



CHALMERS

Standardiserad indata och utdata för simulering av tillverkningskanal

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom Maskinteknik 180HP

Daniel Johansson
Kawel Kader

EXAMENSARBETE

Standardiserad indata och utdata för simulering av tillverkningskanal

DANIEL JOHANSSON, KAWEL KADER

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2017

Standardiserad indata och utdata för simulering av tillverkningskanal
DANIEL JOHANSSON, KAWEL KADER

© DANIEL JOHANSSON, KAWEL KADER, 2017.

Examensarbete
Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg
Telefon 031-772 1000

Reproservice
Göteborg, 2017

Förord

Detta examensarbete är utfärdat vid Chalmers Tekniska Högskola på programmet maskinteknik. Programmet omfattar 180 högskolepoäng varav arbetet består av 15 högskolepoäng. Studien utfördes hos SKF Göteborg inom institutionen för produkt- och produktionsutveckling på Chalmers.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare på Chalmers, Camilla Lundgren, för sin kunskap om flödessimuleringar och sitt goda stöd under projektets gång. Ett tack till examinatorn Anders Skoogh som utvärderat arbetet. Tack till Jan Ek, vår handledare på SKF, som bidragit med sin tid och kunskap under arbetets gång. Vi vill även visa vår uppskattning till Pär Ström från ÅF som agerat ett extra bollplank och ökat vår förståelse för detta område.

Ett extra tack till Malin Sunde, Juergen Kaiser och Martin Hjelte som tagit sin tid för att bli intervjuade.

Sammanfattning

Detta arbete utfördes hos SKF i Göteborg. Företaget verkar över flera områden men är mest förknippade med att tillverka lagerelement. För att ligga i framkant krävs ett kontinuerligt arbete med effektivisering av tillverkningsprocesser och flöden. Ett verktyg i förbättringsarbetet är diskret händelsestyrd simulering. Detta är dock i dagsläget både tids- och resurskrävande.

I ett simuleringsprojekt kräver förstudien högst tidsåtgång. En frågeställning skall klargöras, definiera utdata, lokalisera indata och samla in data. Syftet med detta projekt är att förkorta och effektivisera simuleringsarbetet genom att skapa en standardiserad mall för in- och utdata som användaren kan följa och få tillförlitliga resultat.

Arbetet avgränsades genom att inte utföra någon simulering då tidsramen inte tillät detta. Endast kanal WCSRB analyserades då varje kanal i SKF tillverkar olika lagertyper och har således olika processlayouter.

Genom en teoretisk och empirisk studie samlades in- och utdata variabler i en preliminär mall. För varje specifik utdata kopplades nyckelindata som ansågs vara viktiga för att ge ett bra resultat oberoende av detaljnivå. Mallen avgränsades efter möten med yrkesverksamma med kompetens och erfarenhet inom simuleringsarbeten. Avgränsningarna baserade sig på deras feedback och en slutgiltig mall togs fram.

Summary

This study was carried out at SKF in Gothenburg. The company operates in several areas but is primarily associated with manufacturing of bearing elements. To be competitive there is a need to constantly improve the efficiency of the manufacturing processes. A tool in the improvement process is discrete event simulation. However, this is currently both time and resource consuming.

In a simulation project the preparatory tasks are the most time consuming. The problem needs to be clarified, outputs defined, inputs located and data collected. The purpose of this project is to shorten and streamline the simulation process by creating a standardized format for inputs and outputs that the user can follow and get reliable results.

The study was restricted by not performing any simulation since the time frame was too short. Only channel WCSRB was analyzed because of the various types of bearings that are manufactured in each channel which leads to channels having different layouts.

Through a theoretical and empirical study input and output variables was gathered in a preliminary template. For each specific output key inputs were coupled that were considered important to give valid result regardless of the level of detail. The template was refined after meetings with professionals with expertise and experience within the area of simulation. Adjustments was made based on their feedback and a final model was developed.

Innehållsförteckning

Beteckningar	1
1. Inledning	3
1.1 Bakgrund.....	3
1.2 Syfte och mål	3
1.3 Avgränsningar.....	4
1.4 Precisering av frågeställningen	4
2. Teoretisk referensram.....	5
2.1 Discrete-Event System Simulation.....	5
2.1.1 Detaljnivå.....	6
2.2 Datainsamling	7
2.2.1 Indata	7
2.2.2 Utdata.....	8
2.3 Inputdefinitioner.....	9
2.4 Rull-/Kullager	10
2.4.1 Sfäriska rullager.....	10
2.5 Process i WCSRB	11
2.5.1 Planslipning/Slipning.....	11
2.5.2 Hening	11
2.6 Tillägg.....	11
3. Metod	13
3.1 Teoretisk studie	13
3.2 Intervjuer.....	13
3.3 Kartläggning av World Class SRB kanalen	14
3.4 Detaljnivå.....	14
3.5 Skapa preliminär mall	14
3.6 Verifiering.....	14
4 Resultat.....	15
4.1 Resultat av teoretisk studie.....	15
4.2 Intervjuresultat	17
4.3 Kartläggning av World Class SRB kanalen	18
4.4 Mål till utdata	19
4.4.1 Lokalisering av flaskhals	19
4.4.2 Optimering av produktionsflödet	20
4.4.3 Tillverkningstid från komponenter till färdigt lager.....	21
4.4.4 Kostnader för tillägg	21
4.4.5 Hitta om IR eller OR är flaskhals.....	22
4.4.6 Hur påverkas flödet då cell stängs av.....	22
4.4.7 Optimera buffertnivåerna.....	22
4.4.8 Förslitning på verktyg, t ex skär.....	23
4.6 Preliminär mall.....	23
4.7 Verifiering.....	23
5 Diskussion.....	25
5.1 Metodreflektion.....	25
5.2 Resultatreflektion	26
5.3 Felanalys	26
5.4 Användning av mall	27
5.5 Förbättringar och fortsatt arbete	27
6 Slutsats	29
6.1 Besvarande av syftet	29
6.2 Besvarande av frågeställning	30
Referenser	31
Bilaga 1	1
Bilaga 2	7

Beteckningar

WCSRB	World Class Spherical Roller Bearing
LCHO	Low Cost High Output
5GEM	5G Enabled Manufacturing
AGV	Automated Guided Vehicle
IR	Innerring
OR	Yttering
ID	Innerdiameter
OD	Ytterdiameter
DES	Discrete event simulation (Diskret händelsestyrd simulering)

1. Inledning

1.1 Bakgrund

SKF är en världsledande tillverkare av lagerelement. Genom innovativ teknik och organiserad tillverkning har SKF legat i framkant på marknaden [12]. Dock krävs det kontinuerlig effektivisering för att konkurrera. I dagsläget har effektivisering av produktionen stor betydelse då det bidrar till kostnadsbesparingar inom företaget och ökad lönsamhet samt att en större produktionshastighet kan uppnås utan att kompromissa kvalitet [1]. Besparingar är i SKF:s intresse [17].

En effektivisering och förbättring av produktionen kräver ett tydligt förarbete. En diskret händelsestyrd simulering är en bra metod för detta förarbete. Genom att simulera produktionen i en virtuell miljö finns det en möjlighet att identifiera flaskhalsar, icke gynnsamma lagernivåer, ställtider och andra faktorer som förhindrar flödet i produktionen. Optimeras dessa faktorer kan en effektivare tillverkning uppnås [1].

SKF arbetar med simuleringar dagligen och de vill nu ha en standard för in- och utdata innan en tillverkningskanal skall simuleras. Idag måste in- och utdata analyseras innan en simulering genomförs. Med en standard kommer detta arbete inte vara lika krävande då processen blir standardiserad med hjälp av mallen och ett effektivare simuleringsarbete uppnås [14]. Parallellt med detta arbete pågår ett projekt mellan Chalmers, SKF och Ericsson. Projektet kallas 5GEM som står för 5G-Enabled Manufacturing [13]. 5GEM används för tillfället för att behandla data från planslipmaskinerna på WCSRB-kanalen.

1.2 Syfte och mål

Syftet med uppdraget är att effektivisera simuleringsarbetet genom att skapa en standard för in- och utdata [18]. Standarden, som är en form av mall, har som avsikt att spara tid för användaren då det inte ska behövas samla lika mycket information inför en simulering. I dagsläget påbörjas en simulering genom att klargöra frågeställningen samt ta reda på vilken in- och utdata som behövs [1]. Syftet med standardmallen är att förstudien skall reduceras. Denna tidsbesparing bör underlätta simuleringsarbetet för SKF och även göra simulering till ett mer lättillgängligt verktyg.

Det mest tidskrävande vid en simulering är samlandet av indata. Genom att förenkla och effektivisera förstudien med hjälp av mallen kan simuleringsprocessen bli mindre tidskrävande. Fler processer får möjligheten att simuleras och information för en mer kostnadsbesparande tillverkning av lager kan åstadkommas.

Mallen skall även användas som underlag för att diskutera och jämföra resultaten av simuleringarna. Då både in- och utdata skall lokaliseras kommer ett gemensamt underlag för bedömning av resultat skapas samt ett underlag för att lokalisera specifika variabler där datainsamling i dagsläget brister.

