CHALMERS

Utveckling av lösning för simulering av flexibla och konfigurerbara produktionssystem

Development of solution for flexible and reconfigurable production systems

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet inom Maskinteknik

Daniel Ingvarsson
Filip Johansson

INSTITUTIONEN FÖR Industri- och materialvetenskap
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE2023

Utveckling av lösning för simulering av flexibla och konfigurerbara produktionssystem

Development of solution for simulation of flexible and reconfigurable production systems

DANIEL INGVARSSON
FILIP JOHANSSON

Institutionen för industri- och materialvetenskap
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023

Utveckling av lösning för simulering av flexibla och konfigurerbara produktionssystem

Development of solution for simulation of flexible and reconfigurable production systems

Daniel Ingvarsson

Filip Johansson

© Daniel Ingvarsson, 2023

© Filip Johansson, 2023

Handledare: Torbjörn Ylipää, Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Handledare: Erik Lindskog & Johan Vallhagen, GKN Aerospace Sweden AB

Examinator: Torbjörn Ylipää, Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Examensarbete 2023

Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Telefon +46 31 772 1000

Chalmers digitaltryck

Göteborg, Sverige 2023

Förord

Det är med både glädje och stolthet som vi presenterar detta examensarbete utfört på GKN Aerospace Sweden AB i Trollhättan. Denna rapport presenterar resultat som syftar till att utforska och demonstrera flexibilitet och konfigurerbarhet i produktion genom användning av simuleringsprogrammet Tecnomatix Plant Simulation.

Stort tack till GKN Aerospace Sweden AB för att de har gett oss möjligheten att genomföra detta examensarbete hos dem. Ett särskilt tack riktas till handledarna Erik Lindskog och Johan Vallhagen samt övrig personal som har bidragit med värdefull vägledning, kunskap och stöd under hela processen. Era insatser har varit ovärderliga och har bidragit till att göra detta arbete möjligt. Vi vill även rikta ett stort tack till vår handledare och examinator på högskolan Torbjörn Ylipää för all support.

SAMMANFATTNING

Examensarbetet genomfördes på GKN Aerospace Sweden AB Trollhättan under vårterminen 2023. Syftet med arbetet var att undersöka och demonstrera flexibilitet och konfigurerbarhet i produktionsceller genom utveckling av en simuleringsmodell i Plant Simulation. Bakgrunden för examensarbetet ligger i den snabbt växande flygindustrin, där behovet av nya flygplan förväntas fördubblas under de kommande 20 åren. Detta ökar produktionskapacitetkraven vilket skapar möjligheter och utmaningar för att möta efterfrågan.

Syftet med examensarbetet var att utveckla en anpassningsbar simuleringsmodell i Plant Simulation för att demonstrera flexibel och konfigurerbar produktion. Genom att utföra simuleringar och dra slutsatser från resultatet ville arbetet undersöka produktionscellers flexibilitet och konfigurerbarhet samt bidra till framtida industriella systemlösningar.

Arbetet utgick från ett produktionsscenario från GKN Aerospace, där en micro-flowcell och CNC-maskiner används för att bearbeta och inspektera komponenter. En simuleringsmodell baserad på detta scenario utvecklades i Plant Simulation. Modellen skulle vara konfigurerbar och kunna anpassas under simuleringen genom att ändra processtider, processföljd, volymer, personal och arbetstider. I rapporten kan läsaren få information kring vilka metoder och vilken arbetsgång som har använts. Banks modell har varit central i arbetet att bygga upp en flexibel och konfigurerbar modell.

Resultatet av simuleringarna visar en flexibel och konfigurerbar modell. Kraven som ställts för att visa en flexibel och konfigurerbar modell har uppnåtts genom att bygga modellen med enkelt ändrade tabeller och metoder. Modellen visar på en flexibilitet visuellt under simuleringarna men är även flexibel i hur den kan användas och ändras för att uppnå målet som användaren har.

ABSTRACT

The thesis was conducted at GKN Aerospace Sweden AB in Trollhättan during the spring of 2023. The purpose of the project was to investigate and demonstrate flexibility and reconfigurability in production cells through the development of a simulation model in Plant Simulation. The background of the thesis lies in the rapidly growing aerospace industry, where the demand for new aircraft is expected to double in the next 20 years. This increases the requirements of the production capacity, which lead to opportunities and challenges to meet the demand.

The aim of the thesis was to develop an adaptable simulation model in Plant Simulation to demonstrate flexible and reconfigurable production. By performing simulations and drawing conclusions from the results, the work aimed to explore the flexibility and configurability of production cells and contribute to future industrial system solutions.

The project was based on a production scenario from GKN Aerospace, where a micro-flow cell and CNC-machines were used to process and inspect parts. A simulation model based on this scenario was developed in Plant Simulation. The model had to be reconfigurable and adaptable during the simulation by changing process times, process sequences, volumes, personnel and working hours. The report provides information on the methods and workflow used in the study. Banks' model has been central in building a flexible and reconfigurable model.

The results of the simulations demonstrate that a flexible and configurable model has been created. The requirements for demonstrating a flexible and configurable model have been achieved by building the model with easily modifiable tables and methods. The model visually demonstrates flexibility during the simulations but is also flexible in how it can be used and modified to achieve the user's goal.

Innehåll

1. Inledning 1
   1.1 Bakgrund 1
   1.2 Syfte 2
   1.3 Mål 2
   1.4 Precisering av frågeställning 2
   1.5 Beskrivning av scenario från GKN 3
   1.6 Avgränsningar 5
2. Teoretisk referensram 6
   2.1 Diskret händelsestyrd simulering (DES) 6
   2.2 Flexibla tillverkningssystem (FMS) 6
   2.3 Konfigurerbara tillverkningssystem (RMS) 7
3. Metod 9
   3.1 Litteraturstudie 9
   3.2 Simuleringsmetodik 9
   3.2.1 Observationsstudie 10
   3.2.2 Datainsamling 11
   3.2.3 Simuleringsmodellsbyggande 11
   3.2.4 Kodning – SimTalk 14
   3.2.5 Verifiering 15
   3.2.6 Validering 15
   3.2.7 Simulering och analyser 15
   3.2.8 Resultat och dokumentering 16
4. Resultat 17
   4.1 Allmänt om modellen 17
   4.2 Förklaring av modell 19
   4.3 Simulering av olika scenarion 23
   4.3.1 Produktionsvolymer 23
   4.3.2 Flaskhalsar 24
   4.3.3 Förändring i systemet och flexibilitet 30
5. Diskussion 31
   5.1 Avgränsningar 31
   5.2 Teoretisk referensram 31
   5.3 Simuleringsmetodik 31
   5.3.1 Simuleringsbyggande 32
   5.4 Resultat 35

5.5 Allmänt om simulering 36
5.6 Användande av modellen 36
5.7 Hållbarhet 37
6. Slutsats 38
Referenser 39
Bilagor 41
Bilaga 1. Beräkningar för intervallet 41

ORDLISTA

Micro-flow cell – Ett delsystem med mikroflöde med flera processer
RMS – Reconfigurable Manufacturing System
Plant Simulation – Tecnomatix Plant Simulation
CNC-maskin – Computer Numerical Control, en maskin som kan tillverka komplicerade komponenter på ett enhetligt och automatiskt sätt
DES – Discrete Event Simulation
FMS – Flexible Manufacturing System
SimTalk – Kodspråket i simuleringsprogrammet
AM – Additive Manufacturing

1.Inledning

Examensarbetet har utförts på GKN Aerospace Sweden AB Trollhättan under vårterminen 2023. I följande kapitel kommer bakgrunden, syftet och målet med arbetet, samt tydliggörande av frågeställningar för arbetet att presenteras och preciseras. Även beskrivning av scenariot från GKN och avgränsningar för arbetet presenteras och preciseras.

1.1 Bakgrund

Flygindustrin växer snabbt och prognosen för behovet av nya flygplan de kommande 20 åren är mycket hög. Världens flygplansflotta förväntas att dubbleras och i kombination med utbyte av gamla befintliga flygplan gör det att produktionskapaciteten för branschen kommer att öka med mer än 40% under denna period. [1] Vilket innebär utmaningar och nödvändiga inventeringar för att kunna möta efterfrågan. Det kommer också skapas möjligheter och troligtvis nya krav på att göra förbättringar och maximera de befintliga tillgångarna.

Detta är utgångspunkten för examensarbetet med motivet att kunna visa på flexibilitet och konfigurerbarhet genom användning av ett simuleringsverktyg. Målet med arbetet är att med hjälp av resultatet kunna dra slutsatser kring produktionscellers flexibilitet och konfigurerbarhet men även vara ett bidrag till framtida åtgärder.

Industriella systemlösningar som kan behövas är ökad automation, flexibilitet och konfigurerbarhet för att öka produktiviteten samt minska ledtider och förbättra resursutnyttjandet. I ett tidigt skede utvecklades en konceptuell ram och en principbeskrivning av ett modulärt produktionskoncept kallat *micro-flow cell* [2]. Syftet med detta var att konkretisera de utmaningar och mål samt de åtgärder som bör genomföras och undersökas.

