

## Optimering av operationsprioritering i tillverkningsprocess med hjälp av datorsimulering

- Optimisation of prioritisation principle in manufacturing using computer simulation

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet i maskinteknik*

CARL-JOHAN GULDSTRAND

JONATHAN ROTHSTEIN

Institutionen för produkt- och produktionsutveckling

*Examinator: Hans Eriksson*

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige, 2013

## **Sammanfattning**

McNeil AB i Helsingborg tillverkar receptfria läkemedel, bland annat nikotintuggummit Nicorette®, till försäljning i stora delar av världen. I två tillverkningslinjer produceras tuggummin av olika smaker och nikotinstyrkor, till exempel Classic, Mint, Soft and Sweet i styrkorna 2 respektive 4 mg.

All produktion av läkemedel är strängt reglerad för att risken för kontaminering och sammanblandning ska vara minimal. Detta innebär i praktiken att maskiner och produktionslokaler måste städas med en viss perioditet, samt då produktionen ställs om till en annan sorts tuggummi. Kraven på flexibilitet i färdigvarulagren gör att produktskifte ändå sker förhållandevis ofta, trots att många produktionstimmar då måste läggas på städning.

Produktionsprocessen innefattar moment som blandning av ingredienser, temperering i olika steg, valsning och paketering. Processtiderna för dessa moment skiljer sig åt väsentligt vilket gör det svårt att synkronisera och planera tillverkningen, och att väntetider ofta förekommer. Mellan vissa delprocesser finns mellanlager, där halvfärdiga produkter ansamlas i väntan på vidare behandling.

De olika långa processtiderna gör att det ofta finns halvfärdiga produkter i kö till flera olika delprocesser. Operatörerna i tillverkningen måste då välja vilken process som ska köras först. Detta görs idag grundat på operatörernas erfarenhet, vilket medför skillnader mellan olika individer och svårigheter för nya mindre erfarna operatörer. Det saknas idag riktlinjer för hur dessa prioriteringar ska göras för att uppnå bäst produktionsresultat, det vill säga så mycket färdiga produkter och så lite väntetider som möjligt.

Resultatet av detta arbete är en generell prioriteringsregel, som bygger på att prioriteringen mellan delprocesserna bygger på nivån i mellanlagren. Studien är genomförd så att olika föreslagna prioriteringsregler har testats mot varandra i en datorsimuleringsmodell som speglar den verkliga tillverkningsprocessen. Modellen är konstruerad i simuleringsprogrammet Simul8® som en del av denna studie. Fördelen med datorstödd simulering är att man i modellen kan genomföra ett stort antal försök med de olika prioriteringsreglerna virtuellt istället för att genomföra försök den verkliga tillverkningen, då detta ofta blir tidsödande och kostsamt.

Simuleringsmodellens konstruktion, samt den föreslagna prioriteringsregelns utformning finns återgivna i detalj i slutet av rapporten.

## **Abstract**

McNeil AB in Helsingborg, Sweden, produces over-the-counter pharmaceutical products, among others the nicotine replacement chewing gum Nicorette<sup>®</sup>, for costumers all around the world. In two production lines flavours like Mint, Classic, Soft and Sweet are manufactured with nicotine strengths 2 or 4 milligrams.

All pharmaceutical production is strictly regulated to minimise the risk of contamination or mix-up. In the gum manufacturing studied this means that all machines and manufacturing areas must be thoroughly cleaned periodically and at every product changeover. In spite of the lost production time this happens quite often due to flexibility requirements from the finished goods inventory.

The production process consists of a set of sequential operations, like the mixing of ingredients, warming and cooling, rolling and packaging. Some of these operations are very time-consuming while others are conducted quickly which makes planning and synchronizing the production difficult which in turn causes waiting times to occur. Between some of the operations are queues, or midway inventories, of half-finished products waiting to start the subsequent operation.

The differences in operation time sometimes cause the queues before the operations to build up. The manufacturing workers then have to choose which operation to conduct first. This prioritisation is today done based on the workers experience and intuition, which causes differences between individuals and difficulties for new less experienced workers.

The result of this project is a prioritisation principle based on the levels in the midway inventories, i.e. the number of products in queue before the operations. The study is done by comparing several suggested prioritisation principles and their effects on the production result in a computer simulation model of the production process. The model was designed in the simulation software Simul8<sup>®</sup> as a part of this study to conduct experiments. The advantage of computer aided simulation is that a large number of tests can be run virtually as opposed to in the real production process, where they tend to be time consuming and expensive.

The construction of the model and the details of the selected prioritisation principle are described in the end of the project report.

## Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte och mål .....	1
1.3	Avgränsningar .....	2
1.4	Precisering av frågeställningen.....	2
2.	Teoretisk referensram .....	3
2.1	Lean production.....	3
2.1.1.	Dragande produktionssystem och kanbanstyrning.....	3
2.1.2.	Kaizen (ständiga förbättringar).....	4
2.2	GMP (Good Manufacturing Practice) .....	4
2.2.1.	GMP och dess inverkan på Operation Excellence .....	4
2.3	Körplanering .....	5
2.3.1.	Arbetsledarstyrd körplanering.....	5
2.3.2.	Generella prioriteringsregler .....	5
2.3.3.	Planeringbaserade prioriteringsregler.....	5
2.3.4.	Användande av körplan .....	6
2.4	Statistik inom tillverkningsteknik.....	6
2.4.1.	Fördelningar.....	6
2.5	Simulering .....	6
2.5.1.	Kortfattad Historik .....	7
2.5.2.	När är simulering en lämplig metod? .....	7
2.5.3.	Osäkerhet i simulering.....	8
2.5.4.	Kontinuerliga eller diskreta variationer .....	8
2.5.5.	Diskret händelsestyrd simulering .....	8
2.5.6.	Arbetsgång vid en simuleringsstudie.....	9
2.5.7.	Simulering i tillverkningsindustrin .....	10
2.5.8.	Fördelar och Nackdelar med simulering.....	11
2.5.9.	SIMUL8 ® .....	11
2.6	Participativ utvecklingsstrategi.....	13
2.7	Forskningsmetodik .....	14
3.	Företagsbeskrivning .....	15
3.1	GMP på McNeil.....	15
3.2	Arbetsätt .....	15

3.3	Produktionsprocessen .....	15
3.4	Tillverkning 1.....	16
3.5	Produktionsplanering .....	17
4.	Metod.....	18
4.1	Litteraturstudie.....	18
4.2	Förarbete till Simuleringsstudie.....	18
4.2.1.	Manuell simulering .....	18
4.2.2.	Intervjuer med personal .....	18
4.2.3.	Framtagning av modellkoncept .....	19
4.2.4.	Datainsamling .....	19
4.2.5.	Fastställande av mål med simuleringsstudien.....	19
4.3	Genomförande av datorstödd simulering .....	19
4.3.1.	Översättning av modellkoncept till datormodell.....	19
4.3.2.	Verifiering och validering.....	21
4.3.3.	Experimentframtagning.....	21
4.3.4.	Dokumentation och implementering .....	23
5.	Resultat.....	24
5.1	Validering och verifiering.....	24
5.2	Simuleringsresultat .....	24
6.	Slutsats och diskussion .....	25
6.1	Validering av modell .....	25
6.2	Val av prioriteringsregel .....	25
6.3	Tillämpning .....	26
6.4	Förslag till fortsatt arbete.....	27
7.	Referenser .....	28
8.	Bilagor.....	30
8.1	Bilaga A – Lista över genomförda experiment .....	30

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

På företaget McNeil AB i Helsingborg, som ingår i Jonson & Jonson-koncernen, tillverkas receptfria läkemedel, framförallt nikotintuggummit Nicorette™. Flera smaker och styrkor produceras, bland annat Classic, Soft and Sweet och Pepparmint - alla i styrkorna 2 respektive 4 mg Nikotin. Produktionen är uppdelad mellan Tillverkningslinje 1 (hädanefter kallad T1) och den något nyare Tillverkningslinje 2 (hädanefter kallad T2) som har modernare utrustning och är något annorlunda organiserad. Förutom T1 och T2 finns en Coating-avdelning (dragering) och tio packningslinjer. Detta arbete kommer uteslutande att handla om T1.

Tuggummina tillverkas i något olika utföranden beroende på om de skall säljas i Europa, USA eller Japan eftersom McNeil måste anpassa sina produkter till de olika marknaderna och medicinska regelverken. De egenskaper som då kan variera är formen, som kan vara olika mycket konvex, samt om tuggummina drageras med socker eller inte innan de packas. De många produktvarianterna ställer stora krav på tillverkningsprocessen och det gör också GMP som är ett internationellt överenskommet regelverk som styr verksamheten i medicinsk tillverkning.

Vid normal produktion kör T1 på tre åttatimmarsskift per dygn från måndag till torsdag samt ett skift på fredagar. Vid tillfällen då produktionen måste ökas införs extra skift på helger. Vid varje produktskifte (s.k. ställ) måste en omfattande städning genomföras i var och en av arbetsstationerna. Arbetsmomenten i Tillverkning 1 har olika processtider och vissa sträcker sig över flera skift. Detta, tillsammans med de ovan nämnda städkraven, ger en komplicerad planeringssituation som kan vara svår att överblicka. När råvarorna har blandats bearbetas de vid flera arbetsstationer på sin väg genom tillverkningen. Då en arbetsstation genomfört sitt arbetsmoment blir resultatet en halvfärdig produkt som skickas vidare till nästa arbetsstation. En vanlig situation i nuläget är att det finns halvfärdiga produkter i väntan på arbete ansamlade i alla delar av tillverkningen och vid personalbrist, eller andra störningar, kan detta innebära att man måste göra vissa prioriteringar. Vilken arbetsstation som först skall bemannas och genomföra sitt arbetsmoment är en fråga som idag ofta grundas på operatörernas intuition. Bristen på standardiserat arbetssätt innebär därför att operatörer prioriterar olika, vilket oftast är kopplat till arbetserfarenhet, och svårigheter att prioritera rätt kan orsaka brist på produkter till de olika processtegen. Konsekvenserna av detta innebär att operatörerna får stå och vänta och dyrbar produktionstid går förlorad.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att hitta det bästa körsättet för tuggummiproduktionen i Tillverkning 1 med avseende på i vilken ordning de olika delprocesserna skall prioriteras för att uppnå högsta produktionsresultat. Det syftar även till att ta fram ett förslag på ett hjälpmedel för implementering av körsättet i tillverkningen.

### 1.3 Avgränsningar

- De studerade detaljerna i produktionsprocessen beskrivs med hänsyn till företagets sekretesspolicy, d.v.s. inga exakta data kommer att redovisas i denna rapport. Av samma anledning kommer inte all data som är inmatad i simuleringen att redovisas.
- Simuleringarna i arbetet är utförda i programmet SIMUL8®. Simul8 är det program som oftast används i utbildningssyfte och inga jämförelser med andra liknande programvaror kommer att utföras.
- Syftet med studien är att undersöka vilket körsätt som ger bäst resultat. Några variabler har låsts till fasta värden. Dessa är (1) att 100 % tillgänglighet på utrustningen förutsätts, på grund av avsaknad av tillförlitlig data om driftstopp och (2) att processtiderna i modellen är satta till fasta värden eftersom vi antar att processtidernas variation inte påverkar valet av körsätt.
- 

### 1.4 Precisering av frågeställningen

Huvudfrågeställningen lyder:

- Vilket är det optimala körsättet på tillverkningslinjen för att uppnå högst produktionsresultat?

Delfrågeställningar:

- Hur ser ett lättanvänt hjälpmedel för ett sådant körsätt ut?
- Är virtuell simulering en användbar metod för denna typ av produktionsprocesser?
- Hur kan lagerkapaciteten i tempererings- och kylrum bäst utnyttjas?
- Hur bygger man en simuleringsmodell av tillverkningsprocessen som har tillräcklig likhet med den verkliga processen för att ge relevanta resultat?
- Stämmer de erfarna operatörernas nuvarande uppfattning om bra körsätt med vad vi kan se i statistiken?