1.3 Avgränsningar

I detta arbete kommer endast kanalen WCSRB i D-fabriken analyseras. Denna avgränsning beror på att varje kanal i SKF tillverkar olika typer av lager och komponenter. Således ser kanalerna annorlunda ut med avseende på uppbyggnad, flöde, operationer och automationsnivå. Detta gör det svårt att skapa en standardiserad mall som är anpassad för alla tillverkningskanaler.

I projektet kommer ingen simulering utföras. Fokus ligger på förarbetet till en simulering vilket är samlandet av in- och utdata variabler samt precisering av frågeställning. Detta då en simulering är så pass tidskrävande att det inte kommer hinnas med. Datavariablerna kommer inte heller att parametreras. Vilken fördelning av data som används har en betydande påverkan på resultatet. Därmed får användaren av mallen avgöra hur data skall ställas upp i framtida simuleringar.

1.4 Precisering av frågeställningen

- Vilken utdata behövs för att dra slutsatser som intressenterna behöver?
- Vilken indata behövs för att ge pålitliga värden på utdata?
- Hur skall lämpliga utdata tas fram?
- Hur skall lämpliga indata tas fram?
- Hur skall mallen avgränsas?
- Hur skall mallen verifieras?

2. Teoretisk referensram

I detta kapitel beskrivs de teorier som utgör en grund för arbetet.

2.1 Discrete-Event System Simulation

En diskret händelsestyrd simulering är en imitation av ett verkligt system [1]. Simulation av ett kartlagt system ger upphov till artificiella utdata som kan användas för att analysera och dra slutsatser runt det verkliga systemet. För att kunna studera och simulera ett system fordras en modell av systemet. Modellen är en avbildning av systemet med vissa antaganden om systemets funktionalitet. Dessa antaganden uttrycks matematiskt, logiskt eller symboliskt mellan de olika komponenterna inom systemet. En validerad modell kan användas för att effektivt studera och analysera systemet. Detta kan ge möjlighet att enkelt se hur olika förändringar påverkar systemet.

Ett system är ett antal samverkande komponenter som med någon form av interaktion jobbar mot ett gemensamt mål. Varje komponent har en funktion och ett antal attribut. Ett system kan påverkas av en händelse inom systemet vilket då kallas endogen eller en händelse utanför systemet vilket då kallas exogen. En händelse definieras som ett momentant inträffande som påverkar systemets tillstånd.

Systemen kan delas in som diskret eller kontinuerligt. I ett diskret system ändras variabler vid separata tidpunkter. I ett kontinuerligt system ändras variabler kontinuerligt med avseende på tiden.

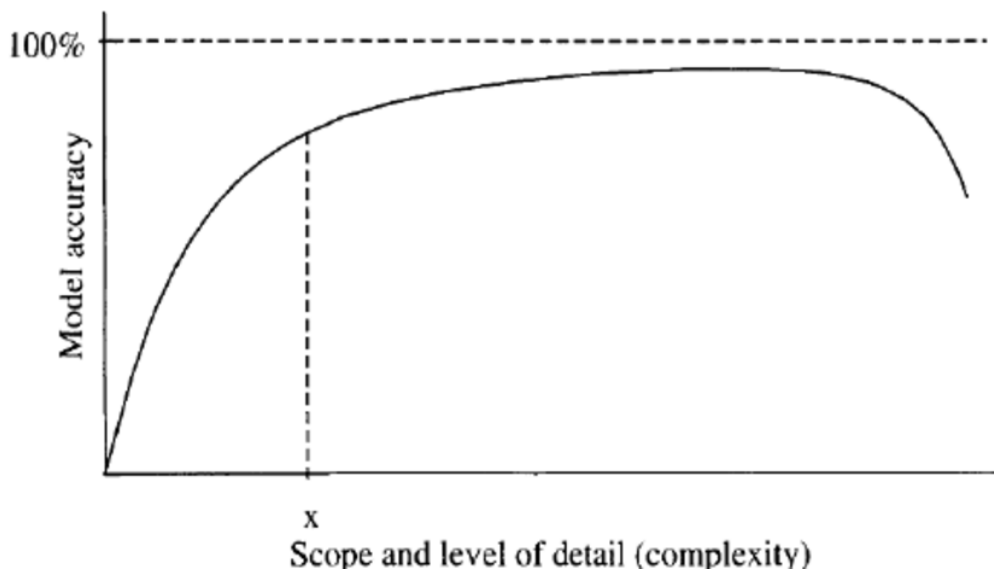
Att använda en modell av systemet är det mest effektiva metoden att genomföra en simulering då det inte påverkar det verkliga systemets funktion. En modell tas fram som en representation för att studera system. Vanligtvis är det bara behövt att ta med de detaljer som är väsentliga som påverkar det som skall undersökas. Systemet måste vara tillräckligt detaljerat för att kunna dra konkreta slutsatser runt systemets funktion.

Modellen kan beskrivas matematiskt eller fysiskt. Det är mest vanligt att modellen avbildas matematiskt. Då används symboler och matematiska ekvationer för att representera ett system. Modellen kan också beskrivas som antingen statisk eller dynamisk. En statisk modell representerar ett system i en viss tidpunkt och dynamisk modell representerar ett system som förändras över tiden. Beroende på dess input värden kan modellen vara stokastisk eller deterministisk. Om alla input variabler är kända och medför ett visst antal unika outputs anses modellen vara deterministisk. Om en eller flera variabler är godtyckliga anses modellen vara stokastisk.

2.1.1 Detaljnivå

En tumregel för simulering är att hålla modellen så enkel som möjligt [6]. Enklare modeller kan utvecklas snabbare, vara mer flexibla och kräver mindre data. Resultaten är också mer lättolkade eftersom strukturen på modellen är lättare att förstå sig på. Om modellen blir mer komplex utan att kvalitén på utdata förbättras förlorar man alla förmåner med att ha en enklare modell.

Förmånerna med att ha en enkel modell borde inte överväga behovet för en mer komplex modell. Mer komplexa delar i modeller kan ibland vara behövligt för att nå en förbestämd kvalitet på resultatet.



figur 2.2 Samband mellan komplexitet och exakthet [6]

Figur 2.2 visar sambandet mellan komplexitet och hur bra modellen återspeglar verkligheten. I början påvisas en tydlig förbättring av resultat då modellens komplexitet ökar. Efter ett litet tag avtar dock denna förbättring. Om punkten x i grafen passeras uppvisas en marginell ökning av modellens noggrannhet.

En modell som exakt efterliknar verkligheten är omöjlig att uppnå eftersom det i verkligheten finns många variabler som påverkar systemet som inte kan mätas. I figuren visas också att en onödigt stor komplexitet på modellen kan leda till en mindre exakt modell. Detta kan bero på att det inte finns tillräckligt med information och data kopplade till alla detaljer i modellen. Om en simulering utförs utan ha lämpliga data kopplade till dessa detaljer kan det leda till ett sämre resultat än om en avgränsning från detaljerna görs från början.

Det finns också argument som visar att stort fokus på enkelhet i en modell inte är gynnsamt. Ett exempel kan vara då krav på en modell ändras. Det kan bli svårare att anpassa en modell efter dessa krav om den är väldigt förenklad och då också väl anpassad efter de tidigare kraven. Ett annat exempel är avgränsningarna sätts för generellt då en enkel modell vill uppnås. Detta kan medföra att viktiga aspekter som har stor påverkan på utdata missas.

2.2 Datainsamling

Insamlingen av data är ett av de mest tidskrävande momenten i en simuleringsprocess [1]. Detta görs fördelaktigt i ett tidigt skede i samband med byggandet av simuleringsmodellen då det är ett ständigt växelspel mellan modellbygget och insamling av nödvändiga data. När komplexiteten av en modell ändras kan data som samlats in behöva uppdateras.

Målet med en simulering avgör vilken typ av data som behöver samlas in. Om man till exempel utför en studie på en mataffär och vill se hur längden av köerna förhåller sig till antalet kassörer behöver en viss typ av data samlas in. Dessa är rimligtvis kundernas ankomsttid till affären, tiden varje kassör spenderar på en kund och längden av en kö under varierande förhållanden.

2.2.1 Indata

Indata är den information som behövs för att nå sitt mål med en simulering [1]. I förra stycket gavs ett par exempel på olika typer av indata för det specifika målet. Beroende på vilken typ av data som har samlats in är det nödvändigt att göra olika sorters statistiska fördelningar. Detta är en krävande uppgift med avseende på tid och resurser.

Indata är den drivande kraften i en simulering. Kvalitén och fördelningen av data avgör hur väl en modell representerar verkligheten. Bristande indata-modeller ger upphov till utdata som inte representerar verkligheten på ett bra sätt. Detta kan leda till att fel beslut kan tas utifrån simuleringen.

När en indatamodell skapas följs ett antal steg.

1. *Identifiera indata som behövs* - Vad för information behöver vi för att besvara vår frågeställning?
2. *Samla indata från systemet* - Ta fram informationen. Detta kan göras genom att fysiskt klocka tider, ta information som finns loggade i system osv. I vissa situationer kan det vara svårt att samla data. Detta kan vara då tiden är begränsad, om systemet inte existerar eller om regler och lagar förhindrar insamlingen. Om data inte finns tillgänglig använder kan specialister och sakkunnigas erfarenheter användas för att få fram kvalificerade gissningar.
3. *Hitta rätt typ av fördelning* - Denna process börjar oftast med att ställa upp ett histogram. Genom histogrammet och erfarenhet fås rätt typ av statistisk fördelning för data.

