



**CHALMERS**

# **Simulering av materialflöde och lagerstorlek i läkemedelsindustrin**

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Max Månsson & Isac Åstrand

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP**

---

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2022  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

# Simulering av materialflöde och lagerstorlek i läkemedelsindustrin

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Max Månsson  
Isac Åstrand

© Max Månsson. Isac Åstrand, 2022.

Department of Industrial and Materials Science  
Chalmers tekniska högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Sweden  
Telephone + 46 (0)31-772 1000

Institutionen för Industri- och materialvetenskap  
Göteborg, Sverige 2022

# Förord

Vi vill rikta ett tack till vår handledare från Chalmers Dan Li, vår handledare från AFRY Kristian Blom samt vår handledare från APL Sandra Salvesen. Dessa 3 har givit oss stort stöd under arbetets gång och det hade inte varit möjligt att slutföra det utan denna hjälp. Vi vill även rikta ett stort tack personalen på APL som har varit hjälpsamma och ställt upp och svarat på våra frågor.

# Sammanfattning

I dagens industri försöker fler och fler företag minska och optimera sina lagerytor. Denna rapport studerade lageroptimering inom läkemedelsindustrin, en industri som ställer enormt höga krav på tillgänglighet av material. Utan rätt material vid rätt tid kan människor som är i akut behov av medicin få vänta, något som kan vara livshotande.

Syftet med studien var att öka förståelse för hur olika faktorer påverkar materialhanteringsytbehov och effektivitet samt öka kunskapen om hur simulering kan användas i industrin. Detta uppnås genom att simulera materialflöden i en lagermiljö i läkemedelsindustrin och analysera hur produktionen påverkas i olika scenarion. För att få en bättre insyn i läkemedelsindustrin har arbetet grundats i en fallstudie på Apoteket Produktion och Laboratorier AB, ett statligt ägt läkemedelsföretag.

Resultat visade att de faktorer som är viktigast att ta hänsyn till är frekvensen och storleken på leveranser samt storleken på själva lagret. Att minska tiden det tar för materialhanteringen i de olika processerna visade sig inte vara lika avgörande. Dessutom belyser denna rapport vikten av datahantering när simulering skall genomföras och diskuterar hur de nämnda faktorerna kan optimeras i praktiken.

Nyckelord: Simulering, Läkemedelsindustri, Materialhantering, Lageroptimering.

# Abstract

In the industry of today there is a growing number of companies trying to optimize the use of warehouse space. This thesis studied warehouse optimization in the pharmaceutical industry, an industry which places very high demands on material availability. Without the correct material at the right time people in need might have to wait, which could be life threatening.

The purpose with the study was to increase understanding regarding how different factors affect the efficiency and space needed for the material handling as well as increasing knowledge about how simulation could be used in the industry. This is achieved by simulating material flow in a warehouse environment in the pharmaceutical industry and analyzing how the production is affected in different scenarios. To gain better insight in the pharmaceutical industry, this study was performed as a case study at Apoteket Produktion och Laboratorier AB, a stateowned pharmaceutical company.

The results show that the most important factors are the frequency and size of deliveries as well as the capacity of the warehouse. Reducing the time needed to perform different processes in the material handling was proved to not have a great effect. Furthermore, this study highlights the importance of data and good handling of data when it comes to simulation and discusses how the factors above could be optimized in practice.

Keywords: Simulation, Pharmaceutical Industry, Material handling, Warehouse optimisation.

# Terminologi

**BOM:** Bill of Materials, ingående material till en produktionsorder. APL använder även orden Receipt, Strukturlista och Satsprotokoll synonymt.

**Insatsmaterial:** De material som ingår i BOM:en.

**Material:** Material som används i produktionen. Innefattar insatsmaterial samt förbrukningsmaterial såsom plasthandskar, pappersdukar, utensilier etcetera.

**Produktionsorder:** En order på en tillverkning. Innehåller en BOM.

**Kitting/Dukning:** Produktionsorderna plockas ihop en och en enligt respektive BOM.

**AX:** Microsoft Dynamics AX, ett affärssystem som används av företaget som studeras.

**APL:** Apoteket Produktion och Laboratorier AB. Företaget vars materialhantering studeras i arbetet.

**Variation:** Ett mått på avvikelse i en serie tal. Beräknas med standardavvikelsen dividerat med medelvärdet.

**Sammanlagt lager:** Ett lager i affärssystemet som förser två produktionsenheter, i detta fall steril och icke steril produktion.

**Uppdelat lager:** Två lager i affärssystemet som förser varsin produktionsenhet, i detta fall steril och icke steril produktion.

**Extemporeläkemedel:** Läkemedel som tillverkas av apotek, när det finns behov av läkemedel som inte finns på marknaden eller en patient har särskilda behov.

**Steril produktion:** En produktionsenhet som har väldigt höga krav på sterila ytor och miljö. Här får råvaror som har blivit brutna inte föras ut och komma tillbaka. Främst intravenösa läkemedel tillverkas här.

**Icke steril produktion:** En produktionsenhet som inte har lika stränga krav som steril produktion, dock gäller även här många föreskrifter som försäkrar kvalitén i slutprodukten.

**Täcktid:** Tiden ett lager täcker det aktuella behovet.

# Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte .....	2
1.3 Precisering av frågeställningen .....	2
1.4 Fallbeskrivning.....	2
1.5 Avgränsningar .....	3
2. Teoretisk referensram .....	4
2.1 Simulering .....	4
2.1.1 Mjukvara.....	4
2.2 Datakvalité .....	6
2.3 Lean production.....	7
2.3.1 Just in Time .....	7
3. Metod .....	7
3.1 Banks simuleringsmetod .....	7
3.1.1. Problemformulering.....	9
3.1.2. Projektplan och målsättning .....	9
3.1.3. Konceptuell modell.....	9
3.1.4. Datainsamling .....	10
3.1.5. Modellkonstruktion .....	10
3.1.6. Verifiering .....	11
3.1.7. Validering .....	11
3.1.8. Design av experiment .....	13
3.1.9. Testkörning och analys.....	14
3.1.10. Fler experiment? .....	15
3.1.11. Dokumentera och presentera resultat .....	15

4. Resultat .....	16
4.1 Inledande undersökning .....	16
4.1.1 Nulägesanalys .....	16
4.2 Konceptuell modell .....	18
4.2.1 Första iterationen, modell V1 .....	18
4.2.2 Andra iterationen, modell V2 .....	19
4.2.3 Tredje iterationen, modell V3.....	22
4.3 Datainsamling.....	22
4.4 Modellkonstruktion .....	26
4.5 Verifiering .....	26
4.6 Validering.....	26
4.6.1 Validering av tider .....	27
4.7 Design av experiment.....	27
4.8 Testkörning och analys.....	33
4.9 Fler experiment?.....	35
4.10 Dokumentering och presentation av resultat .....	35
5. Diskussion.....	36
5.1 Implikationer .....	37
5.1.1 Förutsättningar för lågkapacitetslager .....	38
5.2 Datakvalitet .....	39
5.3 Utvärdering av metod.....	39
6. Slutsatser .....	40
7. Källor .....	41



# 1. Introduktion

Läkemedel är en väsentlighet för att samhället ska fungera och att människor ska hålla sig friska, men vad gör man om det inte finns ett läkemedel som passar patientens behov? Kanske finns det inte läkemedel med rätt styrka eller så är patienten allergisk mot en ingrediens i läkemedlet. Då kan man använda sig av ett extemporeläkemedel, ett läkemedel som tillverkas på apotek och som möter patientens särskilda behov.

I industrin idag handlar mycket om att optimera verksamheten och en av metoderna för att nå detta är att försöka minska ytbehovet och öka effektiviteten i lager. I denna studie kommer denna optimering av lager studeras i läkemedelsindustrin, mer bestämt extemporeläkemedel, för att studera hur ett optimerat lager kan implementeras i en industri som ställer höga krav på tillgänglighet av material.

## 1.1 Bakgrund

Tillverkning av läkemedel är en process som ställer stora krav på hanteringen av material och på produktionsytorna [1]. Kravet på sterila råvaror medför att material som har slussats in till en steril produktion inte får återvända ut till råvarulagret vilket bidrar till att materialflödet behövs ta stor hänsyn till. Utgångsdatum, batcher och kvalitetskontroller leder till att lagernivåerna blir svårare att planera då en viss batch av råvaror kanske behöver kasseras [1]. Utöver detta kräver just extemporeläkemedel [2] stor säkerhetsmarginal på lagret, eftersom det ofta är bråttom att ta fram läkemedlet till patienten. Från att ordern tas emot är det ofta 48 timmar till att patienten senast ska ha mottagit läkemedlet. Eftersom det ofta tillverkas små volymer med hög variation kan material ibland också köpas in i för stor mängd, vilket gör att den upptar lagerutrymme som annars behövs till andra artiklar. Detta på grund av att APL är en relativt liten aktör och kan därför inte alltid välja storlek på förpackningar helt fritt av sina leverantörer.

Det är tydligt att råvarulagret hos en extemporeläkemedelstillverkare utgör en enormt viktig funktion för att människor ska få sina läkemedel i tid, vilket gör det intressant att studera för att öka kunskapen om området.

## 1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att öka förståelsen för hur olika faktorer påverkar materialhanteringsytbehov och effektivitet samt öka kunskapen om hur simulering kan användas i industrin.

Detta uppnås genom att simulera flödet av insatsmateriel i en lagermiljö i läkemedelsindustrin och analysera hur produktionen påverkas i olika scenarion.

## 1.3 Precisering av frågeställningen

- Vilka aspekter inom materialhantering i läkemedelsindustrin har stor påverkan på produktionen?
- Hur kan simulering användas för att undersöka dessa aspekter?

## 1.4 Fallbeskrivning

För att nå syftet krävs det möjlighet att studera ett läkemedelsföretag som är verksamma inom extemporeläkemedel, både steril och icke steril produktion.

Apotek Produktion & Laboratorier (APL) är ett statligt ägt läkemedelsföretag som tillverkar extemporeläkemedel på order från apotek. Extemporeläkemedel delas in i tre kategorier enligt följande:

- Individuella extemporeläkemedel, som tillverkas på beställning.
- Lagerberedningar, ett extemporeläkemedel som tillverkas i större kvantiteter och kan lagerhållas.
- Rikslicens, en licens för en lagerberedning som tillhandahålls i över 1 000 förpackningar per år.

Utöver samhällsuppgiften att producera extemporeläkemedel så tillverkar APL även kliniskt provningsmaterial som används vid bland annat kvalitetskontroll. Ur ett produktions och logistik-perspektiv leder den höga variationen och låga volymen till flera utmaningar och möjligheter att ständigt förbättra verksamheten vilket gör företaget lämpligt för studien.

APL:s verksamhet i Göteborg är idag uppdelade på två fysiska platser, Backa och St. Jörgens Park. I Backa finns den sterila produktionen som främst behandlar intravenösa extemporeläkemedel. I St. Jörgen, en mycket nyare fastighet, finns den icke sterila verksamheten som även där innefattar individuell extempore men inte i intravenös form utan mer typiskt i tabletter och kapslar. I St. Jörgens lokaler är även tanken att verksamheten i Backa ska flyttas till. Denna flytt har lett till att APL har startat ett projekt som ska studera verksamheten vilket gör att denna studie kan dra nytta av de undersökningar som APL själva genomför. Dessutom kan de fynd som görs i detta arbete komma att bistå APL i deras samhällsuppdrag.

Studien kommer att fokusera på materialhanteringen hos APL, från att leveranser tas emot, lagras in på rätt lagerplats, plockas till ordrar och slutligen slussas in till produktionsytorna för steril och icke steril tillverkning.

## **1.5 Avgränsningar**

Projektet syftar ej till att flytta på produktionsstationerna eller ändra den huvudsakliga layouten, men förvaringsutrymmen kan ändras om det leder till en ökad produktivitet. Projektet kommer inte syfta till att optimera hur inköp, orderhantering och produktionsplanering sköts, utan kommer bara ta hänsyn till hur det sköts för att ge basdata. Arbetet kommer studera materialflödet fram till och med inlussningen till tillverkningsytorna, men inte längre än så. Det vill säga att materialflödet inuti produktionen och utleveranser av varor ej kommer att studeras. Denna studie fokuserar inte lika mycket på att implementera förbättringar utan mer på att ge ökad kunskap om systemet för att ge underlag till framtida beslut.

## 2. Teoretisk referensram

### 2.1 Simulering

Simulering är ett kraftfullt verktyg som kan användas inom flera olika områden, det är ett vanligt verktyg inom industrin där målet är att bygga upp en modell av verkligheten som används för att utforska hur ändringar påverkar systemet utan att behöva pröva dessa i verkligheten [3], [4]. Det är ett sätt för företag och organisationer att testa olika scenarion utan att behöva låsa fast resurser och kapital innan en hypotes är bekräftad [3], [4]. Verktyg för simulering har ofta möjligheten att testa flera parametrar samtidigt, vilket ofta inte är effektivt i en verklig miljö. Simulering kan också användas för att förutse hur ett system påverkas av oförutsedda händelser så som driftstopp på kritiska maskiner eller infrastruktur [3], [4]. Simulering är även ett kraftfullt verktyg när det kommer till utbildning av personal vilket minskar risk för påverkan på det faktiska systemet av misstag från nya operatörer [3], [4].

