

Kartläggning av flaskhalsar i ett nytt produktionsflöde genom simulering

En fallstudie genomförd på Duroc Rail AB

Rebecka Olsson

Civilingenjör, Industriell ekonomi
2023

Luleå tekniska universitet
Institutionen för ekonomi, teknik, konst och samhälle

[Denna sida har avsiktligt lämnats tom]

Förord

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete inom utbildningen Civilingenjör inom Industriell Ekonomi med inriktningen Industriell Logistik via Luleå Tekniska Universitet. Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng och är utfört under vårterminen 2023 på företaget Duroc Rail AB i Luleå.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare på Duroc Rail, Daniel Eriksson och även Daniel Berglund, Karolina Fredriksson, Sofia Lind, Ingrid Nilsson som har besvarat mina frågor under arbetets gång. Jag vill även tacka alla operatörer samt arbetsledare som varit behjälpliga under studiens observationer. Vidare vill jag tacka Athanasios Migdalas, min handledare via Luleå Tekniska Universitet samt de opponenter som opponerat på rapporten under kursens gång.

Rebecka Olsson
Luleå, 2023

Sammanfattning

Detta examensarbete är en fallstudie genomförd på Duroc Rail, ett företag i Luleå som underhåller och bearbetar järnvägshjul. Inom de kommande fyra åren ska hela verksamheten byta lokaler till följd av förändringar på industriområdet där företaget är placerat idag. I samband med flytten har en helt ny produktionslayout framställts. Inga beräkningar eller simuleringar av det nya produktionsflödet har vid studietillfället utförts och därför är det svårt att säkerställa hur den nya produktionslayouten kommer att fungera i verkligheten samt vilka flaskhalsar som kan komma att uppstå. Studiens syfte är därför att genom en simulering kartlägga de flaskhalsar som kan komma att uppstå samt undersöka hur dessa kan påverkas och kontrolleras. Studien ämnar därför att besvara följande frågeställningar:

1. Vilka flaskhalsar i Duroc Rails nya layout kan identifieras och hur kan dessa påverkas och kontrolleras?
2. Vad är orsaken till att flaskhalsar uppstår i deras nya produktionslayout?

Genom observationer av produktioner, intervjuer med produktionspersonal och ledning samt tidsstudier på arbetsstationer har den information och data som behövts för att uppnå studiens syfte samlats in. Informationen och datan har använts för att modellera den simulering som studiens resultat är baserat på. Simuleringen är en diskret händelsestyrd simulering skapad i programmet ExtendSim och är modellerad utifrån den nya produktionslayout som framställts av Duroc Rail. Vidare har litteraturstudier som berör ämnet flaskhalsar gjorts för att kunna tolka och analysera det resultat som framställts av simuleringen.

I simuleringen simuleras olika flöden av enheter med olika antal enheter från respektive flöde. Enheterna avser hjulpar i behov av underhåll. Flödena är baserade på hjulparens egenskaper och behov av underhåll. Målbilden i den nya produktionen är att 40 hjulpar ska kunna bearbetas under ett skift och att en viss mängd av respektive hjulpar ska produceras. Mixen av hjulpar med deras respektive flöden utgör grunden för simuleringen. Simuleringen har sedan utförts utifrån tre olika scenarion där olika mängder av hjulpar har simulerats och genererat det resultat som utgör grunden för studiens slutsatser och rekommendationer.

Resultatet visar att det är mixen av produkter, vilket benämns som intagningsrutinen av företaget, som är den främsta orsaken till att flaskhalsar uppstår i den nya produktionslayouten. Flaskhalsar kan då uppstå i olika delar av produktionssystemet beroende på vilken intagningsrutin som följs. Därför rekommenderas Duroc Rail att använda den optimala intagningsrutin som föreslagits i studien samt att implementera ett arbetssätt som säkerställer att intagningsrutinen fungerar. Vidare är det viktigt att bemanningen och buffertstorlekar anpassas och samspelar för att ytterligare säkerställa att intagningsrutinen fungerar.

Abstract

This thesis is a case study conducted at Duroc Rail, a company located in Luleå that maintains and processes railway wheelsets. In the next four years, the entire operation will relocate due to changes in the industrial area where the company is currently located. As part of the relocation a completely new production layout has been developed. No calculations or simulations of the new production flow have been performed at the time of the study, making it difficult to ensure how the new production layout will work in reality and what bottlenecks may arise. Therefore, the purpose of the study is to map out the potential bottlenecks and examine how they can be influenced and controlled through simulation. The study aims to answer the following research questions.

1. Which bottlenecks in Duroc Rail's new layout can be identified, and how can they be affected and controlled?
2. What is the cause of the bottlenecks in their new production layout?

Through observations of the production, interviews with production personnel and management, and time studies at workstations, the information and data needed to achieve the study's purpose have been collected. The information and data have been used to model the simulation on which the study's results are based. The simulation is a discrete event simulation created in ExtendSim program and is modeled based on the new production layout developed by Duroc Rail. Furthermore, a literature study related to the topic of bottlenecks have been conducted to interpret and analyze the results from the simulation.

The simulation simulates different flows of units with varying numbers of units from each flow. The units refer to wheelsets in need of maintenance. The flows are based on the characteristics and maintenance needs of the wheel pairs. The aim in the new production is to maintain 40 wheelsets a shift, with a certain quantity of each kind of wheelset. The mix of wheelsets with their respective flows forms the basis of the simulation. The simulation has then been performed based on three different scenarios where different quantities of wheelsets have been simulated, generating the results that form the basis for the study's conclusions and recommendations.

The results indicate that the mix of products, referred to as the company's intake routine, is the main cause of bottlenecks in the new production layout. Bottlenecks can occur in different parts of the production system depending on the intake routine and its product mix. Therefore, it is recommended that Duroc Rail utilizes the optimal intake routine proposed in the study and implements a working method that ensures the functionality of the intake routine. Furthermore, it is important to adjust and coordinate staffing and buffer sizes to further guarantee the effectiveness of the intake routine.

Terminologi

Hjulpar – Ett komplett järnvägshjul med en axel och två hjulskivor.

Kurantsaldo – Hjulpar som bearbetats och är klara att levereras till kund.

Förkortningar

MTBF – Mean time before failure

MTTR – Mean time to repair

PIA – Produkter i arbete

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	<i>Bakgrund</i>	<i>1</i>
1.2	<i>Problembeskrivning.....</i>	<i>1</i>
1.3	<i>Syfte</i>	<i>2</i>
1.4	<i>Avgränsningar</i>	<i>2</i>
2	Teori	3
2.1	<i>Produktionssystem.....</i>	<i>3</i>
2.2	<i>Flaskhalsar, kösystem och buffertar.....</i>	<i>3</i>
2.3	<i>Metoder för förbättring av produktionsflöden.....</i>	<i>4</i>
2.3.1	<i>Linjebalansering.....</i>	<i>4</i>
2.3.2	<i>Littles formel</i>	<i>4</i>
2.3.3	<i>Theory of Constraints</i>	<i>4</i>
2.4	<i>Produktionsstörningar och brister</i>	<i>5</i>
2.5	<i>Simulering.....</i>	<i>5</i>
3	Metod.....	6
3.1	<i>Undersökningsansats.....</i>	<i>6</i>
3.2	<i>Forskningsansats & Forskningsstrategi.....</i>	<i>6</i>
3.3	<i>Datainsamling</i>	<i>6</i>
3.3.1	<i>Primärdata.....</i>	<i>7</i>
3.3.2	<i>Sekundärdata.....</i>	<i>7</i>
3.4	<i>Simulering.....</i>	<i>7</i>
3.5	<i>Reliabilitet och validitet.....</i>	<i>8</i>
3.5.1	<i>Studiens reliabilitet och validitet</i>	<i>8</i>
3.5.2	<i>Observationernas reliabilitet och validitet.....</i>	<i>8</i>
4	Nulägesbeskrivning	10
4.1	<i>Verksamheten.....</i>	<i>10</i>
4.1.1	<i>Bemannning.....</i>	<i>10</i>
4.2	<i>Produktionen</i>	<i>11</i>
4.2.1	<i>Produktionslinan</i>	<i>12</i>
4.2.2	<i>Intagningsrutin</i>	<i>13</i>
4.2.3	<i>Produktmix</i>	<i>15</i>
4.2.4	<i>Produktionsnivåer och produktionsdata.....</i>	<i>15</i>
4.2.5	<i>Brister</i>	<i>16</i>
4.3	<i>Framtida produktionssystem</i>	<i>16</i>
4.3.1	<i>Målbild.....</i>	<i>16</i>
5	Simulering.....	18
5.1	<i>Simuleringsmodellens grunder</i>	<i>18</i>
5.1.1	<i>Simuleringsscenarion och produktmix</i>	<i>21</i>
5.1.2	<i>Antaganden och avgränsningar.....</i>	<i>21</i>
5.2	<i>Scenario 1</i>	<i>21</i>
5.2.1	<i>Exempel 1</i>	<i>22</i>
5.2.2	<i>Exempel 2</i>	<i>22</i>
5.3	<i>Scenario 2</i>	<i>23</i>

5.3.1	Stickprov 1	24
5.3.2	Stickprov 2	25
5.3.3	Stickprov 3	26
5.3.4	Stickprov 4	26
5.3.5	Stickprov 5	27
5.4	<i>Scenario 3</i>	28
5.4.1	Optimal produktmix	29
5.4.2	Ökning av produktion	30
5.4.3	Förbättring av insyning	30
5.4.4	Expansion påstomning	31
5.4.5	Expansion svarv	32
6	Analys	34
6.1	<i>Scenario 1</i>	34
6.2	<i>Scenario 2</i>	34
6.2.1	Stickprov 1	34
6.2.2	Stickprov 2	35
6.2.3	Stickprov 3	35
6.2.4	Stickprov 4	35
6.2.5	Stickprov 5	36
6.3	<i>Scenario 3</i>	36
6.3.1	Efterfrågan enligt målbild	36
6.3.2	Utökad efterfrågan	36
6.4	<i>Nya produktionslayoutens förutsättningar</i>	37
6.4.1	Bemanning och buffertar	37
6.4.2	Taktid och cykeltid	38
6.4.3	Kartläggning av flaskhalsar	38
6.4.4	Produktmixens påverkan	39
6.4.5	Flexibilitet i produktionen	40
6.5	<i>Jämförelse med befintlig produktion</i>	40
7	Slutsatser och rekommendationer	41
7.1	<i>Slutsatser</i>	41
7.2	<i>Rekommendationer</i>	41
8	Diskussion	43
8.1	<i>Studiens bidragande och generaliserbarhet</i>	43
8.2	<i>Studiens validitet och reliabilitet</i>	43
8.3	<i>Fortsatt arbete</i>	43
9	Referenser	44
	Bilaga 1.1 – Tidsstudie exempel	45
	Bilaga 1.2 - Observation	45
	Bilaga 2 – Nutida produktionslayout	46
	Bilaga 3 – Arbetsstationer	47
	Bilaga 4.1 – Exempel på produktmix enligt intagningsrutin	48
	Bilaga 4.2 – Exempel 2 på produktmix enligt intagningsrutin	49

Bilaga 5 – Stickprov intagningsrutin	50
Bilaga 6 - Stopptider	51
Bilaga 7 – Hjulflöden	52
Bilaga 8: Bemanningsgruppering.....	53
Bilaga 9 – Flödesschema.....	54
Bilaga 10 – Simuleringsmodell	55
Bilaga 11: Exempel 2, buffertstorlek UL 2.....	56
Bilaga 12 – Blockering arbetsstation proppress.....	57
Bilaga 13 - Produktmixar Scenario 3.....	58
Bilaga 14 - Produktmixar Scenario 3.....	59
Bilaga 15 – Ökning av producerade hjulpar per skift.....	60
Bilaga 16 – Exempler ny intagningsrutin.....	61

1 Inledning

I följande avsnitt presenteras bakgrund samt problembeskrivningen av det valda ämnet. Vidare presenteras syftet för studien och slutligen vilka avgränsningar som gjorts.

1.1 Bakgrund

Järnvägshjul utsätts för höga påfrestningar under användning och har höga krav på i vilket skick det måste vara för att tillåtas i bruk. Vid skador och slitage på järnvägshjul av en viss grad måste de specifika hjulparen kopplas av från sina vagnar och underhållas innan de åter kan tas i bruk. Duroc Rail utför komplett underhållsarbete av järnvägshjul till järnvägsföretag i Skandinavien där de underhåller järnvägshjul till över 30 olika kunder.

Järnvägshjulen som underhålls på Duroc Rail är främst från godsvagnar men även personvagnar lok och arbetsmaskiner. Vilket underhållsarbete som utförs påverkas av två huvudsakliga faktorer, vilken hjultyp samt vilken underhållsnivå det är för varje specifikt hjulpar. Hjultypen indikerar vilka verktyg och maskiner som behövs för att utföra underhållsarbetet och underhållsnivån bestämmer vilka arbetsmoment för den specifika hjultypen som inkluderas. Detta leder till att produktionsflödet behöver vara anpassat för en variation av vägar för att kunna tillgodose hjulpar med korrekt underhåll.

Skillnaden i efterfrågan på underhåll av järnvägshjul mellan vinter- och sommarsäsong är mycket hög. Detta på grund av den stora skillnaden i väderförhållanden mellan vinter och sommar i stora delar av Skandinavien. Det hårda vinterklimatet utsätter järnvägshjulen för extrema påfrestningar och behovet av underhåll blir mycket mer frekvent än under sommarsäsongen. Detta leder till att Duroc Rail får ett ansevärt högre inflöde av järnvägshjul på vintersäsongen vilket sätter krav på att produktionen är anpassad för en ökad kapacitet. Under sommarsäsongen underhåller Duroc Rail omkring 50 järnvägshjul i veckan till skillnad från vintersäsongen där de kan underhålla upp emot 400 järnvägshjul i veckan. Den säsongsvarierade efterfrågan gör att arbetstiderna förändras och en högre bemanning krävs. Under sommarsäsongen är produktionen verksam under normal arbetstid måndag till fredag medan den under vintersäsong anpassas till skiftgång med upp till 14 åttatimmarsskift per vecka.

Duroc Rail bedriver sin verksamhet i SSAB:s lokaler på Svartöns Industriområde i Luleå. Till följd av SSAB:s omställning till en fossilfri verksamhet behövs utrymmet där Duroc Rail är placerat till SSAB:s egen verksamhet. Duroc Rail tvingas därav flytta sin verksamhet till helt nya lokaler omkring år 2026. I samband med detta revideras den nuvarande produktionslayouten för Duroc Rails verksamhet för att kunna optimera och effektivisera produktionen.

1.2 Problembeskrivning

Duroc Rails produktion är utformat på ett sätt som gör att hjulpar går på räls genom hela produktionsflödet. Hjulparen bearbetas på en station och åker därefter vidare till nästa station där följande moment genomförs. När deras nuvarande lokal byggdes var den initiala tanken att ett hjulpar alltid ska vara kvar på rälsen och därmed gå igenom samtliga stationer i produktionsflödet som krävs för hjulparets specifika underhållsnivå utan att lyftas av rälsen. Den initiala tanken har inte fungerat eftersom hjulpar inte nödvändigtvis måste bearbetas på samtliga stationer i flödet när hjultypen och underhållsnivån inte kräver det. Detta leder till att hjulpar står på kö till stationer de inte kommer bearbetas på vilket skapar flaskhalsar. Av denna

anledning lyfts hjulparen av rälsen och förflyttas till den station de ska bearbetas på näst. Trots detta minimeras inte flaskhalsarna tillräckligt för att få ett jämnt flöde i produktionen och momentet med att lyfta av hjulparen anses ineffektivt eftersom resurserna är mer nödvändiga till andra moment. Detta är ett problem Duroc Rail vill undvika i den framtida produktionslayouten.

Initiala ritningar för en ny produktionslayout till den nya lokalen har tagits fram av ett externt konsultbolag utifrån önskemål och synpunkter från operatörer i produktionen samt arbetsledare och produktionsplanerare. Inga beräkningar eller simuleringar av det nya produktionsflödet har vid studietillfället utförts och därför är det svårt att säkerställa hur den nya produktionslayouten kommer att fungera i verkligheten och om nutida problem kommer att minimeras eller helt försvinna i den nya produktionslayouten.

1.3 Syfte

Examensarbetets syfte är att utvärdera en ny produktionslayout och kartlägga flaskhalsar samt andra ineffektiva vägar i ett hypotetiskt produktionsflöde. Målet med studien är att ta fram en simulering av det nya produktionsflödet som väl belyser de eventuella ineffektiviteter i form av flaskhalsar som riskerar att uppstå samt rekommendationer på hur dessa kan undvikas. För att uppnå studiens syfte besvaras följande frågeställningar.

1. Vilka flaskhalsar i Duroc Rails nya layout kan identifieras och hur kan dessa påverkas och kontrolleras?
2. Vad är orsaken till att flaskhalsar uppstår i deras nya produktionslayout?

1.4 Avgränsningar

Studien exkluderar den påverkan lokhjul har på produktionsflödet. Lokhjul bearbetas främst i en separat del av produktionen som inte ingår i det ordinarie produktionsflödet. I ett fåtal fall tas lokhjulen in i det ordinarie produktionsflödet för att svarvas. Den mängd lokhjul som tas in i ordinarie produktionsflöde anses inte påverka produktionsflödet ansenligt för att det ska vara värt att inkludera dem i en simulering då det skulle innebära ytterligare komplexitet.

Till följd av studiens tidsbegränsning ansågs det inte genomförbart att utföra tidsstudier på samtliga typer av hjulpar. Hjul typer med avvikande underhåll ansågs utgöra en för liten andel av de totala antalet bearbetade hjul per år och generaliseras därför till en grupp med en generell avvikande cykeltid för vissa arbetsstationer.

Studien exkluderar även att undersöka några få angivna stationers påverkan på produktionsflödet. Detta då dessa stationer ingår i det ordinarie produktionsflödet men bearbetas i ett parallellt flöde och med hög säkerhet kunde anses ha tillräckligt hög kapacitet för att inte påverkar befintliga flaskhalsar eller skapa nya flaskhalsar i ordinarie produktionsflöde.

När den nya produktionslokalen verkställs runt år 2026 går det inte att säkerställa att den bemanning och kompetens som företaget besitter vid studietillfället kvarstår. Till följd av detta samt den komplexitet det innebär att simulera bemanning tas ej den befintliga bemanning och kompetens som finns vid studietillfället i beaktning i simuleringen.

Slutligen tas inte vilken kund som äger vilket hjulpar i beaktning i studien. Detta eftersom studiens syfte kan uppnås utan att inkludera den informationen samt att det medför en ytterligare överflödig komplexitet.

2 Teori

I följande avsnitt presenteras den teori som anses relevant för studien. Inledningsvis beskrivs produktionssystem i sin helhet och hur den kan utformas. Därefter beskrivs flaskhalsar, kösystem och buffertar samt ett antal olika metoder för att förbättra produktionssystem. Avslutningsvis presenteras viktiga aspekter inom simulering.

2.1 Produktionssystem

Det finns två typer av produktionssystem, tryckande och dragande system. Det tryckande systemet baserad på prognoser där produktionen startar innan kunden uttryckt ett faktiskt behov. Det dragande system baseras i stället på kundens faktiska behov där produktionen startar först när kunden efterfrågar det (Krajewski et al., 2013).

Genomloppstiden i ett produktionssystem är den totala tiden det tar att producera en enhet från start till slut. Genomloppstiden påverkas av en rad olika faktorer och påverkar i sin tur sedan andra faktorer i produktionsflödet där produkter i arbete (PIA) är en av dem (Johnson, 2003). Cykeltiden är tiden det tar att producera en enhet på en specifik station och är den tid som påverkar den totala genomloppstiden och i sin tur också antalet PIA (Segerstedt, 2018). I ett perfekt scenario där alla arbetsstationer i ett system har samma cykeltider, blir genomloppstiden summan av samtliga arbetsstationers cykeltider. Taktid är i stället en tid som utgår från efterfrågan och bestämmer i vilken hastighet produktionssystem måste producera enheter för att kunna möta efterfrågan (Krajewski et al., 2013).