## 2. Teoretisk referensram

### 2.1 Lean production

Lean production är en produktionsfilosofi som syftar till att effektivt hantera och använda sig av tillgängliga resurser. Detta uppnås genom att man identifierar och eliminerar alla faktorer i produktionsprocessen som inte tillför något värde för kunden.[1] Dessa faktorer brukar oftast benämnas "slöserier" och kategoriseras som de "7+1 slöserierna". När dessa arbetas bort ur produktionen så innebär det bl.a. kortare genomloppstider, ökad kvalitet och minskade kostnader. Det finns många olika verktyg som ofta förknippas med begreppet Lean och som syftar till att identifiera och eliminera slöserier i produktionsprocessen. Exempel på sådana verktyg är OEE (Overall Equipment Effectiveness), dragande system (bl.a. kanbanstyrning) och Kaizen (ständiga förbättringar). Det finns även andra inställningar till Lean som fokuserar mer på arbetssätt och inställningar och attityder hos personal än på slöserireduktion i sig och ser det resulterande produktionsläget som ett utfall av detta snarare än av analyser och traditionell förbättringsmetodik. Här ligger, enligt Toyota, fokus på teamwork, respekt för både medarbetare och omvärlden, kreativitet och en engagerad ledning för att man ska kunna uppnå ett läge där man har ständiga förbättringar. [2]

#### 2.1.1. Dragande produktionssystem och kanbanstyrning

Ett dragande produktionssystem är motsatsen till det traditionella tryckande produktionssystemet. I ett tryckande system producerar man enligt en produktionsplan eller takt vilken ofta bestäms av en försäljningsprognos. Dessa prognoser är framräknade och baseras ofta på säljdata från tidigare tidsperioder och försöker ta hänsyn till förändringar som kan ha skett som kommer att påverka det kommande försäljningsläget. Produktionsplanen sätts sedan för att på bästa sätt tillfredsställa den prognosticerade efterfrågan och produkterna trycks fram genom systemet. Detta innebär att produktionen har svårt att anpassa sig till svängningar i efterfrågan och har ofta ett behov av större säkerhetslager.[2, 7]

Det dragande systemet försöker att anpassa sin produktion efter verklig efterfrågan istället för en prognosticerad sådan. Istället för att låta en produktionsplan trycka produkter genom systemet så låter man kundefterfrågan "dra" produkten genom processen. Detta görs genom att antingen producera direkt mot kundorder eller att hålla små färdigvarulager och fokusera produktionen på att se till att fylla på dessa när de når vissa undre gränser. Genom att på så vis förhålla sig till produktion kan man lätt anpassa sig till marknadens svängningar och erhålla kortare ledtider. Ett verktyg som hjälper till att skapa ett sådant dragande system är *kanban*.

Kanban är en materialplaneringsmetod med direktavrop vilket innebär att material- eller produktbehov direkt skickar en signal som initierar tillverkning eller leverans från en försörjande enhet. Signalen skickas ofta med hjälp av ett s.k. kanbankort vilket representerar en bestämd serie som ska produceras och läggas i lager eller buffert. Kanbankortet returneras sedan med serien till den enhet som först skickade signalen bakåt. Kanbankorten cirkulerar därmed i ett slutet flöde och antalet kanbankort i ett sådant flöde bestäms beroende på processtider m.m.[2, 7]



### 2.1.2. **Kaizen (ständiga förbättringar)**

Kaizen är ett tankesätt och verktyg inom Lean som fokuserar på ständiga förbättringar. Ordet Kaizen kommer från Japanskan och betyder "förbättring". Begreppet myntades av Toyota och har blivit en del av deras "Toyota Way" och därefter har tankesättet adopterats av såväl andra industrier som sjukvården. Filosofin appliceras på företaget genom att alla anställda uppmuntras av ledningen att tänka kreativt i alla anseenden och alltid försöka att komma med förslag på hur man kan förbättra standardiserade aktiviteter, både för att förbättra produktionen och minska slöserier men också för att förbättra arbetsmiljön och arbetssättet för de anställda. Både små och stora förbättringar uppmuntras då många små förändringar kan göra stor skillnad, inte bara för att förbättra själva arbetet utan för att personalens kreativitet stimuleras och utnyttjas samt att de känner större ansvar och delaktighet i sitt arbete. Problemet, och den stora fördelen, med konceptet Kaizen är att det borde genomsyra alla anställda och därmed tar tid och möda att implementera då man måste få med sig den stora delen av personalen. [7]

## 2.2 **GMP (Good Manufacturing Practice)**

Möjligheterna att tillämpa en produktionsfilosofi som Lean på ett företag kan vara olika inom olika branscher och de kan ha olika syn på vad som anses vara nödvändiga slöserier. En stor del av ett läkemedelsföretags kostnader läggs på kvalitetskontroll, ofta av varje leverans eller till och med av enskild produkt. Ett motsvarande tillvägagångssätt kan vara svårt att motivera ekonomiskt inom andra industrier där konsekvenserna för felaktigt levererade produkter inte är lika allvarliga.

Good Manufacturing Practice (på svenska God Tillverkningssed) är ett kvalitetsverktyg som används inom läkemedelsindustrin[19] och många företag har utvecklat sin egen version av GMP. GMP bygger på lagar satta av läkemedelsverket för att säkerställa patientsäkerheten och att god kvalitet på produkterna hålls. Det som regleras av GMP är definitionen av ren zon, sluss och oren zon, vilka regler som gäller transition av material och personal mellan dessa zoner, hur personal får vara klädda och bete sig i ren zon, dokumentationsregler samt definition och reglering av processer.

GMP sätter en tydlig vikt vid renlighet då en av de stora riskerna vid läkemedelstillverkning är kontamination av produkter. Allt produktionsområde är ren zoner och här gäller speciella klädesregler där alla måste bära särskilda kläder, hårnät, skoskydd. Har personen skägg måste även ett speciellt skäggskydd bäras. I ren zon är det inte tillåtet att bära smycken eller klockor då dessa ofta är husrum för bakterier. Väl inne i ren zon gäller även regler angående kontakt med produkterna. Det är strängt förbjudet att direkt vidröra en produkt med händerna utan handskar. Material och verktyg som förs in i ren zon skall vara rengjorda och vara synligt rena. Oren zon är alla områden som inte är definierat som ren zon, d.v.s. kontor, toaletter, korridorer etc. En annan viktig del av GMP är dokumentation; allt skall dokumenteras och signeras med arkivbeständiga pennor på arkivbeständigt papper. [19]

### 2.2.1. **GMP och dess inverkan på Operation Excellence**

General Electric Intelligent Platforms är en avdelning inom GE-koncernen som säljer helhetslösningar och åtgärdsprogram till olika typer av företag med syfte att förbättra sin Operation Excellence, hädanefter OPEX. OPEX kan enligt dem uppnås genom att steg för steg mäta och analysera sin tillverkningsprocess, med början i stopptidsreduktion, via total utrustningseffektivitet (OEE), vidare

till en processduglighetsanalys. Enligt GE Intelligent Platforms[4] står läkemedelsbranschen inför en stor utmaning i att hitta mer effektiva sätt att producera läkemedel och använda sin produktionsprocess som ett konkurrensmedel.

OEE är ett av de mätetal som ingår i OPEX varav de främsta internationella läkemedelsföretagen ligger på ett OEE-tal runt 70 % medan den stora majoriteten hamnar runt 30-40%. Detta skall jämföras med att generellt i tillverkningsindustrin anses ett OEE på 90% vara världsklass.[4] Det finns många teorier om orsakerna till de övriga tillverkningsindustriernas försprång när det gäller utrustningseffektivitet. En sådan teori presenteras av Adam Daniel Villa [5] i sin avhandling på MIT om Lean-implementering i läkemedelsindustrin. Han skriver att det finns en allmän uppfattning att Lean och Lean-relaterade metoder inte kommer att fungera i läkemedelsindustrin. De orsaker som anges är bland annat att processerna är för komplexa och kraven på noggrannhet för strama från de hårda regelverken. Han kommer i sin avhandling fram till slutsatsen att den enkla sanningen är att det finns gott om förbättringsmöjligheter på de flesta av dessa företag som skulle kunna genomföras väl inom ramarna för regelverken för GMP.

## 2.3 Körplanering

Begränsningarna som GMP innebär ställer höga krav på noggrannhet i tillverkningsprocessen och kräver bland annat en väl genomtänkt körplanering. Körplaneringen i en tillverkande industri reglerar prioriteringen av både arbetsordrar och deloperationer. Denna planering syftar till att nå tillverkningens mål och ser olika ut beroende på vad som för företaget anses viktigast, till exempel att hålla leveransdatum, hålla nere genomloppstid etc. Det finns en rad olika metoder för körplanering varav några beskrivs i efterföljande kapitel.[7]

### 2.3.1. Arbetsledarstyrd körplanering

Denna metod innebär att arbetsledaren, gruppchefen eller operatörerna själva väljer hur de prioriterar sitt arbete utan något regelverk eller styrningar. Fördelar med denna metod är att den kommunicerar förtroende till arbetsledarna och operatörerna vilket kan leda till ökad motivation och bättre resultat. Nackdelar med denna metod är att ingen hänsyn tas till det verkliga behovet och att det kan vara svårt för arbetsledare att både ta hänsyn till situationen på golvet och till den övergripande situationen. Det kan även vara svårt att få en ordentlig överblick över vad som för tillfället är bäst för det sammantagna produktionsflödet.

### 2.3.2. Generella prioriteringsregler

Detta arbetssätt innebär som det förra att arbetsledaren eller operatören bestämmer prioriteringsordningen dock att detta görs enligt vissa från ledningen fastställda generella prioriteringsregler. Med att reglerna är generella menas att de inte har att göra med de specifika tidpunkter då ordena är inplanerade. Exempel på några generella prioriteringsregler är *FIFO – first in, first out* och *Kortast operationstid först*. [7]

### 2.3.3. Planeringbaserade prioriteringsregler

Då prioriteringsreglerna för körplaneringen är planeringsbaserade bygger dessa på information om hur ordern är inplanerad. Några exempel är *tidigast planerad starttidpunkt först*, *tidigast planerad färdigtidpunkt först*, etc.

#### 2.3.4. Användande av körplan

Då ingen körplanering utförs av verkstadspersonalen görs detta av ledningen eller en annan funktion inom företaget. De producerar då en färdig planering i form av en *körplan* som kommuniceras till verkstaden för att följas. Detta arbets sätt kan användas till exempel då prioriteringsreglerna är så avancerade, eller så många, att verkstadspersonalen inte rimligen kan förväntas hinna med att tolka dessa. Avancerade prioriteringsregler kan till exempel se ut så här: *Minsta skillnad mellan återstående tid till färdigdatum och ackumulerad återstående operationstid.*[7]

### 2.4 Statistik inom tillverkningsteknik

För att körplaneringen skall fungera krävs ingående kunskap om delprocessernas beteende. Statistikens användning inom tillverkningsindustrin har en knappt hundraårig historia som inleds av Fredrick Winslow Taylors (1851-1915) idéer om att se tillverkningsprocessen ur ett mer vetenskapligt perspektiv och därmed frångår de gamla metoderna med tumregler. Taylors teorier vidareutvecklades av Walter Andrew Stewart (1891-1967) som hade studerat de statistiska modeller som nyligen hade börjat användas inom naturvetenskapen. Med den bakgrunden var det naturligt att använda dessa modeller för att beskriva till exempel variationen i en tillverkningsprocess.[6]

#### 2.4.1. Fördelningar

I alla verkliga tillverkningssystem finns ett visst mått av slumpmässig variation. Till exempel kan processtider variera med +/- ett par sekunder, diametern på en svarvad axel +/- ett par mikrometer, antal kasserade produkter per dag, m.m. För att få bättre kunskap om sin tillverkning och kunna förutsäga resultatet bör man därför studera hur de varierande värdena fördelar sig.[6]

Genom att studera resultatet från upprepade mätningar av en process kan man se om resultaten passar in under någon känd statistisk fördelning. Statistiska fördelningar definieras av Nationalencyklopedin[8] som "speciella funktioner som används inom statistiken och sannolikhetsteorin för att beskriva troligheten eller den relativa frekvensen av olika möjliga resultat av slumpmässiga experiment". Exempel på fördelningar är Normal-, triangulär- och Poissonfördelning.