Tillverkningsprocessen av en jetmotors komponenter är ofta komplexa och med mycket höga kvalitetskrav. Produktionssystemen behöver vanligtvis hantera mängder av olika slags komponenter som ska tillverkas. Dessa produktionssystem har traditionellt sätt organiserats omkring centrat för bearbetning och kvalitetskontroller. [1] Framtida tillverkningsmetoder kräver att produktionssystemen integrerar med flera typer av processer, exempelvis additiv tillverkning, inspektionsmetoder och ytbehandlingar. Att systemen är flexibla och kan adressera förändrade krav och processvariationer är en nödvändighet. De behöver också konfigureras frekvent för att använda de bäst lämpade tillgängliga bearbetningsprocesserna och kunna implementera nya processer men även kunna anpassas till nya typer av produkter.

Simuleringsmodeller används idag vid skapandet av nuvarande och framtida produktionssystem för att kunna analysera, förbättra och optimera produktionen. [3] Modellerna kan simuleras i valfritt tidsintervall men vanligtvis simuleras flera år av produktion, främst på grund av de långa och varierande bearbetningstiderna. För att möta framtida krav på flexibla och konfigurerbara produktionssystem behöver simuleringsmodeller skapas på ett sådant sätt att de möjliggör ändringar under simuleringsförloppet och visa på flexibilitet. [1]

Ett konfigurerbart produktionssystem *reconfigurable manufacturing system* - RMS är designat från början för att möjliggöra snabba förändringar av konfigurationen (hårdvara, mjukvara och

styrkomponenter) för att snabbt och kostnadseffektivt anpassa produktionskapaciteten och funktionaliteten till dynamiska marknadskrav. [4] RMS är vanligtvis designade runt produktfamiljer, vilket innebär att varje produktfamilj motsvarar en specifik konfiguration och konfigurationerna utvecklas över tiden för att tillhandahålla de specifika funktioner och kapaciteter som behövs för att producera alla komponenter i en familj under en given period.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att utveckla en simuleringsmodell i Plant Simulation som kan anpassas under simuleringen för att demonstrera konfigurerbar och flexibel produktion. Arbetet syftar också till att dra slutsatser kring produktionscellers flexibilitet och konfigurerbarhet samt bidra till utvecklingen av industriella systemlösningar som kan öka produktiviteten, minska ledtider och förbättra resursutnyttjandet.

1.3 Mål

Modellen ska lägga grund för att möjliggöra vidareutveckling för liknande scenarion och dess lösningar på flexibilitet ska kunna användas i andra uppbyggnader av nya simuleringsmodeller.

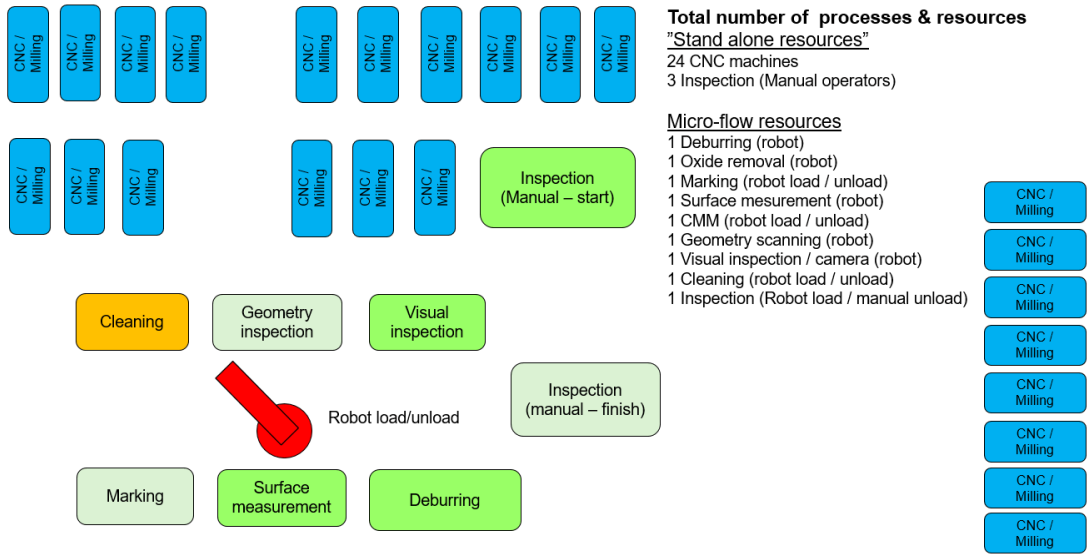
1.4 Precisering av frågeställning

Frågeställningen som arbetet legat till grund för besvaras i rapporten och är följande:

- *Hur kan en simuleringsmodell byggas som demonstrerar flexibel och konfigurerbar produktion i Plant Simulation?*

1.5 Beskrivning av scenario från GKN

Produktionsscenariot som hela arbetet baseras på är framtaget av GKN och innehåller en *micro-flow cell* där CNC-bearbetade komponenter genomgår fyra olika stationer. Dessa är: gradning, tvätt, geometriscanning och inspektion. Additivt tillverkade komponenter genomgår sju stationer vilka är: gradning, ytjämnhetsmätning, märkning, tvätt, geometriscanning och inspektion. Cellen innehåller även en tillhörande robot som förflyttar komponenterna mellan de respektive stationerna samt utför själva gradningsarbetet vid gradningsstationen. Utöver robotcellen innehåller scenariot 24 CNC-maskiner och en inspektionsstation för komponenter som ska in i produktionssystemet. Samtliga komponenter passerar första inspektionen för att sedan hamna i någon av de olika CNC-maskinerna alternativt om komponenten redan är additivt bearbetad, går den direkt vidare till *micro-flowcellen* där processvägen ska kunna variera beroende på vilket processflöde som är valt för respektive komponent. (Se hela flödet i figur 1). Scenariot ska lägga grund för simuleringsmodellen.

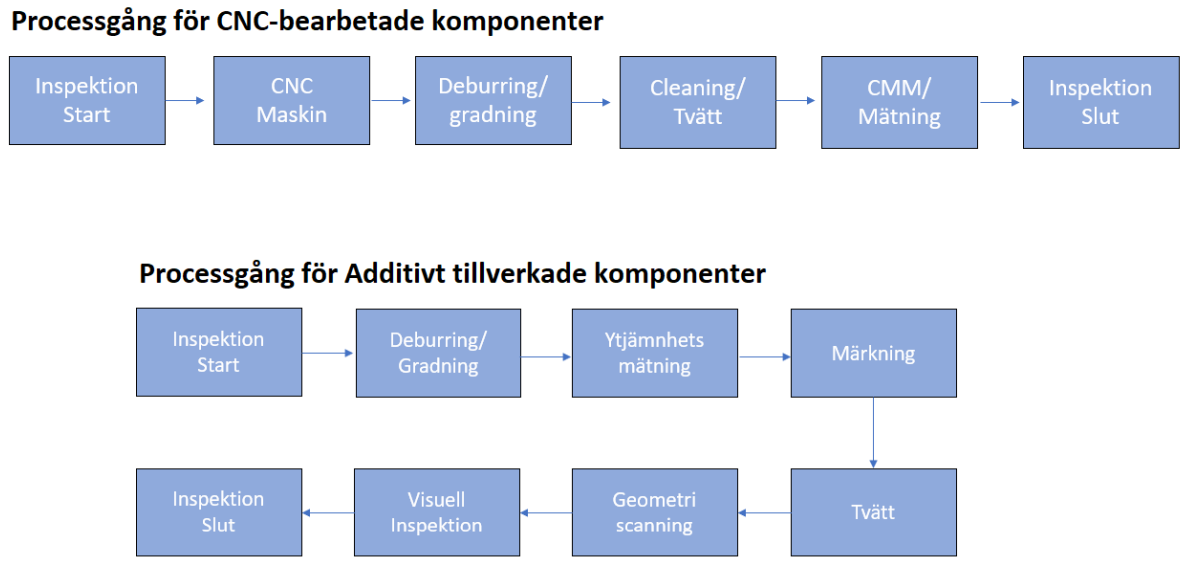


Figur 1 - Produktionsscenariot

För att enkelt kunna ändra processtiderna, processföljden, volymerna, mängden personal, arbetstiderna och semesterveckor för arbetarna i modellen ska ett exceldokument upprättas. I dokumentet fylls alla data i för det scenariot man vill simulera och ha det samlat på ett ställe, snarare än att fylla i flera olika tabeller i simuleringsmodellen. Processföljden för respektive komponent visas i figur 2. Antalet arbetstimmar på en vecka är 105,5h och sex arbetare per skift. Produktionsvolymer för det angivna scenariot med syfte att genomföra tester ses i tabell 1.