Inom simulering existerar två huvudsakliga kategorier, Diskret-Event simulering (DES) och kontinuerlig simulering [5]. DES är uppdelat i distinkta tidpunkter där variabler antar värden för varje olik punkt [5]. Ändringar i simuleringen sker endast när en händelse sker och simuleringen byter stadie vid varje händelse. Varje olik tidpunkt i simuleringen är kopplat till en händelse. I en kontinuerlig simuleringsmodell sker ändringar i modellen steglöst och är alltså inte kopplade till en specifik händelse i simulationen [5].

DES är utbrett inom tillverkningssektorn idag och många stora företag använder sig av DES för materialflödesanalys, produktionsplanering och simulering av nya produktionslinjer. Det är ett användbart verktyg när slutresultatet är osäkert eller okänt då det bygger på statistiska sannolikhetsmodeller för att ta fram ett resultat. [6]

#### 2.1.1 Mjukvara

På grund av komplexiteten på kalkyleringar i simuleringsmodellerna som används vid Diskret-Event Simulering är det nödvändigt att använda datorer för att effektivt kunna utföra de beräkningar som krävs. Det finns ett flertal typer av program som behandlar olika typer av simulering, i detta fall kommer mjukvara för flödessimulering behandlas då det har störst relevans.

Det finns ett stort antal olika mjukvaror ämnade för simulering av produktionssystem, dessa skiljer sig i tillvägagångssätt och användargränssnitt men har alla gemensamt att ett system byggs för att representera ett verkligt eller ett planerat system i så stor utsträckning det är möjligt. Exempel på dessa mjukvaror är Visual Components, Technomatix Plant Simulation från Siemens och Automod från Applied Materials. Technomatix Plant Simulation och Automod har större komplexitet medan Visual Components som namnet antyder är en mer visuell programvara som fokuserar mer på att bygga en visuell representation av ett produktionssystem.[7],[8],[9].

Technomatix Plant Simulation har stöd för relativt komplexa modeller där specialfall ofta kan modelleras genom en liten mängd programmering jämfört med tyngre program så som Automod. Enklare scenarion kan modelleras i ett visuellt gränssnitt vilket gör att enkla modeller eller delprocesser kan modelleras snabbt och effektivt. Det visuella gränssnittet är även en fördel när återkoppling från personer utan kompetens inom DES är viktigt då det är enkelt att visa flödet och omarbete detta efter konsultation med klienter för att nå en modell som är representativ för systemet som undersöks.

En av fördelarna med Plant Simulation är ett verktyg som kallas Experiment Manager. I verktyget väljs parametrar som är intressanta att studera och designeras som antingen input eller output. Parametrarna som designeras som input kan sedan ändras inom ett givet intervall samtidigt som programvaran kör simulationen ett givet antal gånger, detta är ett mycket effektivt sätt att hitta en optimal nivå för t.ex. antalet personer som krävs för en produktionslinje innan kostnaden för en nyanställning överstiger den ökade produktionen. [10]

Experiment manager tillåter även att simulationen körs ett stort antal gånger utan att ändra parametrar och presenterar sedan statistik på de parametrar som valdes som output, denna statistik kan presentera högsta och lägsta värden för en körning samt standardavvikelse. Genom att köra simulationen flera gånger erhålls en högre konfidensgrad vilket tillförlitligheten för modellen.

## 2.2 Datakvalité

Datakvalité är en viktig parameter att ta hänsyn till vid undersökningar och det kan delas in i begreppet kvalité i flera dimensioner som listas här nedan [11].

För att garantera att data är användbart bör alla dessa dimensioner, se tabell 1, *Data quality dimensions*, vara väl uppfyllda, något som i praktiken kräver väldigt mycket av ett företag då både sociala, systematiska och individuella parametrar påverkar [11]. Vidare är det ett komplext ämne att försöka bedöma kvalitén och det finns inte en färdig metod eller princip som passar alla företag [11]. I stället bör bedömningen av data ske både objektivt och subjektivt, något som ibland kan vara svårt. Till exempel tillförlitlighet, *Believability*, sker den objektiva bedömningen genom att värdera olika faktorer från 0 till 1 där den faktorn med lägst värdering avgör värderingen för hela dimensionen [11]. Värderingen bland annat genom att intervjua anställda, vilket då betyder att den objektiva bedömningen inte kan bli helt objektiv då den innehåller subjektiva åsikter från de intervjuade.

Tabell 1, *Data quality dimensions*. [11]

<b>Dimensions</b>	<b>Definition</b>
Accessibility	The extent to which data is available, or easily and quickly retrievable
Appropriate amount of Data	The extent to which the volume of appropriate for the task at hand
Believability	The extent to which data is regarded as true and credible
Completeness	The extent to which data is not missing and is of sufficient breadth and depth for the task at hand
Concise Representation	The extent to which data is compactly represented
Consistent Representation	The extent to which data is presented in the same format
Ease of Manipulation	The extent to which data is easy to manipulate and apply to different tasks
Free-of-Error	The extent to which data is correct and reliable
Interpretability	The extent to which data is in appropriate language, symbols, and units, and the definitions are clear
Objectivity	The extent to which data is unbiased, unprejudiced, and impartial
Relevancy	The extent to which data is applicable and helpful for the task at hand
Reputation	The extent to which data is highly regarded in terms of its source or content
Security	The extent to which access to data is restricted appropriately to maintain its security
Timeliness	The extent to which data is sufficiently up-to-date for the task at hand
Understandability	The extent to which data is easily comprehended
Value-Added	The extent to which data is beneficial and provides advantages from its use

## 2.3 Lean production

Lean production är ett samlingsbegrepp för filosofier utvecklade för att effektivisera företag, främst inom produktionssektorn genom att minska ledtiden från en kundorder till levererad produkt. Filosofierna ämnar minska slöseri av resurser samt strävan efter ett företag där resurser går till rätt plats samt en hög moral bland arbetare på alla nivåer som jobbar utifrån tydliga mål och drar i samma riktning. [12]

### 2.3.1 Just in Time

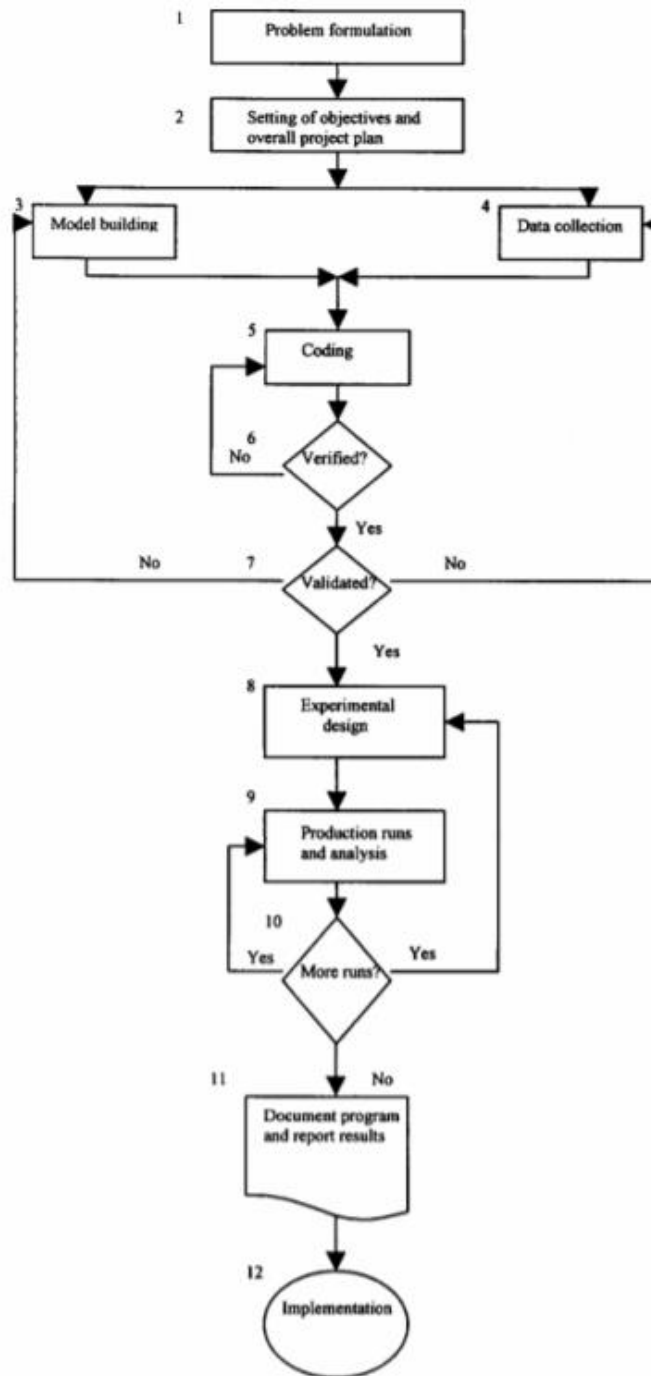
Just in Time (JIT) är en metod som fokuserar på att minska förluster i produktionssystem genom att eliminera överproduktion och överflödigt lagerhållning. Genom att minska ledtider från leverantörer, etablera system för att bestämma kvantiteter som ska tillverkas, god kvalitetskontroll samt god behandling av arbetare i företaget. Enligt JIT filosofin är det viktigt att dessa förutsättningar existerar samtidigt och har mycket lägre effekt om de implementeras var för sig. JIT är en filosofi som implementeras över ett helt företag och inte på en enskild produktionsenhet. Ofta ger en korrekt implementation av JIT stora positiva effekter på ett företag då företaget blir mer resurseffektivt, man minskar svinnet samt att medarbetare känner en större delaktighet i processen.[13]

## 3. Metod

Metodkapitlet beskriver den metodik som kommer användas och hur arbetet ska genomföras för att uppnå målet.

### 3.1 Banks simuleringsmetod

Vid val av simuleringsmetod låg fokus på att använda en så generell metod som möjligt, för att inte missa något och angripa problemet i sin helhet. En metod som ofta hänvisas till inom simuleringsprojekt och som har använts vid likande projekt är Banks simuleringsmetod. Metoden är uppdelad i flertalet steg, se figur 1, *Banks simuleringsmodell*, där varje steg bygger vidare på föregående och om oönskat resultat uppnås görs tidigare steg om med den nya informationen [2]. Nedan kommer stegen förklaras, först med ett stycke som berättar vad Banks metod säger om steget, följt av det sätt som det steget har implementerats i studien.



Figur 1, Banks simuleringsmodell [3]

### 3.1.1. Problemformulering

Enligt Banks modell syftar detta steg till att förstå och formulera problemet som skall undersökas. Detta görs tillsammans med de intressenter som är inblandade. Om problemet ges av en klient eller kund bör de vara delaktiga i varje del av steget för att försäkra sig om att problemet är väl förstått [3].

I detta fall kommer en problemformulering framställas tillsammans med chefen för materialhantering, chefen för supply chain och andra medarbetare på APL. Detta på grund av att de har stor tidigare kunskap om var problem finns och vad som är intressant att studera. Dessutom kommer ostrukturerade intervjuer av dessa anställda tillsammans med observationer på plats användas för att ge en bild över nuläget och den problematik som finns.

### 3.1.2. Projektplan och målsättning

Enligt Banks modell bestäms specifika mål och en projektplan skapas om hur målen skall uppnås. Projektplanen har tydliga leveranser för varje steg så att det är tydligt vad som ska göras och när det steget är avklarat. Projektplanen skall också redogöra vilka resurser som kommer användas, till exempel personal, tid, budget, hårdvara och mjukvara [3].

Resultatet från detta steg är en planeringsrapport som diskuteras med områdeskunniga på APL för att kunna säkerställa dess relevans.

### 3.1.3. Konceptuell modell

Enligt Banks ska det verkliga systemet som projektet ämnar avbilda konstrueras med en konceptuell modell, vilket betyder att modellen ger en övergripande bild av det verkliga systemet. Modellen kommer till början vara simpel och detaljer läggs på efterhand tills en tillräcklig detaljrikedom är uppnådd [3].

I denna studie genomfördes detta steg genom kontinuerliga ostrukturerade intervjuer med områdesansvariga och anställda för materialhantering, supply chain och steril tillverkning på APL. Efter varje samtal utvecklades modellen till nya iterationer tills att modellen ansågs återspegla det verkliga systemet tillräckligt för undersökningen. Denna bedömning gjordes även den med föregående nämnda anställda på APL. En stor del av detta steg var att bestämma hur materialen skulle kategoriseras då APL har över 2000 unika insatsmaterial. Dessa iterationer presenteras senare under resultatdelen.