2.2 Flaskhalsar, kösystem och buffertar

En flaskhals definieras av att den oftast är den resurs som har systemets lägsta kapacitet. Flaskhalsen går därav att identifiera genom att det är den station som har längst cykeltider eller högst utnyttjandegrad. Segerstedt (2018) beskriver hur stora variationer av cykeltider leder till en ökad genomloppstid. Detta eftersom stationer med en efterföljande station med längre cykeltid blir blockerade och måste invänta att den stationen blir slutförd. Det är denna station, en flaskhals, som bestämmer produktionsflödets totala kapacitet. Därav kan den totala kapaciteten öka i produktionsflödet om variationer minskas. Vidare beskrivs att en flaskhals, om möjligt, ska placeras så tidigt i produktionsflödet som möjligt för att fördelaktigare styra genomsnittligt PIA.

Dimensioneringen av buffertar kan vara en komplex uppgift och Segerstedt (2018) beskriver hur storleken på buffertar ska hållas begränsade där högsta möjliga kapacitet av stationen säkerställs samtidigt som blockering av stationer undviks. För att uppnå hög kapacitet av en station tillägger Modig & Åhlström (2015) att större buffertar innan stationen ofta är nödvändigt för att säkerställa en hög beläggning av stationen. Vidare lägger Segerstedt (2018) stor vikt på förståelsen för att 100% beläggning på en stationen inte nödvändigtvis ger en total ökad total kapacitet i systemet om inte stationen är en flaskhals.

Variationerna i produktionsflödet anses svåra att tillintetgöra och därav är det också svårt att undvika de köer som uppstår i produktionsflödet till följd av dessa. Därav uttrycker Segerstedt (2018) vikten av att det finns prioriteringsregler för hur dessa köer ska hanteras. Följande prioriteringsregler nämns:

- Tidigast färdigdatum för operation:
- Tidigast färdigdatum för ordern
- Först in-först ut (FIFO)

- Kortast operationstid först
- Minsta orderslack
- Operationer med samma verktyg först
- Tidigaste färdigdatum för nästkommande operation

2.3 Metoder för förbättring av produktionsflöden

Nedan presenteras ett antal olika metoder som används för att på olika sätt förbättra produktionsflöden.

2.3.1 Linjebalansering

Linjebalansering är en metod för att jämna ut variationer i cykeltid mellan olika stationer i en linjebaserad produktion och går att utföra enligt två följande tillvägagångssätt.

- Minimera cykeltiden för ett bestämt antal arbetsstationer
- Minimera antalet arbetsstationer för en bestämd cykeltid

Ytterligare restriktioner är även viktiga att ha i beaktning vid linjebalansering. Omfattningen för vissa stationer är av den grad att de måste spridas på flera stationer, mer än en person kan krävas för att utföra arbetet på stationer, vissa moment är begränsade till en specifik station och slutligen kan lagerutrymmet vara begränsat vid stationen (Segerstedt, 2018).

2.3.2 Littles formel

Littles formel skapar ett samband mellan antal enheter i ett kösystem till enheternas ankomsthastighet och dess väntetid (Little, 1961). Formeln skriv enligt nedan:

$$L = \lambda W \quad (1)$$

Där L är genomsnittligt PIA, W är den genomsnittliga genomloppstiden för en enhet i systemet och λ är genomsnittliga antalet enheter som anländer till systemet per bestämd tidsperiod. I Littles formel är det viktigt att ta hänsyn till eventuella underhållsarbeten eller stopp som kan påverka PIA och därav använda sig av glidande medelvärden på en längre period för att jämna ut dess påverkan på PIA (Segerstedt, 2018).

2.3.3 Theory of Constraints

Theory of Constraints är ett systematisk styrningsätt med fokus på att hantera begränsningar i en organisation som hindrar dem från att maximera sin vinst och effektivt utnyttja sina resurser (Krajewski et al., 2013). Syftet med TOC är enligt Pegels & Watrous (2005) att finna produktionssystemets svagaste länk, dess flaskhals, och förbättra den till dess att den inte längre utgör en flaskhals. När flaskhalsen är eliminerad kommer det oundvikligt att uppstå en flaskhals i en annan del av systemet, men med lägre påverkan än den som precis eliminerats. Huvudprincipen bakom TOC är att kapaciteten för flaskhalsarna i ett system ska maximeras. För att göra detta behövs och förståelsen för de sju nyckelprinciper beskrivna nedan av Krajewski et al. (2013).

1. Fokusera på att balansera flöden i stället för att balansera kapacitet.
2. En maximering av produktion för varje resurs behöver inte leda till en maximering av hela systemets produktion

3. En timme förlorad vid en flaskhals eller en begränsad resurs är en timme förlorad för hela systemet. Däremot om en timme sparas vid en resurs utan flaskhals ger det ingen påverkan på systemets helhet.
4. Buffertar är viktigast framför flaskhalsar för att förhindra dem från att stå utan arbete. Buffertar vid andra stationer bör undvikas om möjligt.
5. Flaskhalsarna ska styra produktioner och bör ha så lika kapacitet som möjligt kopplat till efterfrågan på produktionen.
6. Utnyttjandet av en resurs utan flaskhals kan aldrig öka prestandan av ett system.
7. Total genomströmning, lager och driftkostnader är aspekter som måste tas i beaktning vid varje kapitalinvestering.

2.4 Produktionsstörningar och brister

Enligt Segerstedt (2018) finns det ett flertal olika orsaker till störningar i ett produktionssystem. Det kan bland annat vara ett förändrat kundbehov, förseningar från underleverantörer, oväntad frånvaro av viktig personal, maskinfel, felaktigt uppskattade bearbetningstider.

Det är viktigt att i ett produktionssystem skilja på vilken typ av brister som uppstår. Bellgran och Säfsten (2005) beskriver att det finns brister på två olika nivåer, maskinnivå och systemnivå. Maskinnivå definieras av brister i enskilda utrustningar och verktyg och systemnivå definieras av brister i systemets principer i helhet.

2.5 Simulering

Simulering är en imitation av ett verkligt system där diskret händelsesimulering är en metod för att simulera kösystem. Systemet representeras av enheter som går från en aktivitet till en annan och när maxkapaciteten för respektive aktivitet är uppnådd läggs kommande enheterna på kö tills den aktiviteten har bearbetat klart pågående enheter Robinson (2014).

Fördelarna med att använda simulering kan ses i de kostnadsbesparingarna som görs jämfört med verklig experimentering. En simulering har ingen påverkan på det verkliga systemet och tester kan därför utföras utan att göra kostsamma uppehåll i det verkliga systemet samt att misslyckade förändringar som skulle bli mycket kostsamma för det verkliga systemet inte får någon negativ inverkan (Robinson, 2014; Pekarcikova et al., 2021).

Vidare benämner Robinson (2014) tidsaspekten som en av fördelarna där det kan ta lång tid att se förändringarna i det verkliga systemet medan det i en simulering går att se inom ett mer realistiskt tidsspänn. En ytterligare fördel som benämns är förmågan att kontrollera omständigheterna i en simulering där en händelse med låg frekvens kan testas om och om igen till skillnad från i verkligheten där den sällan inträffar. Slutligen beskrivs fördelen med simulering när det verkliga systemet ännu inte existerar.

Utöver fördelarna benämns även de nackdelar som förekommer med simulering. Simuleringsprogramvaror kan vara mycket dyra och behöver konsulter anställas för att utföra simuleringen tillkommer kostnader för det. Simulering är också tidskrävande vilket i kombination med de kostnader som tillkommer för någon att genomföra simuleringen blir en nackdel. Vidare kräver majoriteten av simuleringar en större mängd data som inte alltid kan tillhandahållas direkt utan att först omvandlas till data lämplig för simulering. Utöver det kräver simulering också en viss expertis för att genomföra, både det förberedande arbetet samt simuleringen. Slutligen menar Robinson (2014) på att det är en risk att förlita sig för mycket på en simulering och det är viktigt att en förståelse för att vissa avvikelser mot verkligheten kan förekomma.

3 Metod

I följande avsnitt presenteras det valda tillvägagångssättet genom studien för att kunna uppnå syftet samt besvara dess frågeställningar.

3.1 Undersökningsansats

Studien följde en deskriptiv karaktär i kombination med en explorativ karaktär. En deskriptiv studie ämnar ge en korrekt förklaring av en händelse eller en situation innan dess att information samlas in om den specifika situationen. En explorativ studie ger en djupare förståelse av ett specifikt problem som ursprungsvis inte går att förutse orsaken till. Till följd av detta är en explorativ studie flexibel och anpassningsbar för förändringar (Saunders et al., 2012). Flexibiliteten gör att den teoretiska referensramen kan anpassas efterhand som empiri samlas in (David & Sutton, 2011).

Syftet med studien var att kartlägga flaskhalsar och ineffektiviteter i ett nytt produktionsflöde hos Duroc Rail. För att uppnå detta gjordes först observationer, ostrukturerade intervjuer samt en nulägesanalys för att få en förklaring av nuläget. Därefter utfördes ytterligare observationer för att kunna genomföra en simulering där flaskhalsar och andra ineffektiviteter kartlades. Detta analyserades sedan mot de litteraturstudier som gjorts på ämnet samt nulägesanalysen för att slutligen kunna ge svar på studiens frågeställningar. Av denna anledning är studien både deskriptiv och explorativ. Den deskriptiva karaktären kommer ifrån den nulägesanalys som först utfördes för att få en korrekt förklaring av situationen. Vidare är studien explorativ då den initialt hade ett brett fokusområde på samtliga delar av produktionsflödet för att avslutningsvis smalnades av och fokusera på de delar som kartlades som flaskhalsar.

3.2 Forskningsansats & Forskningsstrategi

För att undersöka hur Duroc Rail ska minimera ineffektiva moment och flaskhalsar i sin nya produktionslayout tillämpades en abduktiv ansats. Den abduktiv ansatsen är en kombination av den induktiva och den deduktiva ansatsen där insamlad data och befintlig teori inte behöver utföras i en specifik ordning utan växelvis kan införskaffas (Saunders et al., 2012). Detta passade studiens syfte eftersom det till viss del behövdes en förståelse över produktionsflödet innan dess att det gick att veta exakt vilka litteraturstudier som behövdes göras för att stämma överens med den insamlade datan. Detta samtidigt som vissa litteraturstudier behövdes göras innan dess att data samlades in för att kunna få en bättre förståelse över vilken data som är relevant. Därav var en abduktiv ansats väl lämpad för studien.

En fallstudie definieras som en djupgående studie av en verklig händelse. Vidare har fallstudiestrategin förmågan att ge svar på hur, vad och varför händelser ter sig på ett visst sätt (Saunders et al., 2012). Strategin kan endast implementeras på ett specifikt fall där studiens inte är av jämförande karaktär mot andra fall (David & Sutton, 2011). Då denna studie genomfördes på Duroc Rail där en specifik verklig händelse studerades lämpade sig fallstudiestrategin för att tillgodogöra studiens syfte.

3.3 Datainsamling

Datainsamlingen för studien har genomförts på fyra olika sätt. Genom litteraturstudier, observationer, ostrukturerade intervjuer samt tillhandahållning av dokument från fallstudieföretaget.

3.3.1 Primärdata

Primärdatan i studien bestod av flertalet observationer av produktionen på fallstudieföretaget samt ostrukturerade intervjuer med anställda på fallstudieföretaget. Observationerna var av dels kvantitativ karaktär då cykeltider för de olika stationerna samlades in såväl som av kvalitativ karaktär. De kvalitativa observationerna genomfördes dels i samband med tidsstudien men också som fristående observationer. I samband med tidsstudien genomfördes observationer på respektive tidtagen station i produktionsflödet för att observera vilket arbete som utfördes på respektive station, se bilaga 1.1. Den typ av observation som utfördes beskrivs av Saunders et al. (2012) som en deltagande observatör men med ett mycket lågt deltagande. Deltagande observation innebär att personen eller personerna som observeras är medvetna om att det blir observerade och varför de blir det. Vid samtliga observationstillfällen var observatörens deltagandet begränsat till endast konversation med aktuell operatör och inget arbete utfördes av observatören. Syftet med de kvalitativa observationerna var att få en övergripande förståelse över hur verksamheten samt hur produktionsflödet fungerar på företaget. De ostrukturerade intervjuerna användes sedan tillsammans med observationerna för att skapa en djupare förståelse över verksamheten och produktionsflödet.

3.3.1.1 Tidsstudie

Vid insamlingen av cykeltider på samtliga stationer genomfördes först en ostrukturerad intervju med operatören för att få en förståelse över arbetet som genomförs på stationen. Operatören fick också en förklaring på varför tidsstudien skulle genomföras och hur genomförandet skulle utföras. Därefter startades tidsstudien där tiden togs från att bearbetningen av en enhet påbörjas på stationen tills det att den var klar och nästa enhet påbörjas. Observatören var inte på något sätt deltagande i processen som utfördes vid tidsstudien, detta för att inte störa och skapa fel i tidtagningen. Tidsstudier upprepades sedan på ett bestämt antal enheter för att erhålla ett medelvärde på cykeltiden för respektive station. Tiden, vilken hjultyp och underhållstyp samt vilket arbete som utfördes noterades för samtliga stationer, se bilaga 1.2 för ett exempel.

På grund av studiens tidsbegränsning kunde inte allt för många tidtagningar per station göras. Antalet tidtagna enheter per station bestämdes därför i samråd med erfaren operatör och produktionsansvarig för att avgöra ett lämpligt antal. Vid stora variationer i cykeltid för olika hjul typer på en station genomfördes fler tidtagningar för att omfatta samtliga möjliga tider. Vid en låg variationen mellan olika hjul typer genomfördes färre tidtagningar. Antalet tidtagna hjul varierade beroende på stationens komplexitet och tidsvariation mellan olika enheter. Stationer med stor variation per enhet krävde ett större antal mätvärden. Antalet tidtagna enheter per station varierade från tre enheter upp till nio per station.

3.3.2 Sekundärdata

Den sekundärdata som samlats in i studien har bestått av de litteraturstudier som genomförts men också av data som tillhandahållits av fallstudieföretaget i form av dokument och ritningar. Vid de litteraturstudier som gjorts har Google Scholar och Scopus nyttjas där bland annat följande sökord användes; *Bottleneck*, *Discrete Manufacturing*, *Production Planning*.

3.4 Simulering

Den diskreta händelsestyrda simulering som genomförts i studien baserades på den produktionslayout som sammanställt för en ny produktionslokal där programvaran ExtendSim använts. För studie ansågs en simulering vara den mest lämpade metoden för att utvärdera och kartlägga flaskhalsar av den främsta anledningen att systemet som ska simuleras inte existerade i verkligheten. Det befintliga systemet gick inte heller att anpassa för att det skulle vara möjligt att utföra tester. Produktionen var också mycket hårt ansträngd under studietillfället till följd av

vintersäsongen och tillfälliga stop för att utföra tester hade inte varit lämpligt. Vidare påverkas studien inte av kostnaden för en simuleringsprogramvara då programvaran tillhandahållits gratis för studien.

När kartläggning av flaskhalsar görs i simuleringen följs tillvägagångssättet enligt TOC som beskrivs enligt nedan av Krajewski et al. (2013). Följande praktiska steg implementeras vid appliceringen av TOC.

1. *Identifiering av flaskhalsar*: Identifiering av den resurs/station som begränsar företagets möjlighet att möta efterfrågan.
2. *Exploatering av flaskhalsar*: Skapa en planering som maximerar flödet genom flaskhalsen samt säkerställa rätt förutsättningar för de enheter som ska bearbetas i flaskhalsen.
3. *Underordna alla andra beslut till steg 2*: Resurser utan flaskhals ska planeras för att stödja flödet genom flaskhalsen. Detta genom att inte producera vare sig mer eller mindre än vad flaskhalsen kan hantera
4. *Förbättra flaskhalsen*: När steg 1–3 är genomförda och flaskhalsen fortfarande är en begränsning i flödet, bör förändringar genomföras för att öka kapaciteten. Kapaciteten kan exempelvis ökas genom ökad bemanning eller en utökning av resursen.
5. *Skifte av begränsningar*: När steg 1–4 är genomförda kan flaskhalsen i systemet komma att ändras. I ett sådan läge måste den praktiska tillämpningen av steg 1–4 upprepas för att identifiera och hantera nya flaskhalsar och begränsningar.

3.5 Reliabilitet och validitet

Validiteten beskriver hur väl en studie avspeglar verkligheten och kan delas in i extern och intern validitet (David & Sutton, 2011). Då extern validitet beskrivs som studiens generaliserbarhet på ett större urval och tillämpbarhet på andra miljöer anses inte extern validitet vara relevant för studien då studien syftar att undersöka ett specifikt fall som inte i helhet går att generalisera på andra organisationer. Däremot är intern validitet som beskrivs som förmågan att mäta och representera verkligheten relevant för studien. En studies reliabilitet syftar i stället till i den grad studien kan upprepas vid ett annat tillfälle med ett oförändrat resultat (David & Sutton, 2011).

3.5.1 Studiens reliabilitet och validitet

Validiteten genom hela studien stärktes genom kontinuerlig kontakt med kunnig personal inom det aktuella området. Simuleringsmodellen har även presenterats för en projektgrupp ansvariga för den nya produktionen som godkänt modellen och validerat att dess uppbyggnad och resultat är verklighetstroget. Både validiteten och reliabiliteten har stärkts genom att den datainsamling som gjorts kontrollerats av ansvarig handledare på fallstudieföretaget. Vidare har också all insamlad data i form av observationer och intervjuer dokumenterats. Flertalet observationer har också genomförts upprepade gånger för att stärka studiens reliabilitet och validitet.

3.5.2 Observationernas reliabilitet och validitet

Vid observationer kan det vara svårt att uppnå en hög validitet och reliabilitet eftersom observatören ofta antingen har för mycket eller för lite kunskap om den situation som ska observeras och kan leda till observatörsfel, observatörsbias och observatörseffekt (Saunders et al., 2012). För att öka validiteten vid de observationerna skapades alltid en förståelse för den observerade stationen genom en ostrukturerad intervju med erfaren operatör innan observationen. Eftersom observationerna främst syftade på att ge en bild av vilket arbetet som utförs och inte hur operatören utför arbetet ansågs det inte finnas någon större risk för

observatören att göra objektiva bedömningar och på så sätt riskera bias i validiteten vid observation. Däremot kunde validiteten anses influeras av risken för observatörens påverkan på operatörens arbete vid observation. För att minimera denna risk gavs en förklaring till operatörerna om varför observationen skulle göras och att det inte på något sätt läggs något värdering i hur arbetet utförs. Risken minimerades också enligt Saunders et al. (2012) genom att observatören om möjligt placerade sig på ett sådant sätt att operatören inte skulle märka av observatören ansenligt.

Det är svårt att skapa hög reliabilitet för observationer då den situation som observeras kan vara svår att upprepa på exakt samma vis vid en annan tid (Saunders et al., 2012). Observationerna som utfördes i studien är gjorda på arbetsstationer i en produktion där samma arbetsmoment ska utföras oavsett när i tiden det tas. En specifik hjultyp kräver alltid samma typ av arbete oavsett när i tiden det görs och är reglerat av flertalet standarder och krav. Detta innebär att arbetsmomentet i sig inte kan skilja sig avsevärt vid olika observationstillfällen. Till följd av detta och observationernas syfte anses reliabiliteten stark. Det enda som kan skilja sig är av vem arbetet utförs, genom att olika operatörer kan utföra samma arbete på olika lång tid. För att stärka reliabiliteten i detta beräknades därför en standardavvikelse för respektive station för de tidsstudier som gjordes.

4 Nulägesbeskrivning

I följande avsnitt presenteras den information och data som samlats in på fallstudieföretaget. Inledningsvis beskrivs hur verksamheten och produktionen ser ut i dagsläget för att avslutningsvis beskriva framtidsplanen. Avsnittet syftar till att skapa en djupare förståelse för företaget och således en förståelse för de forskningsfrågor som studien ämnar besvara.