Tabell 1- Produktionsvolymer

Komponenter med CNC-bearbetning	**Komponenter/vecka**	**Procentuellt av CNC-bearbetade komponenterna**
Part A	15–45	20%
Part B	25–75	33,3%
Part C	25–75	33,3%
Part D	10–30	13,3%
Additivt tillverkade komponenter	**Komponenter/vecka**	**Procentuellt av additivt tillverkade komponenter**
AMpart 1	5–15	33,3%
AMpart 2	10–30	66,6%



Figur 2 - Processgång för komponenterna

1.6 Avgränsningar

Examensarbetet kommer att fokusera på en specifik produktionslinje där samtliga komponenter bearbetas i CNC-maskinerna eller tillverkats additivt innan de hamnar i robotcellen där varje komponent ska kunna ha en egen processväg och inte behöva ha likadan som övriga komponenter. Simuleringsmodellen kommer att utvecklas utifrån produktionsscenariot och kommer inte att ta hänsyn till eventuella externa faktorer som kan påverka produktionsflödet, såsom leveransförseningar, produktionsstörningar eller maskinavbrott på grund av underhåll. Dessutom kommer inte undersökningen av behovet av en ytterligare robotcell att ta hänsyn till eventuella kostnads- eller tidsbegränsningar för att införa en ny robotcell eller utöka den befintliga.

Slutligen kommer optimeringsåtgärder, för att undvika att CNC-maskiner och robotceller står stilla under natten, begränsas till de befintliga resurserna och de produktionsprocesser som omfattas av simuleringsmodellen. Det handlar främst om att schemalägga när vissa komponenter får köras i maskinerna och inte, för att undvika att komponenterna blir klara strax efter skiftslut.

2. Teoretisk referensram

I följande avsnitt presenteras de teoretiska ramverk som ligger bakom rapporten. Teori som används ligger till grund för att besvara arbetets syfte.

2.1 Diskret händelsestyrd simulering (DES)

En diskret händelsestyrd simulering eller *discrete event simulation* (DES) modellerar driften av ett system som en diskret sekvens av händelser i tiden. Varje händelse sker vid ett visst ögonblick i tiden och visar en ändring av tillstånd i systemet. [5] Mellan dessa händelser sker ingen förändring av systemet vilket gör att simulationen direkt kan hoppa till nästa händelse, vilket heter *next event time progression.*

Incremental time progression är ett annat tillvägagångsätt till DES. Till skillnad från *next event time* progression där simulationen hoppar mellan händelser är *incremental time progression* ett sätt att dela upp tiden i små bitar. [6] Simulationen uppdateras efter händelserna som sker i bitarna. Eftersom simulering med *next event time progression* hoppar över onödig simulering där det inte sker någon händelse kan simuleringen typiskt köra snabbare än simulering med *incremental time progression*. [6] Båda formerna av DES ska inte blandas ihop med kontinuerlig simulation, där systemet ändras kontinuerligt över tid med hjälp av differentialekvationer som definierar förändringshastigheten av tillståndsvariabler. [6]

Ett scenario för att förtydliga kan vara att en komponent i systemet ligger i början på ett transportband, detta kan ses som Händelse 1. Nästa tillstånd är att delen har transporterats och ligger nu i slutet på transportbandet, det är Händelse 2. Eftersom DES antar att inga förändringar sker mellan händelser kommer programmet endast att notera tiderna för Händelse 1. och Händelse 2. Mjukvaran har bara registrerat tidpunkterna för Händelse 1. och Händelse 2. och kommer att lägga till tiden det tar för komponenten att transporteras från start till slut av transportbandet genom variabler som längd och hastighet på transportbandet. Programmet sparar data som diskreta istället för kontinuerliga värden i tiden vilket gör simulationshastigheten hög.

2.2 Flexibla tillverkningssystem (FMS)

Flexibla tillverkningssystem har framkommit med tiden. På 1960-talet började konkurrensen på marknaden bli mer intensiv och fram till 70-talet var det kostnaden som var den primära oron. [7] Senare började kvalité och snabba leveranstider bli faktorer konsumenterna krävde. Utifrån dessa faktorer skapades en ny strategi som kallades anpassningsbarhet, där företagen behövde anpassa sig och bli mer flexibla för att få en konkurrenskraft att tillfredsställa olika marknadssegment. Genom denna anpassningsbarhet och flexibla miljö, blev FMS en teknologi och filosofi för att skapa en konkurrensfördel på marknaden. [7]

Flexible manufacturing systems (FMS) är utformade för att ge tillverkare möjlighet att göra plötsliga ändringar i produktionsplanerna. Målet är att enkelt kunna anpassa processen till ändrade förutsättningar i fabriken. Detta kan omfatta allt från att introducera nya produkter in i systemet till att ändra storlekarna på ett parti eller omordna processsekvensen.[4]

Definitionen av ett flexibelt tillverkningssystem är en anordning av maskiner, som är sammankopplade med ett transporteringssystem. [7] Transportsystemet förser arbete till maskinerna med hjälp av pallar för att registrering ska ske exakt, automatiskt och snabbt. En centralstyrd dator kontrollerar både maskiner och transportsystem. [7]

Det finns två huvudtyper av FMS: Routingflexibilitet och Maskinflexibilitet. [8] FMS fungerar genom tre huvudsystem; central datorkontroll, materialhantering och arbetsmaskiner. Idag kan FMS beskrivas som ett sammanlänkat system som styrs av datorer från början till slut, där produktionen är automatiserad och därmed medfört minskat manuellt arbete vilket leder till en minskad arbetskraft och ökade produktionsmöjligheter. [8] Routing flexibilitet kan beskrivas som möjligheten att bearbeta en komponent genom olika rutter genom produktionen på ett sätt som gör att produktionen inte störs av att maskiner går sönder, av arbetskraftsbrist eller av otillgängligt material. [9]

Begreppet maskinflexibilitet syftar på maskinens förmåga att anpassa sig till nya produkttyper och utföra olika operationer med hög flexibilitet. Inom agila produktionsprocesser är maskinflexibilitet en avgörande faktor då förändringar och anpassningar sker snabbt. [10]

Flexibla produktionssystem är väl studerade och har påvisade fördelar i stora företag. Rapporter angående implementationen av FMS från stora företag har i stor utsträckning visat på förbättrad kvalitet, kostnadsminskningar i arbetskraft och lager samt ökad reaktionsförmåga till ändringar på marknaden. [11]

2.3 Konfigurerbara tillverkningssystem (RMS)

Konfigurerbara tillverkningssystem är en reaktion på vad marknaden och konsumenterna kräver av en produkt. Den numera konsumentdrivna marknaden och den ökade medvetenheten om klimatproblem leder till en snabb introduktion av nya produkter. Detta kräver tillverkningssystem som snabbt och enkelt kan uppdateras, där ny teknologi och nya funktioner kan implementeras snabbt. [12]

Definitionen av ett konfigurerbart tillverkningssystem är att systemet som tillåter flexibilitet i att både producera olika produkter och att ändra själva systemet i sig. [12] Ett sådant system kan uppnås genom att använda processmoduler, hårdvara och mjukvara som kan bli omordnade snabbt och tillförlitligt. [12] Risken för föråldring minskar då systemen tillåter snabba förändringar i systemkomponenter. Systemen är öppna för att kontinuerligt förbättras genom implementeringen av nya teknologier och snabbt bli konfigurerade för att tillmötesgå framtida produkter och ändrad efterfrågan, istället för att bli skrotade eller ersatta. [12]

Ett konfigurerbart tillverkningssystem är alltså ett system som är utformat för snabba förändringar inom struktur samt hård- och mjukvarukomponenter, för att snabbt kunna anpassa funktionalitet inom produktfamiljer och produktionskapacitet baserat på förändringar på marknaden. [4] Ett konfigurerbart tillverkningssystem kan uppnås genom ett system som är designat för justerbar struktur som tillåter skalbarhet utefter marknadens efterfrågan samt anpassningsförmåga till nya produkttyper. Strukturen kan vara anpassningsbar på systemnivå genom att addera fler maskiner och anpassningsbar på maskinnivå genom att byta ut hård och mjukvara genom att addera en till axel i maskinen eller implementera avancerade integrerade kontroller. För att uppnå RMS behövs även ett tillverkningssystem som är designat utefter del-

familjer. Flexibiliteten att kunna tillverka alla komponenter i del-familjen i samma system reducerar systemkostnader. [4]

3.Metod

I följande avsnitt redogörs de metoder och arbetssätt som nyttjats under projektets gång.