### 3.1.4. Datainsamling

Datainsamlingen sker parallellt med konstruktionen av den konceptuella modellen och tillför detaljer. En lista på krävda data bör lämnas in till kunden som i bästa fall har samlat in den data innan projektet börjar. Om detta har skett garanterar det däremot inte hög kvalitet på mätdata, då företag ofta väljer att lagra data i andra former än det som söks. Till simulering och analys söks råa mätpunkter och inte genomsnittsvärden, vilket kan vara fallet. Det är därför viktigt att inte bara studera informationen utan också var information kommer från och om möjligt försöka få data från många olika håll [3].

Detta steg tillsammans med den konceptuella modellen utgör kärnan till den slutgiltiga modellen. Målet var således att söka data som kunde kvantifiera de flöden som identifierades i steg 3. En stor del av detta bestod i att bestämma:

- Hur mycket läkemedel produceras?
- Hur mycket material förbrukas per produktion, uppdelat på kategorierna som identifierades?
- Hur lång tid tar varje steg i processen?

Datainsamlingen i projektet kommer ske med flera olika metoder för att uppnå högre säkerhet:

- Ostrukturerade Intervjuer med områdesansvariga på APL.
- Studie av data från APL:s affärssystem.
- Observationer på plats i fabriken.
- Tidsstudie i labbmiljö.

### 3.1.5. Modellkonstruktion

Enligt banks modell utvecklas i detta steg en fungerande modell som avspeglar det verkliga [3].

För detta arbete valdes Technomatix Plant Simulation från Siemens som mjukvara. På grund av en begränsad tidsrymd var det av stor vikt att programvaran var lätt att använda. Då inlärningsperioden för ett mindre komplext program som Plant Simulation (se kapitel 2.1.1 *Mjukvara*) inte är lika lång som ett mer avancerat program kan mer tid läggas på att utforma modellen så att den representerar det verkliga systemet bättre. Detta leder till att slutsatserna dragna från modellen korrelerar bättre med verkligheten. Utöver detta fanns tidigare

erfarenheter med att arbeta i Plant Simulation vilket även det underlättade inlärningsprocessen.

Plant Simulation har ett i huvudsakligt grafiskt gränssnitt där modellen byggs upp i enlighet med det konceptuella flödet med hjälp av olika typer av stationer och lager för att representera verkliga arbetsstationer och lagerplatser. I de fall där mer komplexa operationer krävs går detta att modellera med korta stycken kod som styr till exempel inlagring av en specifik vara. Den huvudsakliga filosofin är att försöka replikera det tänkta utseendet på den verkliga modellen vilket ofta ger ett bra utgångsläge för hur modellen ska konstrueras i Plant Simulation. I detta fall byggdes modellen utifrån den konceptuella modellen i tidigare steg som sedan slogs ihop med data som utföll från datainsamlingen.

I detta fall upptäcktes att användandet av simulerade arbetare i modellen inte var att föredra på grund av oförutsägbart beteende när dessa fick mer komplicerade uppgifter att utföra. Därför ersattes representationen av arbetare till tider som inkluderade tider för transport mellan olika arbetsstationer i modellen.

För att testa frågeställningen om huruvida det förekom skillnader mellan uppdelat och sammanslaget lager konstruerades två modeller som var identiska förutom att den ena hade ett sammanslaget och den andra ett uppdelat lager. Detta var för att på ett så effektivt sätt som möjligt svara på ifall det förekom skillnader mellan de två formerna av lager.

### 3.1.6. Verifiering

Simuleringsmodellen verifieras, vilket betyder att koden kontrolleras så att modellen fungerar korrekt [3].

I detta projekt har modellen verifierats genom att regelbundet förbättra modellen där fel har upptäckts av programvaran. Detta har skett genom testkörningar av modellen för att kunna upptäcka fel.

### 3.1.7. Validering

Enligt Banks så kontrollerar man i verifieringen att modellen fungerar, men i valideringen kontrollerar man att modellen överensstämmer med verkligheten och att den ger en trovärdig bild av det verkliga systemet. Det finns många sätt att validera en modell, ett sätt är att jämföra produktionen med den verkliga och se om de presterar lika [3].

För att validera modellen diskuterades flödet först med ansvarig chef för materialhantering för att verifiera att flöden som förekom i modellen överensstämde med det verkliga systemet. Information som tillkom ifrån diskussioner användes för att revidera modellen tills flöden bedömdes vara tillräckligt lika verkligheten i samråd med avdelningen för supply chain och materialhantering på APL. Därefter testkördes modellen med parametrar tagna från den verkliga produktionen och materialhanteringen. Huvudsakliga parametrar som användes var tider för inleverans till lager, genomsnittlig tid för kittning samt tidsåtgång för inslussning till produktion. Eftersom dessa tider enbart var uppskattningar från personalen fanns tveksamheter kring hur väl dessa stämde med den egentliga tidsåtgången. Därför gjordes experiment på tidsåtgången för kittning då detta var den mest tidskrävande processen och därmed den begränsande faktorn i materialhanteringen med avseende på modellen.

När tider var validerade testkördes modellen med verklighetsbaserade tider samt materialflöde vilket resulterade i en produktion som var likvärdig med den verkliga, alltså bedömdes modellen vara korrelera tillräckligt med verkligheten för att påbörja testning.

#### *3.1.7.1 Validering av tider*

För att validera tider som APL uppskattat för kittning genomfördes test i labbmiljö byggd för att replikera ett mindre lager. Först bestämdes positionen för de två arbetsplatserna som förekommer i ritningar från APL, sedan mättes avstånd upp för att replikera rätt avstånd från samma ritning, detta ansågs vara viktigt för att få en rättvis bild av tidsåtgången.

Efter detta valdes 20 slumpmässiga plock där variansen sedan kontrollerades med den varians som upptäcktes under datainsamling. För att konstruera plocklistor för dessa tester användes labbmiljöns 19 olika artiklar där varje plockrad gavs en artikel med hjälp av en slumpgenerator. När detta var gjort sammanställdes plocklistor för var och en av de 20 plocken där antalet individuella artiklar varierade mellan 1 och 12st.

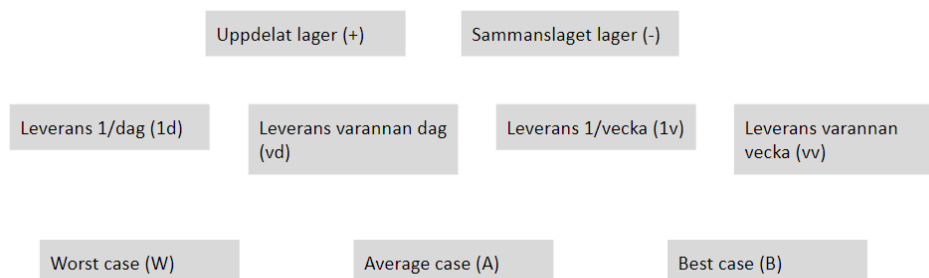
När plocklistor var färdigställda så mättes tidsåtgången för varje plock från de båda arbetsstationerna och resultaten fördes in i ett Exceldokument för att kunna beräkna genomsnittliga tider samt standardavvikelse och jämföra detta mot uppskattningar från APL.

### 3.1.8. Design av experiment

Konstruktion av design där man bestämmer vilka parametrar som ska testas, hur länge testet ska pågå och hur många test som ska genomföras.[3]

Testerna utfördes genom att 3 huvudparametrar valdes som sedan ställdes upp likt ett faktorförsök för att strukturerat testa relationen mellan dessa parametrar. De 3 parametrarna var:

1. Sammanslaget eller uppdelat lager som gavs tecknet - respektive +.
2. Tider för materialhantering som delades upp i bäst, sämst och genomsnittligt scenario. Dessa gavs tecknen B, W och A (Best, Worst, Average)
3. Frekvenser på inleverans vilka sattes till en gång om dagen (1d), varannan dag (vd), en gång i veckan (1v) samt varannan vecka (vv). I samråd med APL:s supply chain-avdelning bestämdes det att detta var lämpliga intervall att studera för att besvara frågeställningarna, då det aldrig förekommer frekvenser högre eller lägre än det intervallet



Figur 2. *Faktorer som testas*

Detta kommer att resultera i 24 modeller som listas i resultatdelen.

På varje modell kommer sedan olika lagerkapaciteter testas. Tanken är att för varje modell studera vilken kapacitet som krävs för att nå produktionsmålen. Detta blir ett mått för hur effektiv modellen är och ytbehovet som krävs.

För att komma fram till rimliga lagernivåer kördes en del tester på slumpmässigt valda nivåer för att bilda en uppfattning om ungefärliga krav på lagernivåerna för de olika frekvenserna av inleveranserna.

Då behovet var känt från datainsamlingen balanserades lagerkapaciteten utefter täcktid i dagar enligt listan nedan:

- fjärdedels dag
- halv dag
- 1 dag
- 1.5 dagar
- 2 dagar
- 3.5 dagar
- 5 dagar
- 7.5 dagar
- 10 dagar
- 15 dagar
- 20 dagar (1 månad)

Dessa 11 olika kapaciteter kommer sedan behöva anpassas efter huruvida modellen som testas har sammanslaget eller uppdelat lager. Detta leder till att det behövs 11 varianter av lagerkapacitet för både sammanslaget och uppdelat lager, det vill säga totalt 22 varianter.

Resultatet från detta steg kommer bli en detaljerad beskrivning av hur experimenten utförs, i syfte att kunna efterlikna det och känna till de parametrar som används.

### 3.1.9. Testkörning och analys

Modellen testkörs och parametrarna enligt steg 8 analyseras [3].

Testen utfördes genom att lagernivån ändrades till den aktuella för det specifika testet. Sedan kontrollerades inleveranslistor så att de överensstämde med testet som skulle utföras. Till sist ändrades tider för kittning och inleverans/inlussning utifrån ifall testet var ett bäst, sämst eller genomsnittligt scenario. När alla parametrar var angivna kördes testet och resultaten fördes in i en tabell. Detta utförande upprepades för var och en av testen tills att alla var utförda. När resultaten var ifyllda sammanställdes dessa och en graf över hur den totala produktionen påverkades av de testade parametrarna togs fram.

### 3.1.10. Fler experiment?

Resultatet från steg 9 värderas och kontrolleras om önskat resultat är uppnått. Om förbättringspotential finns eller datapunkter saknas så genomförs fler experiment tills resultatet ger nöjdhet och resultatet ger möjlighet att besvara frågeställningen [3].

På grund av den tydliga och strukturerade metodiken i tidigare steg genomfördes inte ytterligare tester. Resultat som stack ut testades igen för att säkerställa korrekt resultat och felaktiga värden uppdaterades.

### 3.1.11. Dokumentera och presentera resultat

Enligt Banks modell dokumenteras resultaten och presenteras för kunden som då kan välja att implementera de förbättringar som föreslås. Det är viktigt att användningen av modellen dokumenteras ifall den ska användas igen så att någon annan lätt förstår modellens uppbyggnad och funktion. [3].

Denna modell kommer inte att användas av personal på APL eller någon utanför detta projekt, därför har användningen och funktionen inte dokumenterats i samma utsträckning som hade varit nödvändigt i ett sådant fall. I stället har dokumenteringen syftat mer till att kunna återskapa experimenten.

För varje test dokumenterades fyra värden, dessa var:

- Steril output
- Standardavvikelse steril output
- Icke steril output
- Standardavvikelse icke steril output

Utifrån dessa värden och grafer drogs sedan de slutsatser om vad som hade negativ påverkan på produktionen och vilka faktorer som inte hade särskilt stor påverkan. Detta presenterades för supply chain på APL för att diskutera resultatet.

## **4. Resultat**

### **4.1 Inledande undersökning**

Resultatet från den inledande undersökningen, steg 1 och 2 från Banks modell (se kapitel 3.1.1 och 3.1.2), sammanställs här nedan till en form av nulägesanalys.

Den verksamheten som i nuläget bedrivs hos APL i Göteborg är temporär då företaget befinner sig i en flytt av lokaler från Backa till St. Jörgens Park. Denna flytt innebär stora utmaningar då materialflödet i produktionen sträcks över två fysiska platser och råvaror som tas emot i St. Jörgen måste transporteras till Backa för tillverkningen. Detta innebär problem när en brådskande order kommer in och varje minut räknas.

Eftersom verksamheten är temporär blev det inte lika relevant att studera själva fysiska flödet, men arbetssätten som APL har i sin verksamhet var intressant att observera då den till stor del kommer vara densamma efter flytten, likaså det konceptuella flödet. Den höga variationen i produktionen har lett till att en stor flexibilitet krävs. Flexibiliteten i samband med höga kvalitetskrav och kontroller har lett till en hög grad av manuellt arbete, där beslut fattas av människor efter erfarenhet och egen kunskap, inte efter tillgängliga data.

#### **4.1.1 Nulägesanalys**

##### **1. Planering**

Försök till uppskattning av behovet görs, detta är dock komplicerat då behovet varierar mycket. Resultatet av planeringen blir en så kallad Huvudplan, som säger hur mycket material som tros behövas och hur mycket produktion planeras.