4.1 Verksamheten

Efterfrågan på bearbetning av hjulpar skapas vid slitage och skador på hjulen som oundvikligt uppstår när de är i bruk. Duroc Rails produktion är därmed orderstyrd och styrs direkt av kundernas efterfrågan. Mer specifikt produceras artiklar mot ett kurantsaldo där kunder prioriteras utifrån dess leveransnivå. Ett hjulpar benämns kurant när underhåll är genomfört och hjulparet är redo för leverans tillbaka till kund.

Stora avtalskunder har bestämda leveransnivåer med krav på hur många hjulpar som ska bearbetas under en viss period. Mindre avtalskunder har i stället bestämda ledtider. Detta beror i regel på att stora avtalskunder har stora mängder hjulpar i sin hjulpool och därmed inte är lika utsatta när hjulpar är i behov av underhåll då det har större mängd kuranta hjul till godo. Mindre avtalskunder med mindre hjulpooler är i stället mer utsatta när hjulpar är i behov av underhåll då de har färre kuranta hjulpar, därav är de mer beroende av leveranstiden än större avtalskunder.

Variationen på efterfrågan av bearbetning av hjulpar är stor mellan vinter och sommar. Påfrestningen på hjulpar blir större vid kalla temperaturer och snöunderlag, slitage uppstår därför med högre frekvens på vintern. Detta i samband med vilken typ av trafik hjulparet används i gör att variationen på hur frekvent ett hjul kräver underhåll kan variera från några veckor upp till tiotalet år. Till följd av detta delas verksamhetsåret in i två säsonger, vintersäsong med en högre efterfrågan och sommarsäsong med en lägre efterfrågan.

4.1.1 Bemanning

Bemanningen i produktionen varierar utifrån flertalet olika parametrar. På helhetsnivå varierar bemanning beroende på efterfrågan och bestämmer hur många operatörer som totalt ska arbeta i produktionen per skift. På arbetsstationsnivå ser bemanning olika ut från arbetsstation till arbetsstation i det avseende att olika antal operatörer krävs för olika arbetsstationer. Variationen i arbetsmoment och grad av automatisering på arbetsstationerna i produktionen ställer också krav på rätt kompetens för rätt arbetsstation och påverkar i sin tur bemanningen. Samtliga arbetsstationer i produktionen är inte konstant bemannade under ett skift, utan operatörer kan skifta mellan att jobba på olika stationer. Bearbetningen på arbetsstationen står då antingen still eller sköts automatiskt av maskinen på arbetsstationen. I det senare scenariot kan arbete delvis utföras parallellt mellan olika stationer, detta till följd av graden av automatisering på stationerna. Arbetsstationer i produktionen som kan utnyttjas utan att en operatör konstant övervakar eller samtidigt gör annat arbete på stationen är, påstomningen, bläster, borstning och målning med robot.

Under sommarsäsongen är produktionen bemannad med ett åttatimmarsskift dagtid, måndag till fredag. Under vintersäsongen kan produktionen bemannas på två olika sätt utifrån hur hög efterfrågan är. Den första bemanningstypen är två-skift, med två åttatimmarsskift per dag, ett på förmiddagen och ett på eftermiddagen, vilket ger tio skift per vecka. Vid mycket hög efterfrågan appliceras tre-skift där fyra nattskift per vecka läggs till i två-skiftsmodellen. Detta innebär att det vid tre-skift är det 14 skift per vecka.

4.2 Produktionen

Duroc Rail är en underhållsproduktion vilket innebär att inga nya enheter tillverkas i produktionen. I regel är det samma ingående enheter som kommer in i produktionen som sedan lämnar produktionen. Produktionen består av två delar, en funktionell verkstad där lokhjul och hjulpar med särskilda behov bearbetas samt en ordinarie produktionslina, se bilaga 2. Det är i den ordinarie produktionslinan som majoriteten av samtliga hjulpar bearbetas. De enheter som kommer in i produktionslinan är hjulpar av olika typer som ska bearbetas på olika nivåer. Dessa nivåer benämns underhållsnivåer och bestämmer vilken typ av bearbetning som ska utföras på det specifika hjulparet. Utifrån underhållsnivå kan hjulparet under bearbetningens gång komma att delas upp i olika komponenter för att bearbetas vid sidan av eller bytas ut och sedan åter monteras till en enhet igen. De olika underhållsnivåerna presenteras i tabell 1 nedan. Det är utifrån dessa underhållsnivåer hjulparens flöde i produktionslinan avgörs. Förenklat innebär IS1 att hjulskivorna på hjulparet svarvas och IS2 är en utökning av IS1 där hjulskivorna svarvas men även hjullagerundersöks och kontrolleras på olika sätt. IL innebär endast en hjullagerundersökning och slutligen innebär IS3 att hjulparet får helt nya hjulskivor. IL utförs ofta i samband med IS1 och det innebär att IS1 + IL förenklat ska genomgå samma underhåll som IS2. Därför kan IL grupperas med IS2 eftersom de har samma flöde.

Tabell 1: Underhållsnivåer

Underhållsnivå
IL
IS1
IS2
IS3

Det är även hjulparets hjultyp som avgör bearbetningsgraden och då i sin tur vilket flöde hjulparet följer. Det finns tre huvudsakliga hjultyper, cylindriska, gula och TBU. De cylindriska hjulparen definieras av att de har en cylindrisk hjullagertyp. Även de gula hjulparen har en cylindrisk hjullagertyp men målas gula, därav benämningen gula hjulpar. Hjulparen som benämns TBU definieras av att de har en hjullagertyp av typen TBU. Utifrån underhållsnivå, hjultyp och några ytterligare parametrarna skapas totalt 17 möjliga flöden i produktionslinan. Av de totala antalet möjliga flöden anses nio relevanta för studien. Dessa representerar 92% av de totala antalet hjulpar i produktionen. De resterande åtta flödena som motsvarar 8% är hjulpar med udda hjultyper eller avvikande underhåll som ger längre cykeltider på arbetsstationerna, rivning och montering. Dessa flöden av hjulpar kan förenklas och delas upp i två flöden med olika underhållstyper där 4% är av underhållstyp IS2 och 4% av underhållstyp IS3. Samtliga flöden presenteras i tabell 2. De möjliga hjulflödena är detsamma i den befintliga produktionslayouten som i den nya produktionslayouten.

Tabell 2: Hjulflöden

	Hjulflöden	Frekvens
1	IS1 Cyl	15%
2	IS2 Cyl + IL	11%
3	IS3 Cyl	13%
4	IS1 TBU	14%
5	IS2 TBU	5%
6	IS3 TBU	10%
7	IS1 Gula	17%
8	IS2 Gula + IL	5%
9	IS3 Gula	3%
10	Avvikelse IS2	4%
11	Avvikelse IS3	4%
	SUMMA	100%

4.2.1 Produktionslinan

Produktionslinan har en rak layout bestående av två parallella linor med omkring 40 olika arbetsstationer, se bilaga 2. Av de totala antalet stationer är det 21 som tas i beaktning i denna studie, se bilaga 3. Arbetsstationerna består av olika arbetsmoment anpassade för den bearbetning som ska utföras på stationen och har alla olika grad av automatisering. På grund av att alla arbetsstationer är anpassade efter hjulflödena och att linorna är parallella, bearbetas och passerar inte samtliga hjulpar alla stationer. De arbetsstationer som har längst cykeltid är i följande ordning, MT, Påstomning, Svarvarna, UL1, Axelslip TBU och TBU-montering.

I vissa arbetsstationer är det endast möjligt att bearbeta vissa typer av hjulpar. Exempel på dessa är rivningen, axelslipen och monteringen. Där bearbetas hjul utefter vilken lagertyp de har. Är det ett hjulpar med cylindrisk lagertyp, cylindriska eller gula hjulpar, bearbetas de på stationer med benämningen cylindriska. Är hjulparen i stället av typen TBU bearbetas de på arbetsstationen med benämningen TBU. Hjulpar med avvikande underhåll följer samma flöde som hjulparen av typ TBU och går därmed igenom samma stationer. Det är dock inte samma bearbetning som utförs, utan det anpassas efter den avvikande hjultypen.

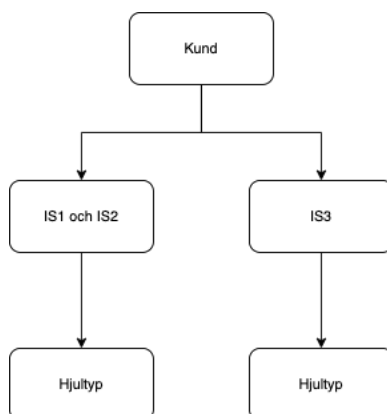
I vissa arbetsstationer är det praktiskt möjligt att bearbeta samtliga hjulpar men det görs inte till följd av krav och standarder från kund. Arbetsstationer som påverkas av detta är svarvarna, blästern och borstningen. I tabell 4 visas de arbetsstationer som respektive hjultyp har möjlighet att bearbetas vid. Gula hjul svarvas mest fördelaktigt i Hoeschen men det kan vid behov också svarvas i PN190. Hjulpar av typen IS2 TBU passerar borstningen i sitt flöde men borstas ej utan rullas endast igenom stationen.

Tabell 4: Arbetsstationer hjulflöden

	Samtliga hjulflöden	Svarv	Borstning/Bläster
1	IS1 Cyl	PN190	-
2	IS2 CYL + IL	PN190	Bläster
3	IS3 Cyl	-	Bläster
4	IS1 TBU	Hoesch	-
5	IS2 TBU	Hoesch	(Borstning)
6	IS3 TBU	Hoesch	Borstning
7	IS1 Gula	Hoesch/(PN190)	-
8	IS2 Gula + IL Gula	Hoesch/(PN190)	Bläster
9	IS3 Gula	-	Bläster
10	IS2 Avvikelser	Hoesch	Bläster
11	IS3 Avvikelser	-	Bläster

4.2.2 Intagningsrutin

När hjulpar ankommer till Duroc Rail placeras de utomhus på hjulgården. Till största del organiseras hjulparen där efter vilken kund de tillhör och är sedan i respektive kundgrupp sorterade utifrån om de är ett hjulpar med underhållsnivå IS1 och IS2 eller om det är ett IS3 hjul. Slutligen sorteras de efter vilken hjultyp de är, se figur 1.



Figur 1: Organiseringsnivåer hjulgård

Produktionslinan startar med att hjulpar tas in med hjullastare utifrån hjulgården för temperering till rumstemperatur i en stor box. I boxen ryms omkring 13 hjul och den fylls på när boxen är till hälften tom. Hjullastaren klarar av att lyfta två hjulpar åt gången. Vilka hjulpar som tas in i produktionen bestäms utifrån en intagningsrutin som baseras på vilken kund hjulparet tillhör samt vilken underhållsnivå och hjultyp hjulparet har. I beaktning i intagningsrutinen tas även vilka befintliga hjulpar som finns i produktion, bemanning och status på maskiner. Är en maskin på en station trasig eller har ett inplanerat längre underhåll anpassas intagningsrutinen efter detta. Intagningsrutinen ser också olika ut beroende på om det är vintersäsong eller sommarsäsong.

Under sommarsäsong är intagningsrutinen baserad på att hjulpar tas in i batcher med en hjultyp om tre till fyra hjulpar. Batcherna ska sedan fördelas så att av de totala antal hjulpar som tas in ska 50% vara hjulpar med cylindrisk lagertyp och 50% av hjulpar med lagertyp TBU, de hjulpar som benämns som "Gula" eller hjulpar med avvikelser. I batcherna eftersträvas att cirka vart tredje hjulpar är ett hjulpar med underhållsnivå IS3 och resterande två tredjedelar är ett hjulpar

med underhållsnivå IS1 eller IS2. Exempelvis innebär det att en batch består av tre hjulpar med cylindrisk lagertyp, av dessa hjulpar är ett hjulpar av underhållsnivå och resterande IS1 eller IS2. Tabell 5 visar på totala andelen av respektive hjulpar i sommarsäsongens intagningsrutin.

Tabell 5: *Intagningsrutin sommarsäsong.*

Intagningsrutin sommar			
Cyl		TBU/Gula	
50%		50%	
IS1/IS2	IS3	IS1/IS2	IS3
33%	17%	33%	17%

Vid vintersäsong förblir storleken på batcherna detsamma men andelen hjulpar av respektive hjulpar förändras. Det innebär att batcherna fortsätter ha en storlek på omkring tre till fyra hjulpar och består av en hjulpar. På vintersäsongen fördelas de totala antalet hjulpar som tas in på två olika produktionslinjer. Produktionslinje ett delas upp i två hjulpar där 70% av hjulparen vara gula hjul och 30% ska vara TBU. Produktionslinje två består av hjulpar med cylindrisk lagertyp där 70% eftersträvas att vara hjulpar från en specifik leverantör och 30% resterande hjulpar med cylindrisk lagertyp. Samtliga batcher oavsett hjulpar eftersträvas att bestå av vart femte hjulpar av underhållsnivå IS3 och resterande IS1 eller IS2. Tabell 6 visar på den totala andelen av respektive hjulpar i vintersäsongens intagningsrutin.

Tabell 6: *Intagningsrutin vintersäsong*

Intagningsrutin vinter							
Produktionslinje 1				Produktionslinje 2			
50%				50%			
Gula		TBU		Kundspecifik cylindriska		Övriga cylindriska	
35%		15%		38%		13%	
IS1/IS2	IS3	IS1/IS2	IS3	IS1/IS2	IS3	IS1/IS2	IS3
28%	7%	12%	3%	30%	8%	10%	3%

Innan ett hjulparet tas in i produktionslinan går det inte att urskilja underhållsnivåerna IS1 och IS2 från varandra, men eftersträvan är att de ska tas in lika andel av båda underhållsnivåerna oavsett säsong. Det är vid första stationen i produktionslinan, insyningen, som sedan fullständig information om vilken underhållsnivå och bearbetningsgrad hjulparet kräver ges. Det är sedan efter insyningen som produktionslinan delas upp i två parallella linor med olika arbetsstationer. Därför går det endast att definiera åtta olika hjulflöden innan insyning i stället för de elva som går att identifiera efter insyningen, se tabell 7.

Tabell 7: Hjulflöden

	Innan insyning		Efter insyning
1	IS1 & IS2 + IL Cyl	1	IS1 Cyl
		2	IS2 CYL + IL
2	IS3 Cyl	3	IS3 Cyl
3	IS1 & IS2 TBU	4	IS1 TBU
		5	IS2 TBU
4	IS3 TBU	6	IS3 TBU
5	IS1 & IS2 + IL Gula	7	IS1 Gula
		8	IS2 + IL Gula
6	IS3 Gula	9	IS3 Gula
7	IS2 Avvikelse	10	IS2 Avvikelse
8	IS3 Avvikelse	11	IS3 Avvikelse

4.2.3 Produktmix

Intagningsrutinen gör att det per skift tas in olika kombinationer och ordningsföljd av hjulpar. I bilaga 4.1 och 4.2 finns exempel på hur en produktmix för ett skift kan se ut enligt intagningsrutinen. Ordningsföljden i intagningsrutinen är inte konstant utan bestäms och anpassas vid planeringstillfället utefter de ordernivåer av kuranta hjulpar som finns samt utefter den fördelning av hjultyp som bestämts i intagningsrutinen. I bilaga 5 presenteras hur intagningsrutinen har sett ut vid fem olika skift fördelade på fem månaders tid under vintern 2021 och 2022.

Intagningsrutinen är en grund för vilka hjulpar som tas in i produktionen men eftersom efterfrågan på bearbetning är kundorderstyrd kan produktmixen per skift skilja sig åt. En snedfördelning av underhållstyper där mängden IS1/IS2 och mängden IS3 skiljer sig från fördelningen i intagningsrutinen kan därför uppstå om efterfrågan är låg för en viss underhållstyp eller hjultyp. Det är därför viktigt att säkerställa att produktionen kan klara av en snedfördelning och fortsätta bearbeta samma antal hjulpar per skift även om det är en annan fördelning.

4.2.4 Produktionsnivåer och produktionsdata

Under sommarsäsongen när produktionen är bemannad dagtid med fem skift i veckan eftersträvas en produktion på 160 hjulpar i veckan i dagens produktion. Vid vintersäsong och bemanning med två-skift vilket innebär tio skift per vecka eftersträvas en produktion på 325–350 hjulpar i veckan i dagens produktion. Vid bemanning med tre-skift med 14 skift i veckan eftersträvas en produktion på omkring 364 hjulpar i veckan i dagens produktion.

Mängden PIA i dagens produktion ligger på omkring 444 enheter per skift. Hälften av dessa enheter är lösa axlar som ligger uppstaplade i häckar. Resterande enheter är hjulpar som står i andra delar av produktionen. De kan dels vara på rälsen i produktionslinan och bearbetas eller invänta att bli bearbetade på en station, men de kan också stå uppställda på golvet i produktionen där de inväntar bearbetning.

Stopp i produktionen kan uppstå på grund av två olika orsaker. Det är dels oförutsägbara stopp när exempelvis en maskin går sönder och dels planerade stopp vid underhållsarbete. I bilaga 6 presenteras de stopp med högst frekvens och störst påverkan på produktionslinan.

4.2.5 Brister

Produktionslinan är konstruerad för att ett hjulpar ska rullas på spåret genom hela linan. Detta följs dock inte i den nuvarande produktionen då många hjulpar lyfts av spåret med truck. Det finns olika anledningar till att hjulparen lyfts av spåret. Det kan dels bero på att det uppstår en flaskhals i stationen hjulparet väntar på att bearbetas i. För att inte blockera bakomvarande station lyfts då hjulparen åt sidan för att göra plats för de hjulpar som kommer efter. Det kan också vara så att ett hjulpar inte ska bearbetas i den station de står i kö för utan endast rullas igenom för att komma till den station längre fram där den faktiskt ska bearbetas. Ett exempel på detta är IS1 hjul som varken blåstras eller slipas. I stället för att dessa hjul ska vänta på att framförvarande hjul ska bearbetas på en station som de endast ska rullas igenom, kan det komma att hända att dessa lyfts åt sidan med truck eller lyfts direkt till den station de ska fortsätta bearbetas på. Dessa moment innebär dels att det blir stora mängder hjulpar som står och väntar på arbete i produktionen, dvs stora mängder PIA samt att mycket arbete läggs på truckkörning. I den nuvarande produktionslinan upplevs de två svarvarna som den största flaskhalsarna i produktionslinan.

4.3 Framtida produktionssystem

Senast år 2026 planerar Duroc Rail att flytta sin verksamhet från nuvarande lokal till nya lokaler på Luleå Industripark, vilket innebär en flytt av hela det befintliga produktionssystemet. En ny produktionslayout har tagits fram för den nya lokalen av externa konsulter. Den nya produktionslayouten skiljer sig främst i dess design då den nya layouten är u-formad. Vissa arbetsstationer har också ändrat ordningsföljd i produktionslinan samt att vissa arbetsmoment har åtskilts från tidigare arbetsstationer och i den nya layouten skapat en ny station. En helt ny arbetsstation har också skapats för att ha möjlighet att tvätta hjulpar innan bearbetning påbörjas. De arbetsstationer som funnits i det befintliga produktionssystemet kan antas ha samma cykeltid i det nya produktionssystemet då det är samma eller likvärdiga maskiner, verktyg och övrig utrustning som kommer användas. En ytterligare skillnad i den nya layouten är att det finns tre parallella linor vid svarvarna där ett spår är för hjulpar som inte ska svarvas. I bilaga 7 visualiseras samtliga hjulflöden i den nya produktionslayouten. I det framtida produktionssystemet vill Duroc Rail skapa förutsättningar för en ökad produktion av antal hjulpar per skift. Detta kan bland annat göras genom att investera i fler eller nya maskiner och expansionsytor har därav förberetts i den nya layouten.