2.2.2 Utdata

Det finns olika anledningar till att en simuleringsstudie utförs [1]. I huvudsak används resultaten från en simulering som underlag till ett beslutstagande. Utdata är den information som fås när en simulering körs och är därmed beslutsunderlaget. Utdata är strikt beroende av indata. Kvaliteten på indata avgör alltså hur realistiskt värdet på utdata blir.

Utdata ska vara mätbara. Därför ska utdata kunna representeras som värden. Icke mätbara mål med simulering kan kopplas till numeriska utdata. T ex, är målet att hitta en flaskhals kan detta inte vara en utdata då flaskhals inte är en mätbar variabel. Däremot kan “maskin med längst produktionstid” kopplas till detta mål vilket är mätbart och därmed en utdata.

Det är viktigt att se skillnaderna mellan indata och utdata då data samlas in för ett system. Utdata är den data som avgör systemets prestanda som gärna skall förbättras. T.ex. i ett kö system är kundens ankomsttider oftast indata medan kundförseningar är utdata.

2.3 Inputdefinitioner

Denna lista är till för att definiera de indata som är med i mallen. Dessa indata är vanligt förekommande i simulerings sammanhang. Definitionerna i listan har tagits fram under projektets gång vid läsning av rapporter för att klargöra begreppen och undvika tolkningsfel [6][8][9][10].

Bearbetningstid - Tiden då maskin ingreppet påbörjas till att det är fullbordat.

Väntetid - Tid då en delprocess behöver vänta i flödet. T.ex. en robot som måste vänta på en att en maskin har bearbetat klart en komponent innan flödet kan fortgå.

Reparationstid - Tiden det tar från att en reparation påbörjas till att den är fullbordad.

Verktygsbytestid - Tiden det tar från att ett byte av verktyget initierats till att maskinen är igång igen.

Cykeltid - Tid det tar att bearbeta en komponent/batch då maskinen kör i maximala hastigheten.

Ledtid - Tid från att en process startar till att den är fullbordad.

Mean time between failures - Tiden mellan två oväntade stopp.

Mean down time - Tiden mellan att en maskin stoppats till att den är igång igen

Maskin ID - Benämning, specifikation, allmänna maskindata.

Input buffertkapacitet - Hur många pallar som får plats på en inbuffert till en robotcell.

Output buffertkapacitet - Hur många pallar som får plats på en utbuffert till en robotcell.

Tillgänglig tid - Totala tiden då produktionen är igång minus downtime.

Ställtid - Tid från att komponent A är färdigbearbetad till att komponent B börjar bearbetas. Tiden för Verktygsbyte, hastighetsändring av maskin, byte av robotgrepp osv ingår i ställtiden.

Typ av stopp - Typ av stopp och hur långt. Planerat, maskinfel, kort, långt osv.

Takttid - Tillgänglig tid dividerat med antal produkter som skall tillverkas. Detta ger en önskad tid för tillverkning av en produkt för att få ett jämnt flöde.

Förflyttningstid - Tid det tar att flytta komponent från punkt A till B.

Antal arbetare - Antal personal.

Operatör ID - Typ av yrke. Tekniker, maskinoperatör, montör osv.

Certifierad kompetens - Hur många kan utföra ett visst arbete.

Inlärningskurva - Tid från att personal är ny till att denne kan utföra en viss uppgift självständigt.

Processchema - Hur processen är uppbyggd. Vägen komponenterna tar.

Sekvenslista - Vilken ordning komponenterna skall bearbetas.

Komponent ID - Beteckning, storlek, typ av ring osv.

Batchstorlek - Hur många komponenter i varje batch.

Transporttid - Tid för maskin att förflytta komponent.

Buffertkapacitet - Maximalt antal batcher som får plats i buffert.

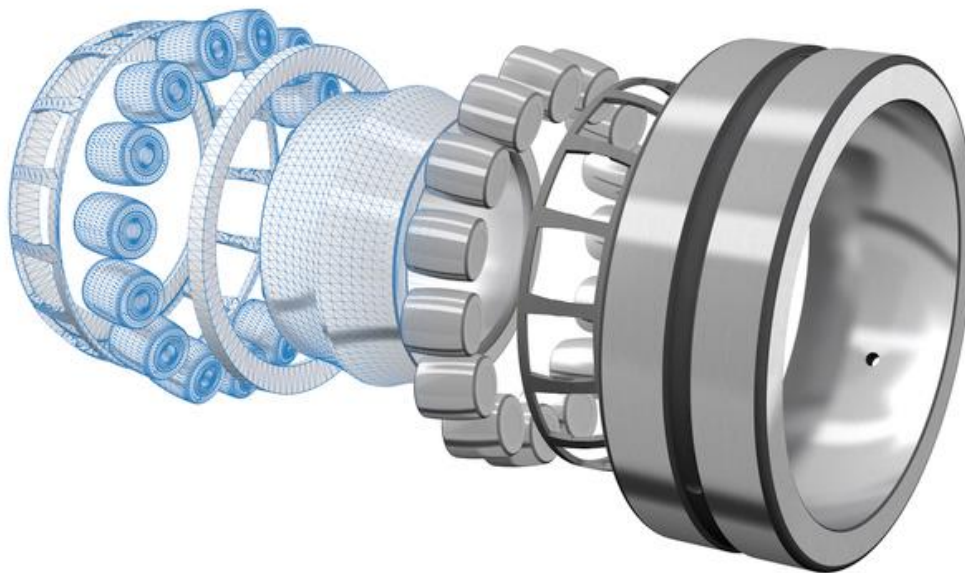
Prioriterad komponent - Komponent som skall gå före komponentlistan. Kan vara specialorder.

Antal defekt/Batch - Antal komponenter som kasseras per batch.

2.4 Rull-/Kullager

Ett lager är ett maskinelement som finns i princip alla fordon, maskiner, robotar, etc. som använder sig av en dynamisk axel [2]. Lagrets uppgift är att ta upp belastningar och minska friktionen samtidigt som axeln tillåts röra sig i en viss riktning. Ett lager består i huvudsak av fem komponenter. En ytterring, en innerring, en styrning, rullar eller kulor och en hållare. Lager med kulor kallas för kullager. Dessa klarar av höga varvtal och minskar friktionen för axeln avsevärt då ringarna och kulorna har punktkontakt, dock klarar de inte av så höga laster. Lager som använder sig av rullar heter rullager. Dessa kan ta högre belastningar, men inte lika höga varvtal som kullager och har högre friktionen då det är linjekontakt mellan rullarna och ringen. Några andra lagertyper är glidlager, nållager och axiallager. Typ av lager väljs utifrån axelns specifikationer.

2.4.1 Sfäriska rullager



figur 2.1 Uppbyggnad av ett sfäriskt rullager[15]

I WCSRB tillverkas sfäriska rullager med ytterdiameter 180-360 mm [3]. Det finns två rader sfäriska rullar i sfäriska rullager. Innerringen har två separata löpbanor, en för varje rad med rullar. Ytterringen har en gemensam sfärisk löpbana. De sfäriska rullarna ställer tvångsfritt in sig på den sfäriska ytterringslöpbanan. På så sätt utjämnas axelutböjningar och uppriktningsfel i lagersätena. Sfäriska rullager kan överföra både stora axiella och radiella krafter. Hållarna är gjorda av metall. De sfäriska rullarna är självinställande eftersom de är symmetriska och de obelastade rullarna styrs av styrningen.

2.5 Process i WCSRB

Innan ett färdigt lager tas fram skall komponenterna bearbetas. SKF i Göteborg tillverkar endast rullager, dock finns det en uppsjö av olika typer och toleranser. Processen i WCSRB börjar med att inner- och ytterringar kommer från härden. Till en början planslipas de färdighärdade ringarna. Därefter slipas och henas resterande ytor av ringarna. Efter detta är det dags för montering. Rullar och hållare kommer färdigbearbetade från utomstående fabriker. Ringarna, hållarna och rullarna monteras ihop och smörjs för att sedan bli märkta och paketerade.

2.5.1 Planslipning/Slipning

Vid tillverkning av rullager planslipas båda sidorna på inner- och ytterring. Detta görs för att få goda toleranser vid inpassning. Efter det slipas både inre och yttre planet på inner- och ytterringarna för att uppnå goda toleranser.

2.5.2 Hening

Hening är en slipningsmetod för att uppnå väldigt goda toleranser [4]. En eller flera fastbundna slipverktyg har en rörelse relativt arbetsstycket och avlägsnar då spån. Rörelsen på verktyget skall väljas så att slipningsreporna får olika riktning och där igenom behåller spånen samma längd. Slipverktyget består av en eller flera henings stenar. Vid tillverkning av rullager används hening för att få de mycket fina toleranser som behövs på innerringens utsida och ytterringens insida. Alltså sidorna som är i kontakt med rullarna.

2.6 Tillägg

Till sfäriska rullager kan det tillkomma flera olika tillägg [16]. SKF har fyra huvudsakliga standardklasser men vissa lager kan förekomma i fler än dessa klasser. Den första av de fyra klasserna är standard lager. Den andra är Explorer lager. Explorer lager tillverkas av stål med högre kvalitet än det stål som är i standardlager och ges också en unik värmebehandling. Värmebehandling ger optimal balans av hårdhet och seghet. Den invändiga geometrin har bättre ytjämnhet för att minska slitage och friktion och för att det lättare ska byggas upp en hydrodynamiks film.