##### **2. Inköp**

I enlighet med huvudplanen genereras inköpsförslag, som kan godkännas eller justeras manuellt efter en saldokontroll. I händelse av att saldon inte stämmer krävs det att personalen dubbelkollar saldot för att inte göra onödiga inköp. Det kan också ske åt motsatt håll, det vill säga att inköp görs utan inköpsförslag, då det i systemet verkar finnas ett högre saldo än verkligheten. Här dras slutsatsen att det är av högt intresse att studera frekvensen och storleken av leveranser för att undersöka dess påverkan.

##### **3. Inlagring**

Leveranserna tas emot och lagras in i systemet samt på den fysiska lagerplatsen. Ett högt krav på uppmärkning gör detta till relativt tidskrävande på batchnummer på artiklarna behöver kontrolleras. Målet för APL är att använda sig av ett så kallat flytande lager, där inte varje artikel har en bestämd plats utan platsen kan bli olika för varje inleverans. Detta för att kunna skilja på batcher av samma artikel. Dessutom gör de höga kraven på renhet hos materialet till steril produktion att man tidigt vill sära på det materialet och det material som skall till icke steril produktion. Detta leder till att i det digitala systemet finns två lagerställen, men bara ett fysiskt, vilket gör att det för varje artikel som återfinns i både steril och icke steril produktion finns det två behovsplaneringar och två säkerhetslager. Det är därför intressant att studera hur denna digitala uppdelning påverkar verkligheten, något som simulering lämpar sig väl till.

#### **4. Plockning**

I samband med flytten är det även tanken att man ska börja implementera handscanners till materialhanteringen och börja plocka varje order enskilt, så kallad kitting. Plockningen idag kräver mycket manuellt arbete, då det är en hög variation på både produktionen och arbetsuppgifterna som krävs för tillverkningen. Det kan även förekomma vissa felaktigheter i affärssystemet vilket upptäcks av materialhanteringen när de kontrollerar orderarna. Sådana fel tillsammans med en varierande och icke-standardiserbar arbetsuppgift blir resurskrävande och det är därför intressant att studera närmare hur tiden det tar för kitting påverkar resten av produktionen.

#### **5. Inslussning**

Efter att ordern har kittats så ska den slussas in till antingen steril eller icke steril produktion. Detta sker idag genom särskilda slussar där det kräver att materialhanteringsanställda tar på sig viss skyddsutrustning. Det kan därmed vara intressant att studera hur tiden det tar för detta steg påverkar systemet för att veta om det är något man bör satsa mer resurser på i industrin.

#### **6. Produktion**

Produktionen tar emot material från slussen. Produktionsenheterna kommer inte studeras utan bara tas hänsyn till, se kapitel 1.5 *Avgränsningar*.

Från dessa observationer kan en mer exakt frågeställning om vad som ska simuleras göras för att gynna det övergripande syfte. Denna mer specifika och simuleringsinriktade frågeställning lyder:

- Hur påverkas läkemedelsproduktionen av följande parametrar i materialhanteringen:
  - a. Frekvens och storlek på leveranser av material till tillverkningen?
  - b. Kapacitet och storlek på lager utanför steril zon?
  - c. Tider för:
    - i. Inlagring av insatsmateriel från godsmottagning till lagerhylla?
    - ii. Kitting och plock av produktionsordrar utanför steril zon?
    - iii. Inslussning till tillverkningsytorna i steril zon?
  - d. Sammanslaget eller uppdelat lager till steril och icke steril tillverkning?

## 4.2 Konceptuell modell

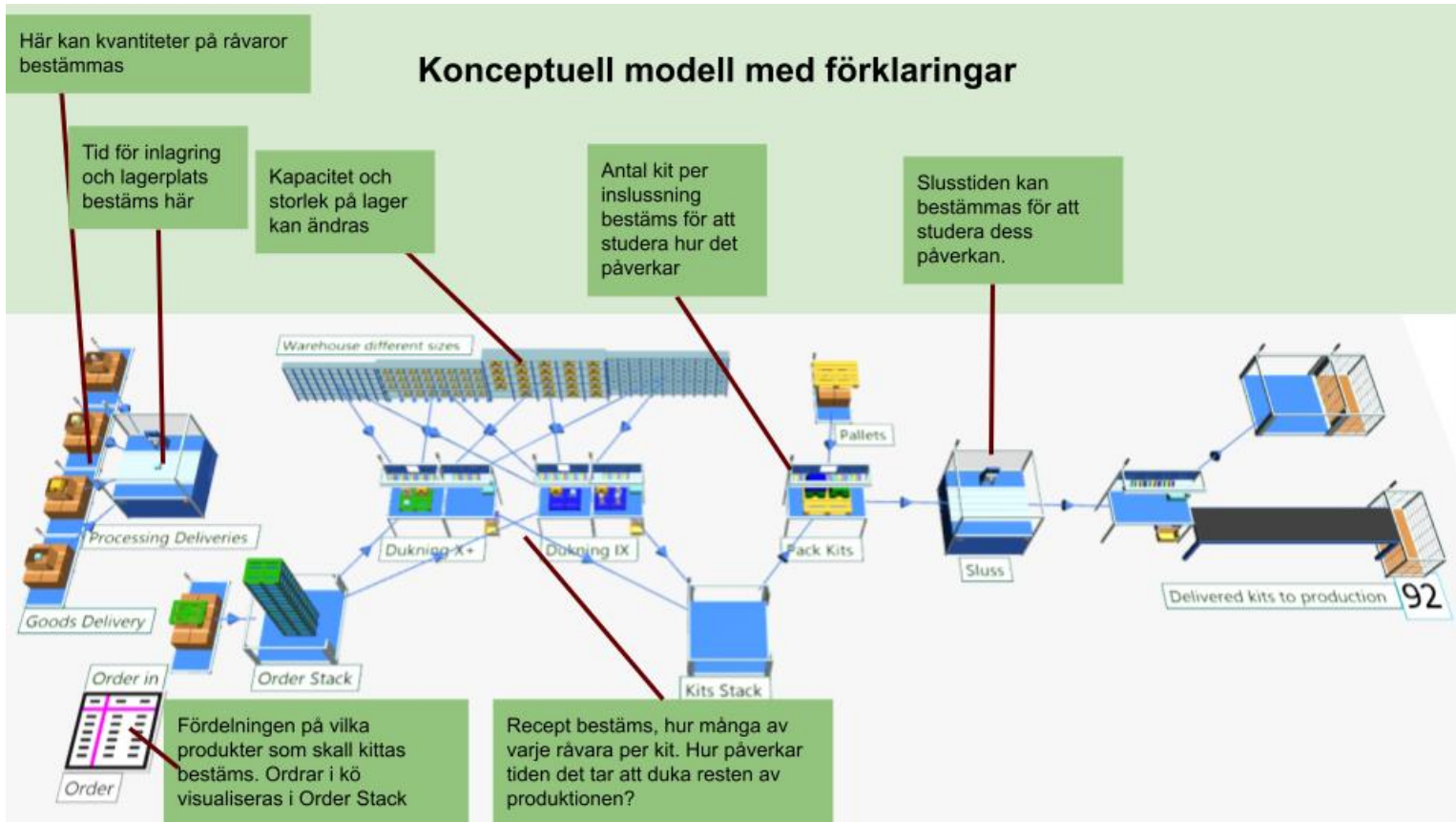
Konstruktionen av den konceptuella modellen skall enligt Banks metod ske samtidigt som datainhämtningen. I denna studie märktes det dock tydligt att datainhämtningen försvåras om flödet inte är helt förstått. Dessutom visade det komplicerat att extrahera data ur affärssystemet vilket ledde till att själva flödet modellerades först.

### 4.2.1 Första iterationen, modell V1

Efter att modell V1 presenterades för APL och diskuterades kom det fram till att vissa förändringar behövdes göra. I V1 kittades allt material utanför produktionen, se figur 3, där flödena från lagret endast går till kittningen. I det verkliga systemet händer det ofta att stora förpackningar slussas in och förvaras i ett litet produktionslager. I modell V1 finns det fyra olika kategorier på insatsmaterial (Små, Mellan, Stor och Färdigt läkemedel) och två olika typer av produktionsorder som i figur 3 representeras med grön och blå order.

Efter diskussion beslutades det att även den icke sterila produktionen skulle inkluderas då det fanns en tanke att både den sterila och icke sterila produktionen skulle dela lager. En mer

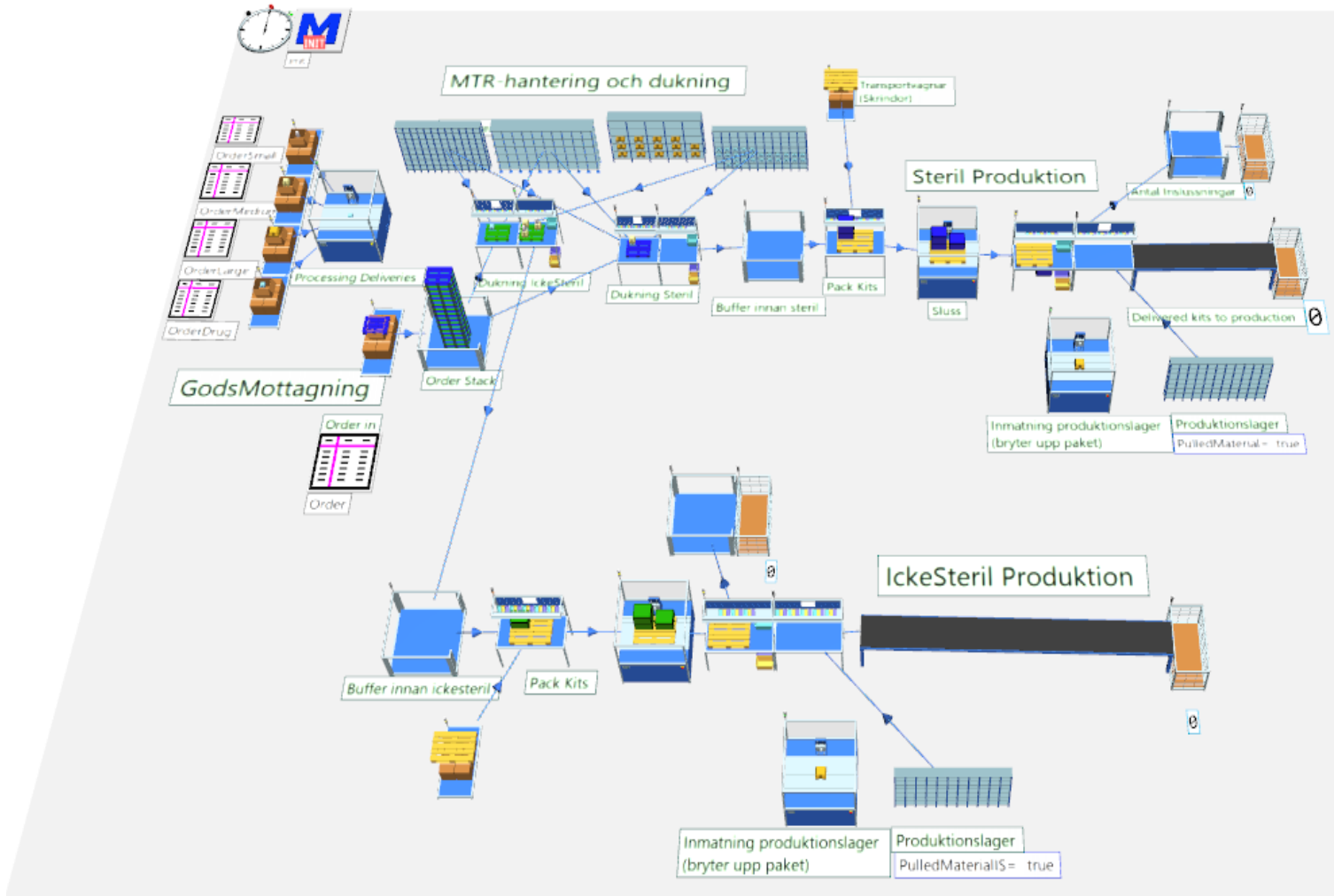
representativ modell borde i stället ha Steril och Icke Steril som kategorier på produktionsordrar. Hur uppdelningen av insatsmaterial skulle ske krävde en djupare analys och samtal med sektionschefen för materialhantering.