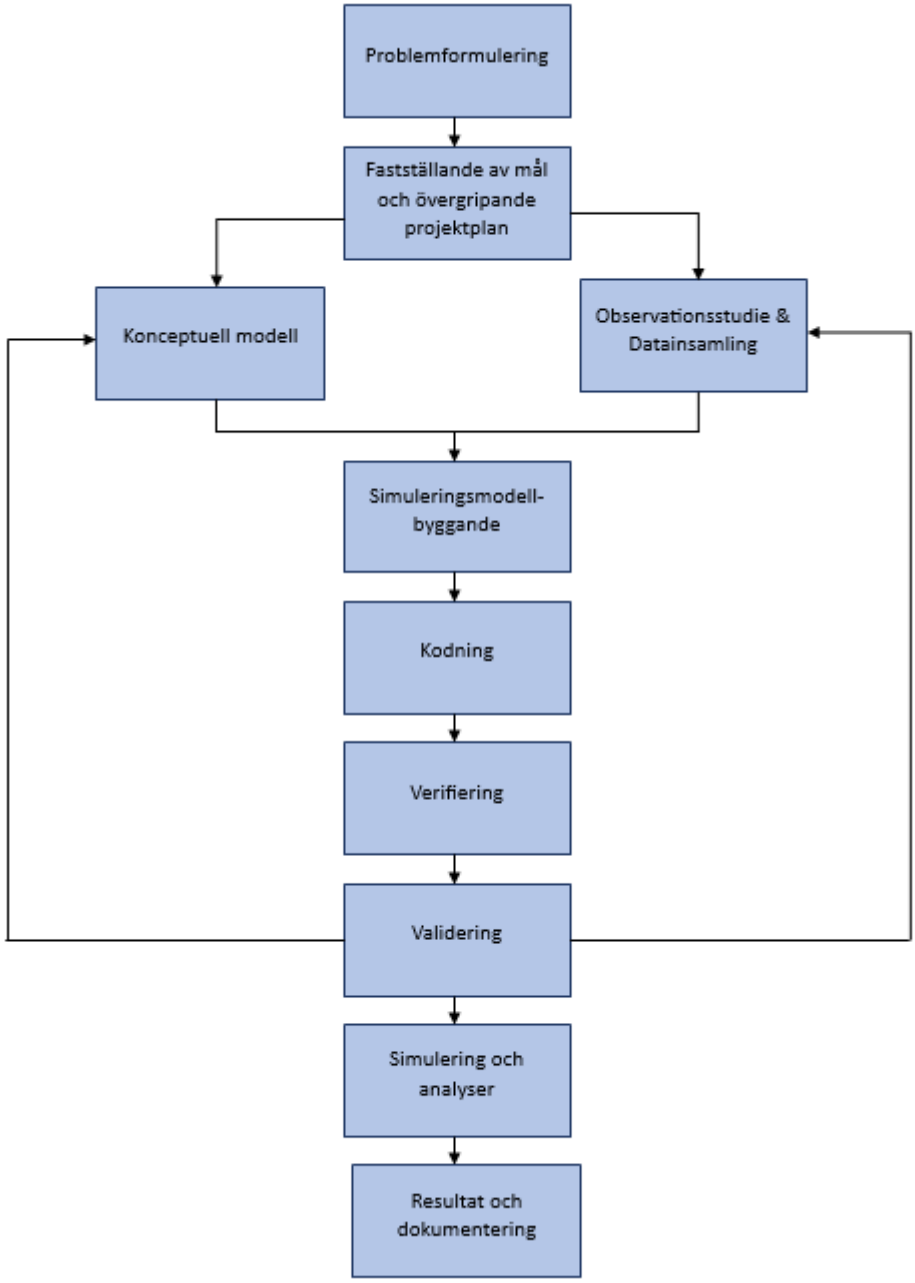
3.1 Litteraturstudie

Litteraturstudie genomfördes för att undersöka tidigare forskning samt arbete inom området för att få en bättre förståelse för hur simuleringsarbete använts tidigare för flexibla och konfigurerbara system. Men även hur det använts för att förbättra produktionseffektiviteten samt eventuella utmaningar som de stått inför.

En viktig aspekt i litteraturstudierna var att identifiera och undersöka de metoderna och tekniker som använts för att bygga simuleringsmodeller i Plant Simulation tidigare. Efter att ha undersökt tidigare arbeten var det enklare att avgöra vilka metoder och tekniker som var mest lämpliga för produktionscellen. En annan viktig aspekt av litteraturstudien var att identifiera vilka faktorer som påverkar flexibiliteten, konfigurerbarheten, produktionsflödet och volymerna i produktionsceller. Genom att ta del av och studera projektet PERFoRM – Horizon 2020 ”Factories of the Future” [1] gjord av bland annat Siemens och GKN Aerospace kunde flera av dessa faktorer specificeras och dess påverkan på flexibilitet, konfigurerbarhet och hur produktionslogistiken styrs kunde identifieras.

3.2 Simuleringsmetodik

I en metod utvecklad av Bank [13] beskrivs tillvägagångsättet för ett simuleringsprojekt och i vilken ordning de respektive stegen ska göras, se figur 3. Modellen innehåller tre olika segment; förberedelser, modellering och analysering, där en rad olika steg genomförs i varje segment. Projektet inleddes med att definiera en problemformulering för att sedan kunna fastställa mål och en övergripande projektplanering. Nästa steg i arbetsgången var att göra en konceptuell modell och samla in nödvändig data. Därefter kodades, validerades och verifierades simuleringsmodellen för att sedan kunna simuleras, analyseras och dokumenteras. Banks modell har använts som grund i arbetsprocessen och följts i stor utsträckning men anpassats till projektet. I avsnitt 3.2 kommer delarna i simuleringsmetodiken förklaras var för sig.



Figur 3- Simuleringsmetodik baserad på Banks modell [13]

3.2.1 Observationsstudie

En mindre omfattande observationsstudie genomfördes vid ett besök på produktionen för att skapa en djupare förståelse av flödet och förstå vikten av flexibilitet, men även för att kunna jämföra verklighet med modell. Observationen gjordes i ett normalt stadie utan yttre påverkan eller förändringar. Vid observation är det viktigt att det som observeras befinner sig i sitt normala stadie för att få den bästa möjliga bild av verkligheten. [14]

3.2.2 Datainsamling

Datainsamling definieras som siffror till exempel processtider, ledtider och cykeltider i detta avsnitt. [13] Något som är viktigt vid insamling av data är att felkällor och variationer tas i beaktning för att få en rättvisande modell. [14] Då ledtider, bearbetningstider och processtider på jetmotorkomponenter kan vara långa och sträcka sig över hela arbetsdagar samtidigt som vissa processer bara kan handla om minuter, försvårades datainsamlingen och observationerna.

Då simuleringsmodellen ska möjliggöra att på enkelt sätt kunna ändra all ingående data och inte vara låst till en viss setup, det gör modellen användbar vid förändringar av tider i de olika processerna och arbetstiderna. Data som har använts är därför inte helt precis utan med viss marginal då syftet med modellen är att kunna dra slutsatser och få en fingervisning kring vid vilka volymer som insatser krävs. Därmed på ett enkelt sätt kunna se och ändra vilka saker som ska köras i systemet och hur det påverkar flödet, då bearbetningstiderna kan vara väldigt långa gör det att marginalerna kan vara större.

3.2.3 Simuleringsmodellsbyggande

Parallellt med litteraturstudierna lades tid på att se på introduktionsfilmer och lära känna programmet då tidigare erfarenhet av Plant Simulation var begränsat. Enklare modeller byggdes för att skapa en förståelse inom programmet och olika uppsättningar av inställningar prövades för att se sambandet mellan kod, tabeller och stationer, samt kunna skaffa en uppfattning om hur själva modellbyggandet skulle gå till. Det undersöktes även hur standardobjekten i programmet är uppbyggda och hur de fungerade. Med hjälp av att utsätta cellerna för olika situationer kunde det konstateras hur cellerna påverkades och vad standardaktionerna var inom programmet. För att visa på flexibilitet och göra modellen möjlig att kunna producera olika komponenter med respektive processer, processflöden och bearbetningstider, men även kunna optimera modellen för att inte ha stillastående maskiner under nätterna när arbetarna gått hem, behövdes en funktionskravlista. Kravlistan innehåller de funktioner som identifierats för att kunna underlätta simuleringsmodellsbyggandet och för att få modellen oberoende, till vilken processgång i *micro-flowcellen* som komponenterna ska ta samt vilka bearbetningstider respektive process ska ha. Se kravlistan i tabell 2.

Tabell 2 – Funktionskravlista

1.	Kunna lägga till en micro-flowcell
2.	Kunna avläsa processtider från tabell
3.	Kunna skicka in olika komponenter i modellen med olika volymer och utan bestämd ordning
4.	Samtliga komponenter ska kunna gå till samtliga CNC-maskiner
5.	Komponenten ska kunna ha en egen processföljd i micro-flowcellen
6.	Komponenten ska transporteras till den bäst lämpade micro-flowcellen om man har mer än en cell
7.	Micro-flowcellen ska kunna arbeta under natten utan att någon behöver bemanna avslutande inspektionen
8.	Optimera produktionslogistiken för att undvika att CNC-maskiner står stilla under natten
9.	Roboten ska stå vid gradningsstation för att visuellt visa att den utför arbetet och därför inte kunna utföra några andra uppgifter medan en komponent bearbetas i gradningssationen.