Den tredje typen är SKF:s energieffektiva lager som är utvecklat specifikt för att minska friktion. Dessa lager minskar energiförluster med 30 % jämfört med SKF:s standard lager. Den fjärde typen är SKF:s super precisionslager. Dessa lager är designade för att klara av högre varvtal med lägre friktion och ha en längre brukbarhets tid.

För en komplett lagerenhet förekommer också vissa tillägg. En lagerenhet består av ett lager en tätning, smörjmedel och axellåsning. Dessa komponenter kan förekomma i flera olika utföranden beroende på tillämpningsområde. Lagren kan också tillverkas med kompletta lagerhus. Dessa lagerhus är heltäckande med tätningar.

3. Metod

I detta kapitel redogörs tillvägagångssättet för att besvara syftet och frågeställningarna.

3.1 Teoretisk studie

Arbetet startade med sökning av lämplig litteratur. Litteratur kopplad till DES undersöktes för ytterligare fördjupning inom ämnet och en bra överblick på de grundläggande delarna inom simulering. Projekt, rapporter och tidigare arbeten kopplade till simulering studerades. I dessa studerades huvudsakligen deras fokus på datainsamling för att få en uppfattning hur den processen kan variera beroende på projektets egenskaper och variabler. Inom 5GEM studerades väsentlig information för att förstå tekniken, kopplingen till SKF och dess applicerbarhet på projektet.

Utöver förståelse för simuleringsprocessen samlades indata variabler ihop från litteraturen. Utdata valdes att inte samlas in då dessa ansågs vara mer specifika utifrån SKF:s mål med simuleringar medan indata är mer generell för tillverkande fabriker. Indata från varje rapport sattes in i ett Excel dokument. Denna lista blev den så kallade bulklistan med så mycket variabler som möjligt för att få en god överblick. Listan kom att användas för att göra en koppling mellan olika indata och utdata.

3.2 Intervjuer

Flera intervjuer genomfördes under projektets gång. Eftersom projektets resultat skall vara en mall som har god funktionsduglighet är det lämpligt att ta del av åsikter från personer som är kopplade till WCSRB eller simuleringsarbete på SKF. För att få en representativ bild från intervjuerna valdes personer som arbetar inom olika affärsområden då befattningen kan påverka vad för mål affärsområdet har med en simulering. Intervjuerna var semi-strukturerade där ett antal frågor avhandlades men intervjuobjektet hade möjlighet att svara fritt [5]. Frågorna handlade om personens arbete och hur arbetet är relaterat till simulering, SKF och WCSRB-kanalen. Intervjuobjekten var:

Juergen Kaiser - Produktionsteknik
Martin Hjelte - Underhåll
Malin Sunde - Affärsutveckling
Jan Ek - Processutveckling

Huvudmålet med intervjuerna var att få fram vilka resultat personalen på SKF var intresserade av med en simulering. Dessa svar användes som underlag för att få fram utdata.

3.3 Kartläggning av World Class SRB kanalen

Vid första besöket på SKF iakttogs WCSRB på nära håll. Vid det tillfället var inte alla komponenter av kanalen producerande. Vissa delar av den äldre produktionslinjen höll på att fasas ut och ersättas med ny utrustning. Produktion av olika funktionella delar i WCSRB kanalen observerades och det gav praktiskt insikt på produktionen.

Vid första mötet med handledaren besvarades frågor om kanalens funktion. För att ytterligare förtydliga de olika funktionerna användes ett schema av processflödet.

3.4 Detaljnivå

Mängden av olika sorters indata och utdata som tagits fram är beroende av detaljnivån. Det finns vissa data vilket kan läggas till eller tas bort beroende på hur bra den kan mätas. Utifrån den preliminära in- och utdata listan har det hittats vissa data som kan vara svåra att få tydliga mätbara värden på. Då är frågan om det är rimligt att avgränsa sig från specifika data eller om den har för stor påverkan på resultaten av simuleringen.

Det var svårt att utvärdera om vissa indata var väsentliga för ett bra resultat. Ett exempel var då flödet inom robotcellerna analyserades. Inom de flesta robotceller utfärdas många operationer parallellt. I slipnings cell är det också två industrirobotar som arbetar relativt varandra. Det kan vara ett flertal inner- och ytterringar som förflyttas igenom cellen samtidigt. Detta är nödvändigt för att maximera robotens arbetstid och minska väntetiden för olika operationer. När det är ett flertal ringar som transporteras genom cellen komplicerar det analysen av indata.

3.5 Skapa preliminär mall

Utifrån bulklistan skapades en preliminär mall. Det gjordes vissa avgränsningar för att mallen skulle få ett tydligt upplägg. Huvudsakligen betydde avgränsningarna att vissa inputs togs bort. De inputs som ströks från bulklistan var de som inte ansågs relevanta då man utgick från kanalens upplägg. Om det fanns två inputs med liknande definitioner valdes den som var mest relevant.

3.6 Verifiering

För att kontrollera att mallen var väl anpassad för ändamålet behövde den verifieras på lämpligt sätt. På grund av arbetets tidsram var det inte passande att göra extremt utförliga kontroller. Den metod som ansågs mest lämplig var att låta kontaktpersoner med god erfarenhet inom simulering genomföra en kontroll av mallen. Handledare Camilla Lundgren, Processingenjör Jan Ek på SKF och Pär Ström från ÅF, som alla har stor erfarenhet inom simulering, gjorde denna kontroll. Feedbacken användes för att utvärdera och utveckla listan till den slutgiltiga mallen [Bilaga 1].

4 Resultat

I detta kapitel redovisas resultaten som framkommit under arbetets gång.

4.1 Resultat av teoretisk studie

Från den teoretiska studien ökade kunskapen om ämnet. Efter läsning av rapporter expanderade förståelsen för simuleringsprocessen vilket var en bra grund för det fortsatta arbetet. Indata variabler från rapporterna samlades in i ett Excel dokument. Listan strukturerades upp och blev indelat efter typ av indata. Listan visas som figur 4.1. Några av uppdelningarna var robot, personal, buffert, maskin, mm. Rapporterna studerade olika industrier. Indata som samlades var därför de som var oberoende av produkt eller specifik tillverkningsmetod. T ex är en robots förflyttningstid en universell indata då alla robotar har detta vad de än tillverkar.

Data	Referens	Data	Referens
Parts		takttid	[10]
arrival patterns	[9]	regular operating hours	[10]
schedule data	[9]	saleable quantity of products	[10]
bills of materials	[9]	overall equipment effectiveness	[10]
part id	[9]	availability	[10]
part description	[9]	performance rate	[10]
batch size	[9]	quality rate	[10]
max batches	[9]	downtime	[10]
internal arrival times	[9]	waiting time	[10]
machine operation desc	[9]	production disturbances	[10]
Machine		cykeltid	[10]
machine id	[9]	time between downtime	[10]
machine description	[9]	Data	Referens
mean time between failures	[9]	Maskin	
mean time to repairs	[9]	bearbetningstid	[6]
input buffer capacity	[9]	väntetid	[6]
output buffer capacity	[9]	reparationstid	[6]
Operator		verktygsbytestid	[6]
operator id	[9]	Robot	
operator description	[9]	väntetid	[6]
efficiency	[9]	förflyttningstid	[6]
skills	[9]	nollställningstid	[6]
learning curve effect	[9]	Data	Referens
Processing		cykeltid	[8]
machine time	[9]	effektiv processtid	[8]
operator responsibilities	[9]	speed of material handling equipment	[8]
Scheduling		resource availability	[8]
schedule description	[9]	antal arbetare	[8]
schedule time	[9]	mean time to failure	[8]
duration	[9]	mean down time	[8]
machine available time	[9]		
machine unavailable time	[9]		
operator available time	[9]		
operator unavailable time	[9]		
Routes			
priority	[9]		
process routes	[9]		
process times of parts	[9]		
Resources			
breakdown data	[9]		
operator allocation	[9]		
set-up times	[9]		
process times	[9]		

figur 4.1 Bulk-lista baserad på data från rapporter kopplade till simulering

4.2 Intervjuresultat

Målet med intervjuerna var att få fram vilket behov varje avdelning har med en simulering. Deras målbild kopplades till en eller flera olika utdata.

Produktionsteknik var intresserade av att simulera hela flödet i fabriken för att kunna lokalisera flaskhalsar och optimera produktionen, d.v.s. sänka tiden det tar från komponent till färdigt lager. De ville även ha möjligheten att köra en simulerad fabrik samtidigt som den fysiska för att kunna se skillnader och hitta vad detta beror på.

Affärsutveckling behövde hjälp med att prissätta produkterna. För att kunna sätta rätt pris var det nödvändigt att ta fram kostnaderna per operation. Under intervjun framkom det att prissättning sker efter den ring som är flaskhals. Därmed behöver det klargöras om det är yttre- eller inreringen som tar längst tid genom fabriken.

Underhåll har som mål med en eventuell simulering att hitta det bästa tillfället för att utföra planerade underhåll. Detta skall uppnås utan att förhindra flödet i produktionen allt för mycket.