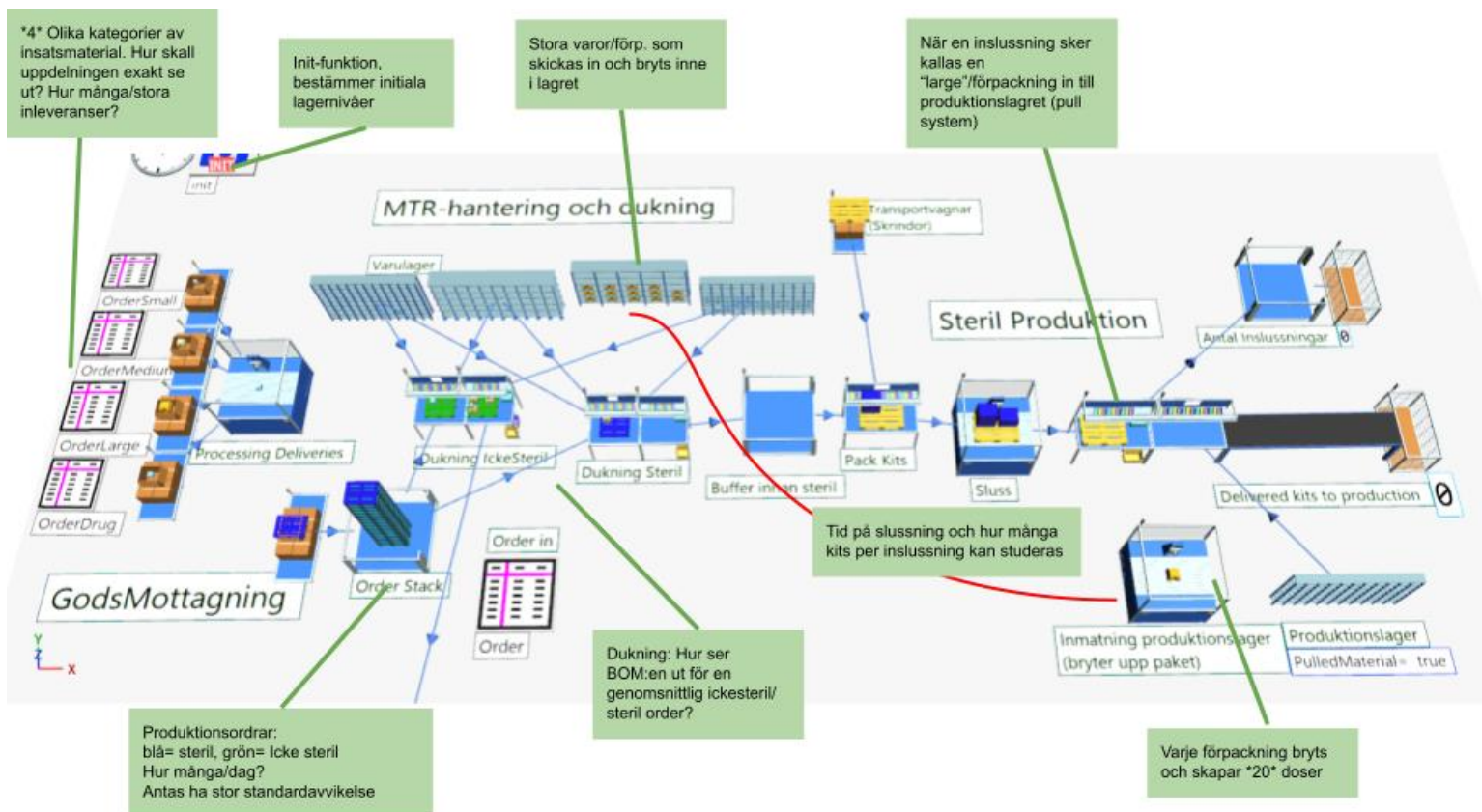
Figur 3, modell V1

#### 4.2.2 Andra iterationen, modell V2

En icke steril produktion skapas, som har liknande flöde som en steril, men hanterar de icke sterila orderarna som i modellen representeras som gröna. Den sterila produktionen hanterar sterila orderar, som här representeras som blåa, se figur 4, *modell V2 övergripande*.



Figur 4, modell V2 övergripande



Figur 5, modell V2 steril

Större bild av den sterila produktionen med tillhörande förklaringar och parametrar som kunde studeras. Modellen presenterades igen för APL och flödet ansågs avbilda det verkliga systemet med tillräckligt djup utan att ha onödiga detaljer. Beslutet blev att ha kvar det generella flödet, men uppdelning av insatsmaterial stod ännu inte klar, likaså tider och kvantiteter.

### 4.2.3 Tredje iterationen, modell V3

Efter intervjuer och diskussioner med ansvarig för materialhantering samt IT-specialist kom två förslag in på uppdelning av insatsmaterial:

1) Med avseende på volymen varje artikel tar, detta ger en större förståelse hur stor plats materialet tar i lagret. Däremot ökar svårigheten att extrahera data då denna metod kräver mer observationer på plats, och eftersom produktionen inte är i gång på den nya platsen blir det svårt.

2) Med avseende på artikels användning, det vill säga vilken del av produktionen som materialet nyttjas i. Denna uppdelning ger en bättre förståelse för materialflödet och det finns mer data tillgängligt vilket leder till att den vidareutvecklas.

En fördjupning sker på förslag två, där det visar sig att den mest lämpliga indelningen av material blir:

- Råvaror; Basämnen och ingredienser till tillverkningen.
- Förpackningsmaterial; ingår i BOM:en, till exempel flaskor, kapsyler etcetera
- Godkända Läkemedel; färdiga, licensierade läkemedel som köps in och utgör verksamma ämnen i slutprodukten.
- Förbrukningsmaterial; Material som förbrukas men som inte saldo förs i samma utsträckning. Ingår inte i BOM:en, till exempel pipetter, utensilier etcetera.

Här ansågs själva konceptuella flödet tillräckligt återspeglade av verkligheten för undersökningens syfte och fokus skiftade i stället till datainhämtning.

## 4.3 Datainsamling

För att samla data som besvarade de frågor som tas upp i kapitel 3.1.4 *Datainsamling*, extraherades flertalet datablad ur AX som berättade:

- Lista 1: Antal produktionsordrar per tillverkningsenhet, månadsvis under 2021–2022.
- Lista 2: Totala lagertransaktioner, hur mycket material som har förbrukats månadsvis under 2020–2022.
- Lista 3: Varje produktionsorder under 2021 med datum för produktionen samt hur många artiklar BOM:en innehöll.

Samtal med APL för att förstå hur dessa datablad kunde användas på bästa sätt krävdes, varpå datan kunde sammanställas, se Tabell 2 *Sammanställning steril produktion* och Tabell 3 *Sammanställning icke steril produktion*. Första åtgärden var att försöka genomföra en enhetsomvandling på lagertransaktionerna, då artiklarna använde sig av olika enheter som paket, styck, gram, kilo och meter. Dessutom försökte transaktionerna placeras i de 4 kategorier som det konceptuella flödet innehöll. Enhetsomvandlingen fungerade dessvärre ej, och eftersom listorna var för stora att försöka göra det manuellt togs beslutet att i stället studera på den totala enhetslösa förbrukningen.

Genomsnittlig förbrukning på sterila produktionen per månad var 370 000 enheter varav 280 000 enheter i snitt bestod av natriumklorid, detta på grund av att enheten som NaCl låg lagrad som var gram och är ett väldigt vanligt förekommande insatsmaterial. För att inte ge en skev bild av förbrukningen studerades även förbrukningen exklusive NaCl (se kolumn *mtrförbrukning utan NaCl* i Tabell 2 *Sammanställning Steril Produktion*).

Genomsnittlig förbrukning på den icke sterila produktionen per månad var 7700 enheter per månad, se Tabell 3, kolumn *total förbrukning enhetslös*. NaCl var inte lika vanlig här eftersom den främst används till saltlösningar till intravenösa läkemedel, som tillverkas på den sterila produktionen.

Antalet produktionsordrar för varje månad ställdes i proportion till förbrukningen av material för samma period för att se om de följde varandra, se kolumn *Kvot: Förbrukning/tillverkning* i tabell 2 och 3. Det fanns en misstanke av de anställda att eftersom produktionen varierade så mycket i storlek från månad till månad, samt att vissa ordrar var betydligt mycket större än andra, skulle det skilja mycket i förbrukningen.

Därmed sammanställdes även antalet ingående material i produktionsordrarna och jämfördes med antal produktionsordrar för att få ett genomsnitt hur många plock det krävs per order, se kolumn *Antal ingående material i orderarna* samt *Kvot: ingående material/ tillverkning* i Tabell 2 och 3.

Resultatet visade att både förbrukningen av insatsmaterial och antalet plock följde antalet tillverkningar. Kvoten av förbrukning per tillverkning samt kvoten av plock per tillverkning hade bara en varians på cirka 4% när man studerade datan månadsvis, se raden *Variationskoefficient* i Tabell 2 och 3. Detta visar att trots en hög variation per dag så är genomsnittet väldigt konsekventa per månad. För att göra en uppskattning på variansen per dag studerades lista 3, där datum för varje order fanns och antal plock på vederbörande order.

Tre månader studerades och standardavvikelsen dividerades med medelvärdet vilket gav variationen 15%. Det visar att variationen är större från dag till dag jämfört med från månad till månad, vilket är ett förväntat resultat.

Tabell 2, *Sammanställning steril produktion*

Månad	Antal tillverkningar st ext+ OCH individuell netto	Tot materialförbrukning enhetslös	Tecken-omvandling	Kvot: Förbrukning/tillverkning	Antal ingående material i ordrarna	Kvot: Ingående material/tillverkning	g NaCl	Tecken-omvandling	Kvot: gram NaCl/tillverkning	Mtrförbrukning utan NaCl	Kvot
tot 2021	12834	-4453356,186	4455356,186	347,152578	61966	4,82826866	-3354763	3354763,18	261,396539	1100593,006	85,75604
1	992	-332517,1316	332517,1316	335,1987213	4534	4,57056452	-242115	242115,005	244,067545	90402,12655	91,13118
2	1005	-369813,0104	369813,0104	367,9731447	5053	5,0278607	-272154	272153,59	270,799592	97659,42038	97,17355
3	1194	-402762,74	402762,74	337,3222278	5885	4,92881072	-299213	299213,003	250,597155	103549,737	86,72507
4	1006	-362508,2441	362508,2441	360,3461671	4693	4,66500994	-279943	279942,701	278,273063	82565,54313	82,0731
5	1082	-381786,866	381786,866	352,8529261	5557	5,13585952	-285032	285032,238	263,430904	96754,62804	89,42202
6	1104	-409365,2566	409365,2566	370,8018628	5101	4,62047101	-308447	308447,18	279,390562	100918,0766	91,4113
7	1014	-323846,0074	323846,0074	319,3747607	4538	4,47534517	-252245	252245,467	248,762788	71600,54036	70,61197
8	1041	-340146,8371	340146,8371	326,7500837	5403	5,19020173	-258202	258202,3	248,032949	81944,53708	78,71713
9	1125	-374583,6866	374583,6866	332,963277	5368	4,77155556	-286229	286228,604	254,425426	88355,08261	78,53785
10	1067	-386904,3303	386904,3303	362,6094942	5016	4,70103093	-285991	285990,848	268,03266	100913,4823	94,57683
11	1146	-394049,3399	394049,3399	343,8475915	5734	5,0034904	-296294	296294,116	258,546349	97755,22391	85,30124
12	1058	-377072,7363	377072,7363	356,4014521	5084	4,80529301	-288898	288898,128	273,060612	88174,6083	83,34084
Standardavvikelse	60,55919969			15,59940149		0,2124658			11,4120414		6,983572
Medel	1069,5			347,1995605		4,82490476			261,447396		85,75216
Variationskoefficient	0,056623843			0,044929209		0,04403523			0,04364947		0,081439

Tabell 3, *Sammanställning icke steril produktion*

Månad	tillverkningar IS ext+ OCH individuell netto	Tot materialförbrukning enhetslös	Teckenomvandling	Kvot: Förbrukning /tillverkning	Antal ingående material i ordrarna	Kvot: Ingående material/tillverkning
tot 2021	7557	-92334,9299	92334,92989	12,2184637	36808	4,870715893
1	634	-4607,42445	4607,42445	7,26723099	2692	4,246056782
2	564	-5138,04063	5138,04063	9,11000112	2647	4,693262411
3	672	-8052,85731	8052,85731	11,9834186	3493	5,197916667
4	616	-6160,02323	6160,02323	10,0000377	2901	4,709415584
5	649	-6078,25371	6078,25371	9,36556812	3368	5,189522342
6	678	-7702,53306	7702,53306	11,3606682	3307	4,877581121
7	570	-5731,83777	5731,83777	10,0558557	2549	4,471929825
8	590	-7425,20623	7425,20623	12,5850953	3339	5,659322034
9	661	-10620,5801	10620,58006	16,0674434	2929	4,431164902
10	621	-8477,89426	8477,89426	13,6520036	3126	5,033816425
11	620	-10137,8654	10137,86542	16,3513958	3091	4,985483871
12	682	-12202,4138	12202,41376	17,8921023	3366	4,935483871
Standardavvikelse	38,77526058			3,02444362		0,373556004
Medel	629,75			12,146868		4,86924632
Variationskoefficient	0,061572466			0,24898958		0,076717418

Eftersom data kring processernas tider inte fanns loggade i AX, blev intervjuerna med medarbetarna och de diskussioner som fördes underlag för tiderna. Detta resulterar i en högre osäkerhet och dessa tider kommer att behöva valideras, se kapitel 3.1.7 *Validering* samt

kapitel 4.6.1 *Validering av tider*. Dessutom kommer även tider som både är sämre och bättre än den uppskattade användas i syfte att fånga upp eventuella felaktigheter och hur de påverkar systemet, se kapitel 3.1.9 Design av experiment.