4.3.1 Målbild

Målbilden i det nya produktionssystemet är en produktion på 40 hjulpar per skift vid två-skift, vilket motsvarar 400 hjulpar per vecka. Detta är en höjning från den nuvarande målbilden på 350 hjulpar i veckan vid två-skift. Vid varje skift ska det eftersträvas att 26 hjulpar ska vara svarvbara hjul, vilket innebär att de är av underhållsnivå IS1 eller IS2. Resterande 14 hjul ska vara hjul med underhållsnivå IS3. För att uppnå målbilden behöver produktionen ha en takttid på tio minuter, vilket innebär att ett hjulpar måste färdigställas var tionde minut. Detta ställer krav på cykeltiderna för arbetsstationerna i produktionslinan som inte kan vara långsammare än takttiden för att uppnå måluppfyllnad. Flertalet enskilda arbetsstationer har dock cykeltider långt över takttiden men till följd av layouten i den nya produktionslinan finns det möjlighet att följa takttiden med undantag för om det sker oförutsägbara stopp eller kommer in hjulpar med bearbetningskrav som skiljer sig från det normala. Detta möjliggörs av produktionslinans parallella och trippla linor i kombination med fördelningen av hjulpar.

Till det nya produktionssystemet ska brister och störningar från det befintliga produktionssystemet elimineras eller minimeras. Layouten har anpassats för att hjulpar inte ska behöva lyftas av spår och då i sin tur minska mängden PIA och truckkörning. Vissa parametrar

i produktionslayouten går också vid studietillfället att justera för att finna optimala nivåer på buffertar innan arbetsstationer. Även möjligheter till att expandera vissa arbetsstationer kan undersökas.

Bemanningen till det nya produktionssystemet har en utgångspunkt som presenteras i bilaga 8. Där grupperas arbetsstationer och matchas med en eller flera operatörer med utgångspunkt att produktionen ska kunna ske utan att takttiden påverkas. Takttiden i bemanningsgrupperingen är baserad på målbilden om 40 hjulpar per skift. Möjligheten till att utöka bemanningen utöver detta finns eftersom det finns tid att planera in hur många operatörer som krävs för att nå måluppfyllnad och då också vilken kompetens som kan komma att behöva utökas. Vissa grupperingar möjliggörs då en arbetsstation kan utföras automatiskt under tiden operatören utför arbete på en annan station.



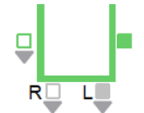



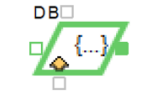
5 Simulering



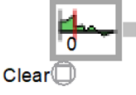




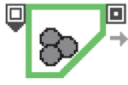
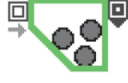
I följande avsnitt beskrivs simuleringsmodellen som skapats och använts för att analysera fallstudieföretagets framtida produktionslayouten. Modellens uppbyggnad och de analysverktyg som använts presenteras och förklaras.

5.1 Simuleringsmodellens grunder

Simuleringens visuella uppbyggnad baseras på de flödesschema som skapats för att visualisera produktionsflödet, se bilaga 9. Flödesschemat har baserats på verksamhetens nya produktionslayout men innehåller endast de stationer som ansågs relevanta för studien och simuleringen. Utifrån flödesschemat byggs simuleringen upp efter olika block som alla representerar olika processer och värden i produktionsflödet. I tabell 8 nedan ges förklaring på vad blocken som används i simuleringsmodellen representerar och i bilaga 10 visas simuleringsmodellen. Simuleringsmodellen har konstruerats för att kunna representera samtliga hjulpar på mest verklighetstrogn sätt, med vissa avgränsningar till följd av den komplexitet verkligheten medför.

Tabell 8: Beskrivning av block i simuleringsmodellen

Block	Beskrivning
	Create: Skapar enheter eller värden till simuleringen, slumpmässigt, oändligt eller enligt ett schema. Kan initiera nyskapade objekt med egenskaper, såsom attribut eller prioriteringar.
	Exit: Skickar ut objekt från simuleringen och rapporterar totala antalet avslutade enheter.
	Queue: Lagrar enheter tills det finns en nedströmskapacitet. Blocket kan antingen agera som en sorterad kö eller en resursspoolskö. Som en sorterad kö sorterar blocket enheter efter FIFO eller LIFO, men kan också sortera utifrån prioritet eller attribut.
	Activity: Fördröjer en eller flera enheter från att gå vidare i simuleringen enligt en angiven tid.
	Select item in: Slår samman två eller flera ingångsvägar till en utgångsväg, där ett objekt från en av dess ingångskontakter väljs och skickas till dess utgångskontakt. Valet kan baseras på objektets egenskaper eller andra alternativ i blockets dialog.
	Select item out: Dirigerar objekt från en ingångsväg till flera olika utgångsvägar. Objekten kan dirigeras baserat på dess egenskaper eller andra alternativ i blockets dialog.
	Set: Förser användartilldelade egenskaper (attribut, prioritet och kvantitet) till föremål som passerar igenom.

	<p>Gate: Öppnar eller stänger en väg. Detta kan göras slumpmässigt eller enligt schema. Används för att simulera driftstopp.</p>
	<p>Shutdown: Stänger ner en aktivitet tillfälligt. Det kan göras via en specificerad distribution eller enligt ett schema. Används för att simulera oförutsägbara fel eller planerade driftstopp.</p>
	<p>Clear Statistics: Rensar statistik i andra block, vilket eliminerar den statistiska påverkan av uppvärmningsperioden.</p>
	<p>History: Registrerar information om artiklar och deras egenskaper, såsom värdet på ett attribut, objektets ankomsttid, dess prioritet och så vidare.</p>
	<p>Information: Rapporterar artikelstatistik som t.ex. antalet artiklar, genomströmningshastigheten, genomloppstid och tiden mellan enheters ankomst i blocket.</p>
	<p>Random number: Genererar slumpmässiga tal baserat på ett angivet sannolikhetsfördelningsformat.</p>
	<p>Shift: Används för att schemalägga både storleken och tillgängligheten av kapacitet i andra block.</p>
	<p>Batch: Tillåter flera enheter att bilda en batch som representeras av en enskild ny enhet.</p>
	<p>Unbatch: Skapar flera enheter från en enskild enhet.</p>

Simuleringsmodellen simulerar produktionens hjulflöden under en veckas tid. Simuleringen körs därför i 4200 minuter med en vald produktmix, vilket motsvarar tio skift där den faktiska arbetstiden är sju timmar. Simuleringsmodellen tar därför endast hänsyn till arbetad tid och utesluter den tid då produktionen står still, exempelvis nattetid och helg. För att efterlikna verkligheten där produktionen aldrig är nollställd anpassa simuleringen för att inte starta med en tom produktion. Detta görs genom att simulera en uppvärmningsperiod som fyller upp buffertar innan simuleringen startas. Buffertarnas storlek i simuleringen är definierade till en standardnivå enligt tabell 9 och körs alltid med den nivån om inget annat anges. Storleken baseras på den fysiska plats som det uppskattas finnas i den nya lagerlayouten.

Tabell 9: Buffertstorlekar

	Arbetsstation	Buffert
1	Insyning	14
2	Tvätt	2
3	Svarv PN190	5
4	Svarv Hoesch	5
5	Ej svarv	10
6	Rivning Cyl	5
7	Bläster	2
8	Axelslip Cyl	2
9	Rivning TBU	4
10	Borstning	2
11	Axelslip TBU	2
12	UL 1 (IS2)	5
13	MT 1	3
14	Avpressning	10
15	Axelkontroll & MT	30
16	UL Axel	30
17	Påstomning	30
18	Provpress	30
19	Innerringsmontering cyl	2
20	Montering cyl	2
21	Målning cyl	2
22	TBU-montering	2
23	Målning (robot)	3
24	UL 2 (IS1)	5
25	Pålockning IS1	4
26	Målning IS1	4
27	Utsyning IS1	4
28	Utsyning IS2 & IS3	4

Simuleringsmodellens startar som i verkligheten med att hjulpar tas in enligt intagningsrutin i intagningsboxen. Precis som i verkligheten går det förenklat endast att identifiera sex eller åtta kategorier av hjul typer ute på hjulgården och därför skapas också endast dessa åtta typer i starten av simuleringen. Var sjunde timme matas det därför in 40 enheter med en bestämd produktmix. Efter att enheterna har skapats och simuleringen startat görs de om till de nio eller elva hjul typer som i verkligheten går att urskilja vid insyningsstationen. Fördelningen av om hjulparen ska vara IS1 eller IS2 baseras på historisk data, se tabell 10. De nio eller elva olika typerna har sedan sin egen unika väg i simuleringen utefter de flöde de följer i verkliga produktionslinan. Ytterligare information som matas in i simuleringen är de cykeltider med tillhörande standardavvikelse för arbetsstationerna.

Tabell 10: Fördelning IS1/IS2

Fördelning	
IS1 Cyl	57%
IS2 Cyl	43%
IS1 TBU	74%
IS2 TBU	26%
IS1 Gula	78%
IS2 Gula	22%

5.1.1 Simuleringsscenarion och produktmix

Simuleringsmodellen används för att simulera tre olika scenarion. Detta görs för att analysera och identifiera hur produktionssystemet fungerar under olika förutsättningar. Den data som är konstant i de olika scenariona är den totala simuleringstiden, buffertstorlekar och cykeltiderna för respektive arbetsstation. Produktmixerna i simuleringen är olika för varje enskilt scenario.

I samtliga scenarion körs simuleringen med de givna produktmixen som uppvärmningsperiod, där samma produktmix loopas i vad som motsvarar en veckas tid med tio skift. Därefter nollställs statistiken för samtliga stationer, men med då fyllda buffertar utefter vad som skapas av den aktuella produktmixen. Sedan startar den riktiga simuleringsperioden på en vecka med tio skift, vilket motsvarar 4200 minuter. När dessa total 8400 minuterna simulerats kan resultatet utläsas.

5.1.2 Antaganden och avgränsningar

I simuleringen har ett antal antaganden och avgränsningar gjorts för att förenkla simuleringen och begränsa komplexiteten. Bemanningen är en utav dessa. Bemanningen simuleras inte i simuleringsmodellen utan antagandet görs att alla stationer är fullt bemannade konstant. I det verkliga systemet är inte alla stationer i produktionen fullt bemannade skiftets alla timmar.

Det finns i produktionslinan ett antal hjul typer som har avvikande underhåll och därmed avvikande bearbetningstider. Dessa hjulpar har grupperats till "Avvikelser IS2" och "Avvikelser IS3" till följd av komplexiteten att simulera samtliga som en unik enhet. Cykeltiderna för dessa hjulpar på några arbetsstationer är avsevärt längre än andra hjulpar och har stora variationer till följd av dess komplexitet. Arbetsstationerna som påverkas är rivningen samt monteringen. Cykeltiderna på dessa arbetsstationer har därför uppskattats för respektive arbetsstation i samråd med erfaren operatör. För de stationer som är nya för den nya produktionslayouten har cykeltider uppskattats i samråd med erfaren operatör.

Cykeltiderna som används i simuleringen för samtliga arbetsstationerna, inkluderar inte för- och efterarbete, samt övrigt sidoarbete som görs vid arbetsstationer när hjulpar inte bearbetas på stationen.

Efter att hjulpar fått nya hjulskivor vid påstomningsstationen måste dessa hjulpar svalna i 24 timmar innan dessa kan provpressas. Då simuleringen endast tar hänsyn till arbetad tid med två skift per dag behöver hjulparen endast stå i 14 timmar i simuleringen för att anses avsvalnade.

5.2 Scenario 1

I det första scenariot körs simuleringen utifrån den intagningsrutin som tagits fram av Duroc Rail och eftersträvas att följas i den dagliga verksamheten. Två exempel på intagningsrutiner testas. Scenariot tar inte hänsyn till hjul typer med avvikande underhåll då dessa inte funnits

med i de exempel av intagningsrutiner som tillhandahållits. Simuleringen påverkas därför inte av dessa typer av hjulpar. Simulering med den nuvarande teoretiska intagningsrutinen görs för att undersöka hur den nuvarande intagningsrutinen kan komma att fungera i det nya produktionssystemet.

5.2.1 Exempel 1

Det första exemplet har tillhandahållits av Duroc Rail AB, se bilaga 4.1. Intagningsrutinen är skapad av Duroc Rail utifrån den gamla målbilden om 35 hjulpar per skift. Fördelningen på antalet hjulpar för intagningsrutinen är enligt tabell 11.

Tabell 11: Fördelning exempel 1

Exempel 1: Skift med 35 hjulpar totalt					
Produktionslinje 1			Produktionslinje 2		
18			17		
Gula		TBU		Cylindriska	
12		6		17	
IS1/IS2	IS3	IS1/IS2	IS3	IS1/IS2	IS3
9	3	4	2	13	4

När intagningsrutinen i exempel 1 används som produktmix i simuleringsmodellen kan samtliga hjulpar underhållas inom den givna tidsramen utan några större anmärkningar. Den genomsnittliga genomloppstiden per hjulpar är 10,5 timmar, se tabell 12. Då produktionslinjerna är jämnt fördelade till den mån det går med ett udda antal hjulpar, blir även svarvarna jämnt fördelade med hjulpar. Svarvarvana utnyttjas på en jämn nivå med marginal till högsta utnyttjandegrad, se tabell 13. Ingen arbetsstation blir blockerad till en grad över 0,5% av simuleringstiden, vilket motsvarar en total blockeringstid på under 21 minuter.

Tabell 12: Simuleringsresultat exempel 1

Simuleringsresultat exempel 1			
Utsynade hjul	Genomloppstid IS1	Genomloppstid IS2/IS3	Genomsnittlig genomloppstid
350 av 350	5,8 h	15,8 h	10,5 h

Tabell 13: Utnyttjande svarvar exempel 1

Svarv	Utnyttjandegrad
PN190	83%
Hoesch	77%

5.2.2 Exempel 2

Det andra exemplet har skapats utefter intagningsrutinens specifikationer och krav, men med målbilden om 40 hjulpar per skift, se bilaga 4.2. Detta ger fördelningen per hjultyp enligt tabell 14.

Tabell 14: Fördelning exempel 2

Skift med 40 hjulpar totalt					
Produktionslinje 1			Produktionslinje 2		
20			20		
Gula		TBU		Cylindriska	
14		6		20	
IS1/IS2	IS3	IS1/IS2	IS3	IS1/IS2	IS3
11	3	5	1	16	4

Viktigt att notera är att intagningsrutin för befintligt produktionssystem inte följer den nya målbilden med fördelningen av underhållsnivåerna vid 40 hjulpar per skift, se tabell 15.

Tabell 15: Fördelning underhållsnivå

Underhållsnivå	Antal hjul	Målbild
IS1/IS2	32	26
IS3	8	14

När intagningsrutinen i exempel 2 används som produktmix i simuleringsmodellen kan samtliga hjulpar underhållas inom den givna tidsramen med den genomsnittliga genomloppstiden på 8,9 timmar per hjulpar, se tabell 16.

Tabell 16: Simuleringsresultat exempel 2

Simuleringsresultat exempel 2			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
400	4,9 h	13,7 h	8,9 h

I simuleringen med den givna produktmixen uppstår blockeringar på flertalet olika arbetsstationer, däribland svarvarna som också utnyttjas nära max, se figur 2 och figur 3. Från svarvarna finns det tre möjliga arbetsstationer med tillhörande buffertar som kan orsaka blockeringen. Två av dessa buffertar uppnår aldrig maxkapacitet. Den tredje bufferten tillhörande station UL 2 (IS1) uppnår maxkapacitet och arbetsstationen utnyttjas nära max (93%). Genom att testa olika buffertstorlekar ger resultatet att en ökad buffertstorlek minimeras risken för blockering på svarvarna, där en buffertstorlek på åtta kan anses eliminera risken för blockering på svarvarna, se bilaga 11. Den blockerade tiden övergår då i stället till utnyttjad tid. När svarvarna blir blockerade blir också framförvarande arbetsstationer, insyningen och tvätten blockerade. Även insyningen har en utnyttjandegrad på över 85% medan resterande arbetsstationer har en utnyttjandegrad på under 65%.



Figur 2: PN190 utnyttjande exempel 2



Figur 3: Hoesch utnyttjande exempel 2

5.3 Scenario 2

Det andra scenariot baseras på historisk data på hur intagningsrutinen och dess produktmix sett ut under ett skift. Stickprov från fem skift har valts ut slumpmässigt under tidsperioden

november 2021 till mars 2022. Både produktmixen och antalet insynade hjulpar skiljer sig åt mellan stickproven. Simuleringen med stickprov från historisk data utförs för att undersöka hur intagningsrutinen som den utförts i verkligheten fungerar i det nya produktionssystemet.

I scenario två körs mixen initialt med svarvfördelningen enligt given standard, detta för att se hur det påverkar resultatet i den nya layouten. Nås inte målbild fördelas mixen om för att uppnå en jämn svarvlina.

5.3.1 Stickprov 1

Stickprov 1 visar intagningsrutinen från 24 november 2021 (se bilaga 5) och består av 36 insynade hjulpar med en fördelning enligt tabell 17.

Tabell 17: Insynade hjulpar stickprov 1

Flöde	Antal hjul	Frekvens
IS1 Cyl	2	6%
IS2 CYL + IL	15	42%
IS3 Cyl	0	0%
IS1 TBU	1	3%
IS2 TBU	0	0%
IS3 TBU	10	28%
IS1 Gula	3	8%
IS2 + IL Gula	0	0%
IS3 Gul	4	11%
Avvikelse IS2	1	3%
Avvikelse IS3	0	0%
SUMMA	36	100%

När intagningsrutinen i stickprov 1 används som produktmix i simuleringsmodellen klarar inte produktionen av att bearbeta samtliga insynade hjul under den angivna tiden. Produktionen klarar av att bearbeta 323 av 360 hjulpar med en genomsnittlig genomloppstid på 16,1 timmar per hjul, se tabell 18. Resultaten för stickprov 1 visar att svarven PN190 utnyttjas till 91% och att svarven Hoesch utnyttjas till 27%. Av ytterligare stationer utnyttjas MT till 100% och påstomningen till 85%. Vidare är flertalet stationer blockerade till en hög grad, däribland svarven som är blockerad resterande tid den inte utnyttjas. Stationerna innan MT är också blockerade där Axelslip cylindrisk och Blästern påverkas mest som är blockerade omkring 70%. Även tvätten är blockerad till 50% och i sin tur insyningen till 30%.

Blockeringen av svarven PN190 orsakas av den cylindriska rivningen. Ökas bufferten på den cylindriska rivningen till omkring 30 hjulpar elimineras blockeringen av svarven och den kan då utnyttjas till 100%. Det medför en ökning av utsynade hjulpar till omkring 338 av 360 hjulpar. Vidare kan blockeringen av bläster och cylindrisk axelslip elimineras genom att utöka bufferten till MT-stationen till 30 hjulpar. Görs endast denna åtgärd ger simuleringen ett resultat på 344 av 360 utsynade hjulpar. Om blockeringen på tvätten elimineras genom att utöka bufferten på svarven PN190 till 30 hjulpar kan ett resultat på 344 av 360 hjulpar uppnås. Om samtliga buffertar utökas ger det inte ett bättre resultat än om endast en av buffertarna utökas. Den maximala mängden utsynade hjul med utökade buffertar är 344 av 360 hjulpar. Utökas buffertarna går det också att se att påstomningens utnyttjandegrad ökas från 85% till 95%.

Tabell 18: Simuleringsresultat stickprov 1

Simuleringsresultat stickprov 1			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
323 av 360	5,9 h	18,2 h	16,1 h

5.3.2 Stickprov 2

Stickprov 2 visar intagningsrutinen för 15 december 2021 (se bilaga 5) och består av 44 insynade hjulpar med en fördelning enligt tabell 19.

