionen av simuleringsmodellen. Initialt valdes mjukvaran med avsikt att den skulle vara användarvänlig, särskilt med tanke på att företaget senare skulle använda modellen. Emellertid blev det snart uppenbart att modellen behövde ytterligare logik för att korrekt återspegla det verkliga systemet. Ju mer logik som infördes, desto mer komplex och svårförståelig blev modellen. Därför krävdes betydande ansträngningar för att strukturera modellen på ett sätt som underlättar förståelse och möjliggjorde fortsatt utveckling.

En annan viktig observation var att företagets tillgängliga data var begränsad och inte helt representativ för verkligheten. Detta påverkade modellens förmåga att korrekt simulera och förutsäga systemets beteende. Vidare ledde variationen i historisk data, särskilt avseende oplanerade stopptider i produktionen, till problem med beräkningen av MTTR i modellen. Ytterligare komplexitet infördes i modellen på grund av behovet av ytterligare logik för att simulera operatörernas körordning. Trots försök att organisera modellen med olika metoder förblev det svårt att utföra olika scenarier i modellen och att tydligt tolka resultaten inom olika delar. Att skapa logik för operatörernas körordning förvandlade logiken i modellen till en

flaskhals, vilket begränsade flödet av produkter till målning boxarna och hindrade dem från att nå sin maximala kapacitet.

En väsentlig aspekt var också bristen på erfarenhet av händelsestyrd simulering och den specifika mjukvaran hos företaget. Detta betonade vikten av att modellen var lätt att förstå och använda. Dessutom visade det sig att bristande transparens och förståelse mellan projektpartner delvis bidrog till att vissa aspekter av projektet inte följde den initiala planen. Detta understryker vikten av att tydligt definiera problem och mål från början av projektet för att skapa en solid grund för modelleringen. Slutligen, trots användningen av en användarvänlig mjukvara och ansträngningar att organisera modellen på ett läsbart sätt, kvarstår komplexiteten och svårigheterna med att korrekt efterlikna det verkliga systemet.

### **6.3 Hållbar utveckling, jämställdhet och etik**

Enligt Su et al. (2022) och Subramaniyan et al. (2020) spelar flaskhalsanalysen med hjälp av simuleringsteknik en avgörande roll för att främja hållbar utveckling genom att effektivisera resursanvändningen, minska avfall och överproduktion, öka produktionskapaciteten utan behov av expansion, förbättra energieffektiviteten och höja produktkvaliteten. Forskningen i litteraturen framhåller att genom att effektivisera produktionsprocesserna kan företag minska sin miljöpåverkan och därigenom bidra till en mer hållbar tillverkning. Litteraturen betonar även vikten av att noggrant identifiera och hantera flaskhalsar för att förbättra produktionsflödet och öka den övergripande produktiviteten. Med den kontinuerliga utvecklingen av simuleringstekniker och ökat fokus på effektivitet inom tillverkningsindustrin blir tillförlitliga verktyg för flaskhalsanalys allt viktigare för att hantera den ökande komplexiteten inom sektorn. Simulering anses vara ett viktigt tekniskt verktyg för att främja hållbar utveckling, men kostnaden för simulering är ofta ett hinder för dess bredare användning. Förbättringar och verktyg som minskar tidsåtgången för simuleringprojekt förväntas kunna öka tillgängligheten och därmed spridningen av simulering till fler verksamheter, vilket i sin tur kan bidra till att uppnå hållbarhetsmålen.

Den övergripande handlingsplanen för hållbar utveckling, antagen av FN-förbundet UNA Sweden, omfattar 17 globala mål som strävar efter att adressera olika dimensioner av hållbarhet såsom social rättvisa, ekonomisk tillväxt och miljöskydd. Inom ramen för projektet identifierades följande mål som har anknytning till simuleringstekniker: Hållbarhetsmål 8, Anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt, syftar till att uppnå högre produktivitet och förbättrad resurseffektivitet. De presenterade metoderna och tillvägagångssätten inom simulering bidrar till att främja detta mål genom förbättring av tillverkningsprocesser och resursutnyttjande. Hållbarhetsmål 9, Hållbar industri, innovationer och infrastruktur, där simulering kan bidra till utveckling och förbättring av industriell verksamhet och infrastruktur. Användning av simulering underlättar forskning inom nya innovativa lösningar, förbättra produktionsanläggningar och förbättra infrastrukturen för att främja en mer hållbar och effektiv industriell verksamhet. Hållbarhetsmål 12, Hållbar konsumtion och produktion, där simulering spelar en viktig roll för att minska det ekologiska fotavtrycket. Med användning av simulering underlättar analysering och förbättring av produktionsprocessen för att minimera

avfall och resursförbrukning, vilket är avgörande för att uppnå målet om hållbar konsumtion och produktion.