Resultaten på frågorna som söktes blev därmed:

- **Hur mycket läkemedel produceras?**

Varje månad produceras i genomsnitt 630 icke sterila produktionsordrar med en standardavvikelse på 38,8 vilket ger en varians på 6,2%. På den sterila produktionen är genomsnittet 1070 med en standardavvikelse på 60,6 vilket ger en varians på 5,7%. Variansen per dag är högre än per månad och beräknas till 22% för både steril och icke steril, räknat på perioden maj till augusti 2021. Med antagandet att varje arbetsmånad har 20 arbetsdagar blir genomsnittlig tillverkning per dag 31,5 respektive 53,5 på icke steril och steril tillverkning.

- **Hur mycket material förbrukas per produktion, uppdelat på kategorierna som identifierades?**

Eftersom det inte gick att enhetskonvertera förbrukningen blir resultatet 347 förbrukningsenheter per steril produktionsorder med en varians på 4,5%, varav 261 av de förbrukningsenheterna är gram salt. För en icke steril produktionsorder är genomsnittet 12 enheter med en varians på 25%.

Om förbrukningen i stället mättes som antalet plockade material fanns det mer data. Genomsnittlig förbrukning per månad blir med denna metod 4,9 plock med varians på 7,7% för icke steril, och 4,8 plock med varians på 4,4% på steril produktionsorder. Fördelningen mellan kategorier här var lättare att uppskatta och resulterade i:

- 2 plock av råvaror
- 2 plock av förpackningsmaterial
- 1 plock av godkänt läkemedel

Utöver dessa 5 tillkommer även förbrukningsmaterial, som inte alltid lagerförs men uppskattas till:

- 1 plock av förbrukningsmaterial

#### - **Hur lång tid tar varje steg i processen?**

Både slussen och inleveransen består av liknande moment och uppskattas att ta liknande tid. Eftersom produktionen inte är uppbyggd än är det svårt att verifiera. Därför antas slussen och inleveransen ha samma tidsåtgång. Personalen vid inleverans tar cirka 1 minut per artikel, även om det kan variera mycket beroende på hur det är förpackat.

För kitting uppskattas tiden till 300 sekunder av personalen, men detta resultat anses behöva valideras, se kap 4.6 *Validering*.

För att hantera dessa uppskattningar och minska felkällor används en metod som beskrivs i kapitel 3.1.8 *Design av experiment*.

## **4.4 Modellkonstruktion**

För att kunna simulera en varians på antalet ordrar per dag användes en hög varians på tiden när ordrar uppkom i modellen. Detta var det mest pålitliga sättet att få en varians på antalet ordrar under en dag inom ett rimligt intervall då alternativen för att ändra antalet ordrar från källan i modellen antingen gav ett väldigt slumpmässigt antal eller ett väldigt bestämt antal. Detta resulterade i en ordermängd på 54 sterila ordrar, respektive 32 icke sterila ordrar en genomsnittsdag. Standardavvikelsen som användes för att framkalla en varians på ordrar beräknades så att den var densamma som variansen på dagsbasis i den verkliga produktionen se kap 4.3 *Datainsamling*, det vill säga 22%. Efter testning bedömdes det att detta hade lika effekt på ordervariansen som att ändra antalet faktiska ordrar men med ett mycket mindre komplext genomförande.

## **4.5 Verifiering**

Detta steg resulterade inte i några större fel, de mindre felen avhjälpes och arbetet kunde fortgå. Arbetet utfördes enligt kapitel 3.6 *Verifiering*.

## **4.6 Validering**

Från datainsamlingen var antalet tillverkningsordrar på en månad känt och uppgick till 1069 tillverkningar per månad och efter att den fungerande modellen testkördes med korrekta tider samt inleveranser resulterade det i en genomsnittlig output på 1068 tillverkningar på en

arbetsmånad. Detta betydde att modellen korrelerade väl med den verkliga modellen på de vitala parametrarna.

Däremot behövde tiderna för processerna valideras då som tidigare nämnt i metodkapitlet var de tider som fanns att tillgå endast uppskattningar. Detta bedömdes inte vara tillräckligt god grund för att utföra en givande simulering på detaljnivå. Det var den enskilt största faktorn som behövde valideras efter att flöden och processer hade diskuterats med personal och chefer på APL.

#### 4.6.1 Validering av tider

Resultatet från experimentet i labbmiljö blev ett snitt på 157 sekunder för båda plockare. Med tanke på de goda förutsättningarna för att plocka snabbare än normalt i labbmiljön på grund av att varje plock enbart bestod av en produkt samt att variationen av produkter i labbmiljön inte var särskilt stor. Detta medför att det går lätt att identifiera och hitta produkter vilket inte alltid är fallet i ett verkligt lager. Detta resulterade i att 5 minuter ansågs vara en rimlig genomsnittstid samt att 2,5 minuter ansågs vara en ideal tid.

### 4.7 Design av experiment

De slumpmässiga tester som kördes för att bilda en uppfattning om vilka lagernivåer som var intressanta att studera är enligt tabell 4 nedan. De fyra kategorierna som identifierades vid den konceptuella modellen förekommer här med andra namn för att minska användning av Å/Ä/Ö i programmering:

Raw - Råmaterial

Cons - Förbrukningsmaterial

Drug - Godkända läkemedel

Pack - Förpackningsmaterial

Kapaciteten anges i antalet lagerplatser för varje kategori. S respektive IS avgör om det är steril eller icke steril produktion. I de modellerna med sammanslaget lager är den totala kapaciteten angiven i fältet för steril produktion och inget är angivet under icke steril.

Tabell 4, *Lagerkapacitet slumpmässiga tester*

Lager- varianter	Kapacite t Raw S	Kapacite t Raw IS	Kapacitet Cons S	Kapacite t Cons IS	Kapacite t Drug S	Kapacite t Drug IS	Kapacite t Pack S	Kapacitet Pack IS	Totala platser
1	200	118	100	59	100	59	10	6	652
2	20	12	10	6	10	6	1	1	66
3	40	24	20	12	20	12	2	1	131
4	107	63	54	32	54	32	5	3	350
5	130	77	65	38	65	38	7	4	424
6	80	47	40	24	40	24	4	2	261
7	200	118	100	59	100	59	10	6	652
8	400	236	200	118	200	118	20	12	1304
9	1070	630	535	315	535	315	54	32	3486

Detta resulterade i 24 olika experiment att testa.

Utfallet från kapitel 3.1.9 Design av experiment var enligt följande. 11 olika lagerstorlekar för sammanslaget lager och 10 för delat lager togs fram. För att kunna särskilja dessa gavs de nummer där den första siffran 1 eller 2 avgjorde ifall det gäller delat respektive sammanslaget lager och den andra siffran avgjorde vilken av de 10 respektive 11 lagernivåerna det gällde.

Tabell 5, Slutgiltiga lagernivåer

Lagerv arianter	Kapacite t Raw S	Kapacitet Raw IS	Kapacite t Cons S	Kapacite t Cons IS	Kapacite t Drug S	Kapacite t Drug IS	Kapacite t Pack S	Kapacite t Pack IS	Totala platser
11	54	32	27	16	27	16	3	2	177
12	107	63	54	32	54	32	5	3	350
13	161	95	81	48	81	48	8	5	527
14	214	126	107	63	107	63	11	6	697
15	374	220	187	110	187	110	19	11	1218
16	534	314	267	157	267	157	27	16	1739
17	802	472	401	236	401	236	40	24	2612
18	1070	630	535	315	535	315	54	32	3486
19	1605	945	803	473	803	473	80	47	5229
110	2140	1260	1070	630	1070	630	107	63	6970
20	43	0	22	0	22	0	2	0	89
21	85	0	43	0	43	0	4	0	175
22	170	0	85	0	85	0	9	0	349
23	255	0	128	0	128	0	13	0	524
24	340	0	170	0	170	0	17	0	697
25	595	0	298	0	298	0	30	0	1221
26	850	0	425	0	425	0	43	0	1743
27	1275	0	638	0	638	0	64	0	2615
28	1700	0	850	0	850	0	85	0	3485
29	2550	0	1275	0	1275	0	128	0	5228
210	3400	0	1700	0	1700	0	170	0	6970

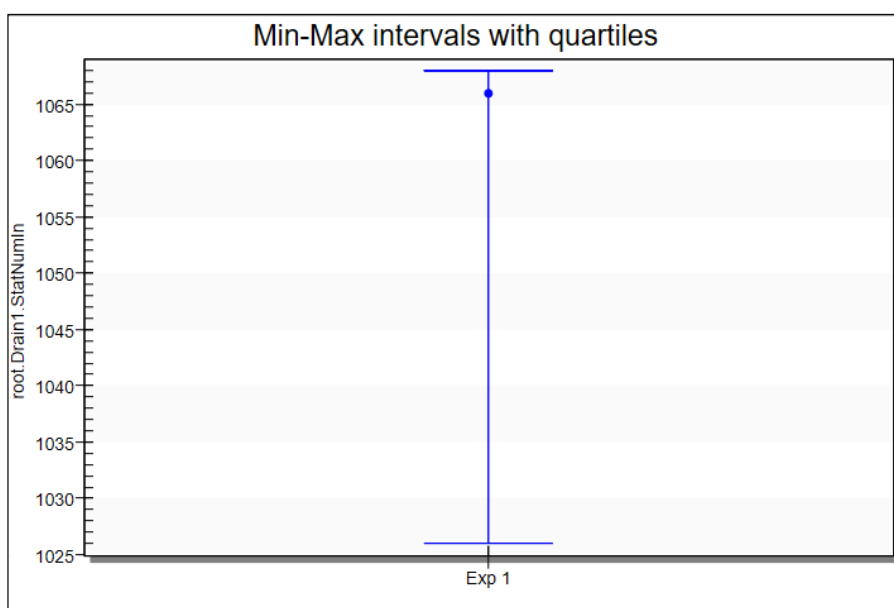
Sammanfattningsvis sker därmed experiment på 24 modeller, varje modell testas på 11 olika varianter och varje test innefattar 100 testkörningar på en arbetsmånad. Totalt blir det 264 varianter på modeller och 264 000 testkörningar. Tiderna som användes var enligt tabell 6 nedan:

Tabell 6, *Tidsåtgång processer*

Enhet	Bästa	Genomsnitt	Sämsta
Kittning	150 s	300 s	450 s
Sluss/inleverans	90 s	60 s	30 s

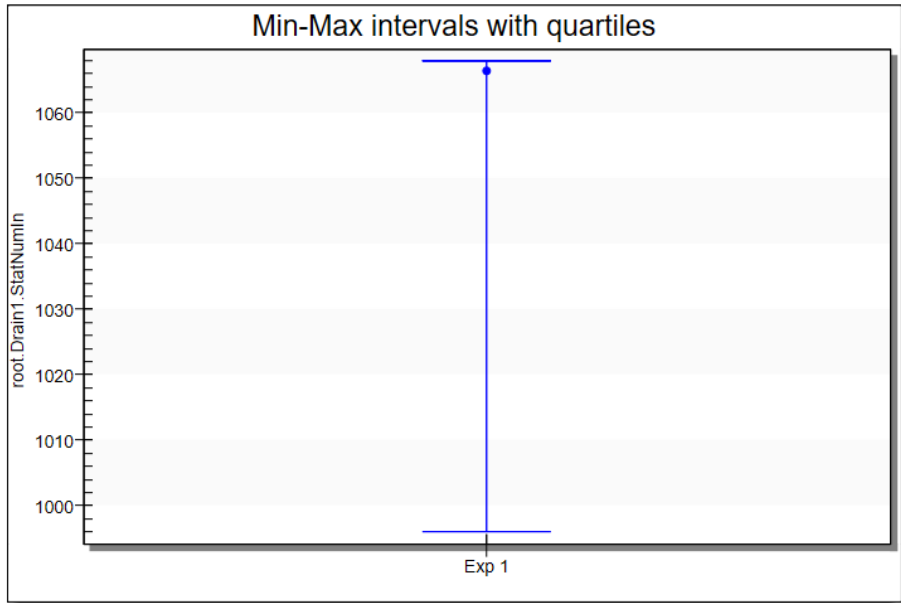
Tiderna matades in i modellen som en uniform fördelning mellan en tid som var 20% snabbare och en tid som var 20% långsammare för att ta i beaktning att olika arbetare arbetar olika snabbt.

Utöver detta så bestämdes antalet körningar för varje test till 100 då fler körningar inte påverkar resultatet nämnvärt men tidsåtgången ökar markant.