Plant Simulation

Plant Simulation är ett simuleringsprogram som Siemens utvecklar. Versionen som använts under arbetet är Tecnomatix Plant Simulation 16.1. Det är ett program för att simulera, visualisera, modellera och analysera produktionssystem och logistiska processer för att optimera materialflöde och resursutnyttjande. I programvaran kan digitala tvillingar av riktiga produktionssystem byggas för att analysera och optimera det riktiga systemet snabbare och mer kostnadseffektivt. [15] Plant Simulation använder DES för att skapa välstrukturerade, 3D hierarkiska modeller av industrianläggningar, produktionslinor och operationer.

Eftersom det går att bygga upp produktionssystemet i en dator kan ändringar göras i systemet utan att det riktiga systemet behöver stoppas. Exempelvis kan ny teknologi, ny layout på systemet, skifttider och nya lösningar testas. För att få en överblick av programmet kommer ett urval av objekt att förklaras mer i detalj.

Plant Simulation är uppbyggt med menyer, hierarkiska listor och objekt för att kunna återskapa produktionssystem på ett realistiskt sätt [16]. Plant Simulation är uppbyggt såväl för nybörjare som experter. I menyerna som kan öppnas för varje objekt, finns parametrar som enkelt går att ändra på. Samtidigt finns möjligheten att skapa metoder genom kod vilket gör avancerad modellering möjlig. Mer om kodning av programmet kommer i avsnitt 3.2.4.

Nedan beskrivs ett urval av de objekt som finns i Plant Simulation. I figur 4 visualiseras objekten.

Station
En station är en maskin av något slag som processar en komponent. Stationer är användbara för att illustrera exempelvis en CNC-maskin, svarv eller borr. Stationen är uppbyggd på ett sätt som gör det enkelt att ange processtider, ställtider och cykeltider. [17]

Source
En source är ett objekt som producerar komponenter till systemet. Objektet gör det möjligt att producera olika komponenter i sekvenser som överensstämmer med verkliga förhållanden. [18]

PickAndPlace
En PickAndPlace är en robot som tar upp en komponent vid en station, roterar till en annan station och lämnar komponenten. Den kan modifieras med kod för att utföra olika uppgifter. [19]

Buffer
En buffer håller temporärt en eller flera komponenter innan de ska vidare i systemet. Kapaciteten är inställbar och avgör hur många komponenter som får plats i bufferten. [20]

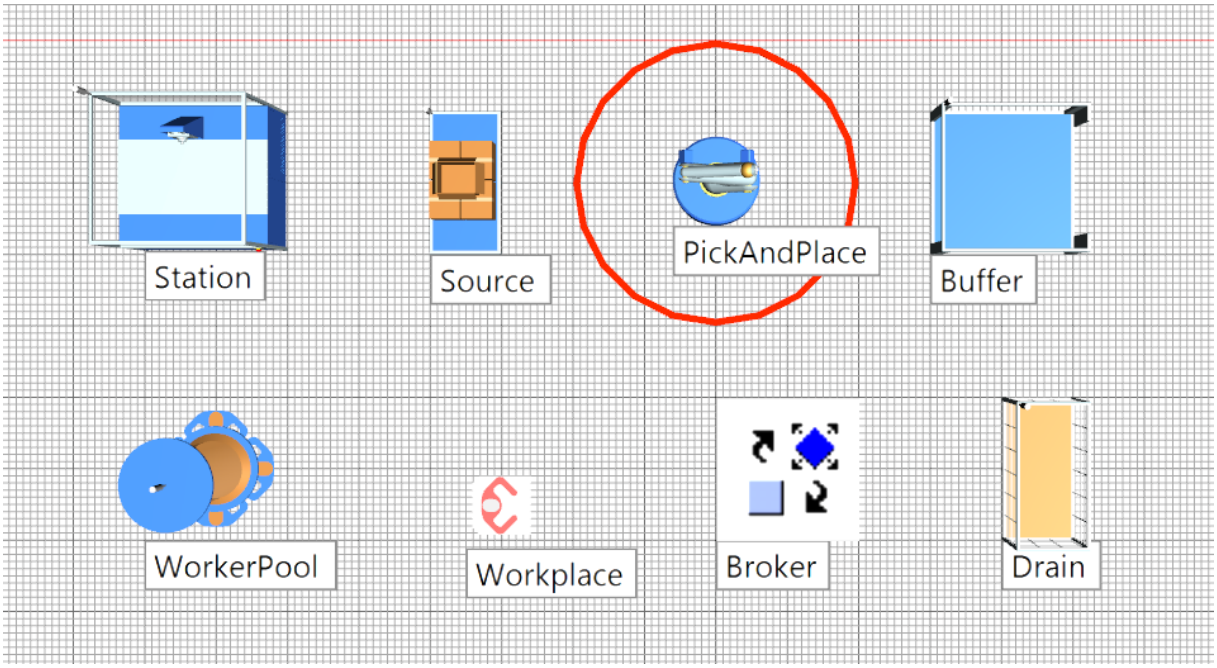
Worker
En worker är en operatör som kan ställas in för att utföra olika uppdrag, exempelvis flytta en komponent eller processa en komponent i en station. [21]

Workerpool
En workerpool förser simuleringsmodellen med operatörer vilket bestäms i menyn för objektet. [22]

Worksplace
En workplace är en yta som definierar vart ett arbete kan utföras av en operatör. Exempelvis kan en workstation placeras vid en station för att visa vart operatören ska stå vid utförandet av arbetet. [23]

Broker
En broker förser wokerpoolen med behoven som finns i modellen. Den finns för att kunna illustrera ett chefsarbete exempelvis. Broker får in förfrågningar från modellen och meddelar workerpool att arbete ska utföras, exempelvis att material ska flyttas från en station. [24]

Drain
En drain är en korg där alla färdiga produkter läggs och är det sista objektet i simuleringsmodellen. När en produkt hamnat i drainen försvinner den visuellt. Med hjälp av en display kan man enkelt få en ruta som visar hur många färdiga produkter som passerat genom systemet. [25]



Figur 4- De olika objekten i Plant Simulation

3.2.4 Kodning – SimTalk

I programvaran Plant Simulation har användaren möjlighet att skriva kod för att utvidga möjligheterna inom programmet. Programmet är uppbyggt att vara enkelt för användaren samtidigt som det tillåter mer avancerad uppbyggnad genom kod. Kodspråket som användes i programmet heter *SimTalk*. Med *SimTalk* kan användaren skriva egna metoder vilka kopplas och körs i olika objekt. I objekten kan metoder läggas in som en *exit control* eller en *entrance control*, där koden avläses när en komponent antingen inträder ett objekt eller lämnar ett objekt. Exempelvis kan en kod avläsa hur många komponenter som inträder objektet för att slutligen skicka vidare de uppsamlade komponenterna till en viss station när antalet komponenter uppkommer ett förbestämt antal i koden. Genom att koda egna metoder tillåter programmet användaren att skriva över den förbestämda koden i programmet för att modifiera modellen till önskvärt tillstånd.

Kodningen baserades på simuleringsmodellen och var ett komplement till de standardobjekt och aktioner som programmet redan hanterar. För att modellen skulle fungera på ett flexibelt vis och vara oberoende av vilken komponent som skulle tillverkas krävdes kod, eftersom programmet är uppbyggt för att passa ett linjeflöde. Kod krävdes även för att kunna kombinera olika händelser vid en viss station, kunna ha olika processföljder och kunna ha olika tider beroende på vilken komponent som ska bearbetas.

Programmeringen och kodningen i Plant Simulation gjordes direkt i simuleringsprogrammet, antingen direkt i en av stationerna där den blir lokal eller i en metod som är ett sätt att påverka modellen genom att frångå dess logiska uppbyggnad. Metoderna kan läggas in i samtliga stationer i modellen. En metod är en blank sida där kod kan skrivas för att påverka modellen. Exempelvis kan en metod skrivas för att ändra processtiderna i en station beroende på vilken komponent som ligger i stationen för tillfället. Kodningen som krävdes togs fram med hjälp av material från Siemens och forum på deras hemsida, men också med hjälp av att titta på hur liknande simuleringsmodeller var uppbyggda och genom rådgivning av handledare på GKN Aerospace.

3.2.5 Verifiering

Verifiering innebär att man kontrollerar modellen som skapats i simuleringsprogrammet och ser att den stämmer överens och efterliknar verkligheten. Modellen undersöktes efter eventuella fel som kan ha uppstått vid kodningen och modellbyggandet. Det finns mängder av olika metoder för att verifiera och validera i dagsläget. Verifiering innebär även att man säkerställer att den data som användes stämmer. Om det saknas data görs en modell med tydliga och rimliga antagande där en bedömning avgör om kvalitén hos modellen och om resultatet är relevant. [26]

3.2.6 Validering

Validering innebär att data som man får ut ur modellen efter simulering ses över och jämförs gentemot det verkligen resultatet för att se om det är rimligt. Det viktigaste är att de siffror som efterfrågades och syftet med modellen går att besvara samt efterliknar det man är ute efter. Ett bra sätt att testa modellen vid validering är att jämföra den med den verkliga produktionen men då krävs att modellen ska efterlikna en redan existerande produktion vilket det angivna produktions scenariot inte gör. [27] Modellen validerades genom produktionsvalidering samt handledare på GKN, för att säkerställa att resultat av efterliknar det som efterfrågades.