Tabell 19: Insynade hjulpar stickprov 2

Flöde	Antal hjul	Frekvens
IS1 Cyl	1	2%
IS2 Cyl + IL	10	23%
IS3 Cyl	2	5%
IS1 TBU	13	30%
IS2 TBU	2	5%
IS3 TBU	0	0%
IS1 Gula	6	14%
IS2 + IL Gula	0	0%
IS3 Gula	9	20%
IS2 Avvikelse	1	2%
Avvikelse IS3	0	0%
SUMMA	44	100%

När intagningsrutinen i stickprov 2 körs i simuleringsmodellen klarar produktionen initialt inte av att bearbeta det angivna antalet hjulpar. Produktionen klarar då av att bearbeta 333 av 440 hjulpar med en genomsnittlig genomloppstid på 10,7 timmar, se tabell 20. Stickprov 2 visar att svarven PN190 utnyttjas till 50% och att Hoeschen utnyttjas till 100%. Fördelas de gula hjulparen i stället om till att svarvas i PN190 som är möjligt vid behov utnyttjas PN190 till max och Hoeschen till 94%. Omfördelningen leder också till att nästan alla insynade hjulpar kan bearbetas med en genomsnittlig genomloppstid på 9,5 timmar, se tabell 21. Omfördelningen visar också på att den cylindriska monteringen utnyttjas till 95% samt att stationerna UL1, UL2, rivning cyl och påstomning utnyttjas omkring 80%. Vidare blir provpress och cylindrisk innerringsmontering blockerad omkring mellan 40–60%. Ökas buffertarna till efterföljande stationer ändras utnyttjandegraden på provpressen endast minimalt. Den blockerade tiden blir i stället främst tid där arbetsstationen står still, se bilaga 12. Den blockerade tiden för dessa stationer påverkar inte resultatet i form av utsynade antal hjulpar eller förbättrad genomloppstid.

Tabell 20: Simuleringsresultat stickprov 2A

Simuleringsresultat 2A (Ordinarie fördelning)			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
333 av 440	6,7 h	14,1 h	10,7 h

Tabell 21: Simuleringsresultat stickprov 2B

Simuleringsresultat 2B (Samtliga gula i PN190)			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
437 av 440	4,9 h	13,4 h	9,5 h

5.3.3 Stickprov 3

Stickprov 3 visar intagningsrutinen för 13 januari 2022 (se bilaga 5) och består av 34 insynade hjulpar med en fördelning enligt tabell 22.

Tabell 22: Insynade hjulpar stickprov 3

Flöde	Antal hjul	Frekvens
IS1 Cyl	0	0%
IS2 CYL + IL	0	0%
IS3 Cyl	1	3%
IS1 TBU	0	0%
IS2 TBU	0	0%
IS3 TBU	4	12%
IS1 Gula	8	24%
IS2 + IL Gula	5	15%
IS3 Gula	8	24%
IS2 Avvikelse	0	0%
IS3 Avvikelse	8	24%
SUMMA	34	100%

När intagningsrutinen i stickprov 3 körs i simuleringsmodellen klarar produktionen inte av att bearbeta det angivna antalet hjulpar. Produktionen klarar då av att bearbeta 251 av 340 hjulpar med en genomsnittlig genomloppstid på 25,4 timmar, se tabell 23. Stickprov 3 visar att svarven PN190 inte utnyttjas alls och att Hoeschen utnyttjas till 98%. Fördelas de gula hjulparen om till svarven PN190 uppnås inte en högre produktion. Detta till följd av att påstomningen som kommer senare i flödet redan utnyttjas till max. Den maximala beläggningen på påstomningen leder till att majoriteten av stationerna innan blir blockerade och outnyttjade till en hög grad.

Tabell 23: Simuleringsresultat stickprov 3

Simuleringsresultat stickprov 3			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
251 av 340	8,1 h	31,3 h	25,4 h

5.3.4 Stickprov 4

Stickprov 4 visar intagningsrutinen för 10 februari 2022 (se bilaga 5) och består av 35 insynade hjulpar med en fördelning enligt tabell 24.

Tabell 24: Insynade hjulpar stickprov 4

Flöde	Antal hjul	Frekvens
IS1 Cyl	18	51%
IS2 CYL + IL	3	9%
IS3 Cyl	1	3%
IS1 TBU	0	0%
IS2 TBU	0	0%
IS3 TBU	1	3%
IS1 Gula	4	11%
IS2 + IL Gula	7	20%
IS3 Gula	1	3%
IS2 Avvikelse	0	0%
IS3 Avvikelse	0	0%
SUMMA	35	100%

När intagningsrutinen i stickprov 4 körs i simuleringsmodellen klarar produktionen inte av att bearbeta det angivna antalet hjulpar. Produktionen klarar då av att bearbeta 277 av 350 hjulpar med en genomsnittlig genomloppstid på 9,5 timmar, se tabell 25. Stickprov 4 visar att svarven PN190 utnyttjas till max och att Hoeschen utnyttjas till 48%. Av övriga arbetsstationer utnyttjas UL2 till 75% och resterande stationer utnyttjas under 60%.

Tabell 25: Simuleringsresultat stickprov 4

Simuleringsresultat stickprov 4			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
277 av 350	7,5 h	13,1 h	9,5 h

5.3.5 Stickprov 5

Stickprov 5 visar intagningsrutinen för 8 mars 2022 (se bilaga 5) och består av 35 insynade hjulpar med en fördelning enligt tabell 26. I fördelningen bearbetas inga hjulpar av underhållsnivå IS2 av någon hjultyp.

Tabell 26: Insynade hjulpar stickprov 5

Flöde	Antal hjul	Frekvens
IS1 Cyl	0	0%
IS2 CYL + IL	0	0%
IS3 Cyl	3	9%
IS1 TBU	4	11%
IS2 TBU	0	0%
IS3 TBU	8	23%
IS1 Gula	16	46%
IS2 + IL Gula	0	0%
IS3 Gula	4	11%
IS2 Avvikelse	0	0%
IS3 Avvikelse	0	0%
SUMMA	35	100%

När intagningsrutinen i stickprov 5 körs i simuleringsmodellen klarar produktionen initialt inte av att bearbeta angivet antal hjulpar. Produktionen klarar då av att bearbeta 293 av 350 hjulpar med en genomsnittlig genomloppstid på 15,2 timmar, se tabell 27. Enligt den initiala fördelningen av svarvarna bearbetas samtliga hjulpar i Hoeschen och ingen i PN190. Kan de gula hjulparen fördelas om till den andra svarven PN190 klarar produktionen precis att bearbeta det angivna antalet hjulpar. Produktionen klarar då av att bearbeta 348 av 350 hjulpar med en genomsnittlig genomloppstid på 12,4 timmar, se tabell 28. Omfördelningen visar då att svarven PN190 utnyttjas till 95% och att Hoeschen utnyttjas till 23%. Av övriga arbetsstationer utnyttjas påstomningen till max men det sker ingen påverkande blockering av tidigare arbetsstationer. Avpressningen är den station som utnyttjas mest bortsett från svarvarna och påstomningen och utnyttjas till 68%. Övriga arbetsstationer utnyttjas till en grad under 50%.

Tabell 27: Simuleringsresultat stickprov 5A

Simuleringsresultat stickprov 5			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
293 av 350	7,8 h	25,0 h	15,2 h

Tabell 28: Simuleringsresultat stickprov 5B

Simuleringsresultat stickprov 5			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
348 av 350	3,5 h	24,6 h	12,4 h

5.4 Scenario 3

Det tredje scenariot baseras på den exakta målbild av producerade hjulpar som det nya produktionssystemet ska kunna uppnå. Utgångspunkten i fördelningen av antalet hjulpar av olika hjultyp baseras på målbilden om 26 hjulpar av underhållsnivå IS1 och IS2 och resterande 14 hjulpar av underhållsnivå IS3 och fördelas sedan på hur fördelningen sett ut under år 2022. Detta ger en uppskattad fördelning enligt tabell 29.

Tabell 29: Fördelning hjulpar enligt exakt målbild

	Innan insyning	Antal	Efter insyning	Antal
1	IS1 & IS2 + IL	10	IS1 Cyl	7
			IS2 CYL + IL	3
2	IS3 Cyl	7	IS3 Cyl	7
3	IS1 & IS2 TBU	7	IS1 TBU	5
			IS2 TBU	2
4	IS3 TBU	5	IS3 TBU	5
5	Gula IS1 & IS2 + IL	8	IS1 Gula	5
			IS2 + IL Gula	3
6	Gula IS3	1	IS3 Gula	1
7	IS2 Avvikelse	1	IS2 Avvikelse	1
8	IS3 Avvikelse	1	IS3 Avvikelse	1
	SUMMA	40	SUMMA	40

Den uppskattade fördelningen av hjulpar innan insyning används sedan för att generera olika produktmixar. Samtliga produktmixar eftersträvas att bestå av batcher om två hjulpar till den mån det är möjligt för att underlätta för hjullastaren som kör in hjulpar till insyningen. Då antalet hjulpar av vissa hjultyper är ett udda tal är detta inte alltid möjligt. Fördelningen av hjulpar ger

inte heller initialt en jämn fördelning mellan svarvarna. Därför är simuleringen för scenariot modellerad att automatisk fördela om rätt antal gula hjulpar, som har möjlighet att svarvas i båda svarvar, från Hoeschen till PN190 för att uppnå en jämn fördelning mellan de båda svarvarna i samtliga av produktmixarna. Samtliga produktmixar klarar av att bearbeta samtliga insynade hjulpar och efter testning av produktmixar har en produktmix valt ut som den mest optimala, se bilaga 13 och 14. Denna produktmix används sedan enligt metoden för TOC för att kartlägga hur produktionssystemet och dess flaskhalsar beter sig vid olika typer av förändringar i produktionsflödet.

5.4.1 Optimal produktmix

När den produktmix som anses optimal körs i simuleringsmodellen fås resultatet enligt tabell 30 med en genomsnittlig genomloppstid på 10,3 timmar per hjulpar. Resultatet visar också till vilken grad olika arbetsstationer utnyttjas, se tabell 31. I övrigt sker inga större anmärkningar bortsett från en blockering av provpressen. Åtgärdas denna blockad förändras inte resultatet och den blockerade tiden på stationen övergår till tid som maskinen står outnyttjad.

Tabell 30: Simuleringsresultat optimal mix

Simuleringsresultat optimal mix			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
400 av 400	3,5 h	15,5 h	10,3 h

Tabell 31: Arbetsstationsdata optimal mix

Utnyttjande enligt optimal produktmix (2.1B)		
	Arbetsstation	Utnyttjande
1	Insyning	87%
2	Tvätt	48%
3	Svarv PN190	77%
4	Svarv Hoesch	77%
5	Rivning Cyl	65-68%
6	Bläster	32%
7	Axelslip Cyl	20%
8	Rivning TBU	34%
9	Borstning	15%
10	Axelslip TBU	37-39%
11	UL 1 (IS2)	48-55%
12	MT 1	58-65%
13	Avpressning	63%
14	Axelkontroll & MT Axel	40%
15	UL Axel	12%
16	Påstomning	95%
17	Provpress	12%
18	Innerringsmontering cyl	29-32%
19	Montering 8%	34-36%
20	Montering cyl	64-67%
21	Målning cyl	6%

Tabell 31: Arbetsstationsdata optimal mix

Utnyttjande enligt optimal produktmix (2.1B)		
	Arbetsstation	Utnyttjande
22	TBU-montering	38-41%
23	Målning (robot)	38-40%
24	UL 2 (IS1)	70-78%
25	Pålockning IS1	45-50%
26	Målning IS1	20%
27	Utsyning IS1	27-29%
28	Utsyning IS2 & IS3	37-39%

5.4.2 Ökning av produktion

Då Duroc Rail AB i framtiden vill kunna utöka sin produktion testat den optimala produktmixen med en ökning på 15% och en ökning på 30% för samtliga hjul typer. Inga förändringar görs i simuleringsmodellen bortsett från att öka antalet insynade hjulpar. I bilaga 15 presenteras antalet hjulpar för de angivna ökningarna.

När en ökning på 15% görs fås resultat enligt tabell 32. Vidare visar resultatet att svarvarna utnyttjas till 87-89% samt att insyningen och påstomningen utnyttjas till max.

Tabell 32: Simuleringsresultat optimal mix ökning 15%

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
434 av 460	4,8 h	19,4 h	13,2 h

När en ökning på 30% gör fås resultat enligt tabell 33. Vidare visar resultatet att svarvarna utnyttjas till 87-89% samt att insyningen och påstomningen utnyttjas till max. Görs en jämförelse med den produktmix som gav sämst resultat, produktmix 2.2, där denna produktmix också gör en ökning på 30% går det att se att denna produktmix uppnår en produktion på 412 av 520 hjulpar. Det är 33 hjulpar mindre och en minskning i produktion på 8%.

Tabell 33: Simuleringsresultat optimal mix ökning 30%

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
444 av 520	4,3 h	19,5 h	12,7 h

5.4.3 Förbättring av insyning

Insyningen utnyttjas till 100% när antalet hjulpar som ska produceras ökar. Insyningen är en arbetsstation där ett manuellt arbete av en operatör utförs, därav kan det finnas en möjlighet att förbättra arbetssättet och minimera cykeltiden. Görs en procentuell förbättring på 11% av cykeltiden på insyningen ska insyningen teoretiskt klara av att bearbeta 52 hjul per skift.

Om simuleringen körs med en förbättrad cykeltid på insyningen fås resultat med den optimala produktmixen med 40 hjulpar per skift enligt tabell 34. Ingen skillnad i utnyttjande av övriga arbetsstationer görs.

Tabell 34: Simuleringsresultat förbättrad insyning

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
401 av 400	3,4 h	15,1 h	10,1 h

Om simuleringen körs med en förbättrad cykeltid på insyningen samt en ökning på 15% på den optimala produktmixen fås resultat enligt tabell 35. Vidare visar resultatet att svarvarna utnyttjas till 87-89% samt att påstomningen utnyttjas till max. Vilket är samma resultat som när insyningen inte förbättrats.

Tabell 35: Simuleringsresultat förbättrad insyning ökning 15%

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
443 av 460	5,0 h	19,1 h	13,3 h

Om simuleringen körs med en förbättrad cykeltid på insyningen samt en ökning på 30% på den optimala produktmixen fås ett resultat enligt tabell 36. Vidare visar resultatet att svarvarna utnyttjas mellan 95-100% samt att påstomningen utnyttjas till 100%.

Tabell 36: Simuleringsresultat förbättrad insyning ökning 30%

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
478 av 520	5,5 h	23,4 h	15,4 h

5.4.4 Expansion påstomning

Även påstomningen är en flaskhals när produktionsvolymen ökar. Påstomningen är en arbetsstation som till största del utgörs av en maskins automatiska moment och cykeltiden går inte att förbättra. Den enda möjligheten att minska cykeltiden för påstomningen är därav att utöka med en ytterligare likadan arbetsstation.

Om simuleringen körs med en extra påstomningsstation samt förbättringen av insyningen fås resultatet enligt tabell 37. Detta leder till att påstomningen utnyttjas till omkring 49%. Vidare sker ingen förändring av utnyttjande av övriga arbetsstationer.

Tabell 37: Simuleringsresultat förbättrad insyning och expansion påstomning

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
401 av 400	3,4 h	14,6 h	9,8 h

Om simuleringen körs med en extra påstomningsstation samt förbättringen av insyningen och att en ökning på 15% görs fås resultatet enligt tabell 38. Resultatet visar att svarvarna utnyttjas till 90% samt att avsvälningen utnyttjas till max och blockerar påstomningen. Utökas avsvälningen till 32 hjulpar kan samtliga hjulpar bearbetas till en omloppstid på 10,4 timmar.

Tabell 38: Simuleringsresultat förbättrad insyning, expansion påstomning och ökning 15%

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
443 av 460	5,0 h	19,1 h	13,3 h

Om simuleringen körs med en extra påstomningsstation samt förbättringen av insyningen med en ökning på 30% fås resultatet enligt tabell 39. Resultatet visar också att svarvarna utnyttjas till max samt att avsvälningen utnyttjas till max och blockerar påstomningen. Avsvälningen måste ökas till 36 för att inte orsaka blockering på påstomningen och det går då att bearbeta 505 av 520 hjulpar med en omloppstid på 11,8 timmar.

Tabell 39: Simuleringsresultat förbättrad insyning, expansion påstomning och ökning 30%

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
480 av 520	5,3 h	22,4 h	15,0 h

5.4.5 Expansion svarv

En förändring som diskuterats för den nya layouten är om en extra svarv ska läggas till. Detta skulle innebära att en till PN190 läggs till i produktionslinan i det spår som hjulpar av typen IS3 går på i den initiala layouten. Lägg en till svarv till fördelas i stället dessa hjulpar om på samtliga tre svarvlinor och rullas igenom svarven.

Om simuleringen körs med förbättrad insyning, en extra påstomning samt med en extra svarv fås resultatet enligt tabell 40. Resultatet visar också på att svarvarna utnyttjas till omkring 50% samt att påstomningen utnyttjas till 48% och insyningen 76%.

Tabell 40: Simuleringsresultat förbättrad insyning, expansion svarv och påstomning

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
401 av 400	4,1 h	15,5 h	10,6 h

Om simuleringen körs med förbättrad insyning, en extra påstomning samt med en extra svarv och det görs en ökning på 15% fås resultatet enligt tabell 41. Resultatet visar också på att svarvarna utnyttjas till omkring 60% samt att påstomningen utnyttjas till omkring 55% samt att insyningen utnyttjas till omkring 86%. Vidare utnyttjas avsvälningens bufferten till 100% och för att produktionen ska klara av att bearbeta samtliga hjulpar behöver bufferten utökas till minst 32 hjulpar. Då uppnås målbilden med en omloppstid på 11,5 timmar. Däremot för att med hög säkerhet klara av att bearbeta samtliga hjulpar visar simuleringsresultatet på att bufferten bör vara 36 hjulpar.

Tabell 41: Simuleringsresultat förbättrad insyning, expansion svarv och påstomning samt ökning 15%

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
448 av 460	4,5 h	19,2 h	12,9 h

Om simuleringen körs med förbättrad insyning, en extra påstomning samt med en extra svarv och det görs en ökning på 30% fås resultatet enligt tabell 42. Simuleringsbufferten utnyttjas även här till 100% och utökas bufferten till minst 36 klarar samtliga hjulpar av att bearbetas

med en genomsnittlig omloppstid på 12,9 timmar. Däremot för att med hög säkerhet klara av att bearbeta samtliga hjulpar visar simuleringsresultatet på att bufferten bör vara 43 hjulpar. Gör detta får arbetsstationerna en utnyttjandegrad enligt tabell 43.

Tabell 42: Simuleringsresultat förbättrad insyning, expansion svarv och påstomning samt ökning 30%

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
493 av 520	5,5 h	24,3 h	15,9 h

Tabell 43: Arbetsstationers utnyttjandegrad vid full utökning

	Arbetsstation	Utnyttjande
1	Insyning	96-99%
2	Tvätt	58-64%
3	Svarv PN190	67-73%
4	Svarv Hoesch	67-73%
5	Ej svarv/Expansion	67-73%
6	Rivning Cyl	89-95%
7	Bläster	39-45%
8	Axelslip Cyl	23-29%
9	Rivning TBU	39-45%
10	Borstning	15-19%
11	Axelslip TBU	45-51%
12	UL 1 (IS2)	63-69%
13	MT 1	78-84%
14	Avpressning	78-84%
15	Axelkontroll & MT Axel	50-56%
16	UL Axel	12-18%
17	Påstomning	57-63%
18	Provpress	12-18%
19	Innerringsmontering cyl	36-42%
20	Montering cyl	76-82%
21	Målning cyl	5-7%
22	TBU-montering	44-50%
23	Målning (robot)	47-53%
24	UL 2 (IS1)	90-96%
25	Pålockning IS1	60-66%
26	Målning IS1	24-30%
27	Utsyning IS1	36-42%
28	Utsyning IS2 & IS3	43-49%

6 Analys

I följande avsnitt analyseras det resultat som tagit fram i studien. Analysen är baserat på empirisk data, simuleringsmodellens resultat samt litteraturstudien.

6.1 Scenario 1

Simuleringsresultatet från scenario 1 visar att båda exempel på intagningsrutiner skulle kunna produceras i det nya produktionssystemet. Exempel 2 med 40 hjulpar per skift visar tydligt på att flaskhalsarna i systemet med den angivna produktmixen är båda svarvarna samt UL 2 då dessa utnyttjas nära max och har en hög cykeltid (Segerstedt, 2018). Detta förklaras av den produktmixen som tas in i exempel 2 består av 80% hjul som ska svarvas (hjulpar av typen IS1 eller IS2). Vidare visar resultatet att UL2 skapar blockering av svarvarna vilket är viktigt att undvika enligt Segerstedt. (2018) då dessa är flaskhalsar. Resultatet visar även att blockeringen på svarvarna kan åtgärdas genom att öka buffertstorleken för efterföljande station (UL2) som Modig & Åhlström (2015) menar på är nödvändigt för att säkerställa en högre beläggning. Med den ökade buffertstorleken omvandlas blockerad tid till utnyttjad tid vilket enligt Krajewski et al. (2013) med principerna för TOC innebär att den tiden förlorad vid flaskhalsen inte blir förlorad tid för hela systemet om buffertstorleken för UL2 utökas.