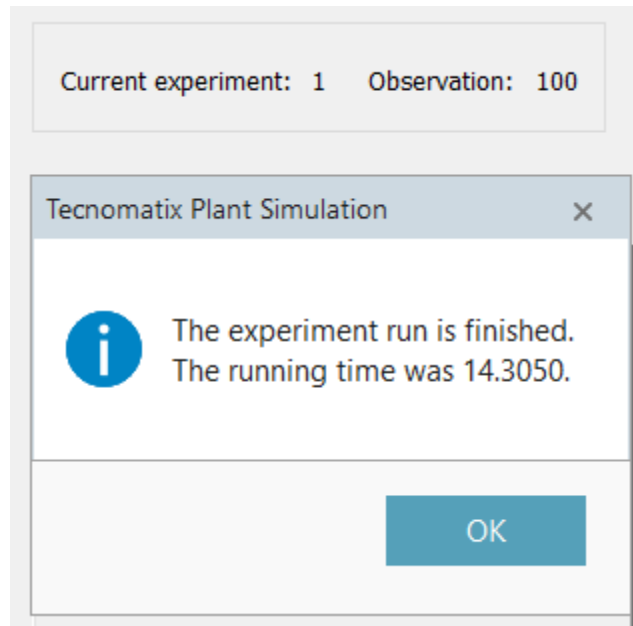
Experiment	root.Drain1.StatNumIn	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Left interval bound	Right interval bound
Exp 1	1065.93	8.10942212938943	1026	1068	1064.32091471664	1067.53908528337

Figur 6, *Resultat 100 körningar*

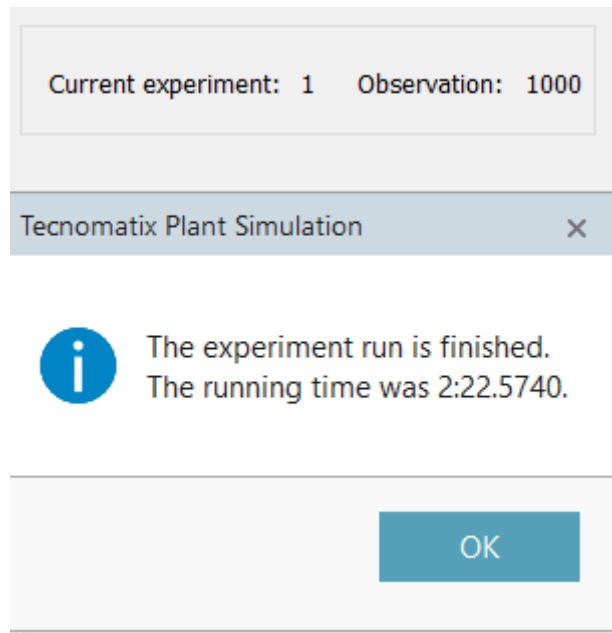


Experiment	root.Drain1.StatNumIn	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Left interval bound	Right interval bound
Exp 1	1066.383	7.54474878535425	996	1068	1065.91481298284	1066.85118701716

Figur 7, Resultat 1000 körningar



Figur 8, Tidsåtgång 100 körningar



Figur 9, Tidsåtgång 1000 körningar

Skillnaden mellan 100 och 1000 tester var ca 0,5 producerade enheter och ca 0.6 i standardavvikelse, eftersom dessa resultat skiljde sig åt så lite bedömdes det vara försumbart i detta fall. Tidsåtgången ökade från cirka 14 sekunder till över 2 minuter och 20 sekunder vilket blir extremt mycket mer tidskrävande sett över de totalt 504 testerna. Det beslutades av författarna att 100 tester var tillräckligt för att ge tillräckligt med data.

Testerna utfördes enligt följande:

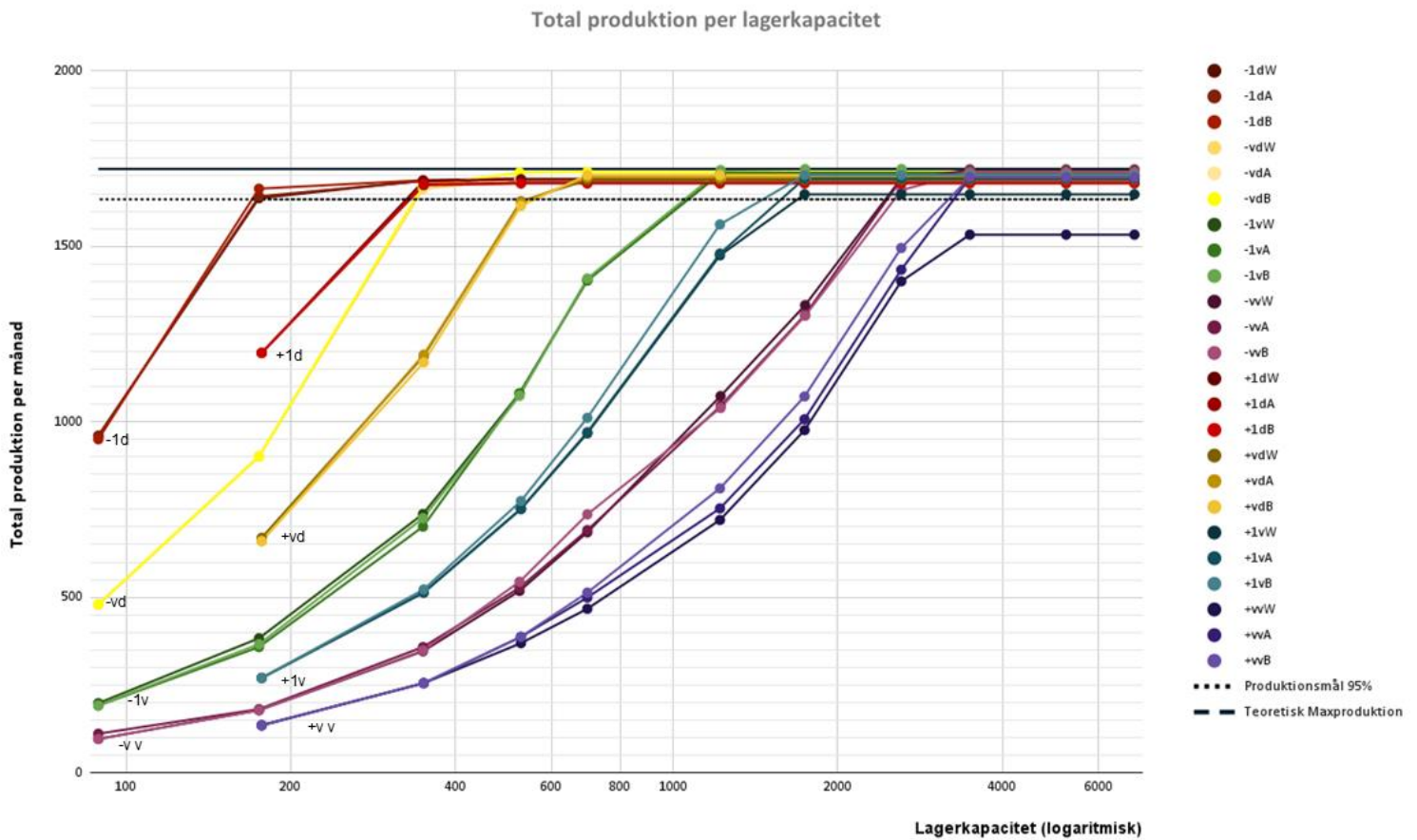
- 1) En av de 24 modellerna väljs, till exempel -1dA (delat lager, leverans en gång i veckan, genomsnittsscenario)
- 2) En av de 11 lagervarianterna valdes.
- 3) 100 tester kördes med hjälp av Experiment Manager.
- 4) Resultaten antecknades och loggades.
- 5) Steg 2–4 upprepades tills alla lagervarianter testats på den aktuella modellen.
- 6) Steg 1–5 upprepades på de kvarvarande 23 modellerna.

## 4.8 Testkörning och analys

Testerna utfördes enligt kap 3.1.9 *Testkörning och analys*. Resultatet sammanställdes för varje testkörning och protokollfördes, för att sedan bli sammanställt till ett diagram, se figur 10, *Produktion per lagerkapacitet*. I diagrammet visas de 24 modellerna beskrivna i föregående kapitel. X-axeln beskriver lagerkapacitet och är logaritmisk för att ge en bättre upplösning och tydligare linjer. Y-axeln visar den uppmätta totala produktion för varje testad totalkapacitet/ lagervariant på lagret, se punkterna i figur 10, med linjära trendlinjer dragna mellan punkterna. Även den teoretiska maxproduktionen och produktionsmålet på 95% av maxproduktionen är utritade.

Diagrammet visar 8 tydliga trendlinjer, där varje trendlinje innehåller 3 modeller. Detta visar att det inte skiljde mycket mellan W, A och B, det vill säga tiderna som de olika processerna tog. På grund av detta har även förtydligande benämningar placerats ut vid varje startpunkt för att visa vilken huvudgrupp av modeller trendlinjen tillhör.

Detta resultat visar att leveranser oftare kräver en mindre lagerkapacitet för att nå en hög produktion, jämför linjerna -1d och +1d med -vv och +vv i figur 10. Diagrammet visar att +1d och -1d kan klara produktionsmålen med knappt 400 artiklar i lagerkapacitet medan -vv och +vv behöver nästan 4000. Detta ter sig naturligt då en tätare frekvens av leveranser möjliggör en mindre storlek av leveranserna vilket i sin tur tar upp mindre plats. Dessutom är det resultatet rimligt, eftersom en tiodubbling av leveransfrekvensen från 1d (varje dag) till vv (varannan vecka, dvs 10 arbetsdagar) antagligen behöver tio gånger så stort lager.



Figur 10, Total produktion per lagerkapacitet

Vidare visar diagrammet att sammanslaget lager är effektivare än uppdelat lager, detta syns i diagrammet genom att varje modell med – når produktionsmålen vid en lägre lagerkapacitet än respektive modell med +.

Resultatet visar också att tiderna för processerna inlagring, kittning och slussning har en försumbar påverkan i jämförelse med lagerstorlek och frekvens av leveranser, då man knappt kan se skillnad på till exempel -1vW, -1vA och -1vB. Den enda gången dessa tider verkar ha någon påverkar är i modell +vvW, som är den enda modellen som inte når produktionsmålet.

## 4.9 Fler experiment?

Eftersom steg 8 och 9 gav ett mycket strukturerat upplägg på testningen var det inte nödvändigt att göra fler experiment då alla parametrar som var intressanta att testa redan hade testats. Därför var det inte nödvändigt att utföra flera körningar eller test förutom i de fallen där resultaten avvek stort från liknande scenarion. I dessa fall kördes testen igen för att bekräfta att resultaten stämde, och i fallen där felinmatning skett uppdaterades siffrorna utefter det nya testet. Ett sådant avvikande fall var +vvW, som var den enda modellen som aldrig nådde produktionsmålen. Modellen testades två gånger till på olika datorer men gav samma resultat varje gång.

## 4.10 Dokumentering och presentation av resultat

Allt resultat dokumenterades i en stor sammanställningsfil.

Därefter presenterades resultatet likt kapitel 4.8 för supply chain på APL för att kontrollera att resultatet var relevant och rimligt. Slutsatsen som drogs från det mötet var att resultatet var högst relevant, även om det också var väntat. Många av de problem som har identifierats var APL redan medvetna om och det finns planer om att försöka förbättra vissa aspekter. Till exempel lyftes frågan huruvida ett mer ökat samarbete med APL:s centrallager i Malmö kan användas för att effektivisera arbetet.

## 5. Diskussion

Resultatet från simuleringen ger nu en grund till att diskutera hur aspekter inom materialhanteringen påverkar läkemedelsindustrin. För att återgå till nulägesanalysen (kapitel 4.1.1) kan ett resonemang föras kring de specifika frågor som författades:

- Hur påverkas läkemedelsproduktionen av följande parametrar i materialhanteringen:
  - a. Frekvens och storlek på leveranser av material till tillverkningen?
  - b. Kapacitet och storlek på lager utanför steril zon?
  - c. Tider för:
    - i. Inlagring av insatsmateriel från godsmottagning till lagerhylla?
    - ii. Kitting och plock av produktionsordrar utanför steril zon?
    - iii. Inslussning till tillverkningsytorna i steril zon?
  - d. Sammanslaget eller uppdelat lager till steril och icke steril tillverkning?

- a. Frekvensen och storleken på leveranser har en synnerligen stor påverkan på produktionen. Som resultatet visar så är en hög frekvens nödvändig för ett litet lager. Däremot leder en hög frekvens av leveranser till ett ökat arbete, både i planering och beräkning av behov. För APL är även situationen mer komplex än vad simuleringsmodellen kan visa, då varje artikel ofta har en egen varierande frekvens samt att beställningsproceduren sker på olika sätt. Vissa artiklar inspekteras lagersaldot manuellt på och beställs manuellt när det börjar bli lågt saldo. Detta i sin tur gör att behoven blir ännu svårare att planera för och leder till att beställningar på råmaterial ofta läggs med väldigt korta ledtider.
- b. Likt punkt a är lagerstorlek och frekvenser av leveranser sammankopplade och man behöver ta hänsyn till båda för att kunna fatta beslut. Besluten blir därmed svårare att fatta när problem uppstår med leveranserna från punkt ett, vilket startar en ond cirkel. Det sätt som APL löser detta problem är genom att personalen är väldigt kunnig och erfaren, och motverkar problem med lagerstorlek, till exempel genom att manuellt inspektera lagret och fatta egna beslut som affärssystemet missar. Denna metod är effektiv för ett företag med hög flexibilitet och kunnig personal, men blir i sin tur

sårbar då den kräver att arbetarna stannar kvar på företaget och inte blir frånvarande på grund av sjukdomar eller liknande.