### 2.5 Simulering

För att studera och analysera beteendet av ett verkligt system används inom många discipliner datorstödd simulering. Simulering kan definieras som skapandet av en datoriserad modell av ett verkligt system och därefter utföra experiment med hjälp av denna, med syftet att bättre förstå hur systemet beter sig vid förändring av systemparametrar. Modellen består generellt av ett antal samverkande enheter som får någon typ av indata och producerar utdata med vissa villkor som anges i modellen.

Några områden och exempel där simuleringsmodeller har använts med framgång är inom lagerhållning, materialhantering, sjukhus och kliniker för beräkning av personalkapacitetsbehov, arenor och flygplatser för att förutse hur stora folkgrupper beter sig, militära sammanhang, vid beräkning av lastning och lossningsresurser i hamnar och på flygplatser och för andra distributions- och logistiksystem.[16, 17]

En huvuduppdelning av simuleringens inriktning kan göras om man tittar på syftet med simuleringen. I den traditionella simuleringen ämnar man analysera systemet för att fatta beslut om systemets drift och resursernas utnyttjande – här inkluderas diskret händelsestyrd simulering (kapitel 2.5.5(s.8)). Den andra huvudinriktningen inom simulering är träningssimulatorer som syftar till att träna systemoperatörer i till exempel en virtuell miljö för att kunna fatta bättre beslut och till bättre process- och operationsfärdigheter.[9]

### 2.5.1. Kortfattad Historik

Det finns många metoder för att bygga modeller av system och dessa skiljer sig framförallt i flexibilitet och användarvänlighet vilka i detta sammanhang kan ses som motpoler. På 70-talet användes allmänna programmeringsspråk som Java och Visual Basic för att simulera. Detta var ofta tidskrävande, lätt att göra fel och inlärningskurvan för att effektivt bygga modeller var lång. Nästa steg i utvecklingen var speciella simuleringsspråk som snabbt blev populära och som i viss mån används än idag. Den stora fördelen med denna metod är den nästan fullständiga flexibiliteten men dessa ställer dock fortfarande krav på omfattande programmeringskunskaper.[10, 14]

För att fler snabbt skulle kunna lära sig bygga modeller började simuleringsprogramvaror skapas och dessa dominerar idag marknaden. De har ett grafiskt gränssnitt som är lätt att lära sig och det går snabbt att producera nya modeller. Nackdelen med dessa är den låga flexibiliteten som kan göra det svårt att bygga modeller som stämmer bra överens med verkligheten. För att råda bot på detta problem har man i vissa simuleringsprogramvaror möjligheten att även skriva in egen logikkod för att beskriva hur modellen skall bete sig.

### 2.5.2. När är simulering en lämplig metod?

Banks [11] listar i sin handbok följande problem som kan finnas med system, då simulering kan vara en lämplig metod.

- Det finns inga analytiska lösningar som kan förklara systemets beteende på grund av till exempel variation och osäkerhet.
- Man behöver få en uppfattning om effekten av strukturella och organisatoriska förändringar innan de genomförs.
- Systemet är så komplext att simulering är det enda rimliga sättet att få en uppfattning om dess beteende vid förändringar i indata.
- Man vill visuellt presentera en målbild över hur man vill att systemet skall drivas för de som arbetar med det.
- Det är kostsamt och tidskrävande att stanna eller sakta ner systemet för att utbilda nya användare.
- Man behöver förbättra systemet och få en uppfattning om vilka faktorer som påverkar prestationen mest.

Då simulering kan vara tidskrävande och kostsamt finns det tillfällen där simulering inte lämpar sig. Framför allt då man på annat sätt kan lösa problemet, till exempel analytiskt med matematiska metoder eller genom att experimentera på det verkliga systemet. Kostnad för detta bör alltid jämföras med kostnaden för att genomföra en simulering.

Simulering kräver stor tillgång till information om systemet eller åtminstone väl motiverade uppskattningar. Om sådana inte finns tillgängliga eller om inte tillräckligt tid har lagts på att samla in data kan resultatet från simuleringen bli meningslöst. Minnesregeln för detta är GIGO – garbage in, garbage out.[11]

Några specifika områden inom tillverkning där simulering kan vara tjänligt enligt Law et al. [14]:

- Kapacitetsbehovsberäkningar
  - Antal personal, maskiner och transportlösningar som krävs för att klara ställda produktionskrav
- Prestationsanalys:
  - Maximal produktionstakt
  - Ledtidsberäkning
  - Flaskhalsidentifiering
- Utvärdering av nuvarande arbetsätts påverkan på resultaten
  - Produktionsplanering
  - Kö- och buffertstorlekar
  - Utnyttjandegrad av maskiner och personal

### 2.5.3. Osäkerhet i simulering

Simuleringar av system skiljer sig åt beroende på graden av osäkerhet i utfallen av händelser. Simulering av ett system med liten eller ingen osäkerhet, där en "lösning" av systemet kan nå genom analys, kallas deterministisk simulering. Det kan handla om system som går att beskriva med ett system av differentialekvationer som reglertekniska system, eller simulering av digital elektronik. [9, 11]

Simulering av system som till sin natur innehåller slumpmässig variation kallas för *stokastisk* simulering. Vid sådan simulering fås inga exakta lösningar utan man "kör" systemet genom att beräkna förändringarnas effekt numeriskt och detta görs tillräckligt länge för att kunna producera en artificiell systemhistorik av relevant storlek som sedan analyseras. Från denna analys kan man dra slutsatser och *uppskatta* det verkliga systemets drifttegenskaper. Om till exempel en tillverkningslinje studeras, tittar man på hur variation vid de enskilda tillverkningsstationerna.

*Exempel:*

*Station 2 är en CNC-fräs som har en operationstid på 48,0 sekunder men mätningar visar att operationstiden varierar mellan 47,3 och 48,7 sekunder normalfördelat. Variationen matas in i simuleringsmodellen som låter processtiden i simuleringen variera likadant.[11]*

### 2.5.4. Kontinuerliga eller diskreta variationer

Simuleringsstudier delas även upp efter vilken typ av indata som förekommer i systemet. Systemets indata kan anta antingen *kontinuerliga* eller *diskreta* värden över tid. Vid simulering av ett tåγκör-schema stannar tåget bara vid stationerna längst med rälsen. Inga värden finns mellan stationerna, alltså är de diskreta värden. Vid simulering av vattennivån i en damm som funktion av inflöde, utflöde och avdunstning får vattennivån beskrivas som kontinuerlig.

### 2.5.5. Diskret händelsestyrd simulering

Vilken typ av simulering man använder sig av beror på systemet man skall analysera och dess egenskaper. Simulering av ett system som är dynamiskt och där modellen kan ändra tillstånd vid

vissa diskreta tidpunkter (händelser) samt innehåller element av *stokastisk osäkerhet* kallas för diskret händelsestyrd simulering.[11] De flesta system som simuleringsförsök görs på är av denna typ, till exempel i tillverkningsindustrin. På grund av den stokastiska variationen kan någon analytisk lösning inte fås, alltså körs simuleringen genom numeriska beräkningar vilket oftast sker med hjälp av en dator.

### 2.5.6. Arbetsgång vid en simuleringsstudie

Det finns ett steg-för-steg-förfarande för arbetsgången vid en simuleringsstudie som finns beskrivna av bland andra Banks [11] och Chung [9]. Banks metod ser ut som följer:

#### - **Problemformulering**

För att kunna använda simulering för att lösa ett problem så är det viktigt att man har en god, väl uttänkt problemformulering. Problemformuleringen skall entydigt beskriva vad man vill ha svar på när man har fullgjort sin simulering.

#### - **Fastställande av mål och övergripande projektplan**

Med simuleringens mål menas de svar som man vill ha tillhanda när simuleringen är genomförd. Dessa mål skall vara satta så att de fullständigt löser problemen i problemformuleringen.

#### - **Framtagning av modellkoncept**

Innan man börjar konstruera modellen i datorn så finns det mycket att tjäna på att göra ett koncept först där man skissar upp ungefär hur modellen skall se ut och fungera. Därigenom tänker man noga igenom vad man vill ha med och hur det skall införas innan man börjar bygga upp systemet i datorn.

#### - **Datainsamling**

I detta stadiet samlas den data in som man i föregående steg har bedömt som viktig. Detta görs i samverkan med de ansvariga för det verkliga systemet och kan göras antingen genom att analysera befintlig statistik eller genom att göra nya mätningar.

#### - **Översättning av modellkoncept till datormodell**

Här utförs byggandet av datormodellen utifrån det skapade konceptet och de insamlade data. Viktigt är att se till så att man kan få ut ett entydigt svar till de satta problemen.

#### - **Verifiering och validering**

När modellen anses färdigbyggd så måste den verifieras och valideras innan den kan användas för att generera några resultat. Verifieringen görs eftersom man måste vara säker på att den modell som byggts upp i datorn representerar den verkliga situationen på ett tillfredsställande vis. Ifall det är för stora skillnader mellan verkligheten och datorsimuleringen så blir inte de genererade resultaten tillförlitliga. Verifiering och validering kan göras genom att man ger sin simuleringsmodell och verkligheten liknande förutsättningar under en viss tidsperiod och jämför de simulerade resultaten med de verkliga. Ifall skillnaderna mellan dessa resultat bedöms som små nog kan man anse att modellen är validerad.[11]

#### - **Experimentframtagning**

Med experimentframtagning menas framtagningen av olika scenarion som man vill simulera. Hur många experiment och hur olika dessa skall vara beror på vilka parametrar som man anser är justerbara och som kan påverka resultatet. Experimenten kan även hantera olika prioriteringsregler såsom *first in, first out* kontra *kortast processtid först*.

#### - **Körning av simuleringsmodellen**

Inställning och exekvering utefter de experiment som har framtagits i föregående steg.

- **Dokumentation av resultat**

Nedteckning av de resultat som har erhållits från de olika experimenten, ofta i tabellform för enkel överblick.

- **Implementering**

Implementering av förändringar i det verkliga systemet utefter vad som har visat sig ge ett förbättrat resultat i simuleringen.

Det finns inga manualer skrivna med instruktioner för hur modellbygge skall gå till eftersom systemen man kan simulera är så olika. Det finns endast några principer att tillgå, till exempel nyttan med att försöka bygga en så enkel modell som möjligt. I exempelvis en fabrik kan flera monteringsstationer, som i verkligheten på alla sätt är enskilda processer, i modellen representeras av en sammanslagen process. Detta förutsatt att det resultat modellen producerar inte påverkas. Insamling av data innefattar all behövd information om de ingående delprocesserna och för den data som inte finns tillgänglig får man göra antaganden som dokumenteras.

*Exempel:*

*Vi skall modellera en svarv som en delprocess i en tillverkningslinje. Processtiden kan då låsas till exempelvis 2 minuter, som är normal processtid. Detta kan göras om det inte finns någon stor variation (t ex en CNC-svarv) som torde påverka resultatet. Man kan också välja att konstatera att svarvens processtider är normalfördelade med medelvärde  $\mu=120$  sek och standardavvikelsen  $\sigma=5$  sek, då kan detta också läggas in i modellen.*

Det går också att skapa sin egen fördelning baserat på insamlade data som varierar på ett sätt som inte stämmer överens med någon speciell standardfördelning.

### 2.5.7. **Simulering i tillverkningsindustrin**

Att kunna uppskatta hur ett system kommer att bete sig på förhand ger uppenbara fördelar inom tillverkningsindustrin, framför allt genom möjligheten att testa olika koncept och idéer utan att påverka det befintliga systemet. Det kan användas för att dimensionera produktionssystem, att arbeta fram resurs- eller kapacitetsstrategier samt för bättre förståelse av effekterna av olika körplaneringsmetoder.