Under projektets gång framkom det hur teknologisk utveckling och innovation utgör en integrerad del av hållbar utveckling, jämställdhet och etik. Genom att förbättra produktionsprocesserna kan företag skapa bättre arbetsvillkor för sina anställda, vilket främjar social rättvisa och jämställdhet. Detta kan bidra till att minska överbelastning och risker för arbetsskador och därmed skapa en tryggare och mer rättvis arbetsmiljö för alla anställda. Effektivisering av produktionsprocesser kan också leda till ekonomisk tillväxt och stabilitet för företaget, vilket i sin tur kan öka möjligheterna till sysselsättning och ekonomisk jämlikhet. Genom att minska avfall och överproduktion kan företaget också minska sina kostnader och öka sin konkurrenskraft på marknaden. Genom att effektivisera resursanvändningen och minska avfall kan företaget bidra till en mer hållbar hantering av naturresurser och miljöskydd. Detta kan leda till minskad miljöpåverkan och bevarandet av ekosystemets balans för framtida generationer. Det ekonomiska perspektivet kan också leda till förbättrade arbetsvillkor och säkerhet på arbetsplatsen, vilket i sin tur kan skapa en mer inkluderande arbetsmiljö där alla anställda, oavsett kön eller bakgrund, ges lika möjligheter till utveckling och deltagande. Genom att minska miljöpåverkan och främja social rättvisa visar företagen ett etiskt engagemang för hållbar utveckling och samhällsansvar. Genom att fokusera på att skapa positiva effekter för både människor och planeten visar företagen en etiskt ansvarsfull inställning till sina verksamheter.

## 7. Slutsats

Resultatet av experimenten som genomfördes i simuleringsmodellen visar att med högre utjämning av måleriflöden så ökar genomströmning per timma (TH) av produkter i slutmonteringar från 51,27 i timmen till 68,27 i timmen vilket innebär en ökning med ca 30%.

Resultaten från projektet avslöjar en metod för att skapa en simuleringsmodell som ett verktyg för att stödja beslutsfattande och förbättringsprocesser inom företaget. Denna simuleringsmodell grundar sig på Banks (2014) simuleringsprocedure och använder sig av DSR som den övergripande forskningsmetoden för att strukturera hela forskningsprocessen för projektet, där datainsamlingen och modellkonstruktionen utgör grunden för detta arbete. Den strukturerade grunden för projektet, som baseras på ett faktabaserad och systematisk tillvägagångssätt, utformades under litteraturstudier samt datainsamlingsmetoderna som presenterades i kapitel 3 och utgjorde de två första delmålen av projektet.

Det tredje delmålet inkluderar konstruktionen av en simuleringsmodell-prototyp som återspeglar det verkliga systemet, baserat på nulägesanalysen och insamlad data. Detta påbörjades i litteraturstudier som presenterades i kapitel 2, där det bekräftades att simulering är en användbar metod för att undersöka produktionsprocesser. I modelleringsfasen används Plant Simulation som mjukvara. Den första prototypen inkluderade alla komponenter som speglade det fysiska systemet men inte flödet i systemet. Skapandet av produktionsflöden som kunde spegla verkligheten var en av de största utmaningarna under projektet. Genom användning av funktionen "method" i Plant Simulation tillämpades olika kommandon för att kunna spegla verkliga flöden. Detta bidrog till en fördjupad förståelse och tillgänglighet för skapandet av simuleringsmodellen som ett verktyg för att förenkla förståelsen av komplexa system.