- c. Tiderna har inte en stor inverkan enligt simuleringen och resultatet. Dock är det resultatet endast lika bra som de antaganden som det är byggt på, då modellen inte har inkluderat brådskande ordrar som ibland kommer till APL. Dessa brådskande ordrar kräver ofta att alla steg i processen sker så snabbt som möjligt. Däremot gäller även i dessa fall det som visats i resultatet, det vill säga att det viktigaste faktorn för en lyckad produktion är att rätt material finns i rätt mängd.
- d. Ett uppdelat eller sammanslaget lager är enligt undersökningen mycket beroende på de rutiner som brukas vid lagret. I simuleringen kunde arbetarna vid inlagring samarbeta i fallet med sammanslaget lager vilket ledde till den ökade effektiviteten jämfört med ett uppdelat lager. Däremot är det inte omöjligt att i verkligheten nå samma effektivitet i ett uppdelat lager som i ett sammanslaget, men för att uppnå detta krävs det samarbete. Detta samarbete hade betytt att personalen kan fatta beslut om vad som behöver göras för att fördela arbetskraften därefter.

## 5.1 Implikationer

Efter analys av utfallet från simuleringen upptäcktes det att den enskilt största faktorn för att produktionen inte ska avstanna är att lagret och inleveranserna är balanserade. Tider inom materialhanteringen har inte någon nämnvärd påverkan på antalet tillverkningar så länge dessa inte överskrider en rimlig gräns. Produktionen kommer självfallet att påverkas ifall alla steg i materialhanteringen tar dubbelt så lång tid som takt-tiden men i detta fall var det inte ett realistiskt scenario. Detta medför att optimering av systemen för lagerhanteringen är ett område där energi bör läggas för att ta fram en bättre process.

Något som upptäcktes i modellen var att varianten med sammanslaget lager fungerade bättre vid lägre lagerkapaciteter. Detta beror troligen på modellens uppbyggnad, där de två inlagringsstationerna kunde samarbeta och hantera olika materialkategorier samtidigt vilket ökade effektiviteten i inlagringen. I varianten med uppdelade lager var inlagringsstationerna upptagna med en materialkategori åt gången vilket ledde till att i de fall där en artikel inte fanns tillgänglig i lager behövde inlagringsstationen först slutföra den påbörjade inlagringen innan den saknade artikeln kunde börja inlevereras.

### 5.1.1 Förutsättningar för lågkapacitetslager

I de fall där låg lagerkapacitet är önskvärd är det av yttersta vikt att inleveranser fungerar på ett effektivt sätt. Det är även mycket viktigt att kunna lita på prognoser, data och lagersaldon i affärssystemen och beslut bör ej tas på grund av erfarenhet eller en känsla av att en vara börjar ta slut.

Det är viktigt att information finns tillgänglig i hela kedjan och det kan även behöva delas med andra enheter som till exempel centrallager för att undvika att felaktiga slutsatser dras från beställningar. I APL:s specifika fall har de implementerat delar av JIT (kap 2.4.1 *Just in Time*) filosofin vilket kräver en del förutsättningar som kan vara väldigt svåra att uppnå. Det finns förbättringspotential till exempel genom ett mer utvecklat samarbete med centrallagret, detta är en förutsättning för att leveranskedjor ska fungera optimalt i alla steg. För att ett mindre lager ska kunna fungera på bästa sätt kommer planeringsdata att behöva delas med centrallagret så att beslut om lagerföring där kan fattas utefter en gemensam prognos.

På dagsbasis varierar insatsmaterialet en hel del, men på månadsbasis är variationerna relativt små, det betyder att ett centrallager bör kunna lagerföra mer än ett par månaders behov framåt. Det bör åtminstone föras statistik över förbrukning med lättbegripliga enheter som är tillgänglig för centrallagret så att trender kan urskiljas för att se till att material alltid finns tillgängligt.

Ett annat problem med verksamheten är att lagersaldon inte alltid stämmer, vilket leder till att personalen inte litar fullt ut på tillgängliga data även om det för det mesta stämmer. En tilltro till systemet är en förutsättning som är nödvändig för att beställningspunkter ska fungera korrekt. Detta kan också leda till en ond spiral, om personalen inte litar på systemet är det mindre troligt att de väljer att följa de förslag som systemet genererar. På så sätt får systemet ingen feedback och kan inte korrigera förslagen till nästa gång, vilket återigen minskar förtroendet. Detta problem har diskuterats, vilket har lett till att personalen nu är medvetna om det och en plan för att bättre arbeta tillsammans i systemet finns, vilket istället skapar en positiv feedback-loop där systemets förslag blir bättre och bättre och förtroendet ökar.

## 5.2 Datakvalitet

Datakvalitet är likt tidigare beskrivet viktig i simulering, och modellen kan bara bli så bra som den input som ges. I detta fall användes data främst från APL:s affärssystem, vilket många anställda inte litar på fullt ut likt tidigare nämnt, något som är väldigt vanligt i dagens digitala industri. Att data är tillförlitlig av alla på arbetsplatsen är en dimension av datakvalité som är viktig för användningen av sagd data. Om indata i simuleringsmodellen inte är helt tillförlitlig kan därmed modellen inte heller kan bli helt litad på som beslutsunderlag (se kap 2.2 *Datakvalité*), även utan de förenklingar, avgränsningar och antaganden som gjorts i denna studie. Dessutom är den verkliga modellen så pass mer komplex med mänskliga faktorn, varierande arbetssätt, produktionsordrar där farmaceut granskar och uppdaterar ordrar och individuella beslut. Även med mer fulltäckande data hade det varit svårt att nå en modell som helt återspeglar verkligheten i en så komplex industri.

Däremot kan fortfarande lärdomar dras, de antaganden och avgränsningar som har gjort har lett till att modellen återspeglar en mer generell produktionsmiljö, vilket gör att undersökningen kan tillämpas på många andra liknande industrier med hög varians och låg produktion.

Resultaten från datainsamlingen belyser även vikten av digitalisering hos företag som simulering skall utföras på. För att mer effektivt kunna utföra en undersökning krävs det att företaget har en stor vana och rutin för hur de behandlar och lagrar data och uppfyller de dimensionerna som listas i tabell 1, *Data quality Dimensions*, kapitel 2.2. Självfallet kan detta vara enklare sagt än gjort i en industri som har höga varianser där det kräver att människor fattar egna beslut, dock borde det finnas mycket att vinna om dessa mänskliga beslut på något sätt kunde dokumenteras bättre.

## 5.3 Utvärdering av metod

Då metoden var väldigt generellt formulerad var den enkel att implementera i detta fall. Det som märktes var dock att Banks modell är kanske mer utformad med ett konsultarbete i åtanke och inte ett forskningsprojekt som detta arbete är. En nackdel med generaliteten i metoden var dock att den utelämnar en hel del processer som behövde göras i just detta fall, till exempel fysisk validering likt den som genomfördes i labbmiljö, se kapitel 4.6.1

*Validering av tider.*

## 6. Slutsatser

Rapporten visar vikten av att ha en balanserad materialhantering, någonting som kan vara svårt att implementera i ett verkligt system med människor som fattar beslut efter egen erfarenhet och kunskap. Det är ett viktigt område att försöka optimera och till exempel undersöka en metod för att lagra den kunskapen som de anställda har till ett digitalt system vilket hade varit väldigt intressant för fortsatta studier.

Målet med studien var att svara på följande frågeställning:

- Vilka aspekter inom materialhantering i läkemedelsindustrin har stor påverkan på produktionen?

Studien visar att lagerstorlek samt frekvens och storlek på leveranser har stor påverkan på systemet. Det krävs ett samspel mellan dessa vilket i sin tur kräver en god planering och kunskap kring materialbehovet samt en god datakultur där alla hjälps åt att dela kunskap och information.

- Hur kan simulering användas för att undersöka dessa aspekter?

Simulering kan användas för att se vilka kombinationer av parametrar som passar företagen samt visualisera hur sambandet mellan olika aspekter ser ut.

Dessa slutsatser tillsammans med diskussionen bidrar till att öka förståelsen för hur olika faktorer påverkar materialhanterings ytbehov och effektivitet samt öka kunskapen om hur simulering kan användas i industrin.

## 7. Källor

- [1] *EudraLex – Volume 4 – Good Manufacturing Practice (GMP) guidelines*. (2019). European commission. Hämtad från: [https://ec.europa.eu/health/medicinal-products/eudralex/eudralex-volume-4\\_en](https://ec.europa.eu/health/medicinal-products/eudralex/eudralex-volume-4_en)
- [2] *Extempore, lagerberedning och rikslicensläkemedel*. (2019). Läke medelsverket. Hämtad från: <https://www.lakemedelsverket.se/sv/behandling-och-forskrivning/forskrivning/extemporelakemedel>
- [3] J. Banks, “Introduction to simulation,” in Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference. 2000. Hämtad från: <https://www.informs-sim.org/wsc00papers/003.PDF>
- [4] Siemens, “Technomatix”, 2022, Hämtad från: [https://its-plm.si/wp-content/uploads/2014/08/Tecnomatix\\_Siemens\\_PLM\\_brochure.pdf](https://its-plm.si/wp-content/uploads/2014/08/Tecnomatix_Siemens_PLM_brochure.pdf) (Hämtad 2022-02-24)
- [5] Bandyopadhyay, S., & Bhattacharya, R. (2014). *Discrete and Continuous Simulation*. Taylor & Francis. Hämtad från: [https://books.google.se/books?hl=sv&lr=&id=IDf6AwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=discrete+vs+continuous+simulation&ots=zw0i5MPitr&sig=3YeHVbERgvHbXZISq\\_xZQuZh1rY&redir\\_esc=y#v=onepage&q=discrete%20vs%20continuous%20simulation&f=false](https://books.google.se/books?hl=sv&lr=&id=IDf6AwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=discrete+vs+continuous+simulation&ots=zw0i5MPitr&sig=3YeHVbERgvHbXZISq_xZQuZh1rY&redir_esc=y#v=onepage&q=discrete%20vs%20continuous%20simulation&f=false)
- [6] *Discrete Event Simulation*. (n.d.). Kinetic Modeling and Simulation. Hämtad från: <https://www.med.upenn.edu/kmas/DES.htm> (Hämtad 2022-02-25)
- [7] *A world leader in 3D simulation*. (n.d.). Visual Components. Hämtad från: <https://www.visualcomponents.com/about-us/> (Hämtad 2022-03-11)
- [8] *Plant Simulation and Throughput Optimization / Siemens Software*. (n.d.). Siemens Digital Industries Software. Hämtad från: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/manufacturing-planning/plant-simulation-throughput-optimization.html> (Hämtad 2022-03-11)
- [9] *Simulation AutoMod / Applied Materials*. (n.d.). Applied Materials. Hämtad från: <https://www.appliedmaterials.com/automation-software/automod> (Hämtad 2022-03-11)

[10] *Technomatix Plant Simulation Help*. (n.d.). Tecnomatix Plant Simulation Help. Hämtad från:

[https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant\\_sim\\_help/15.1/plant\\_sim\\_all\\_in\\_one.html/en\\_US/tecnomatix\\_plant\\_simulation\\_help/objects\\_reference\\_help/tools/experimentmanager/experimentmanager\\_object.html](https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant_sim_help/15.1/plant_sim_all_in_one.html/en_US/tecnomatix_plant_simulation_help/objects_reference_help/tools/experimentmanager/experimentmanager_object.html) (Hämtad 2022-05-03)

[11] Pipino, L, L. Lee, Y, W & Wang, R, Y. (2002) *Communication of the ACM – Data quality assessment*. Volym 45, version 4. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/505248.506010>

[12] Warnecke, H., & Hüser, M. (1995). Lean production. *International Journal of Production Economics*, 41(1–3), 37–43. Hämtad från: [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(95\)00080-1](https://doi.org/10.1016/0925-5273(95)00080-1)

[13] Monden, Y. (2011). *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time, 4th Edition* (4th ed.). Productivity Press. Hämtad från: [https://books.google.se/books?hl=sv&lr=&id=M73MBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=just+in+time&ots=haQzIdZGg&sig=kc8DBNyqRRVU4x73QZTtKgt6WfA&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.se/books?hl=sv&lr=&id=M73MBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=just+in+time&ots=haQzIdZGg&sig=kc8DBNyqRRVU4x73QZTtKgt6WfA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH  
MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2022

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**