Att förbättra och felsöka i produktionssystem är ofta problem som uppfyller kriterierna för att vara lämpliga för simulering, enligt kapitel 2.5.2(s.7). De är ofta komplexa och dynamiska med ett stort antal parametrar och de är svårt eller omöjligt att studera det verkliga systemet genom att stoppa det och titta på komponenterna isolerat. Det finns också ett uppenbart incitament att försöka hitta ett sätt att just studera systemet utan att stanna det - stopp i produktionen kostar. I en datorstödd modell av produktionsprocessen kan man enkelt genomföra ett stort antal försök och därmed få indikationer på vilka parametrar, eller kombinationer av dem, som på verkar produktionsresultatet mest.

Om ett nytt system skall planeras och dimensioneras, kan en simuleringsmodell ge information om hur det tänkta systemet klarar de ställda kraven. Den kan även ge underlag till beslut om investeringar. I ett exempel från en station för målning av elektronikkomponenter visar Irani et al. [12] konkret på möjligheterna med simulering i produktionssystem. De menar att den största

orsaken till att tekniken inte används mer i industrin är bristen på kunskap om detta område och dess möjligheter för företagen.

Diskret händelsestyrd simulering användes av Altiparmak et al.[13] i ett projekt för att på en automatiserad monteringslinje bestämma de optimala buffertstorlekarna mellan tillverkningsstationer för att nå högsta produktionstakt. Det förekommer stokastisk variation i både transporttider mellan stationerna och processtiderna som för stationerna är olika långa. För små buffertar innebär statistiskt att brist i efterföljande station kommer att uppstå vid förseningar i tidigare tillverkningssteg eller transporter. En för stor buffert innebär kapitalbindningskostnader och att problem döljs istället för att åtgärdas.

#### 2.5.8. **Fördelar och Nackdelar med simulering**

De stora fördelarna med simulering är möjligheten att kunna experimentera med ett system utan att varken behöva stanna eller på annat sätt påverka det. Du kan testa systemets prestation över lång tid på bara några sekunder och system som tidigare krävde en stor analytisk arbetsinsats för att studera statistiskt i en given tidpunkt kan nu med detta verktyg studeras dynamiskt, över tid och med i sammanhanget små krav på analys och programmering.

Nackdelar med simulering bör också nämnas. Framför allt är simulering en tidskrävande och kostsam process. Datainsamling är ett steg som tar tid och även för användare som har den nödvändiga kunskapsbakgrunden inom programmering och statistik kan det ta tid att lära sig bygga modeller effektivt som liknar verkligheten. Nackdelarna bör vägas mot vad man har att vinna då man beslutar ifall man skall genomföra ett simuleringsprojekt. [9]

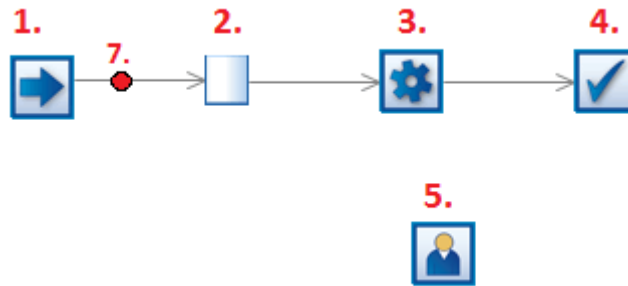
#### 2.5.9. **SIMUL8 ®**

SIMUL8 är en programvara för diskret händelsestyrd simulering anpassad för tillverkning och som har ett grafiskt gränssnitt för överblickbarhet och kortare inlärningstid. Egen logikkod kan skrivas in för att komplettera de i programmet förinställda funktionerna och därmed öka flexibiliteten (funktionen heter Visual Logic och beskrivs längre fram i detta avsnitt). SIMUL8® står sig väl i jämförelse med övriga programvaror på marknaden och är bland de mindre dyra, enligt en studie av Hlupic.[10]

Samma undersökning visar att en majoritet av tillfrågade användare valt Simul8 och att de viktigaste egenskaperna vid valet av simuleringsprogramvara är enkelhet i modellkonstruktion och bra grafiskt gränssnitt. Den vanligaste begränsningen som de tillfrågade användarna ser med sin programvara är att den saknar flexibilitet trots de funktioner som finns för att kompensera detta.

Vid genomförandet av en simuleringsstudie följs arbetsgången beskriven i kapitel 2.5.6(s.9) och vid punkten "Översättning av modellkoncept till datormodell" har tillräcklig kunskap om det verkliga systemet erhållits för att börja konstruera en simulerad modell i simuleringsprogrammet. En modell i SIMUL8 består i huvudsak av virtuella enheter (i programmet kallade *WorkItems*), som färdas mellan olika objekt enligt en väg utmärkt av pilar. Om de virtuella enheterna motsvaras av produkter, råvaror eller halvfabrikat i den verkliga tillverkningsprocessen kan till exempel de olika objekten ses som arbetsstationer och mellanlager mellan vilka produkterna färdas. I figur 2.5.1(s.12) visas de vanligaste objekten (märkta 1-4) som används vid modellkonstruktion samt de virtuella produkterna (7). Objekten kan sedan programmeras var för sig så att produkterna "behandlas" på ett sätt som liknar den verkliga tillverkningsprocessen.[20]

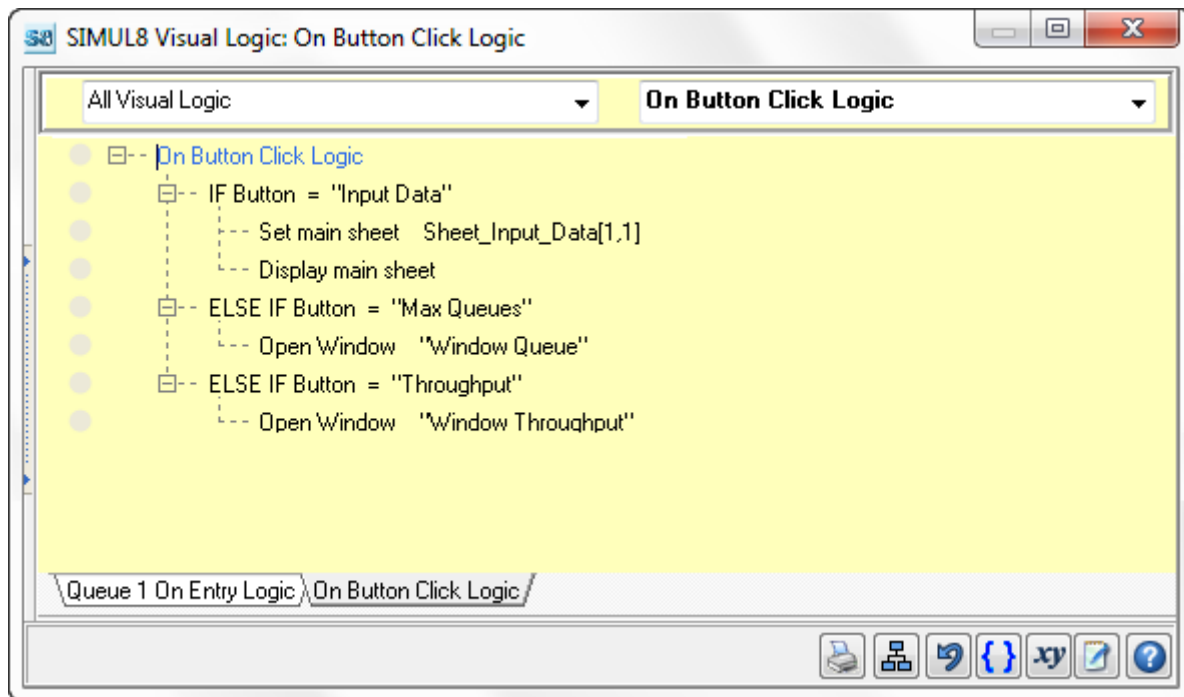




Figur 2.5.1 Simul8-ikoner

Objekt 1 i samma figur är en så kallad *Work Entry Point*. Den markerar tillverkningens startpunkt där råvarorna eller de obearbetade produkterna påbörjar sin väg genom tillverkningen. Objekt 3 är en arbetsstation (*Workcenter*) där en produkt kan bearbetas en viss tid och tillförs värde genom att en variabel som produkten bär med sig ändras (i programmet kallas variablerna *Labels*). Objekt 2 är ett mellanlager som i programmet kallas för *Storage bins*. De kan till exempel ställas in till att behålla en produkt viss tid eller ha en maxgräns för antal produkter i lagret men tillför inget värde till produkten. Objekt 4 är en *Work Exit Point* där färdigbearbetade produkter ansamlas. Detta är tillverkningens slutpunkt och här kan statistik över produkterna och tillverkningen avläsas. Objekt 5 är en så kallad *Resource pool* och representerar personalen som arbetar vid tillverkningen. I detta objekt bestäms personalens antal och det kan det också bestämmas ifall personalen skall vara låst till att bemanna en viss arbetsstation eller gå dit de behövs när de är klara med sitt arbete vid en station. Statistik om personalens utnyttjandegrad m.m. kan efter genomförd simulering hämtas vid detta objekt. [20]

För att få de virtuella enheterna att bete sig likt de verkliga produkterna händer det ibland att programmets inbyggda funktioner inte räcker till. Då finns möjligheten att skapa egna villkor för behandling av produkten i till exempel en viss arbetsstation. Detta görs med en funktion som heter *Visual Logic*, där logisk kod kan skrivas in för att till exempel sätta ett villkor för en produkts behandling i en arbetsstation. [20]



Figur 2.5.2 Visual logic

Visual LogicBuilder visas i figur 2.5.2(s.13) är det gränssnitt där logisk kod skrivs in. Gränssnittet är utformat så att en modellbyggare med endast grundläggande programmeringskunskaper snabbt känner igen sig.

*Exempel:*

*I en tillverkningsprocess förekommer två typer av produkter, typ 1 och typ 2. Denna typskillnad mellan produkterna består i att en variabel som produkten bär med sig har olika värden för produkter av typ 1 respektive typ 2. Produkterna bearbetas i samma arbetsstation men typ 1 har en bearbetningstid på 60 minuter och typ 2 på 110 minuter. Med funktionen Visual Logic kan arbetsstationen programmeras att läsa av variabeln "Produkttyp" då produkten anländer och beroende på vilket värde variabeln har ändra bearbetningstiden.*

Modellens beteende då man börjar köra simuleringen kan vara oförutsägbart och inte ge ett representativt resultat. Därför är det lämpligt att låta processen gå en viss tid tills den uppnått en balans innan man börjar att samla in data. Simul8 har en funktion för denna uppvärmningstid (i programmet kallad *Warm-up period*) innan datainsamlingen börjar. [11, 20]

Tiden för att skifta från produktion av en produkt till en annan kallas ställtid. Ställtiden kan anges med en i programmet inbyggd funktion som heter Changeover, som kan variera från produkt till produkt eller efter ett visst antal produkter. Funktionen fungerar så att när en ny produkt kommer in i det aktuella workcentret kontrolleras produktens variabler (Labels) mot villkoren för att genomföra en Changeover eller ej.

## 2.6 Participativ utvecklingsstrategi

Slutsatser dragna från en simuleringsstudie är inte mycket värda om man inte på ett bra sätt kan implementera förändringar i det verkliga systemet. Nyckeln till en lyckad implementering är

samarbete med operatörer och arbetsledare. En operatör som känner sig delaktig känner ett starkare engagemang och tar ett större ansvar och detta leder i sin tur till ökad motivation och i slutändan till ökad produktivitet. Tankesättet utvecklades i Japan på 1960-talet som en del i utvecklingen av konceptet Kaizen (ständiga förbättringar) av bland andra Masaaki Imai.[18]

## **2.7 Forskningsmetodik**

Vid genomförandet av en vetenskaplig studie ställs forskaren inför valet av forskningsmetod. En simuleringsstudie är inget undantag.