Nulägesanalysen använde företagets övervakningssystem för att visualisera materialflöden genom hela produktionen, samt intervjuer med operatörer för att skapa flödesdiagram som presenteras i kapitel 4.2.1. Det största bidraget i datainsamlingen var dokumenterat data i form av CAD-ritningar som företaget bidrog med, vilka användes som grund under modelleringsfasen. I verifierings- och valideringsfasen bidrog företaget med 16 timmars produktionsvolym. Utmaningen var att simulering av denna data under längre tid orsakade instabilitet i modellen på grund av den tillämpade logiken för att skapa dragande flöden i modellen och att företaget bristade i dokumenterad data gällande MTTR (Mean Time To Repair) och MTBF (Mean Time Between Failures), vilka är historiska data av betydelse vid simulering för att återspegla verkligheten. Delmål fyra utfördes i form av att presentera potentiella förbättringar genom analys av simuleringsmodellen för att identifiera begränsningar i form av flaskhalsar, samt genom att effektivisera dessa begränsningar påvisa hur dessa förbättringar påverkade företagets produktivitet och effektivitet. Under analysfasen identifierades skiftande flaskhalsar inom systemet, vilket orsakade att flöden var långsammare genom de tre olika målning flödena samt i torkprocessen för produkt B. Utmaningarna under analysfasen inkluderade att logiken i modellen skapades för dragande flöden, vilket resulterade i alla begränsningar i form av väntan. Genom effektivisering av körordningen samt

ökning av kapaciteten på målnings-, härdnings- och torkningsprocessen kan detta leda till ökad TH-värde samt förbättrad produktivitet och effektivitet för företaget.

Projektet visar på möjligheterna med simuleringsmodeller. De utförda experimenten visar vad modellen kan analysera och bekräftar även resultaten av de observationer som utfördes.

Simuleringsmodeller kan ha en positiv inverkan på miljön genom minskad resursförbrukning, vilket i sin tur påverkar ekonomiska och sociala aspekter. Som tidigare nämnts är det av största vikt att utforma simuleringsmodellen så nära den verkliga produktionen som möjligt för att uppnå etiskt korrekta resultat. Genom att följa denna metod kan företaget skapa en hållbar och ansvarsfull förändringsprocess som främjar både produktivitet och effektivitet, samtidigt som den tar hänsyn till medarbetarnas välbefinnande och organisationens långsiktiga mål.

## 8. Framtida arbete

Projektet presenterade en simuleringsmodell som utformats som en grund för framtida utveckling. För att ytterligare förbättra modellen krävs kompletterande data för samtliga delprocesser. En kontinuerlig insamling av data är nödvändig för att säkerställa att de insamlade data återspeglar de verkliga processerna. Det är av betydelse att dokumentera viktiga parametrar såsom MTTR och MTBF för att öka modellens noggrannhet. För att erhålla korrekta data krävs genomförande av datainsamling utifrån ett statistiskt perspektiv, då simuleringstekniker strävar efter att simulera historiska data över tid. Simuleringsmodellen inkluderar för närvarande indatan från tvåskift-produktionstiderna, men det finns möjlighet att implementera data som representerar längre produktionstider, vilket skulle öka tillförlitligheten på utdatan. Simuleringsmodellen baseras på CAD-ritningen över conveyor-systemet, vilket innebär att modellen kan utvecklas i framtida arbete för att inkludera hela conveyor-systemet. Utvidgning av modellen genom att inkludera fler processer och komponenter skulle ge företaget en mer omfattande och detaljerad bild av produktionssystemet. Detta kan kräva samarbete med olika avdelningar och experter inom företaget för att säkerställa att modellen är så komplett som möjligt.

Det finns möjlighet att etablera mer standardiserade arbetsmetoder på företaget. Under intervjuerna framkom det att måleriet körs manuellt och att operatörerna har ansvar för färgbytet. När mänskliga faktorer involveras i en automatiseringsprocess finns alltid en risk för större variation och avvikelser på grund av olika faktorer såsom individuell skicklighet, erfarenhet, motivation, trötthet och hälsa hos de individer som utför arbetet. Genom att standardisera arbetsinstruktionerna för operatörerna som är ansvariga för färg bytet och körordningen kan detta resultera i en ökad effektivitet vid driftsättningen av måleriet.