3.2.7 Simulering och analyser

För att kunna utvärdera och dra slutsatser kring produktionen i simuleringsmodellen krävdes det att simuleringar och tester utfördes som visar var och vilka förändringar samt vilka åtgärder som bör genomföras för att optimera produktionssystemet. [28] Simuleringar anses vara ett bra verktyg vid analys av produktionssystem, då resultatet kan indikera hur det kan komma att se ut i verkligheten. De tester och simuleringar som efterfrågades och som var mest relevant för arbetet var att utsätta systemet för varierade produktionsvolymer för att se hur systemet påverkades. Det var också relevant att leta efter flaskhalsar i systemet samt maximera flexibiliteten hos systemet och prova dess flexibilitet, för att se vilka svårigheter som systemet stöter på. Vid eventuella komplikationer presenterades utfallet och förbättringsåtgärderna. Förbättringarna och om möjligt dess simulerade utfall presenterades i samma avsnitt. Simulationerna genomfördes genom att använda de befintliga funktionerna som finns i programmet och med hjälp av grafer, staplar och annan datautvärdering av de olika scenarierna kunde modellen analyseras och utvärderas.

Vid simuleringen krävs en viss uppvärmningstid, det vill säga att systemet körs en viss tid innan statistiken kan användas. Anledningen är att vid början av simuleringen är systemet tomt och för att få ut relevant data, behövs ett system som är i ett stabilt driftstatusläge. Under uppvärmningstiden justeras parametrar, initieringsvärden och villkor för att simuleringen ska kunna närma sig den verkliga driftstatusen och ge ett representativt resultat, något som är extra viktigt i fabriker där olika processer och delsystem verkar med varandra. [29] Uppvärmningstiden uppskattades till ett år på grund av de långa processtiderna och systemets komplexitet.

3.2.8 Resultat och dokumentering

Den avslutande delen i simuleringsmetodiken är resultatet och dokumentering. Resultatet för arbetet visades av simuleringsmodellen och resultatet av de olika testerna presenterades i resultatdelen av rapporten. Hur modellen ska användas och vid vilka produktionsscenario man kan använda den presenterades för handledare på företaget där även en dokumentering i form av en manual visades upp.

4.Resultat

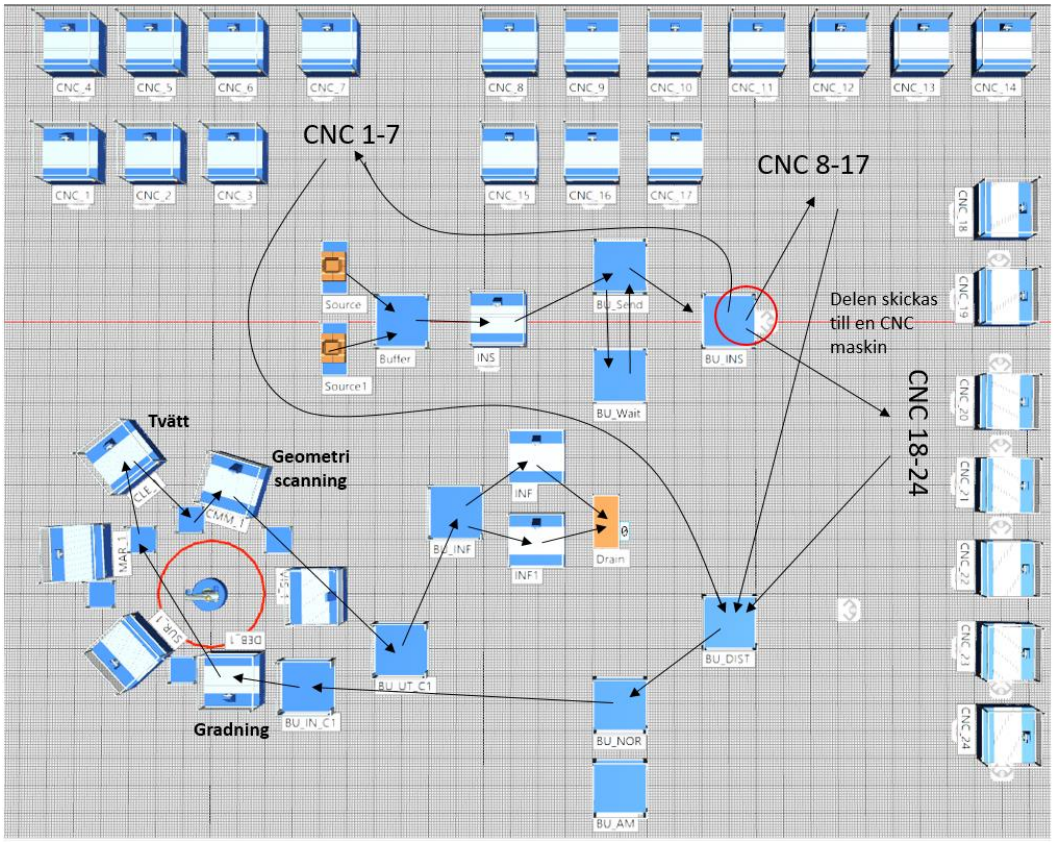
I detta avsnitt presenteras resultatet av arbetet. Modellen presenteras samt förklaring kring hur den ska användas och vilka tester som gjorts.

4.1 Allmänt om modellen

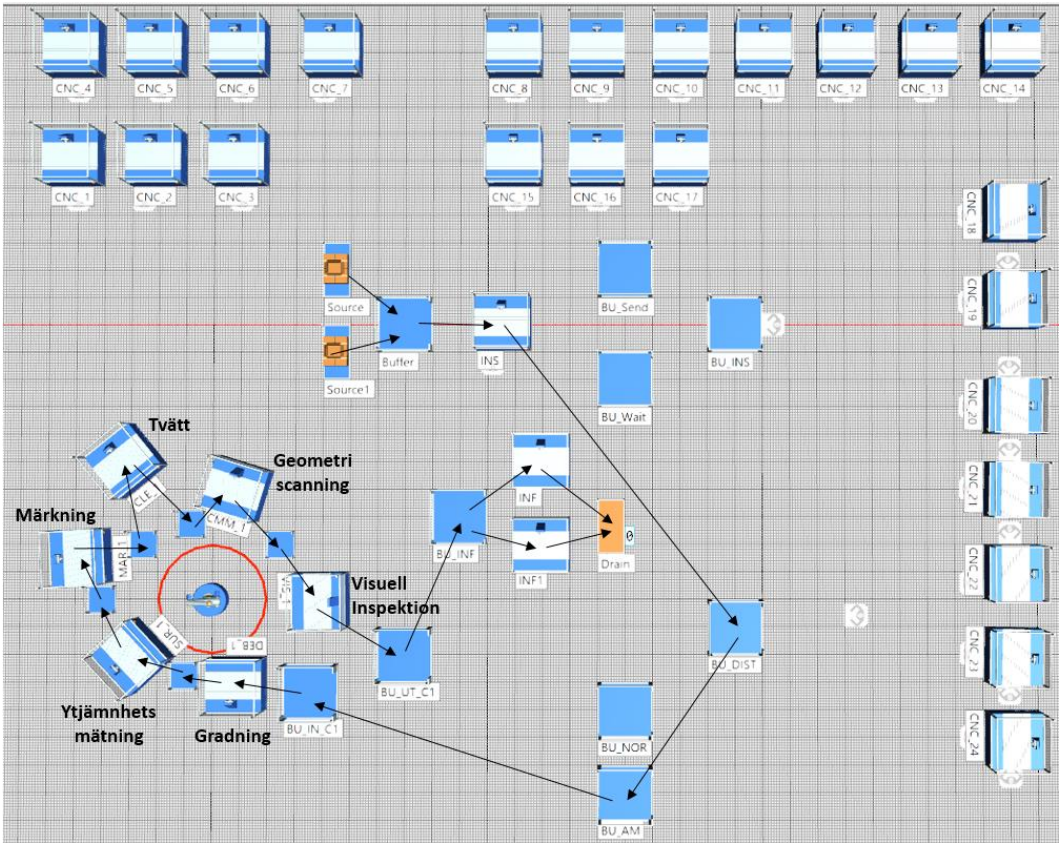
Modellen är uppbyggd för att inte vara bunden till en specifik produkt. Genom att ändra i tabeller, kan användaren lägga till eller ta bort vilken produkt som helst. Alla stationer har en metod som kallas *SetStationData*. Metoden känner av vilken produkt som ligger i vilket objekt och baserat på det läser metoden av tabellen *ProcessTimes* för att avgöra vilken processtid som objektet ska använda för den specifika produkten. Detta gör det möjligt att lägga till vilken produkt som helst genom att definiera produkten i tabellen *ProcessTimes.*

Modellen har två worker-pools och två skiftkalendrar, vilka definierar ett treskiftsschema. Genom detta vet modellen hur många operatörer som ska arbeta mellan vilka tider på dygnet. Modellen har även en generator som är kodad att generera en variabel som beskriver klockslaget i simuleringen, vilken används i annan kod senare i modellen. En init- och en reset-metod är skrivna för att återställa variabler och modellen till sitt ursprungsläge då en ny simulering ska köras.