I huvudsak handlar det om hur förhållandet mellan teori och empiri skall se ut. Tre metoder brukar användas: induktion, deduktion eller abduktion. Vid en induktiv forskningsansats skall verkligheten studeras förutsättningslöst utan att någon inläsning av teorin i förväg. En deduktiv ansats innebär att forskaren inleder med ett teorigenomgång varefter man undersöker om de verkliga resultaten kan bekräfta teorin. Den abduktiva metoden söker kombinera fördelarna med induktion och deduktion. Forskaren varken låser sig vid en teori eller försöker vara helt förutsättningslös utan försöker tolka de samband som ses genom att tillämpa teorin och genomföra tester och experiment. [21]

### **3. Företagsbeskrivning**

#### **3.1 GMP på McNeil**

Alla anställda på McNeil AB genomgår en utbildning i GMP när de börjar arbeta på företaget eftersom det är viktigt att alla vet vad som gäller ute i produktionen. Konkret för företaget så innebär GMP att alla maskiner och produktionslokaler städas mycket noggrant vid växling mellan olika produkttyper, vilket påverkar flexibiliteten och nivåer i mellanlager. Det innebär också att förflyttning av personal och material mellan olika delar av fabriken är reglerad. Transport mellan oren zon och ren zon sker via materialslussar och personalslussar. I materialslussarna rengörs råmaterial och produkt från eventuella orenheter tills dess att allting är synligt rent innan det förs in i ren zon. I personalslussarna byter personal och besökare om till godkända kläder och tvättar händerna med handsprit innan de tar sig in i ren zon.

I enlighet med GMP så dokumenteras allt ifrån uppvägning av sockerlag till parameterändringar bokförs och märks med en personlig signatur för att man skall kunna följa upp och åtgärda felaktigheter som uppmärksammas.

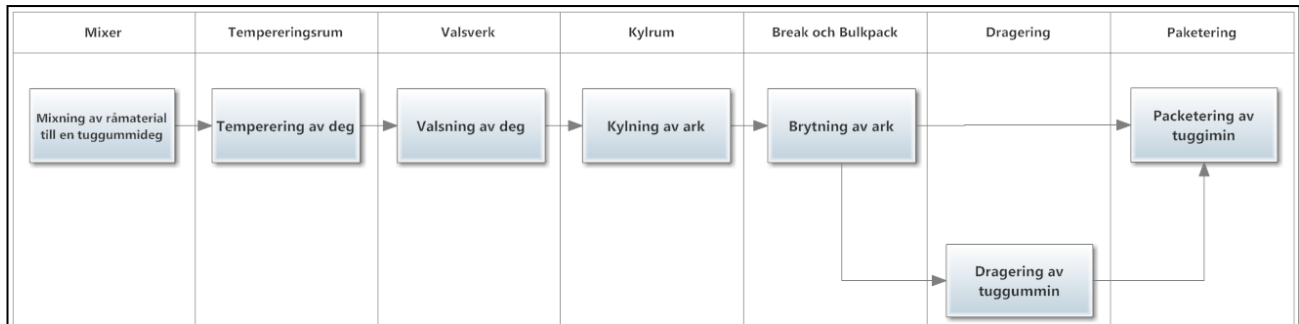
#### **3.2 Arbetsätt**

Alla operationer som utförs är standardiserade och finns beskrivna på arbetsplatsen i så kallade "SOP:ar" där SOP står för *Standardized Operating Procedure*. I dessa SOP:ar finns allting som operatören behöver veta för att utföra en operation samt förväntad tidsåtgång för varje delmoment. Syftet med ett sådant standardiserat arbetsätt är att alla arbetsuppgifter skall få samma resultat varje gång oavsett vem som utför den. SOP:arna uppdateras ständigt och då man arbetar utefter Kaizen-konceptet uppmuntras personalen att kontinuerligt föreslå förbättringar i arbetsprocessen. Alla förslag behandlas av administrationen som bedömer ifall en förändring kan genomföras på ett effektivt vis. Ifall en föreslagen förändring genomförs så belönas personen som föreslog den med en bonus vars storlek varierar beroende på hur stor effekt förbättringen förväntas ha. Belöningsystemet är tänkt att fungera som en morot för att få personalen att vilja engagera sig i förbättringsarbetet.

#### **3.3 Produktionsprocessen**

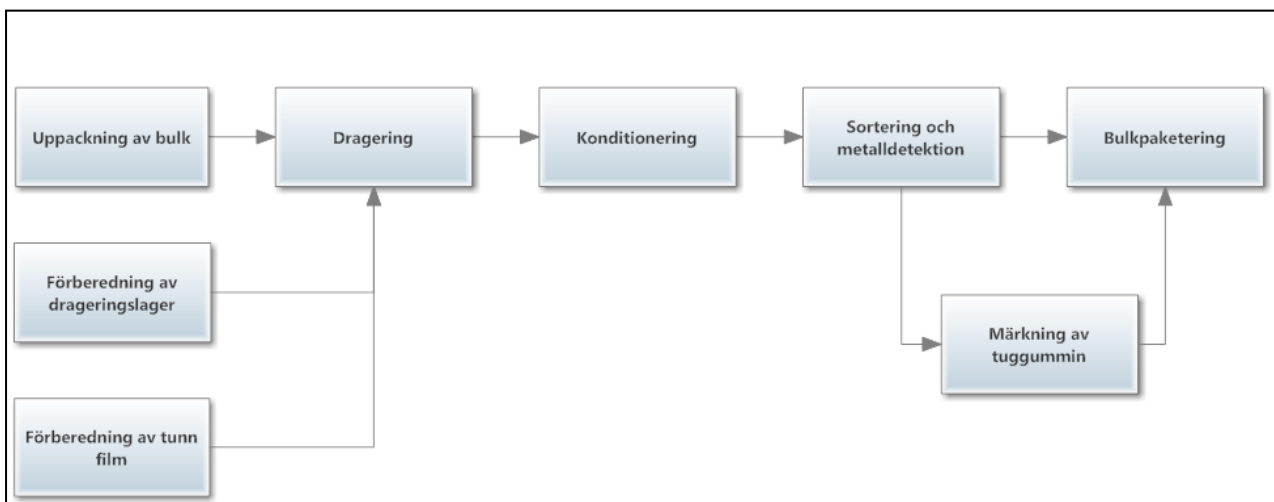
Produktionen av nikotintuggummi är en tryckande process och sker i enlighet med flödesdiagrammet i Figur 3.3.1(s.16). Först blandas en tuggummideg av s.k. tuggummibas, nikotinresinat och smakämnen i en mixer under värme. Mixningsprocessen sker i kvävgasatmosfär och dess processtid varierar beroende på produktmodell. Därefter läggs degen i limpform på plåtar och förs till ett tempereringsrum, med en viss temperatur, där deglimporna får ligga och svalna under ett par timmars tid. När limporna svalnat färdigt varmvalsas limporna i ett valsverk till ett tunt, mönstrat ark. Processtiden i valsen är oberoende av produkttyp. Härefter placeras arken på plåtar och förs till speciella kylrum för att stelna innan de förs vidare till en roterande trumma. Där tumlas de och tuggummina bryts av från arket och sorteras i ett sorteringsverk där de tuggummin som håller oönskade dimensioner eller inte brutits korrekt sorteras bort. De godkända produkterna packas i plastbehållare, även här i kvävgasatmosfär, och transporteras vidare till varulager. Från varulagret

kan gummina antingen skickas till kund som de är, och går då under namnet "Classic", eller skickas vidare till dragering.



Figur 3.3.1 Produktionsprocessen

Drageringsprocessen sker enligt flödesdiagrammet i Figur 3.3.2(s.16) nedan. Tuggummina packas upp och transporteras in i en s.k. drageringspanna. I denna panna finns det sprayarmar som används för att spraya tuggummina med ett drageringslager och i vissa fall en tunn film vilken mestadels består av sockerlag och smakämnen. Efter denna process så konditioneras tuggummina och sorteras återigen i ett sorteringsverk där tuggummin med fel dimensioner sorteras bort. Produkterna sorteras även i två grupper; USA och RotW (Rest of the World). Grupperingen görs eftersom de tuggummin som säljs till USA måste märkas med en stämpel som visar mängden nikotin i dem, det vill säga 2 respektive 4 mg.



Figur 3.3.2 Drageringsprocessen

Efter dragering packas tuggummina och levereras till färdigvarulager. Vilket färdigvarulager de hamnar i beror på vilket land de skall skeppas till. Anledningen till detta är att många länder har olika föreskrifter gällande hantering och import av läkemedel.

### 3.4 Tillverkning 1

Eftersom T1 är den äldre tillverkningslinan så är utrustningen i allmänhet något äldre och upplägget mindre välplanerat än T2. Tillverkning 1 är fördelad mellan två våningsplan, våning fyra och fem. Den

första delen av produktionen fram till och med blandning och uppvägning av råvarorna (bland annat tuggummibas och nikotinresinat) sker på våningsplan fem. Därefter transporteras blandningen ner till våningsplan fyra med hjälp av en hissanordning och fortsätter där enligt produktionskedjan beskriven i kapitel 3.3(s.15).

Arbetslagen i T1 består av nio stycken operatörer vilket är den optimala bemanningen som krävs för att producera så effektivt som möjligt. Det går att hålla igång produktionen med så få som sex operatörer men då kan inte alla delprocesser köras samtidigt. Då tillverkningen ofta har problem med personalbortfall och på grund av de många utbildningarna som enligt GMP krävs för att arbeta i tillverkningen innebär detta att man väldigt ofta måste prioritera i vilken ordning delprocesser skall köras.

### **3.5 Produktionsplanering**

För planering av tillverkningen används ett dragande system med kanbanstyrning, dock utan kanbankort, för att bestämma vad som skall produceras. Produktionsplaneraren får en signal från logistikavdelningen när någon av produkterna i färdigvarulagret närmar sig ett så lågt antal att den behöver fyllas på och anpassar därefter en kortsiktig preliminär produktionsplan. Produktionsplanen täcker två veckors framtida produktion och driftledarna hämtar ordrar ifrån denna produktionsplan allt eftersom tidigare ordrar levereras. Orderna i produktionsplanen är indelade i "kampanjer" som i sin tur är indelade i "batcher". En batch är definierat som storleken på en sats tuggummideg som levereras från mixern och ger i slutändan ca 900 000 tuggummin. En "kampanj" är en serie batcher av samma produkttyp (samma smak och/eller nikotinstyrka) och kan omfatta upp till 25 batcher. Eftersom ett dragande system används vid bestämning av produktionsplan så varierar storleken på kampanjer hela tiden beroende på nivån i färdigvarulagret.

## 4. Metod

I detta kapitel beskrivs de metoder som har använts för att besvara frågeställningarna samt hur dessa har tagits fram.

### 4.1 Litteraturstudie

I denna studie har en deduktiv ansats, vilket beskrivs i kapitel 2.7(s.14), använts. En inledande litteraturstudie genomfördes främst på områdena kvalitetsteknik, produktionslogistik, simuleringsteknik och läkemedelsindustrins förutsättningar och arbetssätt. Vidare har praktiska tillämpningar av simulering samt användning av statistiska modeller inom tillverkningsindustrin studeras.

### 4.2 Förarbete till Simuleringsstudie

För att få en överblick över vilken effekt som olika prioriteringsregler i produktionen kommer att få på effektivitet och utnyttjandegrad, samt påvisa problemområden och flaskhalsar där det kan finnas utrymme för förbättring, så gjordes en datorsimulering av T1.

Arbetsgången vid denna simuleringsstudie bygger i stort på Banks metod, beskriven i kapitel 2.5.6(s.9). Vissa undantag och tillägg till arbetsgången gjordes för att situationsanpassa studien. Som verktyg valdes datorsimuleringsprogrammet Simul8, som beskrivs i kapitel 2.5.9(s.11).