Intressenternas önskemål med en simulering samlades in och en analys av dessa utfördes. Målen från representanterna samlades ihop i en lista.

- Lokalisering av flaskhalsar
- Optimering av produktionsflödet
- Tillverkningstid från komponenter till färdigt lager
- Kostnader för tillägg
- Hitta om IR eller OR är flaskhals
- Möjlighet att stänga av cell utan att påverka flödet
- Optimera buffertnivåerna
- Förslitning på verktyg, t ex skär

4.3 Kartläggning av World Class SRB kanalen

Kanalen tillverkar sfäriska rullager med varierande ytterdiameter. De sfäriska rullagren tillverkas efter prognos. Diametern på ytterringen kan variera från 180–360 mm. I kanalen behandlas fem olika komponenter. Yttering, innerring, hållare, rullar och styrning.

I bilaga 2 är ett flödesschema som beskriver alla processer från anskaffning av yttering, innerring, hållare, rullar och styrning till palletering av de färdiga lagren. De processer som sker innan lager komponenterna kommer till WCSRB är svarvning och härdning av ytter- och innerringar. Därefter går komponenterna igenom WCSRB och senare läggs de färdiga lagren på pallar för att skickas iväg.

I följande stycken beskrivs WCSRB i detalj. I början av kanalen ankommer ytter- och innerringarna till buffert 1. Denna transport sker med hjälp av AGV. Från bufferten transporteras ytter- och innerring till en av tre möjliga robotceller. I dessa robotceller utförs planslipning på ringarna. Robotcellerna arbetar parallellt. Därifrån skickas ringarna till buffert 2.

Från buffert 2 finns det fyra robotceller som arbetar parallellt. Två av cellerna behandlar ytteringar och två behandlar innerringar. I de här robotcellerna utförs slipning på ringarnas yttre- och inre plan och därefter polering med heningsten. Efter detta skickas ytter- och innerring till buffert 3. Hållare, rullar och styrning transporteras också till buffert 3.

Från buffert 3 skickas materialen till robotceller som parar ihop ytter- och innerring samt plockar fram hållare, rullar och styrning för att lagret skall kunna monteras. Efter det skickas komponenterna till en robotcell där lagret monteras. För utplockning och montering finns det två parallella vägar som komponenterna kan ta. Mellan robotcellerna för utplockning och robotcellerna för slipning och hening behöver inte materialet transporteras via buffert 3. Efter att lagren är färdigmonterade märks dom med laser, ges en skyddsbehandling och paketeras.

En majoritet av operationerna i kanalen sker inom robotceller. Dessa robotceller är liknande i sina upplägg. De har en eller två inputs och outputs. Detta betyder att flödet in och ifrån robotcellen kan vara mer flexibelt. Roboten i varje cell förflyttar material mellan olika områden i cellen. De hämtar och lämnar av material vid input och output. De plockar fram och monterar lagerkomponenter eller placera dom i bearbetande maskiner.

4.4 Mål till utdata

För att koppla målen till användbara utdata utfördes en analys. Varje mål iaktogs separat för att få en bild av vilken mätbar utdata som besvarar frågeställningen.

4.4.1 Lokalisering av flaskhals

En flaskhals definieras som en del av ett system som hindrar hela systemets fulla kapacitet [8]. Ofta är det en operation eller maskin som har ett lägre genomflöde än resten av systemet men det kan även vara en maskin som arbetar snabbt, men är i behov av kontinuerligt underhåll vilket stoppar flödet. En flaskhals måste inte vara konstant. En flaskhals kan uppstå på grund av att flödet är dynamiskt. Den kan också uppstå på grund av underhåll som inte är planerat.

Var en flaskhals finns i systemet varierar beroende på tiden. För att hitta en flaskhals skall den operation eller maskin som begränsar flödet vid ett specifikt tillfälle lokaliseras. Det kan också förekomma flera flaskhalsar i ett system samtidigt som begränsar flödet olika mycket.

Ett sätt att upptäcka flaskhalsar är att kolla på i hur hög grad maskinen eller operationen används. Detta kan utföras genom att ta kvoten mellan arbetande timmar och tillgängliga timmar. Den maskin eller operation som har högst utnyttjandegrad i detta läge är den primära flaskhalsen eftersom den måste ha högre utnyttjandegrad för att för att hålla samma flöde som de andra delarna av systemet.

$$\frac{\text{Arbetande timmar}}{\text{Tillgängliga timmar}} \times 100 = \text{Utnyttjandegrad i procent} \quad (1)$$

Väntetid, kö till en viss maskin eller operation kan även betraktas. Om antal enheter i kö betraktas är det viktigt att notera att alla enheter inte identiska. Detta händer i WCSRB kanalen eftersom vissa robotceller och buffertar inom kanalen behandlar både inner- och ytterringar. Det enklaste är då att kolla på väntetiden. Dock måste två kriterier vara uppfyllda för att den metoden ska funka. Det första är att buffertarna skall betraktas oändligt stora och därmed lägga fokus på processflödena. Det andra är att systemets kapacitet skall vara större än tillförseln till systemet för att undvika permanenta köer. Störst väntetid uppkommer efter en primär flaskhals.

Det finns också metoder för att kolla på hur flaskhalsar kan skifta inom systemet. Utgångspunkten är då att den maskin eller operation som har längst period då den är aktiv är det den delen av systemet som är flaskhals. Detta kan även kopplas till att det är den maskin som har längst period utan väntetid. Detta leder till att man finner hur stor del av den totala tillgängliga tiden som en eller flera maskiner eller operationer är flaskhalsar genom att se då en viss maskin har längst aktiv tid. Sen summera tiderna och dela det på den totala tillgängliga tiden.

$$\frac{\sum \text{Längsta aktiva tider}}{\text{Total tillgänglig tid}} \times 100 = \text{Risk för att operation är flaskhals} \quad (2)$$

Kopplingar mellan utdata och indata för lokalisering av flaskhals.

<u>Utdata:</u>	<u>Utdata:</u>	<u>Utdata:</u>
-Väntetid	-Utnyttjandegrad	-Leditid
<u>Indata:</u>	<u>Indata:</u>	<u>Indata:</u>
-Väntetid	-Tillgänglig tid	-Leditid
-MTBF	-Cykeltid	-Cykeltid
-MDT	-Ställtid	-Ställtid
-Tid i buffert	-Buffertkapacitet	-MDT
		-Sekvenslista
		-Buffertkapacitet
		-Tid i buffert

4.4.2 Optimering av produktionsflödet

Optimering av produktionsflödet syftar på att skapa ett så effektivt flöde som möjligt utefter givna förutsättningar. Optimering av produktionsflödet kan betyda olika beroende på vilken synvinkel man har och vilka förutsättningar som finns. Därför är det svårt att få ett konkret svar på vilken utdata som är kopplat till flödet.

Om fokus endast ligger på prognosen som lagren tillverkas efter kan en grov avgränsning vara att bara se till att antal pallar ut från WCSRB kanalen stämmer överens med denna prognos. Det finns dock många fler optimeringar som kan ske inom kanalen och dessa optimeringar kan göras utifrån olika förutsättningar.

Om fokus läggs på att ha ett stabilt flöde genom kanalen finns det sakfrågor som skall undersökas. Alla maskiner skall arbeta till sin fulla potential. Flaskhalsar, produktionsstopp och annat som försvårar detta skall undvikas.

Hur operationerna styrs påverkar också flödet. Styrningen av operationerna kan vara beroende av vilken personal som hanterar operationerna. Det är mindre sannolikhet för detta på en kanal med högre automatisering nivå.

Vanligtvis är produktionssystem beroende av kontrollering av olika variabler för att fungera optimalt. T.ex. kontrollering av slitage på verktyg. Om dessa värden inte kontrolleras på ett effektivt sätt kommer operationerna vara svårare att styra.

4.4.3 Tillverkningstid från komponenter till färdigt lager

Vid en optimalt fungerande produktion skulle detta mål kunna mätas med ett stoppur. I verkligheten är ingen produktion perfekt och komplikationer uppstår. Dessa komplikationer måste tas till hänsyn för att få ett verkligt värde på ledtiden.

Kopplingar mellan utdata och indata för tillverkningstid från komponenter till färdigt lager.

Utdata:

- Ledtid WCSRB

Indata:

- Cykeltid
- Ställtid
- MDT
- Sekvenslista
- Transporttid
- Tid i buffert

4.4.4 Kostnader för tillägg

Utifrån tiderna det tar att bearbeta varje detalj kan en koppling till kostnad göras. När ett tillägg görs avviker lagret från den standardiserade tillverkningsprocessen vid något tillfälle. Tiden för varje operation för avvikelsen kan senare härledas till den extra kostnaden. Utdata blir därför Tillverkningstiden för de extra bearbetningarna. En ökad kostnad blir även de resurser som krävs för att utföra dessa specialoperationer. Det kan vara extra personal, driftkostnader för en specialmaskin eller andra resurser.

Kopplingar mellan utdata och indata för kostnader för tillägg.

Utdata:

- Ledtid för tilläggsoperationer

Indata:

- Antal personal
- Sekvenslista
- Transporttid
- Cykeltid

4.4.5 Hitta om IR eller OR är flaskhals

Genom att följa innerringen samt ytterringen i produktionsflödet fram till att de möts vid monteringen kan det tas fram vilken av dessa som är "flaskhalsen". Sätt igång processen för båda ringarna samtidigt. Den ring som når mötesplatsen sist är flaskhalsen. Det är alltså ledtiden för varje ring som skall undersökas och jämföras vilken som tar längst tid.