## Referenser

- Abdelmegid, M.A. et al. (2020) 'The roles of conceptual modelling in improving construction simulation studies: A comprehensive review', *Advanced Engineering Informatics*, 46, p. N.PAG. doi:10.1016/j.aei.2020.101175.
- Abioye, S. O., Oyedele, L. O., Akanbi, L., Ajayi, A., Delgado, J. M. D., Bilal, M., ... & Ahmed, A. (2021). Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*, 44, 103299.
- Banks, B. 2014. Carteret County, North Carolina final integrated report and environmental impact statement, coastal storm damage reduction : communication from the Assistant Secretary of the Army Civil Works.
- Bellgran, M. and Säfsten, K. (2005) Produktionsutveckling: utveckling och drift av produktionssystem.
- Cimino, C. et al. (2023) 'Efficient Control Representation in Digital Twins: An Imperative Challenge for Declarative Languages'
- Dalpadulo, E., Pini, F. och Leali, F. (2024) "Powder bed fusion integration product and process design for additive manufacturing: a systematic approach driven by simulation", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*
- De Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in Industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106868.
- FN-förbundet: UNA Sweden. *Globala målen för hållbar utveckling*. <https://fn.se/globala-malen-for-hallbar-utveckling/> [2024-05-14]
- Ghaitaranpour, A., Koocheki, A. och Mohebbi, M. (2024) "Simulering av brödbakning med en konceptuell agentbaserad modell: An approach to study the effect of proofing time on baking behavior", *Journal of Food Engineering*
- Goldratt, E. M., & Cox, J. (1993). Målet: en process av ständig förbättring: en roman. [7dagarslån](Rev. uppl.). Svensk byggtjänst
- Gunal, M. Murat. 2019. Simulation for Industry 4.0 : past, present, and future. Springer International Publishing
- Hagberg, L. and Henriksson, T. (2010) Underhåll i världsklass. 1. uppl. OEE Consultants.
- Kikolski, M. 2016. Identification of production bottlenecks with the use of Plant Simulation Software. International Society of Manufacturing Service and Management Engineering. Politechnika Białostocka.

Lai, X., Shui, H., Ding, D., & Ni, J. (2021). Datadriven dynamisk flaskhalsdetektering i komplexa tillverkningsystem. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 662-675.

Lundmark, F. 1994 (2019) 'Arbete och organisation i framtidens digitaliserade industri'. Available at: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?>

MacCrann, N., Becker, M. R., McCullough, J., Amon, A., Gruen, D., Jarvis, M., ... & (DES Collaboration). (2022). Dark Energy Survey Y3 results: blending shear and redshift biases in image simulations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 509(3), 3371-3394.

Mourtzis, D. och Angelopoulos, J. (2020) "En intelligent ram för modellering och simulering av artificiella neurala nätverk (ANN) baserat på förstärkt verklighet", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 111(5/6), s

Ojstersek, R. Acko, B. Buckminster, B. 2020. Simulation study of a flexible manufacturing system regarding sustainability. Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor, Slovenia.

Olhager, J. and Feldmann, A. 1981 (2022) 'Linking plant roles and operations strategy decision-making autonomy in international manufacturing networks', *International Journal of Production Research*

Prasetyo, Y. T., & Veroya, F. C. (2020, April). An Application of Overall Equipment Effectiveness (OEE) for Minimizing the Bottleneck Process in Semiconductor Industry. In *2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)* (pp. 345-349). IEEE.

Smuts, H. et al. (2022) 'Designing' Design Science Research – A Taxonomy for Supporting Study Design Decisions. Cham: Springer International Publishing (Lecture Notes in Computer Science).

Song, X., Feih, S., Zhai, W., Sun, C. N., Li, F., Maiti, R., ... & Korsunsky, A. M. (2020). Advances in additive manufacturing process simulation: Residual stresses and distortion predictions in complex metallic components. *Materials & design*, 193, 108779.

Steffen Bangsow (2020) *Tecnomatix Plant Simulation : Modeling and Programming by Means of Examples*.

Stieber, S. et al. (2023) 'Inferring material properties from FRP processer via sim-to-real learning', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*,

Su, X., Lu, J., Chen, C., Yu, J., & Ji, W. (2022). Dynamisk flaskhalsidentifiering av tillverkningsresurser i komplexa tillverkningsystem. *Applied Sciences*, 12 (9), 4195.  
Subramaniyan, M., Skoogh, A., Muhammad, AS, Bokrantz, J., Johansson, B., & Roser, C.

(2020). En generisk hierarkisk klustringsmetod för att upptäcka flaskhalsar i tillverkningen. *Journal of Manufacturing Systems* , 55 , 143-158.

Säfsten, K. and Gustavsson, M. (2019) *Forskningsmetodik : för ingenjörer och andra problemlösare*.