Problemformuleringen, som enligt Banks [11] skall inleda varje simuleringsstudie, är formulerat likadant som det övergripande projektets huvudfrågeställning i:

*Vilket är det optimala körsättet på tillverkningslinjen för att uppnå högst produktionsresultat?*

Frågeställningen (kapitel 1.4(s.2)) är framtagen genom en diskussion med företagets produktionschef samt avdelningen för Process Excellence. Ett intresse fanns hos båda företagets parter att med ett nytt perspektiv och nya metoder studera problematiken med optimering av arbetssätt i produktionen.

#### 4.2.1. Manuell simulering

I och med att tillverkningens delprocesser är förskjutna i tid förhållande till varandra är det svårt att förutse vad som skulle hända om någon faktor ändrades. En manuell simulering genomfördes på Whiteboard-tavla i syfte att preliminärt testa om detta system uppfyller kraven för att vara lämpligt för datorstödd simulering enligt kapitel 2.5.2(s.7), samt för att ge en bättre förståelse för flödet. Syftet var även att lägga grund för hypoteser som senare kunde omarbetas till simuleringsexperiment vid den kommande experimentframtagningen som beskrivs i kapitel 2.5.6(s.9).

#### 4.2.2. Intervjuer med personal

Arbetslagen i produktionen har i sitt dagliga arbete oskrivna regler för hur de skall prioritera delprocesserna i olika situationer. De har även olika idéer om hur man skulle kunna påverka produktionsresultatet genom att variera olika faktorer, som till exempel nivåerna i buffertar (temp- och kylrum), kampanjstorlekar, sammanfallande aktiviteter, med mera. Flera av dessa idéer användes senare i experimentframtagningen.

#### 4.2.3. Framtagning av modellkoncept

Framtagandet och uppbyggnaden av datormodellen grundades på handskisser över T1s layout gjorda vid den manuella simuleringen. De innefattade alla delprocesser och mellanlager inklusive flöden mellan dessa. För att kunna beskriva produkternas flöde genom tillverkningen behövdes vissa data samlas in:

- Ställtider mellan kampanjer (kampanjstättider) för varje maskin
- Processtider för de olika delprocesserna och hur dessa varierar
- Storlekar på kampanjer och med vilken frekvens dessa återkommer
- Hur många operatörer som krävs för att maskinen skall kunna drivas

#### 4.2.4. Datainsamling

För att besvara frågeställningen hur modellen skall återspegla processens variation måste först denna variation kartläggas. Kampanjstorlekarnas variation, d.v.s. variationen av antalet batcher som körs innan ett produktskifte infaller, är en faktor som påverkar produktionsflödet avsevärt. För att simuleringsmodellen skulle variera kampanjstorlekar på ett sätt som motsvarar verkligheten fick en anpassad sannolikhetsfördelning över denna variation skapas i Simul8. Sannolikhetsfördelningen skapades genom att ta reda på hur stor procentandel av kampanjerna i den studerade historiken som var av en viss storlek. Information om detta kunde fås genom att studera den digitala logg i form av ett excelldokument som förs vid arbetsstationerna i T1.

*Exempel:*

*37 procent av kampanjerna innehåll 20 batcher, 28 procent innehåller 15 batcher, et c.*

Med denna information kunde alltså en fördelning i Simul8 skapas som styr hur de virtuella produkterna som matas in i modellen skall bete sig (se kapitel 4.2.5(s.19))

#### 4.2.5. Fastställande av mål med simuleringsstudien

Med problemformuleringen i kapitel 4.2(s.18) som grund sattes följande mål upp:

”Målet med simuleringen är att bygga en modell där man kan mäta och jämföra olika personaltillgänglighet och prioriteringsreglers inverkan på produktionsresultatet och resursutnyttjandegraden.”

### 4.3 Genomförande av datorstödd simulering

#### 4.3.1. Översättning av modellkoncept till datormodell

Simuleringsmodellen av tillverkning 1 är gjord i programmet SIMUL8®, som beskrivs i kapitel 2.5.9(s.11). Modellkonceptet i kapitel 4.2.5(s.19) låg till grund för simuleringsmodellens utseende och funktion. En illustration av denna modell kan ses i figur 4.3.1(s.20) i slutet av detta kapitel.

Modellen av den simulerade tillverkningsprocessen börjar med en *Work Entry Point*(nummer 1 i figur 4.3.1(s.20)) som representerar Vinden vilken levererar ett konstant flöde av batcher in i produktionssystemet. Detta flöde är indelat i batcher som är grupperade i kampanjer vilket innebär att alla produkter som går in i systemet får ett batchnummer och ett kampanjnummer genom en *Visual logic* kod. Hur många batcher som går in i systemet innan en ny kampanj påbörjas regleras av en sannolikhetsfördelning som har framställts från insamlad historik.

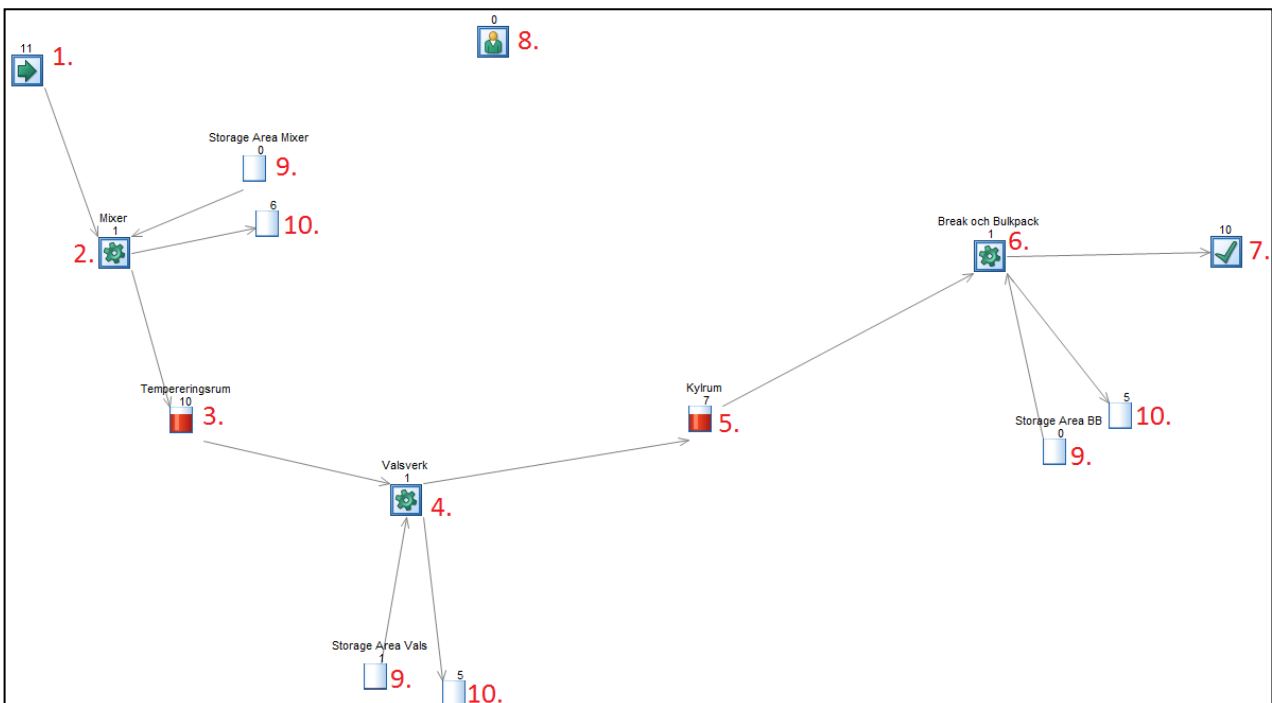


Workcenters representerar de olika maskinerna; mixern (nummer 2), valsen (nummer 4) och break/bulkpack (nummer 6). Tempereringsrummet (nummer 3) och kylrummet (nummer 5) är representerade av *Storage bins*. I dessa *Storage bins* finns det en minimitid som batcherna måste spendera i rummen för att representera de liggtiderna som förekommer i den verkliga tillverkningen. Produktionen flödar från Vinden, som är nummer 1, längs pilarna i nummerordning fram tills dess att den når nummer 7 som är en *Exit Point* varav batcherna lämnar systemet och räknas.

Operatörerna i modellen representeras av en personalpool (nummer 8). Deras arbetstid är satt till fem dagar i veckan, treskift på vardagar utom på fredagar då arbetstiden är fram tills 14:00.

I Simul8 kontrolleras ställtidsvillkoren när en produkt anländer till ett Workcenter men för att efterlikna det verkliga systemet så krävs en kontroll av detta villkor när en produkt lämnar Workcentret istället. På grund av detta så representeras kampanjstäd på ett alternativt sätt istället för med den inbyggda funktionen. Detta alternativa sätt innebär att en Visual logic kod säger att när den sista batchen i en kampanj lämnar ett workcenter så plockar centret genast en annan produkt från en annan källa, kallad städ (nummer 9). Denna produkt har lika lång processtid som ett städ i det givna centret och när den är färdig så går "städprodukten" vidare till en alternativ *Storage bin* (nummer 10) så att den inte stannar kvar i systemet. Därefter så fortsätter produktionen som vanligt fram tills nästa städ då proceduren upprepas.

Uppvärmningstiden för modellen är satt till en vecka och insamlingstiden av data är satt till sju arbetsveckor.



Figur 4.3.1 Slutgiltig modell.

### 4.3.2. Verifiering och validering

För att verifiera och validera modellen så jämfördes produktionsresultatet från en verklig tvåveckorsperiod i T1 med det resultat som simuleringsmodellen producerade under en motsvarande period med samma ingångsvärden. Modellen ställdes således in till samma antal operatörer, buffertnivåer och produktionsplan som under denna tvåveckorsperiod rådde på T1 (se tabell 5.1.1(s.24) i Kapitel 5.1(s.24)).

De två aktuella veckorna hade tillverkningen kört treskift måndag till torsdag samt ett skift på fredagen samt två skift under helgen, det vill säga  $13 \cdot 2 + 2 = 28$  skift.

Följande kampanjer var planerade att köras:

1. Classic 4st
2. 230179 4mg S&S NS US 20st
3. 232919 2mg MINT 3st
4. 230119 2mg S&S NS EU 25st
5. 230109 2mg S&S NS US 15st

Under de två givna veckorna hade de inte haft några långa maskinhaverier eller stora personalbortfall. Simuleringsmodellen programmerades att köra enligt samma förutsättningar och resultatet därav visas i tabell 5.1.1(s.24).

### 4.3.3. Experimentframtagning

Från det förberedande arbetet till simuleringsstudien gjordes antaganden om vilka faktorer som kan påverka produktionsresultatet och vara intressanta att testas i den simulerade tillverkningen.

Dessa faktorer var följande:

- Personalnivå.  
Antal operatörer i produktionen antas påverka resultatet då man vid frånvaro inte kan köra alla delprocesser samtidigt. I dessa experiment testas skillnaden i påverkan mellan 9 och 6 operatörer.
- Prioritering hos olika delprocesser.  
Operatörernas val av vilken delprocess som först skall genomföras, då det finns produkt klar att köra i flera av dem samtidigt, antas påverka resultatet. De tre delprocesser som valet kan stå mellan är Mixern, Valsverket (kallad Valsen) och Breaker/Bulkpack (kallad BB).
- Variationen av kampanjstorlek.  
Resultatet antas påverkas av att kampanjstorleken inte är konstant.

För att testa dessa faktorer inverkan sattes ett antal experiment upp som illustreras i tabell 4.3.1(s.22):

- Experiment 1a-g testar påverkan av att prioritera delprocesserna olika vid full bemanning (9 operatörer).
- Experiment 2a-g testar påverkan av att prioritera delprocesserna olika vid personalbrist (6 operatörer).
- Experiment 3a-c testar påverkan på produktionsresultatet om man låter nivån i Temp- och Kylrummen avgöra vilken process som skall prioriteras vid personalbrist (6 operatörer). I sidotabellen till höger om tabell 4.3.1(s.22) anges när de tillämpas.