Om det visar sig att ledtiderna inte skiljer sig åt avsevärt kan cykeltider granskas och tider i buffert. Skiljer sig dessa åt kan det vara ett tecken på att ena ringtypens flöde hindras för att de ska nå fram till monteringen samtidigt.

Utdata:

- Ledtid IR/OR

Indata:

- Cykeltid
- Ställtid
- MDT
- Sekvenslista
- Komponent ID
- Transporttid
- Tid i buffert

4.4.6 Hur påverkas flödet då cell stängs av

I kanalen är det flera maskiner som kan utföra samma arbete, därför finns det möjlighet att stänga av en maskin för underhåll och omdirigera komponenterna till en annan maskin. Detta ökar och minskar buffertnivåerna då fler detaljer ska bearbetas under samma tid. Man vill här hitta bästa sätt att stänga av en maskin under ett antal timmar och hålla en jämn buffertnivå. Det är mer ett specifikt scenario som kan simuleras. Det är inte ett specifikt mål med simulering som direkt kan kopplas till utdata.

Det finns dock utdata som är mer relevant att kolla på då just då det här simuleringsscenariot utförs. T.ex. hur buffertnivåerna förändras eller om det kan uppstå flaskhalsar i de cellerna som är parallella med den som stängs ner.

4.4.7 Optimera buffertnivåerna

En optimerad buffert ligger på en nivå där det finns en liten kvantitet produkter i arbete men tillräckligt mycket för att kunna fortsätta producera även om det sker oväntade stopp. En optimal nivå beräknas separat. Genom simulering kan flödet som ger denna nivå tas fram.

Utdata:

- Antal pallar i buffert

Indata:

- MTBF
- MDT
- Komponentlista
- Buffertkapacitet
- Tid i buffert

4.4.8 Förslitning på verktyg, t ex skär

Flera olika variabler har en inverkan när det kommer till verktygsförslitning. Temperatur, skärhastighet och materialval är några av faktorerna som avgör hur snabbt ett verktyg slits ut. Det finns ekvationer som är utformade för att ta fram en optimal bearbetning men dessa tar inte hänsyn till alla variabler. Med hjälp av en simulering i samband med datainsamling från 5G kan en förslitningstid tas fram med hänsyn till fler variabler såsom hastighet, temperatur, vibrationer, förslitning och avverkning. Inga kopplingar mellan utdata och nyckel indata gjordes för verktygsförslitning.

4.6 Preliminär mall

Detta stycke skall mer utförligt förklara den preliminära mallen. Många av de inputs som ingår i mallen är tider som är vanligt förekommande då det gäller produktion. Definitionerna av dessa tider förklaras i kapitel 2.3 Det ingår dock vissa andra inputs som kan vara lite mer svårdefinierade.

Den preliminära mallen delades upp i olika kategorier för att ge den en bättre struktur. Kategorierna var Maskin/Cell, Robot, Komponent och Operatör. Upplägget blir bättre då det blir enklare att se vilka inputs som tillhör en viss del av kanalen. Det finns också vissa inputs som har samma definition men förekommer på olika delar i kanalen.

Mallen innehåller den in- och utdata som ansågs lämplig innan verifieringen. I kapitel 2.3 och 4.4 beskrivs definitionerna av dessa in- och utdata mer utförligt. Utdata är där kopplad till vissa indata som har stor relevans då respektive utdata skall tas fram. All utdata är i princip beroende av alla indata i någon utsträckning. I beskrivningarna för varje utdata visas detta. Vid varje utdata står den indata som har störst påverkan. Efter detta valdes också ett användarvänligt upplägg på mallen.

4.7 Verifiering

Mallen såg vid en första anblick bra ut. Strukturen och upplägget var lätt att följa. Vid vidare anblick framkom det att vissa indata även kunde vara utdata beroende på vad målet med simuleringen är. Variablerna som kan användas både som in- och utdata samt valideringsdata markerades med en asterisk i mallen.

Kopplingarna mellan in- och utdata var svårbedömda. Detaljnivån på en simulering avgör vilka indata som skall användas för en specifik utdata. Därmed blev det svårt att avgöra vilka variabler som skulle markeras i mallen. De som blev markerade ansågs av alla parter ha en nyckelroll för utdata i fråga.

I den preliminära mallen fanns det kolumner för Maskin/Cell och för Robot. Dessa ansågs vara tillräckligt identiska för att sammanfogas till en kolumn. En vilja att ha med en kolumn för AGV uttrycktes. Även för AGV fanns flera variabler som sammanföll med de andra så den slutgiltiga kolumnen blev Maskin/Cell/Robot/AGV. De andra två kolumnerna Komponent och Operatör var kvar. En extra kolumn lades till med titeln Övrigt då det fanns data som var svår att kategorisera. Den slutgiltiga mallen visas i figur 4.2 och fullständig slutgiltig mall i visas i [Bilaga 1].

Indata			
<u>Maskin/Cell/Robot/Transport</u>	<u>Operatör</u>	<u>Komponenter</u>	<u>Övrigt</u>
Tillgänglig tid	Tillgänglig tid	Processschema	Installerad tid
Ledtid*	Antal personal	Sekvenslista	Input bufferkapacitet
Cykeltid	Operatör ID	Komponent ID	Output bufferkapacitet
Takttid	Inlärningskurva	Batchstorlek	Bufferkapacitet
Bearbetningstid	Certifierad kompetens	Prioriterad komponent	Tid i buffert*
Väntetid*		Antal defekt/batch	
Reparationstid			
Verktygsbytestid			
Ställtid			
MTBF			
MDT			
Typ av stopp			
Maskin ID			
Transporttid			
Utdata			
<u>Tillverkningstid från komponenter till färdigt lager</u>			
Ledtid WCSRB			
<u>Kostnader för tillägg</u>			
Ledtid för tilläggoperationerna			
<u>Hitta om IR eller OR är flaskhals</u>			
Ledtid IR/OR			
<u>Optimera buffertnivåerna</u>			
Tid i buffert*			
Antal pallar i buffert			
<u>Förslitningtid verktyg</u>			
Förslitningtid verktyg			
<u>Lokalisering av flaskhals</u>			
Väntetid*			
Utnyttjandegrad			
Ledtid*			

figur 4.2 Slutgiltig mall

5 Diskussion

I detta kapitel genomförs en diskussion och reflektion över projektets metod och resultat samt felanalys. Slutligen diskuteras förbättringar och fortsatt arbete.

5.1 Metodreflektion

Då syftet med en simulering är att återskapa en verklighet i en kontrollerad miljö är det naturligt att en empirisk metod tillämpas. Att studera verkligheten och ta del av tidigare erfarenheter är lämpligt då teori för datainsamling för diskret händelsestyrd simulering är väldigt generell. Vid undersökning av lämpliga in- och utdata finns det inga specifika teorier som härledning för bästa möjliga resultat. Istället måste studien bygga mer på undersökning av det verkliga systemet och andras erfarenheter med liknande system.

Undersökningen av det verkliga systemet gav inte speciellt mycket eftersom kanalen inte var färdigbyggd vid tiden då detta arbete utfördes. Därför var det ett logiskt beslut att basera in- och utdata undersökningen på tidigare studier inom samma område. Till en början skulle både in- och utdata samlas från en teoretisk studie. Efter diskussion togs beslutet att samla indata från tidigare studier och utdata från intervjuerna. Detta beslut togs då det framkom att indata variabler var mer generella för simulering av tillverkande industrier medan utdata var mer specifika beroende på vad användaren vill ha ut ur simuleringen. Då SKF kommer vara huvudanvändaren av mallen ansågs det mest tidseffektivt att använda sig av denna metod.

Tanken är att mallen skall kunna användas av personer inom olika avdelningar på SKF. Utdata som samlats har endast baserat sig på intervjuresultaten där ett antal representanter från olika avdelningar har nämnt deras mål med en eventuell simulering. Genom att låta en person representera en hel grupp kan andra användares mål med en simulering gå om miste. Hade även utdata plockats från den teoretiska studien kunde dessa onämnda mål mötts.

Metod för verifiering var tvungen att avgränsas på grund av tidsramen för arbetet. Om det funnits tid skulle mallen verifierats mer utförligt. Erfarna användare av simulering fick ta del av mallen och ge sin feedback. Utifrån feedbacken gjordes ändringar på mallen och kopplingarna. En mer utförlig verifiering av mallen hade vart att utföra en simulering med de kopplingar som gjordes. Då hade resultaten kunnat jämföras med verkliga data, upptäckt datatillgängligheten av variablerna och gjort nya, mer korrekta kopplingar. Genom att ha utfört verifieringen med hjälp av feedback från yrkeskunniga finns det en viss osäkerhet i kopplingarna som endast kan undersökas om en simulering utförs.

5.2 Resultatreflektion

I resultatdelen gjordes flera kopplingar mellan utdata och indata som ansågs ha störst påverkan på respektive utdata. Ett bra sätt att göra dessa resultat mer trovärdiga är att se på tidigare arbeten som behandlar liknande utdata. Se på vilken indata de prioriterar mest och sedan bekräfta resultatet från denna studie genom att göra jämförelser mellan kopplingarna.