Scenario 1 påvisar inte att den nya produktionslayouten klarar av att producera hjulpar enligt målbild eftersom produktmixen inte följer målbilden. Däremot visar den på att en snedfördelning där ett större antal hjulpar av typen IS1 eller IS2 bearbetas är möjlig vid 40 hjulpar per skift. Vidare indikerar resultatet på att en ytterligare snedfördelning över 80% kommer ha svårigheter att bearbeta samtliga hjulpar. Detta eftersom svarvarna vid 80% utnyttjas nära 100%.

6.2 Scenario 2

Simuleringsresultatet från de olika stickproverna i scenario 2 visar på att olika fördelningar av hjul typer i produktmixarna inte alltid klaras av att bearbetas fullt ut och att flaskhalsar kan uppstå på olika ställen till följd av fördelningarna.

6.2.1 Stickprov 1

Vid stickprov 1 klarar inte produktionen av att bearbeta samtliga hjulpar oavsett åtgärder. Åtgärderna som föreslås för förbättringar är inte heller möjliga då en buffert på 30 hjulpar inte fysiskt får plats i produktionslayouten samt att det inte ökar mängden bearbetade hjulpar i en större utsträckning. En större mängd hjulpar i buffert leder också till ett ökat PIA. Ett ökat PIA leder i sin tur till en ökad genomloppstid enligt Little (1961) vilket inte är önskvärt.

Svarven PN190 och MT-stationen utnyttjas till max och kan därför påstås vara flaskhalsarna för den givna produktmixen (Segerstedt, 2018). Anledningen till att det blir dessa stationer kan förklaras av fördelningen av underhållsnivåerna på hjulparen som tas in där majoriteten är hjulpar med underhållsnivå IS2, se tabell 44. Samtliga av dessa hjul svarvas, majoriteten i PN190 och samtliga går igenom MT-stationen. Genomförs samtliga åtgärderna för blockering visar resultatet att påstomningen är i riskzon för att bli en flaskhals då den utnyttjas till 95%. Att utnyttjandegraden ökar kan förklaras av att hjulpar som tidigare blockerats i flödet nu kan komma fram till påstomningsstationen. Svarvfördelningen går inte att omfördela då det är svarven PN190 som har en hög utnyttjandegrad. De hjul som svarvas i PN190 i stickprov 1 går inte att fördela om till den andra svarven.

44: Fördelning stickprov 1

Underhållsnivå	Frekvens	Målbild
IS1	17%	45%
IS2	44%	20%
IS3	39%	35%

6.2.2 Stickprov 2

Stickprov 2 visar på att en omfördelning av hjulpar med syfte att jämna ut utnyttjandegraden av svarvarna leder till att fler hjulpar kan bearbetas och till en lägre omloppstid. Enligt Krajewski et al. (2013) och Pegels & Watrous (2005) och huvudprincipen med TOC kan kapaciteten för flaskhalsarna maximeras när beläggningen på svarvarna balanseras. Att samtliga hjulpar inte kan bearbetas förklaras av den stora andel och mängd hjulpar som ska svarvas i produktmixen. Tabell 45 visar att majoriteten av hjulparen är hjulpar som ska svarvas samt att produktmixen har fler hjulpar som ska svarvas än målbilden. Detta innebär att en produktmix liknande stickprov 2, med 44 hjulpar per skift och en fördelning av hjulpar enligt tabell 45 inte kan bearbeta samtliga hjulpar långsiktigt samt att den är känslig för oförutsägbara stopp.

Tabell 45: Fördelning stickprov 2

Underhållsnivå	Frekvens	Målbild
IS1/IS2	75%	65%
IS3	25%	35%

Vidare visar stickprov 2 på att det är viktigt att inte utöka buffertar i onödan och att utnyttjandet av en resurs utan flaskhals enligt Krajewski et al. (2013) aldrig kan öka prestandan av ett system. Detta visas genom att en buffertökning efter provpressen inte ger någon förbättring varken på maskinnivå och då inte heller på systemnivå.

6.2.3 Stickprov 3

Stickprov 3 visar på att en snedfördelning, se tabell 46, jämfört med den nya produktionslayoutens målbild medför att påstomningen blir en flaskhals. Detta eftersom den utnyttjas till 100% samt skapar blockeringar på föregående stationer (Segerstedt, 2018). Till följd av att påstomningen utnyttjas till 100% kan inga åtgärder göras för att öka antalet bearbetade hjulpar. Utnyttjandet av en station som inte är en flaskhals kan enligt Krajewski et al (2013) aldrig kan öka prestandan av ett system och det är därför inte nödvändigt att förändra buffertar. Däremot är det viktigt att säkerställa att påstomningen har en buffert som tillåter stationen att alltid utnyttjas (Krajewski et al. (2013). Simuleringsresultatet visar på att den befintliga bufferten är tillräcklig då stationen utnyttjas till 100%.

Tabell 46: Fördelning stickprov 3

Underhållsnivå	Frekvens	Målbild
IS1/IS2	38%	65%
IS3	62%	35%

6.2.4 Stickprov 4

Stickprov 4 visar på att svarven PN190 är en flaskhals då den utnyttjas till 100% samt blockerar tidigare stationer (Segerstedt, 2018). En balansering av svarvarna är inte möjligt i detta fall då det enligt standard inte går att fördela om hjulpar från PN190 till Hoeschen. Detta visar på att

en obalans mellan svarvarna skapar stor påverkan på flödet även när mängden hjulpar per skift är mindre än målbilden på 40 hjulpar.

6.2.5 Stickprov 5

Stickprov 5 visar ytterligare på vikten av balans mellan svarvarna, då den initiala fördelningen inte kan bearbeta samtliga hjulpar men en omfördelning klarar det precis. Enligt Krajewski et al. (2013) maximeras utnyttjandet av svarvarna vid en balansering och ökar prestandan för hela systemet. Att påstomningen utnyttjas till 100% men inte skapar några större blockeringar av tidigare stationer kan förklaras av att den mängd hjulpar som bearbetas är precis på gränsen av vad arbetsstationen klarar av. Enligt taktiden ska påstomningen klara av en andel hjulpar av typen IS3 på omkring 36%.

6.3 Scenario 3

Scenario 2 har påvisat att andelen hjulpar har en betydande påverkan på vart i produktionsflödet flaskhalsar uppstår och att de uppstår på olika ställen beroende på fördelning mellan underhållsnivåerna. I Scenario 3 visar simuleringsresultatet mixen av en bestämd andel hjulpars påverkan på produktionsflödet. Denna påverkan är inte lika betydande som fördelningen mellan olika underhållsnivåer men visar på att rätt mix kan förkorta omloppstiden. Bilaga 16 visar på ett exempel hur intagningsrutinen kan se ut vid tre efterföljande skift.

6.3.1 Efterfrågan enligt målbild

Utifrån simuleringsresultatet kommer målbilden om 40 hjulpar per skift att kunna bearbetas fullt ut i den nya produktionslayouten med en omloppstid på 10,3 timmar. Inga förändringar behöver därmed göras för att målbilden ska uppnås med en optimal produktmix. Ska ytterligare förbättringar göras är det den genomsnittliga genomloppstiden som kan förbättras. För att göra det och därmed förbättra prestandan på hela systemet måste den eller de stationer vars kapacitet är lägst förbättras. Ökas prestandan på en station som inte är en flaskhals kommer ingen förbättring att ske i enlighet med Krajewski et al. (2013). Förbättras insyningen som enligt resultatet är en av stationerna med lägst kapacitet förbättras även genomloppstiden, till 10,1 timmar. Om även påstomningen utökas kan genomloppstiden förbättras till 9,8 timmar. En förbättring av insyningen och påstomningen vid en optimal mix enligt målbild kan därmed minska den genomsnittliga genomloppstiden med 30 minuter. Vidare visar resultatet att det är IS2 och IS3 hjulparen vars genomloppstid som minskar mest, med 54 minuter, i jämförelse med IS1 hjulparen som minskar med sex minuter.

Vidare visar resultatet att en extra svarv inte effektiviserar produktionen vid en målbild på 40 hjulpar per skift. Scenario 3 visar därför att störst effektivisering med en ordinarie optimal produktmix uppnås vid förbättring av insyningen och expansion av påstomningen, med genomsnittlig omloppstid på 9,8 timmar per hjulpar.

6.3.2 Utökad efterfrågan

Scenario 3 visar att den nya produktionslayouten inte klarar av att bearbeta en optimal produktmix med en efterfrågan på 15% eller 30%. Med en optimal mix utan några förändringar i produktionsflödet är det insyningen och påstomningen som är de initiala flaskhalsar både vid 15% och 30% ökning. Detta då dessa stationer enligt Segerstedt (2018) utnyttjas till max samt skapar blockeringar i andra delar av flödet. Införs principer med TOC där flaskhalsarna elimineras genom en förbättring av insyningen och utökning av påstomningen visar resultatet i enlighet med Krajewski et al. (2013) att nya flaskhalsar uppstår. När både påstomningen och insyningen är förbättrade blir bufferten innan provpressen där hjulpar ska svalna en flaskhals, både vid 15% och 30% ökning. Avsvälningen blir en flaskhals först efter att påstomningen förbättras

eftersom takttiden för avsvälningen är lägre än takttiden för påstomningen. När påstomningen utökas halveras också dess takttid och avsvälningen blir då den nya flaskhalsen.

Resultatet visar att en extra svarv inte effektiviserar produktionen vid en målbild på 40 hjulpar per skift och inte heller vid en ökning på 15%. Däremot om produktionen ökar till 30% kommer en extra svarv leda till en effektivisering. Detta eftersom produktionen inte klarar av att bearbeta samtliga hjul utan en extra svarv till följd av att det är svarvarna som blir en flaskhals vid en ökning på 30% när övriga flaskhalsar eliminerats. Genomloppstiden är dock fortfarande en variabel som går att påverka i produktionssystemet, men som inte behöver påverkas om produktionen klarar av att följa takttiden (Krajewski et al., 2013).

Om efterfrågan ökar med 15% krävs förbättring av insyningen, expansion av påstomningen och en buffert på minst 32 vid avsvälningen för att klara av att bearbeta samtliga hjulpar. Om ytterligare en ökning på efterfrågan sker till 30% krävs samma som för en ökning av 15% men en buffert på minst 36 vid avsvälningen samt en extra svarv för att samtliga hjulpar ska kunna bearbetas.

Då simuleringen körs utefter två skift per dag finns det möjlighet att hantera ökningen av efterfrågan på hjulpar genom att öka antalet skift. För varje skift som läggs till per vecka kan 40 extra hjulpar göras, vilket innebär att om tre extra skift läggs till på en vecka kan samma antal hjul bearbetas som vid en ökning på 30% utan att några förändringar i produktionssystemet måste göras. Detta ställer dock krav på att det finns tillräcklig bemanning för dessa skift.

6.4 Nya produktionslayoutens förutsättningar

Förutsättningarna för att den nya produktionslayouten ska klara av att producera hjulpar enligt målbilden är goda enligt simuleringsresultatet. Det är däremot en risk att förlita sig för mycket på simuleringsresultatet (Robinson, 2014) och resultaten måste därför tolkas med en viss beaktning. Vidare kan simuleringen spara stora kostnader i enlighet med Robinson (2014 och Pekarcikova et al. (2021) och simuleringsresultatet kan indikera på vad som är värt att experimentera med i den verkliga produktionen inför den kommande flytten.

6.4.1 Bemanning och buffertar

Simuleringsmodellen utgår ifrån att samtliga stationer i produktionen är konstant bemannade, något som varken eftersträvas eller är rimligt i verkligheten. Simuleringsresultatet kan däremot visa på vart i produktionssystemet det krävs bemanning och till vilken grad. Tabell 31 visar på till hur hög grad respektive arbetsstation utnyttjas vid en optimal produktmix utan några förändringar. Om en station utnyttjas till 50% innebär det att den över en veckas tid med två skift per dag bör vara bemannad 35 timmar på hela veckan och omkring tre och en halv timme per skift. Vidare visar tabell 31 tillsammans med den bemanningsgruppering som finns i bilaga 8 att den tänka bemanningsgrupperingen är tillräcklig i ett framtida produktionsflöde samt att det även kan finnas utrymme för justeringar. Att påstomningen kan grupperas med provpressen möjliggörs genom att under den tid påstomningen utför ett automatisk arbete som inte kräver operatör kan operatören utföra arbete på provpressen.

De arbetsstationer som bör vara bemannade skiftets alla timmar är de arbetsstationer som inkluderar mycket arbete vid sidan om bearbetning av hjulpar eller har en högre risk för oförutsägbara stopp samt har en utnyttjandegrad över 70%. Stationer som bör vara bemannade hela skift är därför svarvarna, då de har högre risk för oförutsägbara stopp samt inplanerade underhåll, insyningen, påstomningen och UL2. Då svarvarna, insyningen och påstomningen under vissa förhållanden även är flaskhalsar är det extra viktigt att de alltid är bemannade för att inte förlora tid där, förloras tid vid en flaskhals är det en förlust för hela systemet (Krajewski et al., 2013). En utnyttjandegrad på 70% innebär att det finns omkring två timmar per skift som

kan användas för annat arbete vid arbetsstationen utöver bearbetning av hjulpar, samt tid för oförutsägbara händelser. Däremot är det viktigt att den tid då en operatör arbetar med annat arbete än bearbetning av hjulpar på en stationer fördelas över skiftet på ett sådant sätt att bufferten innan arbetsstationen inte övergår sin kapacitet. Detta eftersom det enligt Segerstedt (2018) leder till att tidigare stationer blir blockerade och en flaskhals skapas.

Resterande arbetsstationer med en bearbetningsgrad under 70% visar att en operatör inte alltid behöver vara stationerad på stationen om inte andra faktorer kräver det. Detta gör att det finns möjlighet till flexibilitet för bemanningen på ett antal stationer. Exempel är axelkontrollstationen samt monteringsstationerna som inte konstant behöver vara bemannade enligt simuleringsresultatet för en optimal produktmix enligt målbild. Det är däremot viktigt att flexibiliteten i bemanningen och när en arbetsstation utnyttjas görs på ett sådant sätt att det inte skapas blockeringar av de stationer som har potential att bli flaskhalsar under vissa förutsättningar. Det är därför viktigt att se till att bufferten innan stationen har möjlighet att ta emot ett hjulpar från en tidigare station som är under bemanning. Till följd av att bemanningsgrupperingarna är baserade på att klara av taktiden behöver inga justeringar i buffertar göras vid en produktion enligt målbild. Vidare kan om justeringar i bemanningsgrupperingen görs principerna för linjebalansering följas. Där det genom att gruppera ett antal arbetsstationer med en bemanningsgruppering teoretiskt sätt minimerar antalet arbetsstationer för en bestämd cykeltid (Segerstedt, 2018). Detta gör att en grupp arbetsstationer teoretisk sätt ses som en arbetsstation med en liknande cykeltid som andra arbetsstationer.

6.4.2 Takttid och cykeltid

I Duroc Rails produktionssystem finns det stor variation mellan olika arbetsstationer både i form av olika långa cykeltider men också hur många hjulpar som flödar genom stationen. Genomloppstiden motsvara därför inte summan av alla cykeltider. Det är i stället takttiden som styr produktionen och avgöra om produktionssystemet klarar av att bearbeta givet antal hjulpar (Krajewski et al., 2013). Takttiden minskar med en ökad efterfrågan vilket ställer krav på arbetsstationers cykeltider. Detta innebär att en arbetsstation där samtliga hjulpar bearbetas på inte kan ha en cykeltid som överstiger takttiden. Detta gäller endast stationerna i början av produktionslinan, insyning och tvätten då det endast är dessa stationer som samtliga hjulpar bearbetas på. Detta går att se i scenario 3 där antal hjulpar ökas med 15% och 30% där insyningen inte klarar av att bearbeta hjulpar enligt takttid.

6.4.3 Kartläggning av flaskhalsar

En arbetsstation kan vara en flaskhals om det är den station som har högst cykeltid i produktionssystemet (Segerstedt, 2018). I Duroc Rails produktionssystem är det stationerna enligt tabell 47 som har högst cykeltider i fallande ordning. Simuleringsresultat från samtliga scenarion visar dock på att Axelslip TBU och TBU-montering aldrig utnyttjas till en grad över 51%, resterande tid är stationen i vila. Vilken kan förklaras av hur stor andel av hjulparen som bearbetas på stationerna enligt målbild, se tabell 47, samt att de har lägre cykeltider än de övriga stationerna i tabellen. En station som i stället når en hög utnyttjandegrad vid majoriteten av simuleringsscenarion är UL 2 (IS1). Detta kan förklaras av att andelen hjulpar som bearbetas på denna station är större än för stationerna i tabell 47. I snitt bearbetas 45% av samtliga hjulpar på stationen UL 2 (IS1).

Tabell 47: Cykeltider

Ordning	Station	Andel hjulpar per skift enligt målbild
1	MT	20%
2	Påstomning	35%
3	Svarv PN190	33%
4	Svarv Hoesch	33%
5	UL 1 (IS2)	20%
6	Axelslip TBU	17%
7	TBU-montering	17%

6.4.4 Produktmixens påverkan

Det är viktigt att ta i beaktning att det inte alltid kommer vara möjligt att producera hjulpar enligt den produktmix som kan anses optimal då efterfrågan är kundorderstyrd, samt att olika kunder ställer olika krav på ledtid vilket påverkar prioriteringen av produktionen. Scenario 3 visar dock på att en produktmix där det i batcher om två eftersträvas att vart tredje batch är från respektive svarvlina fungerar bra. Skapas och bearbetas en produktmix som är på gränsen att klara av att bearbeta samtliga hjulpar blir flaskhalsarna känsliga för oförutsägbara stopp, vilket kan leda till stor påverkan på produktionen i helhet. Detta då tid förlorad i en flaskhals är tid förlorad för hela systemet enligt (Krajewski et al., 2013). Följs detta samt att fördelningen i produktmixen inte överstiger andelen i tabell 48 vid intag av 40 hjulpar per skift ska den nya produktionslayouten klara av att bearbeta samtliga 40 hjulpar per skift.

Fördelningarna i tabell 48 är baserad på den taktid som måste upprätthållas för 40 hjulpar per skift. Taktiden kan även ge svar på hur stor andel av respektive hjultyp en produktmix kan innehålla. En produktmix på 40 hjulpar per skift som följer en exakt målbild kan bestå av 100% gula hjul. Detta då dessa kan balanseras jämt mellan svarvarna, vilket också är ett krav för att det ska vara möjligt för en mix med endast gula hjulpar. Om det ett skift endast ska bearbetas hjulpar som är av antingen cylindriska eller TBU måste fördelningen av IS1 plus IS2 dras ner till 42% för att klara av taktiden, detta innebär dock att IS3 måste ha en fördelning på 58% vilket inte är möjligt enligt gränserna på fördelning för underhållsnivåer. Därför är det inte möjligt att endast bearbeta TBU eller endast cylindriska. Dessa måste i stället fördelas på ett sätt som gör att det inte finns mer än 42% TBU eller 42% cylindriska av underhålstyp IS1 plus IS2 i en produktmix.

Tabell 48: Gränser fördelning hjulpar på underhållsnivå

Underhållsnivå	Maximal andel	Maximal antal
IS1	59%	23
IS2	36%	14
IS3	36%	14
IS1 + IS2	84%	34

Att produktmixen är en orsak till flaskhalsar indikerar enligt Bellgran och Säfsten (2005) på att flaskhalsarna i grunden uppstår till följd av brister på systemnivå. Ibland krävs det dock att produktmixar som produktionssystemet inte klara av körs och då finns det brister på maskinnivå som gör att produktmixen inte fullständigt går att bearbeta på den angivna tiden. Det viktiga med produktmixen i enlighet med (Krajewski et al., 2013) är att balansera flödena vilket görs mellan

underhållsnivåerna om en optimal produktmix enligt given målbild följs. Hjultyperna inom de olika underhållsnivåerna går däremot inte att balansera till en optimal nivå då dessa inte har en jämn fördelning mellan sig, se tabell 2.