I modellen finns 6 olika produkter, de CNC-bearbetade komponenterna som heter Part A, Part B, Part C, Part D och additivt tillverkade komponenter, AMpart1 och AMpart2. De CNC-bearbetade komponenterna har samma processgång men olika processtider i de olika maskinerna. AM-komponenterna har en annan processgång jämfört med de CNC-bearbetade komponenterna, eftersom additivt tillverkade komponenter inte behöver genomgå skärande bearbetning i CNC-maskinerna, se processflödet för CNC-bearbetade komponenter i figur 5 och AM-tillverkade komponenter i figur 6. De CNC-bearbetade komponenterna har en konfiguration i robotcellen medan AM-komponenterna har en egen konfiguration med fler processer. För att denna konfiguration skulle fungera behövdes flera variabler och villkor skrivas. Ett exempel är variabeln AM_config, en boolesk variabel som styr vilka vägar i modellen som stängs och öppnas beroende på konfigurationen på robotcellen. När robotcellen är konfigurerad utefter AM-komponenterna stängs vägen för de övriga komponenterna till robotcellen och när robotcellen är konfigurerad utefter de vanliga komponenterna stängs vägen till robotcellen för AM-komponenterna. Kod skrevs i robotcellen för att ge specifika rutter för de olika komponenterna. Denna rutt definieras i en tabell i den ingående bufferten i robotcellen. Genom denna tabell kan roboten läsa av rutten och flytta komponenten följaktligen.



Figur 5 – Processflöde för CNC-bearbetade komponenter



Figur 6 - Processflöde för AM-tillverkade komponenter

Scenariot beskrev antalet komponenter som ska produceras per vecka och utefter den informationen gjordes beräkningar för att skicka in rätt mängd material i modellen, se bilaga 1. Genom ett enhetligt intervall och en procentsats av komponenter kan två olika sources skicka in material i systemet för att matcha antalet komponenter som ska produceras i veckan. På detta sätt skickar källorna in komponenter enligt tabell 1 i avsnitt 1.5. Det enhetliga intervallet beskriver för sourcen mellan vilka tider som en ny komponent måste skickas in för att matcha antalet komponenter per vecka. Till exempel kan den skicka in en ny komponent var 28:onde minut för att 225 komponenter ska in den veckan eller skicka en ny var 84:e minut för att matcha 75 komponenter per vecka.

4.2 Förklaring av modell

Modellen börjar med två sources som skickar in de olika komponenterna i modellen baserat på beräkningen som gjordes enligt bilaga 1. Nästa objekt i modellen är en manuell inspektion där en operatör utför inspektion av komponenten. Vidare skickas komponenten till BU_Send, se figur 5, som läser av vilken tid det är på dagen. Då processtiderna för de olika komponenterna i CNC-maskinerna är långa, är det viktigt att optimera vilken tid på dygnet som komponenterna blir klara. Den sista operatören går hem vid 00:00 och den första kommer 06:00. Ett antagande gjordes att komponenten inte får bli klar mellan 23:45 och 02:00 då en operatör ska hinna lägg in en ny komponent innan operatören avslutar sitt skift. Skillnaden mellan den komponent som har längst och kortast processtid i CNC-maskinerna är 2 timmar därmed intervallet 00.00 - 02.00 och ytterligare 15 minuter för att operatören ska hinna lägga in en ny komponent i maskinen, därmed 23.45. Koden i BU_Send räknar ut vilken tid komponenten kommer bli klar i CNC-maskinerna baserat på processtiden och klockslaget i simuleringen. Om komponenten är uträknad att bli klar under tidsintervallet 23:45 till 02:00, kommer komponenten att skickas till BU_Wait, där komponenten väntar i en timme för att sedan skickas tillbaka till BU_Send där koden läses av igen, se kod i figur 7. Om komponenten inte kommer att bli klar under det kritiska tidsintervallet skickas komponenten till BU_INS och sedan vidare till CNC-maskinerna.

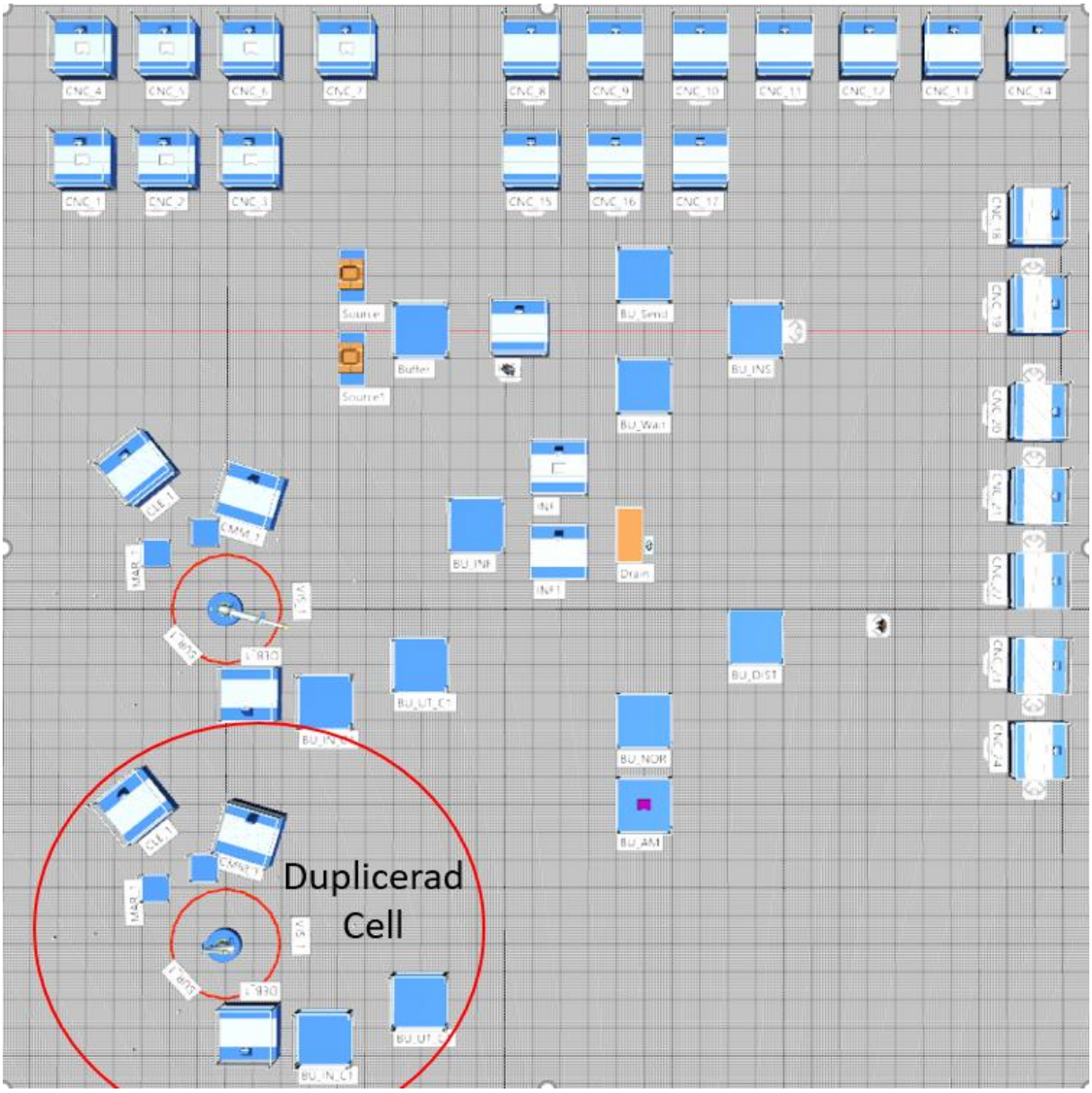
```
var timeOnDay : time

if EventController.AbsSimTime - lastDate >= 24:00:00.000
    LastDate := EventController.AbssimTime
end

timeOnDay := EventController.AbssimTime - LastDate


if  timeOnDay >= 23:45:00.000 - str_to_time(ProcessTimes[@.name,"CNC_1"]) and
    timeOnDay <= 23:45:00.000 - str_to_time(ProcessTimes[@.name,"CNC_1"])+ 02:00:00.000  and @.name = "PartA"
    @.move(BU_Wait)
elseif timeOnDay >= 23:45:00.000 - str_to_time(ProcessTimes[@.name,"CNC_1"]) and
    timeOnDay <= 23:45:00.000 - str_to_time(ProcessTimes[@.name,"CNC_1"]) + 02:00:00.000  and @.name = "PartB"
    @.move(BU_Wait)
elseif timeOnDay >= 23:45:00.000 - str_to_time(ProcessTimes[@.name,"CNC_1"]) and
     timeOnDay <= 23:45:00.000 - str_to_time(ProcessTimes[@.name,"CNC_1"]) + 02:00:00.000  and @.name = "PartC"
    @.move(BU_Wait)
elseif timeOnDay >= 23:45:00.000 - str_to_time(ProcessTimes[@.name,"CNC_1"]) and
    timeOnDay <= 23:45:00.000 - str_to_time(ProcessTimes[@.name,"CNC_1"]) + 02:00:00.000  and @.name = "PartD"
    @.move(BU_Wait)
else
    @.move(BU_INS)
end
```

Figur 7 - Kod för optimering av CNC-maskiner

BU_INS är inställd att skicka komponenten till den första lediga CNC-maskinen för att processas. Det finns 24 identiska CNC-maskiner. En operatör hämtar de processade komponenterna i CNC-maskinerna och lämnar dessa i en distributions buffert ”BU_DIST”. I figur 6 visas att AM- komponenterna skickas direkt till denna buffert, eftersom dessa inte behöver bearbetas i CNC-maskinerna. BU_DIST skickar AM-komponenterna till en speciell AM-buffert ”BU_AM” och resterande komponenter till en annan buffert ”BU_NOR”.