Då målen kopplades till användbara utdata baserades ibland analysen på tidigare studier. I dessa förekom ibland också indata kopplingar. Så vissa utdata indata kopplingar är redan baserade på andra studier. För andra utdata var det komplicerat att hitta liknande arbeten att göra jämförelser med.

Indata och utdata och kopplingarna mellan dom kunde ha varierat beroende på hur noggrant de enskilda processerna i cellen analyserats. Efter observation i fabriken gjordes ganska snabbt en avgränsning att inte se på varje enskild operation inom cellen. Även om inte varje enskild operation analyseras så specificeras indata för både robotar och maskiner inom cellen samt AGV. Cellen ses inte i detta fall som ett block, operationer inom cellen iakttas. Dock analyseras inte hur de olika små operationerna hos robot eller maskin integrerar med varandra. Detta var den detaljnivå som ansågs lämplig vid framtagandet av mallen.

En punkt som är värd att påpeka är att det inte förekommer några kopplingar mellan utdata och indata för verktygsförslitning. Verktygsförslitning påverkas störst av kontinuerliga variabler som temperatur, vibration och avverknings hastighet. Denna data finns inte med i mallen då de vanligtvis betraktas som kontinuerliga och inte diskreta.

5.3 Felanalys

Kopplingarna mellan in- och utdata gjordes baserat på tidigare erfarenheter, logiskt tänkande och bekräftelse från erfarna simuleringsingenjörer. I mallen har endast nyckelindata markerats, alltså de som ansågs vara viktigast för specifik utdata. Beroende på vilken detaljnivå användaren vill ha på sin simulering kan resultatet bli missvisande. Om endast nyckelindata används kan modellen bli överförenklad och inte representera verkligheten på ett tillförlitligt sätt.

För många indatavariabler kan leda till ett extremt komplext system som blir tidskrävande att skapa. Ett problem med att ha för många variabler är att varje indata måste parametreras. Detta kan leda till missvisande resultat då data kan fördelas på olika sätt, det inte finns tillräcklig mängd mätdata, data är mycket stokastiskt eller att det helt enkelt inte existerar någon data vilket leder till att antaganden får göras.

5.4 Användning av mall

Det som användaren skall ta hänsyn till är att kopplingarna i mallen [Bilaga 1] är enkla. Fler indata behöver tas med i beräkningarna för att få pålitliga resultat. Nästan all indata är på något sätt lämplig att ha med i beräkningarna. Mängden indata som användaren tar med i beräkningarna är beroende av detaljnivå. Mallen är enbart en uppställning av relevant indata och utdata för att förenkla och skapa ett gemensamt underlag vid simulering.

Efter relevant indata har valts från mallen kan fördelningar och antaganden genomföras för att hitta rätt värden på dataparametrarna. För viss indata är det enklare att hitta tydliga fördelningar. Det kan vara viss indata där man måste göra antaganden. Den indata i mallen som tas fram genom tidmätning är oftast enklare att mäta och göra fördelningar på. Det finns också indata i mallen där man kan behöva göra antaganden. T.ex. data som är kopplad till inlärning och kompetens hos operatörer.

5.5 Förbättringar och fortsatt arbete

Ett tydligt sätt att se ifall kopplingarna mellan in- och utdata håller är att utföra simuleringar och utvärdera resultaten. Genom denna simulering kan eventuella ytterligare felkällor hittas och mallen förbättras genom att göra fler kopplingar. Skulle mallen användas vid en simulering kan utdata eller indata som användaren inte behöver finnas med. Således kan mallen utvecklas genom att lägga till parametrar.

En utveckling av mallen skulle vara att ge indata rätt fördelning. Genom att analysera varje parameter kan rätt fördelning av data hittas och inkludera detta i mallen. Med en fördelningslista hade eventuellt tidsbesparingen för förstudien ökat. En analys kan också göras av datatillgängligheten. Vissa variabler kan vara svåra att samla in vilket leder till att antaganden görs som kan ge sämre tillförlitlighet på resultaten. En studie på datatillgänglighet kan vara till en fördel för att se ifall det finns metoder för att samla in och dokumentera information från maskiner och robotceller.

6 Slutsats

I rapportens sista kapitel kommer slutsatser att dras utifrån frågeställningarna och syftet.

6.1 Besvarande av syftet

Huvudsyftet med arbetet var att skapa en mall som kommer spara tid för användare av simulering samt göra simulering till ett mer lättillgängligt verktyg. Mallen är uppbyggd av ett antal in- och utdataparametrar. Utdata har kopplats till indata på så sätt att det utdata som är intressant enkelt ska hittas och sedan läsa av vilka indata som är kopplade till den specifika utdatavariabeln. De indata som är kopplade skall samlas in och användas i simuleringen och därmed skall relevanta resultat fås fram.

Denna metod är mer tidseffektiv än den metod som används i dagsläget. Det är även mer användarvänligt då in- och utdata är kopplade och användaren enbart behöver följa mallen. Därmed sparas både tid och gör simuleringsarbetet mer lättillgängligt med hjälp av mallen.

Mallen kommer även vara till hjälp för att skapa rapporter för insamlandet av data. Då flera variabler finns med kan användaren lokalisera viktiga parametrar för att skapa en metod för insamling av dessa data. Det kommer bli en grund för en standardiserad datainsamling. Mallen kommer även vara ett verktyg som underlag vid diskussion och jämförande av resultat vid simulering.

6.2 Besvarande av frågeställning

Frågeställningarna som skulle besvaras var följande:

- *Vilken utdata behövs för att dra slutsatser som intressenterna behöver?*

Genom att intervjua intressenter togs deras behov av en simulering fram. Deras mål kopplades till konkreta och mätbara utdata variabler och sammanställdes i en lista i mallen.

- *Vilken indata behövs för att ge pålitliga värden på utdata?*

Det har gjorts ett försök att koppla ihop in- och utdata. Beroende på detaljnivån på simulering och användarens mål kan det krävas mer eller mindre variabler i simuleringen. De parametrar som kopplats i mallen är de som ansågs vara nyckelparametrar för att få fram ett bra resultat på utdata.

- *Hur skall lämpliga utdata tas fram?*

En målbild med simuleringar samlades ihop genom intervjuer av intressenter. Dessa kopplades sedan till utdatavariabler som kunde besvara målen.

- *Hur skall lämpliga indata tas fram?*

Genom en teoretisk studie av projektarbeten och rapporter samt analyser av tidigare simuleringsprojekt skapades en bulklista med indata variabler.

- *Hur skall mallen avgränsas?*

Många indata parametrar var liknande. Första avgränsningen blev att ta bort dubletter. Andra avgränsningen var att ta bort de svårtolkade och svårt mätbara variablerna. Vissa parametrar är rent beroende av andra variabler. T. ex hade vi i bulklistan variablerna *tillgänglig tid* och *otillgänglig tid*. Om en maskin inte är tillgänglig så är den otillgänglig, därför räcker det att endast ha med en av variablerna. Detta var den tredje avgränsningen.

- *Hur skall mallen verifieras?*

Då en simulering inte gjordes i detta projekt verifierades mallen genom att folk med stor erfarenhet av simuleringsarbeten fick avgöra om den är användbar och ge sin feedback på förbättringar.

Referenser

Böcker

1. Banks J. Discrete-Event System Simulation. Fifth Edition. Pearson; 2010
2. Mägi M, Melkersson K. Lärobok i Maskinelement. Göteborg: Kompendiet; 2014.
3. Rullningslager Skolutgåva. SKF Koncernen; 2014.
4. Hågeryd L. Björklund S. Lenner M. Modern Tillverkningsteknik Del 1, 2002
5. Bryman A. Bell E. Business Research Methods. Oxford university press, 2007

Rapporter

6. Robinsson S. Conceptual Modelling for Simulation Part 1: Definition and Requirements. University of Warwick; 2008. [hämtad 2017-02-25]
7. Roser C. Nakano M. Tanaka M. A Practical Bottleneck Detection Method. Toyota Central Research and Development Laboratories; 2001. [hämtad 2016-11-05]. Hämtad från: <http://ieeexplore.ieee.org/document/977398/>
8. Roser C. Nakano M. Tanaka M. Comparison of Bottleneck Detection Methods for AGV Systems. Toyota Central Research and Development Laboratories; 2003. [hämtad 2017-02-06].
9. A Test Implementation of the Core Manufacturing Simulation Data Specification. [hämtad 2016-11-11]. Hämtad från: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4419789/>
10. Perera T. Liyanage K. Methodology for Rapid Identification and Collection of Input Data in the Simulation of Manufacturing Systems. Sheffield Hallam University; 2000. [hämtad 2016-11-11]. Hämtad från: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928486999000208>
11. Ingemansson A. Ylipää T. Bolmsjö GS. Reducing Bottle-Necks in a Manufacturing System With Automatic Data Collection and Discrete-Event Simulation. Lund: Lund University; 2004. [hämtad 2016-11-12]. Hämtad från: <http://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/17410380510609474>