6.4.5 Flexibilitet i produktionen

När hjulskivor på hjulpar pressas av blir de en lös hjulaxel som placeras häckar, vilket gör att de inte längre står på ett spår där prioriteringsreglerna för köer är enligt vad som beskrivs av Segerstedt (2018) som FIFO. Detta innebär en viss flexibilitet i flödet och hjulpar med bestämda ledtider kan väljas att bearbetas förs enligt prioriteringsregeln tidigast färdigdatum för order. Denna flexibilitet kan innebära en större flexibilitet för produktmixen och en större möjlighet att följa reglerna för den optimala produktmixen.

6.5 Jämförelse med befintlig produktion

PIA:t i det nuvarande produktionssystemet ligger på ett genomsnitt på vinterhalvåret på 444 hjulpar. Med en ett genomsnittligt intag på 35 hjulpar per skift har hjulpar i produktionen en genomsnittlig genomloppstid enligt Little (1961) på 89 timmar. Jämförs detta med simuleringsresultatet för en optimal produktmix med målbild om 40 hjulpar per skift i det nya produktionssystemet är det en förbättring på 88%. En lägre genomloppstid innebär även ett lägre PIA (Little, 1961). I det nya produktionssystemet är genomsnittligt PIA 59 hjulpar. Jämförs detta med nuvarande produktionslayoutens PIA är även det en minskning på 88%. I enlighet med Johnson (2003) innebär ett lägre PIA en lägre genomloppstid. Förklaringen ligger i att i den nuvarande produktionssystemet lyfts hjulpar ur spår vilket leder till att arbetsstationer får mycket större buffertar än vad som finns i den nya produktionslayouten. Hade hjulpar inte lyft ur spår hade det nuvarande produktionssystemet haft ett PIA och en genomloppstid som är närmare vad det är i det nya produktionssystemet. Enligt Little (1961) ökar genomloppstiden om PIA:t ökar givet att antalet intagna enheter är konstant. En kortare genomloppstid innebär att fler enheter kan göras under en tidsperiod och således leder ett ökat PIA inte till att fler enheter kan produceras om antalet intagna enheter hålls oförändrat. Detta innebär också att både genomloppstiden och PIA:t är större i det nuvarande produktionssystemet jämfört med det nya.

7 Slutsatser och rekommendationer

I följande avsnitt presenteras de slutsatser som studien resulterat i. Vidare presenteras också de rekommendationer som ges till fallstudieföretaget i linje med studiens syfte.

7.1 Slutsatser

Utformningen av intagningsrutinen är den främsta orsaken till uppkomsten av flaskhalsar i den nya produktionsflödet. Genom att styra produktmixen, fördela vilka hjulpar som tas in och hur många, på rätt sätt kan flaskhalsar undvikas och produktionsresultatet optimeras. Det är därför av stor vikt att rätt typ av hjulpar tas in i produktionslinan för att ge möjlighet till en jämn fördelning mellan underhållsnivåerna samt även mellan svarvarna. Balanseras inte svarvarna och andelen hjulpar av typen IS1 och IS2 är för hög uppstår en flaskhals i den svarv med högst beläggning. Vidare är det av stor vikt att fördelningen av samtliga hjulpar hålls på rätt nivå för att inte orsaka flaskhalsar i andra delar av flödet. Är andelen hjulpar av typen IS1 för stor blir stationen UL2 (IS1) en flaskhals. Är andelen hjulpar av typen IS2 för stor blir stationen MT en flaskhals. Är andelen hjulpar av typen IS3 för stor blir påstomningsstationen en flaskhals. Samtliga flaskhalsar i den nya produktionslayouten går därför att påverka med rätt produktmix utifrån förutsättningarna att 40 hjulpar ska bearbetas på ett skift samt att inga förändringar har gjorts på maskinnivå.

Utifrån en optimal produktmix, buffertar enligt standard och bemanningsgruppering enligt plan kan målbilden för en ny produktionslayout uppfyllas. Oavsett produktmix måste bemanningen och antal hjulpar i buffertarna för den nya produktionslayouten ha möjlighet att anpassas för att säkerställa att ingen station med hög beläggning blir blockerad. Stationer som alltid måste bemannas utifrån en optimal produktmix är insyningen, båda svarvarna, UL2 samt påstomningen.

Vid en ökad efterfrågan sätts högre krav på produktionssystemet och det uppstår en större risk för flaskhalsar. För att produktionslayouten ska klara av en utökad efterfrågan på 15% utan att öka antalet skift måste cykeltiden på insyningen förbättras en extra påstomningsstation läggs till och bufferten för avsvälningen utökas till minst 32. För att produktionslayouten ska klara av en utökad efterfrågan på 30% måste samma förändringar som i en ökning på 15% göras, men med en buffert på avsvälningen på 36 hjulpar samt även en extra svarv läggs till. Görs detta klarar produktionslayouten av att bearbeta en optimal produktionsmix med 30% ökning.

7.2 Rekommendationer

Duroc Rail rekommenderas att i sin nya produktionslayout till största möjliga mån följa den nya optimala intagningsrutin som tagits fram av studien. Produktmixen bör då vara fördelad med hjulpar i batcher om två och med vart tredje batch av respektive svarvlina enligt bilaga 16. Kan inte den optimala intagningsrutinen följas är det viktigt att andelen av respektive hjultyp inte överstiger rekommenderade gränser samt att svarvarna balanseras till högsta möjliga grad.

Den initiala bemanningsgrupperingen bör följas och det är där viktigt att följa ett arbetssätt där operatörer är vid rätt arbetsstation vid rätt tillfälle för att säkerställa att eventuella flaskhalsar inte blir blockerade till följd av att kommande arbetsstation inte har bearbetat hjulpar och skapat utrymme i bufferten. Det är också viktigt med förståelsen för att ökad prestanda på en arbetsstation som inte är en flaskhals inte resulterar i några förbättringar på systemnivå. Det finns inget argument till att lyfta av hjulpar ur spår och ställa dem åt sidan med anledning att tömma en buffert som inte är full eller som inte orsakar några blockeringar. Att lyfta hjulpar ur

spår är därför inget som rekommenderas och bör endast göras i nödfall vid avvikande situationer.

I enlighet med bemanningsgrupperingen som föreslagits av Duroc Rail rekommenderas en fortsatt konstant bemanning på insyningen, båda svarvarna samt påstomningen. Av de två operatörer som ska bemanna ultraljudsstationerna (UL1, UL2 och UL axel) på ett skift rekommenderas att en operatör alltid bemannar UL2 då denna station har hög utnyttjandegrad och riskerar att bli en flaskhals. Vidare är det viktigt att säkerställa att det finns tillräckligt med kompetent personal som kan utföra arbetet på ultraljudsstationerna samt en marginal för eventuell frånvaro. Detsamma gäller för svarvarna och insyningen.

Duroc Rail rekommenderas att i den nya produktionslayouten avsätta plats för en extra påstomningsmaskin. Denna kommer att vara nödvändig vid en ökning av efterfrågan. Även tiden det tar att bearbeta ett hjulpar vid insyningen måste förbättras om en ökning av efterfrågan görs. Vidare rekommenderas Duroc Rail att använda de buffertstorlekar som använts som utgångspunkt i simuleringen för den nya layouten då dessa varit tillräckliga för att uppnå önskat resultat vid en optimal produktmix enligt målbild. För att buffertarna även ska klara av produktmixar som inte följer den optimala produktmixen enligt målbild bör bufferten på stationen UL2 utökas från fem till åtta. Bufferten på avsvälningen bör även ökas till 36 för att klara av en ökad efterfrågan samt eventuella snedfördelningar av produktmix. Vidare anses resterande initiala buffertstorlekarna tillräckligt för att klara av en produktmix som inte följer det optimala men som håller sig inom gränserna för vad produktionssystemet klara av.

Det arbetssätt som rekommenderas för den nya produktionslayouten är ett arbetssätt som säkerställer att bufferten innan en stationen alltid har möjlighet att ta emot ett hjulpar från en tidigare station som är under bemanning. Ett extra fokus bör också läggas på de stationer som riskerar att bli flaskhalsar, svarvarna, insyningen, påstomningen, UL2 och MT. Vidare ska bearbetning vid en station där efterföljande buffert är full pausas om den efterföljande stationen inte har en lägre cykeltid än den föregående.

8 Diskussion

Iföljande avsnitt diskuteras studiens validitet, reliabilitet samt dess generaliserbarhet av givna rekommendationer. Avsnittet avslutas med rekommendationer för fortsatt arbete inom området.

8.1 Studiens bidragande och generaliserbarhet

Genom att analysera resultatet av utförda simuleringar med hjälp av studiens litteraturstudie samt insamlad empiri har studiens syfte kunnat besvarats. Slutsatserna och rekommendationer bidrar till en förståelse och insikt i hur ett framtida produktionssystem kan fungera och vilka åtgärder som behövs för att det ska fungera. Vidare visar det även vilka brister som kan komma att uppstå för en ny produktionslayout för fallstudieföretaget.

Generaliserbarheten i arbetet är låg då situationer är väldigt specifik för just fallstudieföretaget. Det studien dock skulle kunna bidra med är en insikt i hur ett simuleringsverktyg kan vara mycket användbart vid undersökning och förståelse för ett framtida hypotetiskt produktionsflöden.

8.2 Studiens validitet och reliabilitet

En simulering är alltid en förenkling av verkligheten och resultatet i verkligheten kan inte förväntas bli lika bra som resultatet från simuleringen. Detta påverkar därför studiens validitet och det är därför viktigt att tolka resultatet med en viss marginal. Cykeltiderna som utgör grunden för simuleringen är genomsnittliga tider och kan inte representera samtliga oväntade avvikelser som kan uppstå i verkligheten. Däremot ger simuleringsresultatet en bra grund för att det ska vara teoretiskt möjligt att producera tänkt antal enheter förutsatt att inget avvikande eller oväntat uppstår. Vidare har även ytterligare förenklingar gjorts för att göra det möjligt att utföra en simulering med de kunskaper som besatts vid studietillfället. Detta har kompenserat genom att kontinuerligt stämma av med kompetent personal att studien fortfarande på ett realistiskt sätt representerar verkligheten. Studiens slutsatser och rekommendationer representerar därför verkligheten i den högsta mån det är möjligt. Reliabiliteten i studien har stärkts genom dess beskrivning av hur simuleringen har genomförts och hur dess resultat har tolkats.

8.3 Fortsatt arbete

Simuleringen har fungerat som ett verktyg eftersom experiment inom den befintliga produktionen inte hade varit möjliga att genomföra för att uppnå syftet med studien. Det som däremot går att experimentera med i en befintlig produktion och där ett fortsatt arbete rekommenderas är det arbetssätt och den produktmix som föreslås. Att testa den intagningsrutin som föreslås i studien med batcher om två i det nuvarande produktionssystemet är möjligt och kan ge insikt i hur det fungerar i verkligheten ur ett bemannings och arbetssättsperspektiv. Vidare bör det testas att i största möjliga utsträckning inte lyfta av hjulpar ur spår då det inte kommer finnas utrymme för det i den nya produktionslayouten.

Vidare kan simuleringen utvecklas för att ytterligare representera verkligheten bättre. Det sidoarbete som sker utöver den direkta bearbetningen av hjulpar kan läggas till i simuleringen. Även bemanningen kan testas i simuleringen för att säkerställa att den fungerar samt testa olika scenarion utifrån eftersträvd bemanning. Det går även att lägga ytterligare fokus och jobba vidare på den optimal produktmixen med vad som är den optimala produktmixen utifrån olika fördelningar av hjulpar.

9 Referenser

- Bellgran, M., & Säfsten, K., (2005). *Produktionsutveckling: Utveckling av drift och produktionssystem*. (Första upplagan). Studentlitteratur
- David, M., & Sutton, C. D., (2011). *Samhällsvetenskaplig Metod* (Andra upplagan). Studentlitteratur
- Johnson, D. J., (2003). A framework for reducing manufacturing throughput time. *Journal of Manufacturing Systems*, 22(4). 283-298. [https://doi.org/10.1016/S0278-6125\(03\)80009-2](https://doi.org/10.1016/S0278-6125(03)80009-2)
- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K., (2013). *Operations Management. Processes and Supply Chains*. (Tioende upplagan). Pearson.
- Little, J. D. C., (1961). A proof for the queuing formula: $L = AW$. *Oper. Res.* 9(3) 383-387.
- Modig, N., & Åhlström, P. (2015). *Detta är Lean*. (Första upplagan). Rheologica Publishing.
- Pegels, C. C., & Watrous, C. (2005). Application of the theory of constraints to a bottleneck operation in a manufacturing plant. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(3), 302–311. <https://doi.org/10.1108/17410380510583617>
- Pekarcikova, M., Trebuna, P., Kliment, M., & Dic, M. (2021). Solution of Bottlenecks in the Logistics Flow by Applying the Kanban Module in the Tecnomatix Plant Simulation Software. *Sustainability*, 13(14), 7989. <http://dx.doi.org/10.3390/su13147989>
- Robinson, S. (2014). *Simulation: The Practice of Model Development and Use* (Andra upplagan). Palgrave Macmillan
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2012). *Research Methods for Business Students* (Sjätte upplagan). Pearson
- Segerstedt, A., (2018). *Logistik med fokus på material- och produktionsstyrning*. (Tredje upplagan). Liber
- Spenhoff, P., Semini, M., Alfnes, E., & Strandhagen, J. O. (2014). The fit of planning methods for the part manufacturing industry, a case study. *Advances in Manufacturing*, 2(2), 165–172. <https://doi.org/10.1007/s40436-014-0075-0>

Bilaga 1.1 – Tidsstudie exempel

Medel	Station	Tid 1	Info	Tid 2	Info	Tid 3	Info	Tid 4	Info	Tid 5	Info	Tid 6	Info
	Ultraljud IS1		IS1		IS1		IS1		IS1 gul		IS1 gul		IS1 gul
	Ultraljud IS2		IS2		IS2		IS2						

Bilaga 1.2 - Observation

1. Hjulparet rullas fram till station.
2. Hjulparet hissas upp och bearbetning påbörjas.
3. Tapetklister används som kontaktgel och smörjs på hjulskiva.
4. Ultraljud av hjulskiva genomförs och tapetklistret torkas sedan noga av. Steg 3–4 upprepas sedan på den andra hjulskivan.
5. Beroende på hjultyp görs även ultraljud på hjulaxel. Tapetklister smörjs då på axeln och ultraljud genomförs.
6. Hittas inga avvikelser hissas hjulparet ner och rullas till nästa station.

Bilaga 3 – Arbetsstationer

	Nutida arbetsstationer
1	Insyning
2	Rivning cylindrisk
3	Rivning TBU
4	Borstning
5	Bläster
6	Axel slip TBU
7	Axel slip cylindrisk
8	Svarv PN190
9	Svarv Hoesch
10	UL Hjulskiva
11	MT Rev. hjul
12	Innerringsmontering cylindrisk
13	Montering cylindriska
14	UL Axel
15	Montering TBU
16	Avpressning
17	Axelkontroll
18	Påstomning
19	Provpres
20	Målning
21	Utsyning

Bilaga 4.1 – Exempel på produktmix enligt intagningsrutin

Exempel 1				
Intagsordning	Lina	Kund	Hjultyp	Underhållsnivå
1	1	Kundgrupp 1	Gul	IS1/IS2
2	1	Kundgrupp 1	Gul	IS1/IS2
3	1	Kundgrupp 1	Gul	IS3
4	1	Kundgrupp 1	Gul	IS1/IS2
5	2	Kundgrupp 1	Cylindrisk	IS1/IS2
6	2	Kundgrupp 1	Cylindrisk	IS1/IS2
7	2	Kundgrupp 1	Cylindrisk	IS1/IS2
8	2	Kundgrupp 1	Cylindrisk	IS3
9	1	Kundgrupp 1	Gul	IS1/IS2
10	1	Kundgrupp 1	Gul	IS1/IS2
11	1	Kundgrupp 1	Gul	IS3
12	1	Kundgrupp 1	Gul	IS1/IS2
13	2	Kundgrupp 1	Cylindrisk	IS1/IS2
14	2	Kundgrupp 1	Cylindrisk	IS1/IS2
15	2	Kundgrupp 1	Cylindrisk	IS3
16	2	Kundgrupp 1	Cylindrisk	IS1/IS2
17	1	Kundgrupp 1	Gul	IS1/IS2
18	1	Kundgrupp 1	Gul	IS1/IS2
19	1	Kundgrupp 1	Gul	IS3
20	1	Kundgrupp 1	Gul	IS1/IS2
21	2	Kundgrupp 1	Cylindrisk	IS1/IS2
22	2	Kundgrupp 1	Cylindrisk	IS1/IS2
23	2	Kundgrupp 1	Cylindrisk	IS1/IS2
24	2	Kundgrupp 1	Cylindrisk	IS1/IS2
25	1	Kundgrupp 2	TBU	IS3
26	1	Kundgrupp 2	TBU	IS1/IS2
27	1	Kundgrupp 2	TBU	IS1/IS2
28	1	Kundgrupp 2	TBU	IS3
29	2	Kundgrupp 1	Cylindrisk	IS1/IS2
30	2	Kundgrupp 3	Cylindrisk	IS3
31	2	Kundgrupp 3	Cylindrisk	IS1/IS2
32	2	Kundgrupp 3	Cylindrisk	IS1/IS2
33	2	Kundgrupp 3	Cylindrisk	IS1/IS2
34	1	Kundgrupp 2	TBU	IS1/IS2
35	1	Kundgrupp 2	TBU	IS1/IS2

Bilaga 4.2 – Exempel 2 på produktmix enligt intagningsrutin

Exempel 2			
Intagsordning	Lina	Hjultyp	Underhållsnivå
1	1	Gul	IS1/IS2
2	1	Gul	IS1/IS2
3	1	Gul	IS1/IS2
4	1	Gul	IS3
5	2	Cylindrisk	IS1/IS2
6	2	Cylindrisk	IS1/IS2
7	2	Cylindrisk	IS1/IS2
8	1	Gul	IS1/IS2
9	1	Gul	IS1/IS2
10	1	Gul	IS1/IS2
11	1	Gul	IS3
12	2	Cylindrisk	IS1/IS2
13	2	Cylindrisk	IS1/IS2
14	2	Cylindrisk	IS1/IS2
15	2	Cylindrisk	IS3
16	1	TBU	IS1/IS1
17	1	TBU	IS1/IS2
18	1	TBU	IS1/IS2
27	2	Cylindrisk	IS1/IS2
19	2	Cylindrisk	IS1/IS2
20	2	Cylindrisk	IS1/IS2
21	2	Cylindrisk	IS3
22	1	Gul	IS1/IS2
23	1	Gul	IS1/IS2
24	1	TBU	IS1/IS1
25	1	TBU	IS1/IS2
26	1	TBU	IS3
28	2	Cylindrisk	IS1/IS2
29	2	Cylindrisk	IS1/IS2
30	2	Cylindrisk	IS1/IS2
31	2	Cylindrisk	IS3
32	1	Gul	IS1/IS2
33	1	Gul	IS1/IS2
34	1	Gul	IS1/IS2
35	1	Gul	IS3
36	2	Cylindrisk	IS1/IS2
37	2	Cylindrisk	IS1/IS2
38	2	Cylindrisk	IS1/IS2
39	2	Cylindrisk	IS1/IS2
40	2	Cylindrisk	IS3