Exempel:

I experiment 3 a) gäller olika prioriteringsregler beroende på nivån i kyl- respektive tempereringsrummen. Prioriteringsordningen 1. Mixer, 2. BB, 3. Vals gäller alltså bara då antalet batcher i kylrummet är  $\geq 5$ .

- Experiment 4 testar påverkan då kampanjstorleken inte varierar utan är låst till 25 batcher. Experiment 4 är ett specialfall där de ursprungliga förutsättningarna om kampanjstorlekarnas variation har frångåtts. Det tas med i jämförelsesyfte.

Tabell 4.3.1 Experimentlista

Experiment:	Prioritetsordningstal för respektive process:					
<b>1</b>	Mixer	Vals	BB			
a	1	1	1			
b	1	2	2			
c	2	1	2			
d	2	2	1			
e	1	2	3			
f	1	3	2			
g	2	3	1			
<b>2</b>	Mixer	Vals	BB			
a	1	1	1			
b	1	2	2			
c	2	1	2			
d	2	2	1			
e	1	2	3			
f	1	3	2			
g	2	3	1			
				Nivåer i mellanlagren (batcher):		
<b>3</b>	Mixer	Vals	BB	Kylrum	Temp.rum	
a	1	3	2	$\geq 5$		
***	1	2	3	$< 5$		
	1	2	3		$> 10$	
	1	3	2	$< 3$	$\geq 8$	
b				Kylrum	Temp.rum	
	1	3	2	$\geq 5$		
***	1	2	3	$< 5$		
	1	2	3		$> 8$	
	1	3	2	$< 3$	$\geq 8$	
c				Kylrum	Temp.rum	
	1	3	2	$\geq 5$		
***	1	2	3	$< 5$		
	1	2	3		$> 6$	
	1	3	2	$< 3$	$\geq 8$	
<b>4</b>	1	1	1			

Förklaringar:  
 Grön (1): högst prioritet  
 Gul (2): näst högst prioritet  
 Röd (3): lägst prioritet  
 \*\*\* När denna del av prioriteringsregeln träder i kraft så bibehålls den tills dess att lagernivån i kylrummet når 8 stycken batcher. Därefter antas en ny prioriteringsordning beroende på nivåerna i kyl- och temp.rum.

Alla experiment finns även detaljbeskrivna i Bilaga A(s.30).

#### **4.3.4. Dokumentation och implementering**

Experimenten från föregående avsnitt programmerades in i simuleringsmodellen och exekverades, varefter resultaten dokumenterades i tabellform, se kapitel 5.2(s.24). Resultatet som erhöles efter körda simuleringar utvärderades och tolkades samt kontrollerades med operatörer och chefer i syfte att få en bättre uppfattning om rimligheten i resultaten samt fylla vissa luckor i modellen. En dialog har förts med personalen om hur resultatet bäst skall kunna implementeras i tillverkningen.

## 5. Resultat

I detta kapitel presenteras resultaten från simuleringsstudien samt idéer om hur dessa kan implementeras.

### 5.1 Validering och verifiering

Jämförelsen mellan aktuella produktionsresultat från tillverkning 1 och de resultat som simuleringsmodellen producerade vid samma förutsättningar enligt kapitel 4.3.2(s.21) redovisas i nedanstående tabell.

Tabell 5.1.1 Valideringsresultat för två veckors tillverkning (antal batcher)

	Simulerad	Verklig
Antal i Temp.rum	2	10
Antal i Kylrum	7	0
<b>Produktionsresultat</b>	<b>73</b>	<b>70</b>

I tabellen visas produktionsresultatet från tillverkning 1 under en slumpmässigt vald tidsperiod om två veckor, där man även lagt till två helgskift, alltså totalt 28 skift. I verkligheten producerades 70 stycken batcher, och då scenariot simulerades producerade datormodellen 73 stycken. Både i verkligheten och i simuleringen var tillverkningen fullt bemannad (9 personal)

### 5.2 Simuleringsresultat

Resultaten för experimenten genomförda i den simulerade modellen redovisas i tabell 5.2.1(s.24). Experimenten som testade full bemanning (1.a-g) gav alla samma resultat då alla stationer kan bemannas hela tiden. Resultat av dessa experiment var i genomsnitt 242 batcher på 7 veckor, eller 34,6 batcher per vecka. Detta är det experiment som gav bäst produktionsresultat. Experiment 4, där kampanjstorleken låstes till 25 batcher, gav näst bäst resultat med 32,9 batcher per vecka. Som tredje bästa resultat kommer experiment 3 b, med 31,4 batcher per vecka.

Tabell 5.2.1 Simuleringsresultat

Experiment	Produktionsresultat efter 7 veckor (st)			
	Lägsta värde	Genomsnitt	Högsta värde	Genomsnitt/vecka
<b>1a-g</b>		<b>242</b>		<b>34,6</b>
<b>2</b>				
a	201	205,9	217	29,4
b	206	216,8	223	31,0
c	199	209,4	218	29,9
d	189	201,6	215	28,8
e	205	210	219	30,0
f	198	209,1	218	29,9
g	204	212,3	217	30,3
<b>3</b>				
a	192	209,7	217	30,0
b	212	219,8	229	31,4
c	202	213,4	224	30,5
<b>4</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>230</b>	<b>32,9</b>

## 6. Slutsats och diskussion

### 6.1 Validering av modell

I kapitel 5.1(s.24) redovisas resultaten av valideringen av den simulerade modellen. Datormodellen var något mer produktiv än det verkliga systemet men ändå snarlik nog för att anses validerad. De skillnader som uppstod kan anses bero på att datormodellen inte tar hänsyn till kortare maskinhaverier och stillestånd som har uppstått under den observerade tiden.

Experimentresultatet som motsvarar valideringstestet är resultat från experiment 1a-g, 34,6 batcher per vecka. Detta ligger något under resultatet i valideringssimuleringen efter som denna har med två helgskift, vilket inte förekommer i experimenten.

### 6.2 Val av prioriteringsregel

Enligt kapitel 1.3(s.2) finns det vissa parametrar som förmodligen inverkar på produktionsresultatet (antal producerade batcher per vecka) som inte tas hänsyn till i simuleringsmodellen. Därför skall inte för stor vikt läggas vid de exakta värdena i simuleringsresultaten. Däremot kan skillnaden mellan dem visa på vilken av reglerna som sticker ut och ger bättre resultat vid samma förutsättningar.

Simuleringen av de framtagna experimenten visade att de olika prioriteringsreglerna påverkade produktionsresultatet. De tre experiment som gav bäst resultat var:

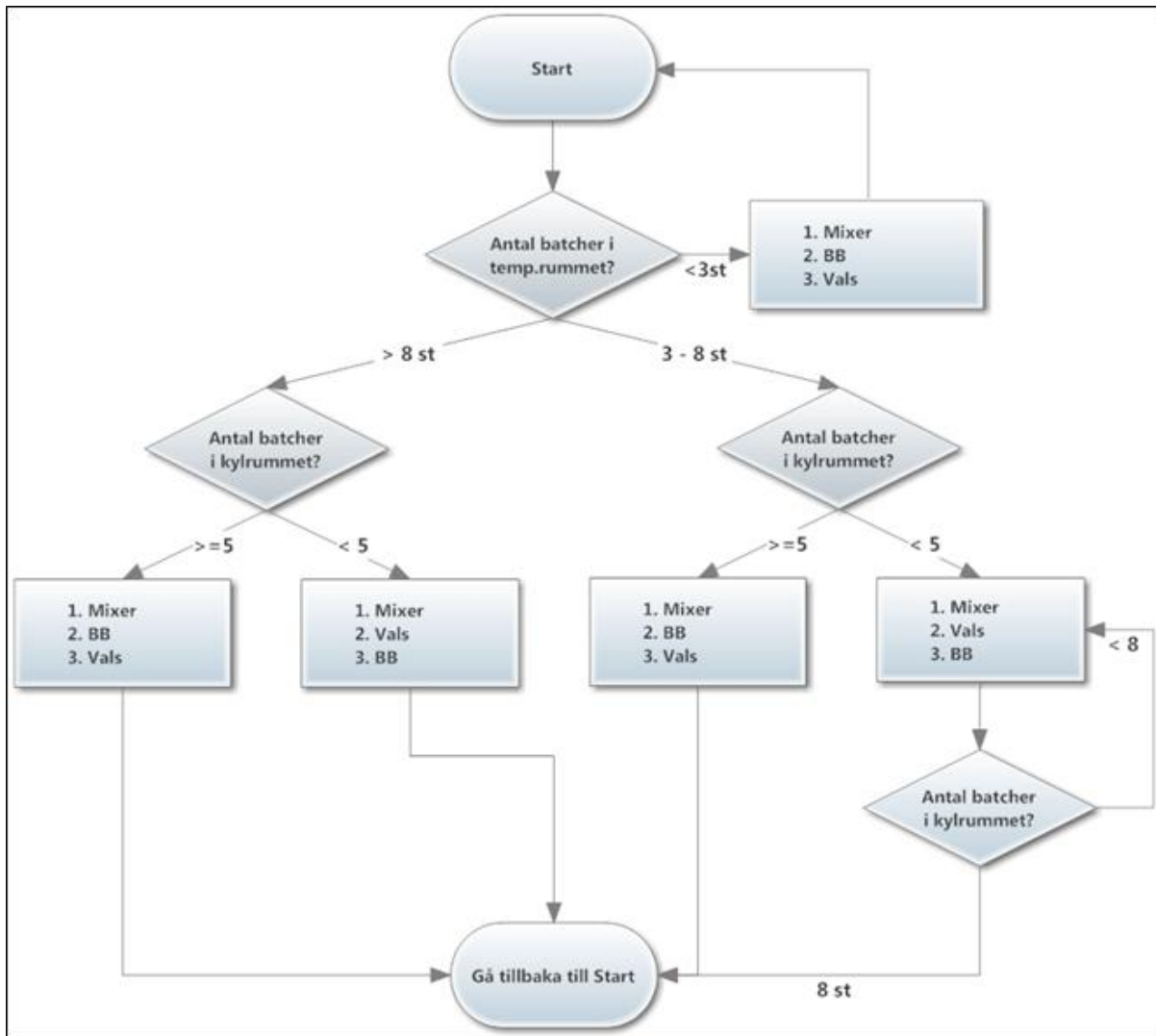
1. Experimenten **1 a-g** (34,6 batcher per vecka)
2. Experiment **4** (32,9 batcher per vecka)
3. Experiment **3 b** (31,4 batcher per vecka)

Då det ingår i förutsättningarna för tillverkningen att det ibland förekommer personalbrist är resultatet av experimenten 1 a-g av mindre betydelse för valet av prioriteringsregel. Undersökningen visar att ifall det aldrig skulle förekomma personalbrist skulle en prioriteringsregel inte ha någon betydelse för resultatet. Anledningen till detta antas vara att regeln aldrig skulle tillämpas. Om alla stationer alltid kan köras behöver ingen prioritering göras. Experimentet visar dock i vilken grad personalbristen i tillverkningen påverkar produktionsresultatet negativt överlag och vilket resultat som är teoretiskt möjligt om problemet kunde åtgärdas.

Produktionsplanen för vilka kampanjer som skall produceras i tillverkningen styrs av en kanban-signal från färdigvarulagret vilket ger den stora variation i kampanjstorlekar som förekommer i tillverkningen. Innan detta projekts början har operatörer föreslagit att låsa kampanjstorlekarna och därmed minska denna variation som tros påverka produktionsresultatet negativt. Experiment 4 visar hur mycket resultatet skulle kunna förbättras om kampanjstorleken låstes, enligt simuleringsmodellen i denna studie.

Eftersom syftet med projektet var att testa vilken prioriteringsregel som ger bäst resultat efter nuvarande förutsättningar, kan varken resultaten från experiment 1a-g eller experiment 4 ses som relevanta för att nå syftet.

Prioriteringsregel **3 b** blir följaktligen den regel som genererar flest producerade batcher per vecka vid gällande förutsättningar. Regeln illustreras mer detaljerat i figur 6.2.1(s.26). Regeln finns även beskriven i detalj i bilaga A(s.30).