Tako, A.A. and Robinson, S. (2010) 'Model development in discrete-event simulation and system dynamics: An empirical study of expert modellers', *European Journal of Operational*

# Bilagor

## Bilaga 1: Intervjufrågor

- Vad är måleriets arbetstid, antalet skift och antalet operatörer som arbetar i måleriets varje skift?
- Vad är måleriets produktionskapacitet och hur påverkas det som en delprocess av föregående och efterföljande processer?
- Vilken är företagets produktionsplaneringsprocess och hur prioriteras färgvalen i körplanen?
- Om produktionsplanen slutförs i förväg, avvaktar ni då eller påbörjas nästa körplan?
- Finns det dokumenterad data som är relevant för projektet?
- Finns det dokumentation för oplanerade driftstopp samt antal defekta produkter?
- Finns det en lista över hög- och lågvolymsfärger och deras ordning i måleriet?
- Vilka är de främsta utmaningarna?
- Hur ofta utförs underhåll av maskiner och liknande?
- Vad är målningens cykeltid, takt, omställningstid, takttiden och conveyor hastighet både inne i och utanför målningsboxarna samt ?
- Vilken kapacitet och ordning har buffertarna?
- Hur ofta utförs underhåll av maskiner och liknande?
- Vad ingår i underhållet? Finns det statistik över underhållstider och varaktighet?

## Bilaga 2: Klockstudier

Time	Object							
	Elevator A1	Elevator A2	Chainpusher 1	Chainpusher 2	Chainpusher 3	Aut. Omst. 1	Aut. Omst. 2	Aut. Omst. 3
Avg	39,8	29,7	49,3	54,5	53,7	55,5	54,5	54,3
Time 1	39.9	29.2	46.1	55.7	54	54.1	52.8	54.6
Time 2	39.9	30.2	48.8	57.8	52.4	50.3	55.6	55.5
Time 3	37.9	31.8	46.4	57.3	52.2	56.6	54	55.8
Time 4	38.2	29.9	50.7	52.1	53.4	56.7	52.9	54
Time 5	40.3	31.2	49.4	52.2	53.2	54.2	55.7	55.6
Time 6	39.5	31.6	52.2	53.4	52.7	57.4	55.8	54.4
Time 7	37.4	31.5	46	56.3	52.3	52.6	53.8	54.8
Time 8	40.7	31.4	51.3	57.4	55	54.4	57.1	55
Time 9	39.3	29.7	45.8	57.4	52.7	51.3	53.8	55.2
Time 10	40.2	31.3	46.5	56.1	53	52.8	53.7	55.4
Time 11	40.9	30.3	47.4	57.3	54.3	52.9	52.7	54.5
Time 12	41.4	31.6	49	55	53.5	52.2	57.3	54.1
Time 13	40.5	29.7	47.6	56	54.4	57.7	53.1	54.3
Time 14	38.3	30.4	52.3	54.1	53.1	53.8	57.7	54.8
Time 15	41.8	29.2	48.8	52.1	53.5	57.7	55.1	55.9
Time 16	39.5	30.9	51.8	53.3	53	53.3	55.8	54.4
Time 17	40	31.9	51.2	53.5	53.5	57	58.3	54.7
Time 18	38.6	31.6	50.7	53	54.5	52.8	54.9	54.9
Time 19	37.5	31.9	52.1	56.3	54.6	55.8	53.1	55.7
Time 20	39	29.9	52.4	54	53.2	50.4	56.6	54.3
Time 21	38.2	29.2	51	52.1	54.3	56.9	54	55.7
Time 22	39.2	31.3	49.9	56.8	54.3	51.2	53	54.5
Time 23	39.1	29.6	46.2	57.1	54.6	54.7	54.6	54.3
Time 24	40.2	31.5	49	54.3	52.3	55.5	55.1	54.9
Time 25	38.1	29.6	49.8	54.1	55	51.7	55.5	54.5
Time 26	37.6	30.3	46.7	57.9	53.8	56.6	56.2	55.4
Time 27	38.1	29.9	46.4	56.1	53.8	52.2	53.7	55.9
Time 28	38.8	29.4	49	53.3	53.9	51.3	56.6	55.3
Time 29	39.5	29.5	46.8	54.6	54.3	53.9	55.2	55.7
Time 30	41.4	30.3	50.4	56.1	54.2	50.5	54.4	55.6
Time 31	37.8	31.6	52.5	53.6	53.2	55.5	55.1	55.8
Time 32	39.1	29.8	50	55.1	52.3	57.7	52.5	55.9
Time 33	37.3	29.7	52.2	56.5	53.4	49.7	56.1	55.2
Time 34	40.9	31.4	48.4	55.4	52.6	57.2	57.6	54.5
Time 35	41.6	29.6	50.6	55.5	53.7	57.3	53.2	55.6
Time 36	40.8	30.5	49.9	52.9	53.6	56.6	57	54
Time 37	41.3	29.8	45.8	55.5	54	55.7	56.5	54.2
Time 38	40.8	29.6	49.3	56.7	53.2	54	52.6	54.6
Time 39	41.3	29.3	49.4	55.8	54.3	53.8	57.7	55.6
Time 40	39.4	29.9	51	56.1	52	56.4	57.7	55.7
Time 41	41.7	30.5						
Time 42	37.9	31						
Time 43	41	31.2						
Time 44	37.1	29.1						
Time 45	40.6	29.8						
Time 46	39	29.5						
Time 47	38.7	31.8						
Time 48	38.3	29.5						
Time 49	37.7	29						
Time 50	37.9	29						
Time 51	39.1	31.9						
Time 52	38.9	30.7						
Time 53	40.7	30.2						
Time 54	37.8	29.5						
Time 55	41.5	29.9						
Time 56	41.8	30.8						
Time 57	37.5	31.3						
Time 58	37.8	31.1						
Time 59	38.1	29.5						
Time 60	39.1	31.7						