Webbsidor

12. SKF. Om SKF. [hämtad 2016-10-14].
Hämtad från: <http://www.skf.com/se/our-company/index.html>
13. Chalmers. 5G-Enabled Manufacturing. 2016 [hämtad 2016-11-25]
Hämtad från: <https://www.chalmers.se/en/projects/Pages/5GEM.aspx>
14. Swedish Standards Institute. Nytt med standardisering. [hämtad 2016-10-25]
Hämtad från: <http://www.sis.se/tema/nystandardisering/Nytt-med-standardisering/>
15. SKF. SKF launches innovative new bearing rating life model. [hämtad 2016-03-02]
Hämtad från: http://www.skf.com/us/news-and-media/news-search/2015-04-13_skf_launches_innovative_new_bearing_rating_life_model.html?tabId=2
16. SKF. Kullager, rullager, lagerhus och enheter. [hämtad 2107-03-20]. Hämtad från:
<http://www.skf.com/se/products/bearings-units-housings/index.html>

Dagstidningsartiklar

17. Düsing P. SKF betonar vikten av ökad effektivitet. GP. [citerad 2016-10-14];
Hämtad från: <http://www.gp.se/nyheter/ekonomi>
18. Lidberg L. SKF är en veteran på standarder. Swedish Standards Institute. [citerad 2016-10-25];
Hämtad från: <http://www.sis.se/Nyheter-och-press/Nyheter/Hallbar-produktion-med-hjalp-av-standarder-i-Asien-och-Afrika2>

Bilaga 1

<u>Indata</u>			
<u>Maskin/Cell/Robot/Transport</u>	<u>Operatör</u>	<u>Komponenter</u>	<u>Övrigt</u>
Tillgänglig tid	Tillgänglig tid	Processschema	Installerad tid
Ledtid*	Antal personal	Sekvenslista	Input bufferkapacitet
Cykeltid	Operatör ID	Komponent ID	Output bufferkapacitet
Takttid	Inlärningskurva	Batchstorlek	Bufferkapacitet
Bearbetningstid	Certifierad kompetens	Prioriterad komponent	Tid i buffert*
Väntetid*		Antal defekt/batch	
Reparationstid			
Verktygsbytestid			
Ställtid			
MTBF			
MDT			
Typ av stopp			
Maskin ID			
Transporttid			

<u>Utdata</u>
<u>Tillverkningstid från komponenter till färdigt lager</u>
Ledtid WCSRB
<u>Kostnader för tillägg</u>
Ledtid för tilläggoperationerna
<u>Hitta om IR eller OR är flaskhals</u>
Ledtid IR/OR
<u>Optimera buffertnivåerna</u>
Tid i buffert*
Antal pallar i buffert
<u>Förslitningstid verktyg</u>
Förslitningstid verktyg
<u>Lokalisering av flaskhals</u>
Väntetid*
Utnyttjandegrad
Ledtid*

<u>Indata</u>			
<u>Maskin/Cell/Robot/Transport</u>	<u>Operatör</u>	<u>Komponenter</u>	<u>Övrigt</u>
Tillgänglig tid	Tillgänglig tid	Processschema	Installerad tid
Ledtid*	Antal personal	Sekvenslista	Input bufferkapacitet
Cykeltid	Operatör ID	Komponent ID	Output bufferkapacitet
Takttid	Inlärningskurva	Batchstorlek	Bufferkapacitet
Bearbetningstid	Certifierad kompetens	Prioriterad komponent	Tid i buffert*
Väntetid*		Antal defekt/batch	
Reparationstid			
Verktygsbytestid			
Ställtid			
MTBF			
MDT			
Typ av stopp			
Maskin ID			
Transporttid			

<u>Utdata</u>
<u>Tillverkningstid från komponenter till färdigt lager</u>
Ledtid WCSRB
<u>Kostnader för tillägg</u>
Ledtid för tilläggoperationerna
<u>Hitta om IR eller OR är flaskhals</u>
Ledtid IR/OR
<u>Optimera buffertnivåerna</u>
Tid i buffert*
Antal pallar i buffert
<u>Förslitningstid verktyg</u>
Förslitningstid verktyg
<u>Lokalisering av flaskhals</u>
Väntetid*
Utnyttjandegrad
Ledtid*

Indata			
<u>Maskin/Cell/Robot/Transport</u>	<u>Operatör</u>	<u>Komponenter</u>	<u>Övrigt</u>
Tillgänglig tid	Tillgänglig tid	Processschema	Installerad tid
Ledtid*	Antal personal	Sekvenslista	Input bufferkapacitet
Cykeltid	Operatör ID	Komponent ID	Output bufferkapacitet
Takttid	Inlärningskurva	Batchstorlek	Bufferkapacitet
Bearbetningstid	Certifierad kompetens	Prioriterad komponent	Tid i buffert*
Väntetid*		Antal defekt/batch	
Reparationstid			
Verktygsbytestid			
Ställtid			
MTBF			
MDT			
Typ av stopp			
Maskin ID			
Transporttid			

Utdata
<u>Tillverkningstid från komponenter till färdigt lager</u>
Ledtid WCSRB
<u>Kostnader för tillägg</u>
Ledtid för tilläggoperationerna
<u>Hitta om IR eller OR är flaskhals</u>
Ledtid IR/OR
<u>Optimera buffertnivåerna</u>
Tid i buffert*
Antal pallar i buffert
<u>Förslitningstid verktyg</u>
Förslitningstid verktyg
<u>Lokalisering av flaskhals</u>
Väntetid*
Utnyttjandegrad
Ledtid*

<u>Indata</u>			
<u>Maskin/Cell/Robot/Transport</u>	<u>Operatör</u>	<u>Komponenter</u>	<u>Övrigt</u>
Tillgänglig tid	Tillgänglig tid	Processschema	Installerad tid
Ledtid*	Antal personal	Sekvenslista	Input bufferkapacitet
Cykeltid	Operatör ID	Komponent ID	Output bufferkapacitet
Takttid	Inlärningskurva	Batchstorlek	Bufferkapacitet
Bearbetningstid	Certifierad kompetens	Prioriterad komponent	Tid i buffert*
Väntetid*		Antal defekt/batch	
Reparationstid			
Verktygsbytestid			
Ställtid			
MTBF			
MDT			
Typ av stopp			
Maskin ID			
Transporttid			

<u>Utdata</u>
<u>Tillverkningstid från komponenter till färdigt lager</u>
Ledtid WCSRB
<u>Kostnader för tillägg</u>
Ledtid för tilläggoperationerna
<u>Hitta om IR eller OR är flaskhals</u>
Ledtid IR/OR
<u>Optimera buffertnivåerna</u>
Tid i buffert*
Antal pallar i buffert
<u>Förslitningstid verktyg</u>
Förslitningstid verktyg
<u>Lokalisering av flaskhals</u>
Väntetid*
Utnyttjandegrad
Ledtid*

<u>Indata</u>			
<u>Maskin/Cell/Robot/Transport</u>	<u>Operatör</u>	<u>Komponenter</u>	<u>Övrigt</u>
Tillgänglig tid	Tillgänglig tid	Processschema	Installerad tid
Ledtid*	Antal personal	Sekvenslista	Input bufferkapacitet
Cykeltid	Operatör ID	Komponent ID	Output bufferkapacitet
Takttid	Inlärningskurva	Batchstorlek	Bufferkapacitet
Bearbetningstid	Certifierad kompetens	Prioriterad komponent	Tid i buffert*
Väntetid*		Antal defekt/batch	
Reparationstid			
Verktygsbytestid			
Ställtid			
MTBF			
MDT			
Typ av stopp			
Maskin ID			
Transporttid			

<u>Utdata</u>
<u>Tillverkningstid från komponenter till färdigt lager</u>
Ledtid WCSRB
<u>Kostnader för tillägg</u>
Ledtid för tilläggoperationerna
<u>Hitta om IR eller OR är flaskhals</u>
Ledtid IR/OR
<u>Optimera buffertnivåerna</u>
Tid i buffert*
Antal pallar i buffert
<u>Förslitningstid verktyg</u>
Förslitningstid verktyg
<u>Lokalisering av flaskhals</u>
Väntetid*
Utnyttjandegrad
Ledtid*

Indata			
<u>Maskin/Cell/Robot/Transport</u>	<u>Operatör</u>	<u>Komponenter</u>	<u>Övrigt</u>
Tillgänglig tid	Tillgänglig tid	Processschema	Installerad tid
Ledtid*	Antal personal	Sekvenslista	Input bufferkapacitet
Cykeltid	Operatör ID	Komponent ID	Output bufferkapacitet
Takttid	Inlärningskurva	Batchstorlek	Bufferkapacitet
Bearbetningstid	Certifierad kompetens	Prioriterad komponent	Tid i buffert*
Väntetid*		Antal defekt/batch	
Reparationstid			
Verktygsbytestid			
Ställtid			
MTBF			
MDT			
Typ av stopp			
Maskin ID			
Transporttid			

Utdata
<u>Tillverkningstid från komponenter till färdigt lager</u>
Ledtid WCSRB
<u>Kostnader för tillägg</u>
Ledtid för tilläggoperationerna
<u>Hitta om IR eller OR är flaskhals</u>
Ledtid IR/OR
<u>Optimera buffertnivåerna</u>
Tid i buffert*
Antal pallar i buffert
<u>Förslitningstid verktyg</u>
Förslitningstid verktyg
<u>Lokalisering av flaskhals</u>
Väntetid*
Utnyttjandegrad
Ledtid*

Bilaga 2