Bilaga 5 – Stickprov intagningsrutin

2021-11-24		2021-12-15		2022-01-13		2022-02-10		2022-03-08	
Ordning	Hjultyp	Ordning	Hjultyp	Ordning	Hjultyp	Ordning	Hjultyp	Ordning	Hjultyp
1	IS1 Gula	1	IS1 TBU	1	IS1 Gula	1	IS1 Cyl	1	IS1 Gula
2	IS1 Gula	2	IS1 TBU	2	IS3 Gula	2	IS1 Cyl	2	IS1 Gula
3	IS1 Gula	3	IS1 TBU	3	IS3 Gula	3	IS1 Cyl	3	IS1 Gula
4	IS3 TBU	4	IS2 TBU	4	IS1 Gula	4	IS1 + IL Cyl	4	IS1 Gula
5	IS3 TBU	5	IS2 Cyl	5	IS1 Gula	5	IS1 Cyl	5	IS3 Cyl
6	IS3 TBU	6	IS2 Cyl	6	IS3 Gula	6	IS2 Cyl	6	IS1 TBU
7	IS2 Cyl	7	IS1 Gula	7	IS3 Gula	7	IS1 Cyl	7	IS1 TBU
8	IS2 Cyl	8	IS1 Gula	8	IS1 Gula	8	IS1 Cyl	8	IS1 TBU
9	IS2 Cyl	9	IS3 Gula	9	IS1 + IL Gula	9	IS1 Cyl	9	IS1 TBU
10	IS2 Cyl	10	IS3 Gula	10	IS1 Gula	10	IS3 Cyl	10	IS3 TBU
11	IS2 Cyl	11	IS2 Cyl	11	IS1 + IL Gula	11	IS1 Cyl	11	IS3 TBU
12	IS2 Cyl	12	IS1 + IL Cyl	12	IS3 TBU	12	IS1 Cyl	12	IS1 Gula
13	IS1 TBU	13	IS1 TBU	13	IS3 TBU	13	IS2 Cyl	13	IS1 Gula
14	IS3 TBU	14	IS1 TBU	14	IS3 TBU	14	IS1 Cyl	14	IS3 Cyl
15	IS3 TBU	15	IS1 TBU	15	IS3 TBU	15	IS1 Gula	15	IS3 Cyl
16	IS3 TBU	16	IS1 TBU	16	IS3 Avvikelse	16	IS1 Gula	16	IS1 Gula
17	IS1 + IL Cyl	17	IS2 TBU	17	IS3 Avvikelse	17	IS1 + IL Gula	17	IS1 Gula
18	IS2 Cyl	18	IS3 Cyl	18	IS3 Gula	18	IS1 + IL Gula	18	IS3 Gula
19	IS2 Cyl	19	IS1 + IL Cyl	19	IS3 Gula	19	IS1 + IL Gula	19	IS3 Gula
20	IS2 Cyl	20	IS2 Cyl	20	IS1 Gula	20	IS1 Gula	20	IS3 TBU
21	IS3 TBU	21	IS3 Cyl	21	IS1 + IL Gula	21	IS1 Cyl	21	IS3 TBU
22	IS3 TBU	22	IS2 Cyl	22	IS3 Avvikelse	22	IS1 Cyl	22	IS3 TBU
23	IS3 TBU	23	IS1 + IL Cyl	23	IS3 Avvikelse	23	IS1 Cyl	23	IS3 TBU
24	IS3 TBU	24	IS1 + IL Cyl	24	IS3 Gula	24	IS1 Cyl	24	IS1 Gula
25	IS3 Gula	25	IS1 Cyl	25	IS1 + IL Gula	25	IS1 + IL Gula	25	IS1 Gula
26	IS3 Gula	26	IS1 + IL Cyl	26	IS1 Gula	26	IS1 + IL Gula	26	IS1 Gula
27	IS3 Gula	27	IS1 TBU	27	IS3 Avvikelse	27	IS1 Gula	27	IS1 Gula
28	IS3 Gula	28	IS1 TBU	28	IS3 Avvikelse	28	IS1 + IL Gula	28	IS3 Gula
29	IS2 Cyl	29	IS3 Gula	29	IS3 Cyl	29	IS1 + IL Gula	29	IS3 Gula
30	IS2 Avvikelse	30	IS1 Gula	30	IS1 + IL Gula	30	IS3 Gula	30	IS1 Gula
31	IS2 Cyl	31	IS1 Gula	31	IS1 Gula	31	IS1 Cyl	31	IS1 Gula
32	IS1 + IL Cyl	32	IS1 Gula	32	IS3 Avvikelse	32	IS1 Cyl	32	IS3 TBU
33	IS2 Cyl	33	IS1 TBU	33	IS3 Avvikelse	33	IS1 Cyl	33	IS3 TBU
34	IS1 Cyl	34	IS1 TBU	34	IS3 Gula	34	IS1 Cyl	34	IS1 Gula
35	IS2 Cyl	35	IS1 TBU			35	IS3 TBU	35	IS1 Gula
36	IS1 Cyl	36	IS1 TBU						
		37	IS2 Avvikelse						
		38	IS3 Gula						
		39	IS1 Gula						
		40	IS3 Gula						
		41	IS3 Gula						
		42	IS3 Gula						
		43	IS3 Gula						
		44	IS3 Gula						

Bilaga 6 - Stopptider

Planerat underhåll		
Arbetsstation	MTTR	MTBF
Svarv PN190	20 min	1 gång/vecka
Svarv PN190	40 min	1 gång/månad
Svarv Hoesch	60 min	1 gång/vecka
Oförutsägbara stopp		
Arbetsstation	MTTR	MTBF
PN190	180 min	1 gång/månad
Hoesch	30 min	0.5 gång/månad
Bläster	60 min	1 gång/vecka
Borstning	60 min	1 gång/månad
Målning	60 min	1 gång/vecka

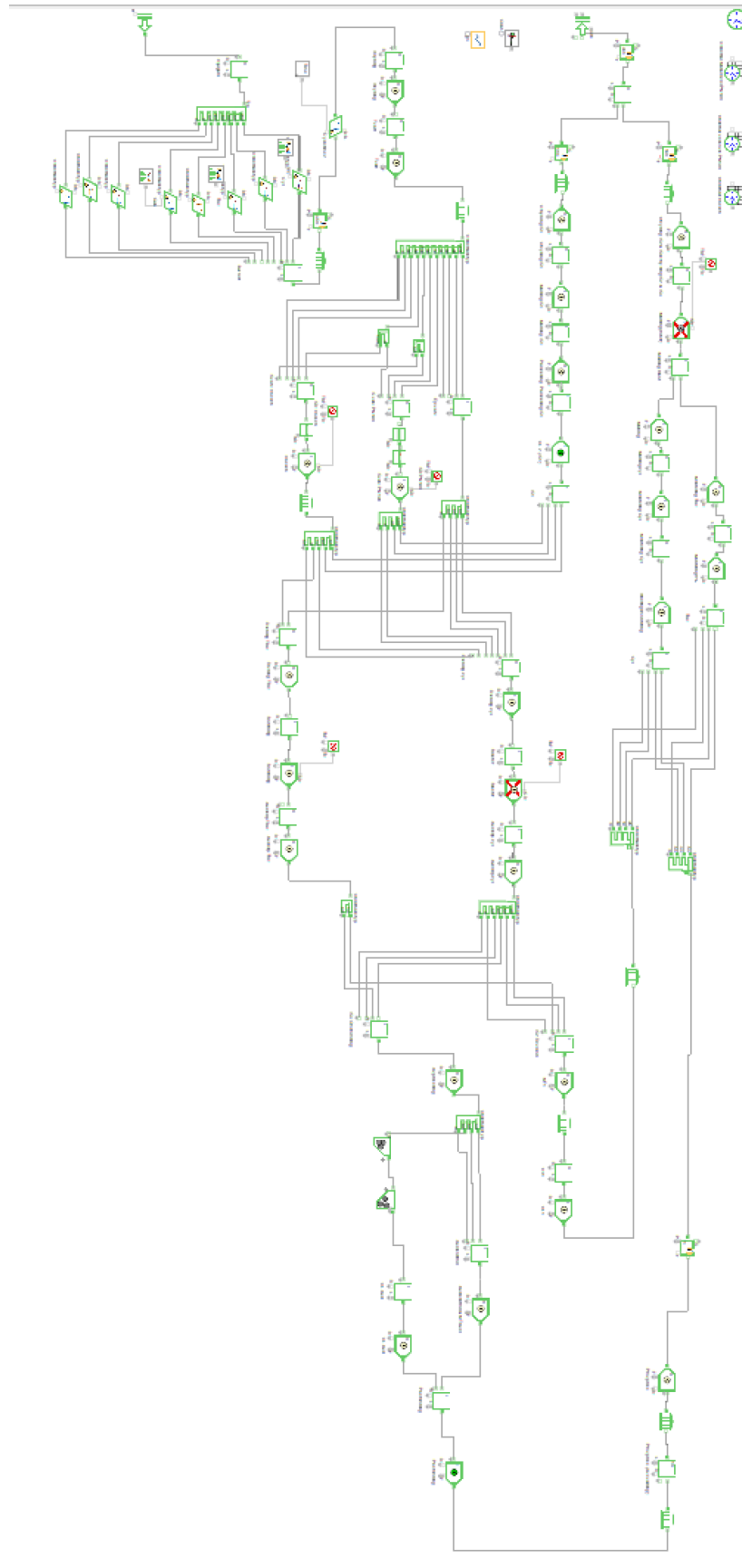
MTTR – Mean time to repair

MTBF – Mean time before failures

Bilaga 8: Bemanningsgruppering

Grupp	Arbetsstation	Antal operatörer	Kommentar
1	Rulla hjul Tvätt	1	
2	Insyning	1	
3	Svarv PN190 Ej svarv (rulla hjul)	1	
4	Svarv Hoesch	1	
5	Rivning Cyl Rivning TBU Bläster Axelslip Cyl Borstning Axelslip TBU	5	Vanligtvis två personer på cylindrisk rivning, en på TBU rivning, en som sköter bläster och cylindrisk axelslip samt en som sköter borstning och axelslip TBU. Cykeltid för Rivning baserad på att det är två operatörer.
6	UL 1 (IS2) UL Axel UL 2 (IS1)	2	
7	MT 1	1	
8	Avpressning	1	
9	Axelkontroll & MT	1	
10	Påstommning Provpres	1	Provpresen bemannas under tiden påstomningen utför ett automatisk arbete som inte kräver en närvarande operatör.
11	Målning cyl Innerringsmontering cyl	1	
12	Montering cyl	1	
13	TBU-montering	1	
14	8 procent (Sfärisk, PSV-montering)	1	Möjlighet till dubbel bemanning finns. Då kan cykeltiden förkortas avsevärt.
15	Målning (robot) Utsyning IS2 & IS3	1	
16	Pålockning IS1 Målning IS1 Utsyning IS1	1	
SUMMA		21	

Bilaga 10 – Simuleringsmodell



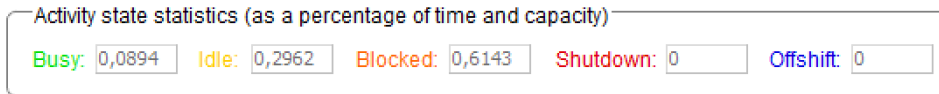
Bilaga 11: Exempel 2, buffertstorlek UL 2

The screenshot shows the Scenario Manager window with the following configuration:

- Run control:**
 - Choose DOE method: Full factorial design
 - Runs per scenario: 6
 - Simulation start time: 0
 - Simulation end time: 8400
 - Confidence interval: 95%
 - Status: Run count: 6/6, Scenario count: 5/1, 100%
 - Buttons: Create Scenarios, Run Scenarios, Stop
 - Options: Import DB factors on first run of first scenario only, Export DB factors after last run of last scenario only, Save model after each scenario
- Scenarios Table:**

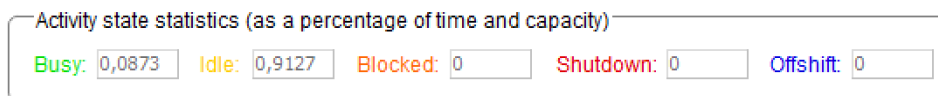
Select	Scenario Name	MaxQueueLength UL_prm	(M)ASS_PercentBlocked_prm	(M)ASS_PercentBlocked Hoesch_prm	Details
<input type="checkbox"/>	Scenario 1	5	0,019885041	0,021149539	Show
<input type="checkbox"/>	Scenario 2	6	0,014628831	0,016382395	Show
<input type="checkbox"/>	Scenario 3	7	0,0019833595	0,0021745061	Show
<input type="checkbox"/>	Scenario 4	8	0,0000000	0,0000000	Show
<input type="checkbox"/>	Scenario 5	9	0,0000000	0,0000000	Show
<input type="checkbox"/>	Scenario 6	10	0,0000000	0,0000000	Show
<input type="checkbox"/>	Scenario 7	11	0,0000000	0,0000000	Show
<input type="checkbox"/>	Scenario 8	12	0,0000000	0,0000000	Show

Bilaga 12 – Blockering arbetsstation provpress



Figur 15a: Resultat arbetsstation provpress

Figur 15a visar resultatet för provpressen då efterföljande buffert till stationen innerringsmontering är enligt standard på 2 st. Stationen utnyttjas då till 9%, står still utan arbete 30% och är blockerad till 61%. Ändras bufferten till efterföljande station till en nivå att provpressen inte blir blockerad ändras inte utnyttjandegraden. I stället ändras den blockerade tiden till vilande tid, se figur 15b.



Figur 15b: Resultat arbetsstation provpress

Bilaga 13 - Produktmixar Scenario 3

Produktmix 2.1A			
Mix enligt exakt antal			
Flöde	Svarvlina	Simnr	Antal
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS3 Cyl	1	2	2
IS1/IS2 TBU	3	3	2
IS1/IS2 TBU	3	3	2
IS3 TBU	1	4	2
IS1/IS2 Gula	2/3	5	2
IS1/IS2 Gula	2/3	5	2
IS3 Avvikelse	1	8	1
IS1/IS2 TBU	3	3	2
IS1/IS2 TBU	3	3	1
IS3 TBU	1	4	3
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS3 Cyl	1	2	2
IS1/IS2 Gula	2/3	5	2
IS2 Avvikelse	3	7	1
IS3 Cyl	1	2	3
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS1/IS2 Gula	2/3	5	2
IS3 Gula	1	6	1
SUMMA			40

Kommentar mix: Mixen baseras på att hjulpar ska insynas i batcher om 2-4 per svarvlina för svarvhjul (IS1/IS2) och 1-3 för IS3 hjul. Fördelningen utgår ifrån att vart tredje batch ska vara omstomningshjul (Svarvlina 1). Däremellan är det varannan batch med svarvhjul från respektive svarvlina på ett ungefär

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
397	3,8	15,4	10,5
404	4,1	15,6	10,5
402	3,9	15,6	10,5
399	3,9	15,5	10,4
401	3,9	15,5	10,5

	Utnyttjandegrad
PN190	77%
Hoesch	77%
Påstomning	95%
UL2	72%
Insyning	87%

Kommentar simuleringsresultat: Provpresen är blockerad men resultatet påverkas inte om den blockeraden åtgärdas. Åtgärdas blockaden syns det att den blockerade tiden omvandlas till vilande tid i stället.

Produktmix 2.1B			
Mix enligt exakt antal			
Flöde	Svarvlina	Simnr	Antal
IS1/IS2 TBU	3	3	2
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS3 Cyl	1	2	2
IS1/IS2 TBU	3	3	2
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS3 TBU	1	4	2
IS1/IS2 Gula	2/3	5	2
IS1/IS2 Gula	2/3	5	2
IS3 Avvikelse	1	8	1
IS1/IS2 TBU	3	3	2
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS3 Cyl	1	2	2
IS1/IS2 TBU	3	3	1
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS3 TBU	1	4	3
IS1/IS2 Gula	2/3	5	2
IS2 Avvikelse	3	7	1
IS3 Cyl	1	2	3
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS1/IS2 Gula	2/3	5	2
IS3 Gula	1	6	1
SUMMA			40

Kommentar mix: Liknar 2.1A. Batcherna för respektive svarvlina är istället 1-3 hjulpar. Detta ger att vart tredje batch är hjulpar från svarvlina 1, vart tredje från svarvlina 2 osv, i den mån det är möjligt.

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
401	3,5	15,7	10,2
399	3,5	15,4	10,4
399	3,4	15,2	10,3
400	3,5	15,7	10,2
400	3,5	15,5	10,3

	Utnyttjandegrad
PN190	77%
Hoesch	77%
Påstomning	95%
UL2	72%
Insyning	87%

Kommentar simuleringsresultat: Samma som i 2.1A, men ger något bättre genomloppstider.

Bilaga 14 - Produktmixar Scenario 3

Produktmix 2.2			
Mix enligt exakt antal			
Flöde	Svarvlina	Simnr	Antal hjul
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	10
IS3 Cyl	1	2	7
IS1/IS2 TBU	3	3	7
IS3 TBU	1	4	5
IS1/IS2 Gula	2/3	5	8
IS3 Gula	1	6	1
IS2 Avvikelse	3	7	1
IS3 Avvikelse	1	8	1

SUMMA 40

Kommentar mix: Ingen direkt mix. Samtliga hjulpar av en typ körs in i samma följd.

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
399	4,2	15,3	10,8
402	4,1	15,5	10,6
402	4,2	15,3	10,6
395	4,1	15,1	10,7
400	4,2	15,4	10,7

Svarv	Utnyttjandegrad
PN190	77%
Hoesch	77%
Påstomning	95%
UL2	72%
Insyning	87%

Kommentar simuleringsresultat: Tvätten är till viss del blockerad och en blockering precis som i 2.1A sker vid provpressen. I övrigt inga anmärkningar.

Produktmix 2.3			
Mix enligt exakt antal			
Flöde	Svarvlina	Simnr	Antal hjul
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS1/IS2 TBU	3	3	2
IS1/IS2 TBU	3	3	2
IS3 Cyl	1	2	2
IS3 TBU	1	4	2
IS1/IS2 Gula	2/3	5	2
IS2 Avvikelse	3	7	1
IS1/IS2 Gula	2/3	5	2
IS1/IS2 Gula	2/3	5	2
IS3 Cyl	1	2	3
IS3 Avvikelse	1	8	1
IS1/IS2 TBU	3	3	2
IS1/IS2 TBU	3	3	1
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS3 Gula	1	6	1
IS3 Cyl	1	2	2
IS1/IS2+IL Cyl	2	1	2
IS1/IS2 Gula	2/3	5	2
IS3 TBU	1	4	3

SUMMA 40

Kommentar mix: Mix med större batcher av respektive svarvlina. Mixen utgår ifrån att vart tredje batch ska vara av respektive svarvlina.

Simuleringsresultat			
Utsynade hjul	Tid IS1	Tid IS2/IS3	Genomloppstid
399	3,7	15,4	10,5
401	3,8	15,3	10,5
400	3,9	15,5	10,6
401	3,8	15,3	10,5
400	3,8	11,9	10,5

Svarv	Utnyttjandegrad
PN190	77%
Hoesch	77%
Påstomning	95%
UL2	72%
Insyning	87%

Kommentar simuleringsresultat: Mycket likt 2.1A och B men med sämre resultat.

Bilaga 15 – Ökning av producerade hjulpar per skift

Ökning med 15%		
	Innan insyning	Antal
1	IS1 & IS2 + IL	11
2	IS3 Cyl	7
3	IS1 & IS2 TBU	8
4	IS3 TBU	5
5	Gula IS1 & IS2 + IL	9
6	Gula IS3	2
7	IS2 Avvikelse	2
8	IS3 Avvikelse	2
	SUMMA	46

Målbild ökning med 15%	
IS1/IS2	30
IS3	16

PN190	15
Hoesch	15

Ökning med 30%		
	Innan insyning	Antal
1	IS1 & IS2 + IL	13
2	IS3 Cyl	8
3	IS1 & IS2 TBU	9
4	IS3 TBU	6
5	Gula IS1 & IS2 + IL	10
6	Gula IS3	2
7	IS2 Avvikelse	2
8	IS3 Avvikelse	2
	SUMMA	52

Målbild ökning med 30%	
IS1/IS2	34
IS3	18

PN190	17
Hoesch	17

Ökningen görs procentuellt för samtliga hjulpar med vissa avrundningar som kan avvika från ett exakt svar måste göras då resultatet måste vara i heltal.