Rekommenderat antal observationer

Källa: Freivalds & Niebel (2013)

Cykeltid (Min)      Rek. antal. obs.

0,1                      200

0,25                     100

0,5                       60

0,75                     40

1                           30

2-5                       15

10-20                    8

20-40                    5

40+                      3





## Bilaga 5: Valideringsdata

<b>Throughputs</b>				
<b>Object</b>	<b>Unit</b>	<b>Real Data</b>	<b>Model Run Data</b>	<b>Avg. Diff. %</b>
<b>All Paintflows</b>	<b>Avg. Entries / h</b>	<b>51,09</b>	<b>51,05</b>	<b>99,92%</b>
Paintflow 1	Avg. Entries / h	22,14	21,92	99,01%
Paintflow 2	Avg. Entries / h	18,36	18,31	99,73%
Paintflow 3	Avg. Entries / h	10,59	10,82	102,17%
Sink M1-A	Avg. Output / h	13,8	13,8	100,00%
Sink M1-B	Avg. Output / h	8,96	8,96	100,00%
Sink M2-A	Avg. Output / h	10,37	10,37	100,00%
Sink M2-B	Avg. Output / h	7,32	7,21	98,50%
Sink M3-B	Avg. Output / h	2,08	2,08	100,00%
Sink M4-B	Avg. Output / h	8,56	8,56	100,00%
<b>All Sinks</b>	<b>Avg Output / h</b>	<b>51,09</b>	<b>51,38</b>	<b>100,57%</b>
<b>Distrubution of Products A against B</b>				
<b>Object</b>	<b>Unit</b>	<b>Real Data</b>	<b>Model Run Data</b>	<b>Avg. Diff. %</b>
<b>Pre-Paint</b>	<b>Distrubution A/B %</b>	<b>47,29</b>	<b>47,36</b>	<b>100,15%</b>
Paintflow 1	Distrubution A/B %	62,34	61,87	99,25%
Paintflow 2	Distrubution A/B %	50	49,93	99,86%
Paintflow 3	Distrubution A/B %	11,17	13,32	119,25%
Sinks M1	Distrubution A/B %	60,64	60,61	99,95%
Sinks M2	Distrubution A/B %	58,59	58,66	100,12%
Sinks M3	Distrubution A/B %	0	0	100,00%
Sinks M4	Distrubution A/B %	0	0	100,00%
<b>Alla Sinks</b>	<b>Distrubution A/B %</b>	<b>47,29</b>	<b>47,35</b>	<b>100,13%</b>
<b>Distrubution of Paintflows and Assembly Lines</b>				
<b>Object</b>	<b>Unit</b>	<b>Real Data</b>	<b>Model Run Data</b>	<b>Avg. Diff. %</b>
Paintflow 1	Distrubution %	43,33	42,95	99,12%
Paintflow 2	Distrubution %	35,94	36,01	100,19%
Paintflow 3	Distrubution %	20,73	21,05	101,54%
Sinks M1	Distrubution %	44,54	44,53	99,98%
Sinks M2	Distrubution %	34,62	34,71	100,26%
Sinks M3	Distrubution %	4,08	4,19	102,70%
Sinks M4	Distrubution %	16,76	16,58	98,93%