Figur 6.2.1 Prioriteringsregel **3 b)**

Prioriteringsregel 3 b) följs schematiskt enligt figuren ovan. Först kontrolleras antalet batcher i tempereringsrummet. Hur många batcher som finns i detta rum avgör hur man fortsätter. Om där finns färre än tre batcher så prioriterar man Mixern högst, Break och Bulkpacken näst högst och Valsverket lägst. Ifall det finns tre eller fler batcher i tempereringsrummet så avgör istället antalet batcher i kylrummet vilken prioriteringsordning som gäller. Kontroll med flödesschema sker kontinuerligt vid val av operation.

### 6.3 Tillämpning

Diskussionen med operatörer och chefer om hur man på bästa sätt kan implementera kunskaperna från undersökningen ledde fram till följande förslag:

Prioriteringsregeln anslås på väl synliga ställen i produktionen, lämpligen som ett beslutschema som i figur 6.2.1(s.26) med förklarande text. För att schemat skall kunna följas effektivt utan förvirring och

tidsförlust är det viktigt att operatörerna vid i stort sätt varje tillfälle vet hur många batcher som finns i temp- respektive kylrummet då denna information används som beslutsunderlag. Detta skulle underlättas om informationen uppdaterades i realtid och var väl synlig, till exempel på en digital informationstavla ovanför ingångarna till de båda rummen. Vidare undersökning av vilken automatiseringsteknik som bäst skulle kunna göra denna typ av uppföljning rekommenderas. Möjligtvis kan man tänka sig att någon typ av givare eller streckkodsläsare registrerar varje gång en ny batch ställs in eller tas ut ur något av rummen. Den digitala information om antalet batcher som befinner sig i de olika rummen skulle även kunna omarbetas och användas till fler saker, till exempel att föra statistik över hur antalet produkter i arbete (PIA) varierar och visa T1s produktionstakt.

*Exempel:*

*Vi har nu, torsdag eftermiddag, producerat 20/36 batcher och med denna takt kommer vi att hinna med 33 stycken innan veckans slut. Resultatet visas på informationstavlorna eller annat synligt ställe.*

Denna information ger besked om produktionen går på förväntad takt och kan därmed ge underlag till beslut om man behöver ta in extra personal, införa helgskift, etc.

#### **6.4 Förslag till fortsatt arbete**

I studien har påverkan på produktionsresultatet orsakad av driftstopp (maskinhaverier och dylikt) inte studerats, detta främst på grund av avsaknad av separerbar trovärdig data om dessa. Om fabriken i framtiden hittar ett nytt sätt att dokumentera och föra statistik över dessa, skulle denna information enkelt kunna användas för att göra en mer detaljerad simulering. Ett nytt mer exakt mätsystem för driftstopp, process- och städtider skulle även vara tjänligt för att utvärdera resultaten av en eventuell implementering av den föreslagna prioriteringsregeln.

Syftet med studien var att vetenskapligt ta reda på vilket som är det bästa körsättet för Tillverkning 1. Förhoppningsvis har den också visat på möjligheterna med simulering som verktyg och planerat idén att genomföra fler mer omfattande simuleringsstudier eftersom de ger en uppfattning om vad för produktionsresultat som kan förväntas vid rådande förutsättningar och hur detta påverkas när förutsättningarna ändras. Det ger en bättre möjlighet att basera beslut på fakta vilket är en grundsten inom Sex Sigma-filosofin.



## 7. Referenser

1. Liker, Jeffrey. The Toyota Way - Lean för världsklass. Malmö : Liber, 2009.
2. Toyota Motor Corporation. The Toyota Way. Toyota - The Toyota Way. [Online] [Cited: 06 12, 2012.] Tillgänglig på internet: [http://www.toyota.se/upptack/the\\_toyota\\_way.tmex](http://www.toyota.se/upptack/the_toyota_way.tmex).
3. Mastalon, Rafi (2005). Operation Excellence - Peeling the Onion. Pharma Bulletin - Newsletter of the ISPE New Jersey Chapter, Vol. 12 No. 5.(tidskriftsartikel) Tillgänglig på internet:[http://www.cresultsconsulting.com/pdfs/ISPE\\_Nov\\_Dec\\_05.pdf](http://www.cresultsconsulting.com/pdfs/ISPE_Nov_Dec_05.pdf) Hämtad 2012-08-15
4. GE-IP General Electric Intelligent Platforms. Achieving Operational Excellence in Pharmaceutical Manufacturing (GFT-712A). Tillgänglig på internet: <http://www.ge-ip.com/library/detail/10526> Hämtad 2012-06-03 (Rapport)
5. Villa, Adam Daniel. Lean transformation methodology and implementation in biopharmaceutical operations. Massachusetts Institute of Technology, 2008. Sida 26. Tillgänglig på internet: <http://hdl.handle.net/1721.1/44322>Hämtad 2012-06-03 (Avhandling)
6. Bergman B, Klefsjö B. Kvalitet från behov till användning. 4. [rev.] uppl. Lund: Studentlitteratur; 2007.
7. Mattsson S, Jonsson P. Produktionslogistik. Lund: Studentlitteratur; 2003.
8. Nationalencyklopedin, Statistiska fördelningar. <http://www.ne.se/statistiska-fordelningar>, hämtad 2012-10-14.
9. Chung, Christopher A. (Red.). 2003. *Simulation Modeling Handbook - A Practical Approach*. CRC Press LLC. Tryckt ISBN: 978-0-8493-1241-0. eBook ISBN: 978-0-203-49646-6. Tillgänglig på internet: <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9780203496466.ch0> Hämtad 2012-06-03
10. Hlupic, Vlatka. 2000. *Simulation software: an Operational Research Society survey of academic and industrial users*. In Proceedings of the 32nd conference on Winter simulation (WSC '00). Society for Computer Simulation International, San Diego, CA, USA, 1676-1683. Tillgänglig på internet: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=510624> Hämtad 2012-06-03
11. Banks, Jerry. *Discrete-event system simulation*. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall; 2005.
12. Irani, Zahir; Hlupic, Vlatka; Baldwin, Lynne P.; Love, Peter E.D. (2000).*Re-engineering manufacturing processes through simulation modeling*. Logistics Information Management, Vol. 13 Utgåva: 1 sid. 7 – 13 (tidskriftsartikel)

13. Altıparmak, F; Dengiz, B.; Bulgak, A.A. (2002) *Optimization of buffer sizes in assembly systems using intelligent techniques..* Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2002, vol.2, sid. 1157- 1162  
Tillgänglig på Internet:  
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1166373&isnumber=26292>  
Hämtad 2012-06-09
14. Law, Averill M.; McComas, Michael G. 1998. *Simulation of manufacturing systems.* In Proceedings of the 30th conference on Winter simulation (WSC '98) sid. 49-52. Tillgänglig på Tillgänglig på internet: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=293172.293186>  
Hämtad 2012-06-09
15. Tamrat W. Tewoldeberhan, Alexander Verbraeck, Edwin Valentin, and Gilles Bardonnnet. 2002. *Software evaluation and selection: an evaluation and selection methodology for discrete-event simulation software.* In Proceedings of the 34th conference on Winter simulation: exploring new frontiers (WSC '02). Winter Simulation Conference sid. 67-75.  
Tillgänglig på internet: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1030453.1030465>  
Hämtad 2012-06-09
16. Yan S., Shieh C.-Y., Chen M.  
*A simulation framework for evaluating airport gate assignments*  
(2002) Transportation Research Part A: Policy and Practice, 36 (10) , pp. 885-898.  
(tidsskriftsartikel)  
Tillgänglig på internet: [http://dx.doi.org/10.1016/S0965-8564\(01\)00045-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0965-8564(01)00045-3)  
Hämtad 2012-08-15
17. Evans, G.N., Naim, M.M., Towill D.R. *Application of a simulation methodology to the redesign of a logistical control system* (1998) International Journal of Production Economics, Volumes 56–57, pp. 157-168. (tidsskriftsartikel)  
Tillgänglig på internet: [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273\(96\)00111-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273(96)00111-9)  
Hämtad 2012-08-15
18. Imai, Masaaki. *Kaizen: the key to Japan's competitive success.* 1. ed. New York: McGraw-Hill; 1986.
19. MHRA. *Rules and Guidance for Pharmaceutical Manufacturers and Distributors.* Hampshire: Macmillan Distribution Ltd; 2007.
20. Simul8 Cooperation. *Manual and Simulation Guide* (2003). Simul8 Cooperation. ISBN 0-97081-100-4
21. Patel R, Davidson B. *Forskningsmetodikens grunder: att planera, genomföra och rapportera en undersökning.* 2. uppl. Lund: Studentlitteratur; 1994.

## 8. Bilagor

### 8.1 Bilaga A – Lista över genomförda experiment

1. Full bemanning (nio stycken operatörer):
  - a. Samma prioritet på alla processer, d.v.s. mixer, vals och BB.
  - b. Högst prioritet på mixer, samma prioritet på vals och BB.
  - c. Högst prioritet på vals, samma prioritet på mixer och BB.
  - d. Högst prioritet på BB, samma prioritet på mixer och vals.
  - e. Högst prioritet på mixer, näst högst på vals och lägst på BB.
  - f. Högst prioritet på mixer, näst högst på BB och lägst på vals.
  - g. Högst prioritet på BB, näst högst på mixer och lägst på vals.
  
2. Personalbortfall (sex stycken operatörer):
  - a. Samma prioritet på alla processer, d.v.s. mixer, vals och BB.
  - b. Högst prioritet på mixer, samma prioritet på vals och BB.
  - c. Högst prioritet på vals, samma prioritet på mixer och BB.
  - d. Högst prioritet på BB, samma prioritet på mixer och vals.
  - e. Högst prioritet på mixer, näst högst på vals och lägst på BB.
  - f. Högst prioritet på mixer, näst högst på BB och lägst på vals.
  - g. Högst prioritet på BB, näst högst på mixer och lägst på vals.
  
3.
  - a. Alltid högst prioritet på mixer.
    - När det finns 5 eller fler batcher i kylrummet:  
BB näst högst prioritet, vals lägst.
    - När det finns färre än 5 batcher i kylrummet:  
Vals näst högst prioritet, BB lägst. Gäller fram tills dess att nivån i kylrummet har ökat till 8 stycken batcher.
    - När det finns fler än 10 stycken batcher i tempereringsrummet:  
Vals näst högst prioritet, BB lägst.
    - När det finns färre än 3 batcher i tempereringsrummet och/eller 8 eller fler i kylrummet:  
BB näst högst prioritet, vals lägst.
  - b. Alltid högst prioritet på mixer.
    - När det finns 5 eller fler batcher i kylrummet:  
BB näst högst prioritet, vals lägst.
    - När det finns färre än 5 batcher i kylrummet:  
Vals näst högst prioritet, BB lägst. Gäller fram tills dess att nivån i kylrummet har ökat till 8 stycken batcher.
    - När det finns fler än 8 stycken batcher i tempereringsrummet:  
Vals näst högst prioritet, BB lägst.
    - När det finns färre än 3 batcher i tempereringsrummet och/eller 8 eller fler i kylrummet:  
BB näst högst prioritet, vals lägst.
  - c. Alltid högst prioritet på mixer.
    - När det finns 5 eller fler batcher i kylrummet:

BB näst högst prioritet, vals lägst.

- När det finns färre än 5 batcher i kylrummet:

Vals näst högst prioritet, BB lägst. Gäller fram tills dess att nivån i kylrummet har ökat till 8 stycken batcher.

- När det finns fler än 6 stycken batcher i tempereringsrummet:

Vals näst högst prioritet, BB lägst.

- När det finns färre än 3 batcher i tempereringsrummet och/eller 8 eller fler i kylrummet:

BB näst högst prioritet, vals lägst.

4. Kampanjstorlek satt till fast antal (25 stycken) och samma prioritet på alla processer med 6 operatörer.