För att visa på flexibilitet och konfigurerbarhet bestämdes, i diskussion med handledare på GKN, att robotcellen ska ställas om när ett visst antal AM-komponenter har samlats i AM-bufferten. När denna nivå är nådd, skickas komponenterna in i robotcellen när den är tom på CNC-bearbetade komponenter och ställs om för att passa processgången för AM-komponenterna. Bufferten för de CNC-bearbetade komponenterna ”BU_NOR” låses för att inte fylla på robotcellen medan den töms. AM-komponenterna skickas in först när robotcellen är konfigurerad enligt komponenternas processlistor. När AM- komponenterna har behandlats i robotcellen ställs denna tillbaka till ursprungskonfiguration. AM-bufferten blir återigen blockerad och väntar på att tillräckligt mycket komponenter har samlats och proceduren återupprepar sig.

För att återigen visa på flexibilitet i modellen, skrevs en metod för att duplicera robotcellen då BU_NOR blir full. Metoden duplicerar robotcellen, från det hierarkiska trädet som bygger upp modellen, samt skapar nya anslutningar mellan cellen och kringliggande systemet, se i figur 8.



Figur 8 - Bild över duplicerad bild

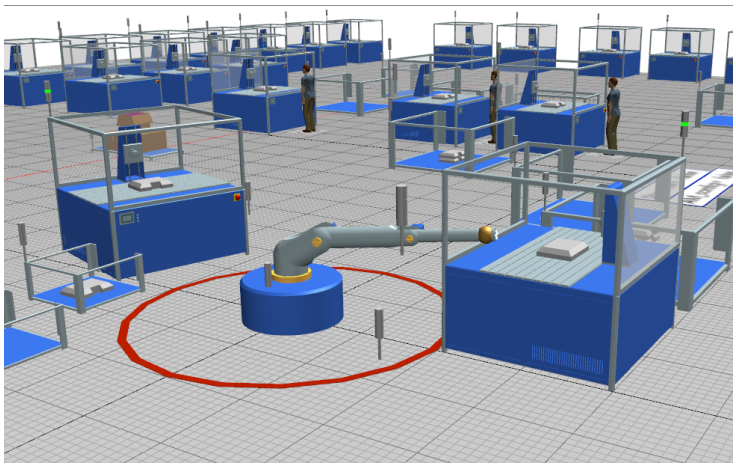
Genom denna duplicering skapas ett nytt flöde som kan hantera CNC-bearbetade komponenter utefter den konfiguration som robotcellen har initialt. Den duplicerade robotcellen kan inte hantera AM-komponenter. Med hjälp av den duplicerade cellen stoppas inte flödet när den första robotcellen töms, ställs om och kör AM-komponenter eftersom flödet av CNC-bearbetade komponenter fortsätter i den nya cellen. Koden för metoden ses i figur 9.

```
var RobotcellCreated : object
var firstCell := .Models.Project.RobotCell
var positionFirstCell := .Models.Project.RobotCell._3D.position
var moveX := 8
var moveY := -20

if ?.Full and CreatedCells = 0
    wait 60
    RobotcellCreated := firstCell.duplicate(current)
    RobotcellCreated._3D.position := [positionFirstCell[1]+moveX, positionFirstCell[2]+moveY, positionFirstCell[3]]
    .MaterialFlow.Connector.Connect(?, RobotcellCreated)
    .materialFlow.Connector.connect(RobotcellCreated, BU_INF)
    CreatedCells := 1
    wait 60
end

if RobotCell.AM_config = true
    @.move(RobotCell1.BU_IN_C1)
end
```

Figur 9 - Kod för duplicering av robotcell

Väl i robotcellen finns det en rad olika processer med tillhörande buffertar och en robot som kan flytta komponenter mellan de olika stationerna samt utföra gradningen i DEB_1, se figur 5. När en produkt befinner sig i första bufferten i robotcellen ”BU_IN_C1” får den processgången genom att en tabell läses av där processgången är angiven för varje produkt. Produkter fortsätter sedan till det processteget som är angivet om den stationens buffert och roboten är ledig, annars väntar produkten till dessa villkor är uppfyllda. Varje process i robotcellen har en tillhörande buffert för avlastning, när roboten väl plockat upp en komponent lämnas dem i stationens buffert för att sedan plocka upp den processade komponenten i stationen, ifall det finns någon.

Gradningsstationen skiljer sig från de andra stationerna då själva bearbetningen sker av roboten. Detta i sin tur är komplicerat, om ens möjligt att simulera. För att visuellt visa och för att förhindra roboten från att plocka upp andra komponenter, eller återvända till utgångsläget är roboten kodad att vänta vid stationen medan komponenten processas, se robotens position vid gradning i figur 10. Detta uppnås genom en variabel som säger åt roboten att stanna kvar vid stationen medan komponenten processas.



Figur 10 - Robot vid gradningsstation

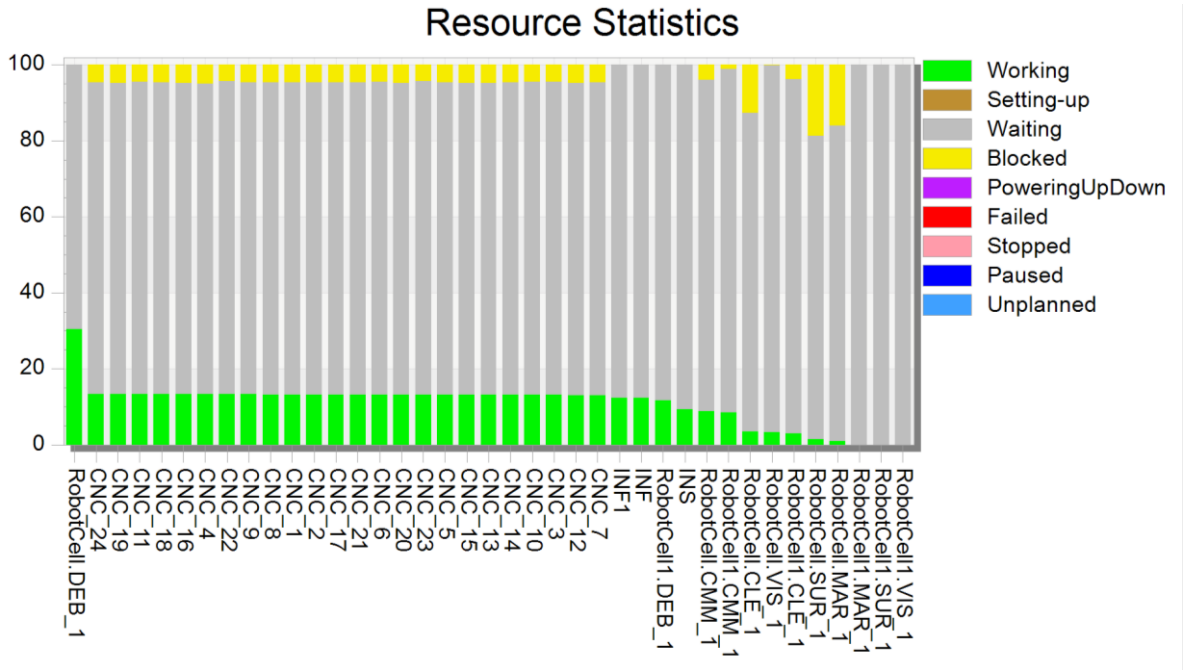
När komponenterna har behandlats i en robotcell skickas dessa vidare till en buffert som samlar upp alla komponenter innan en manuell avslutande inspektion ska utföras. Det finns två identiska inspektionsstationer där samma jobb utförs av en operatör. Efter inspektionen skickas komponenterna till en drain som för ut komponenterna ur systemet.

4.3 Simulering av olika scenarion

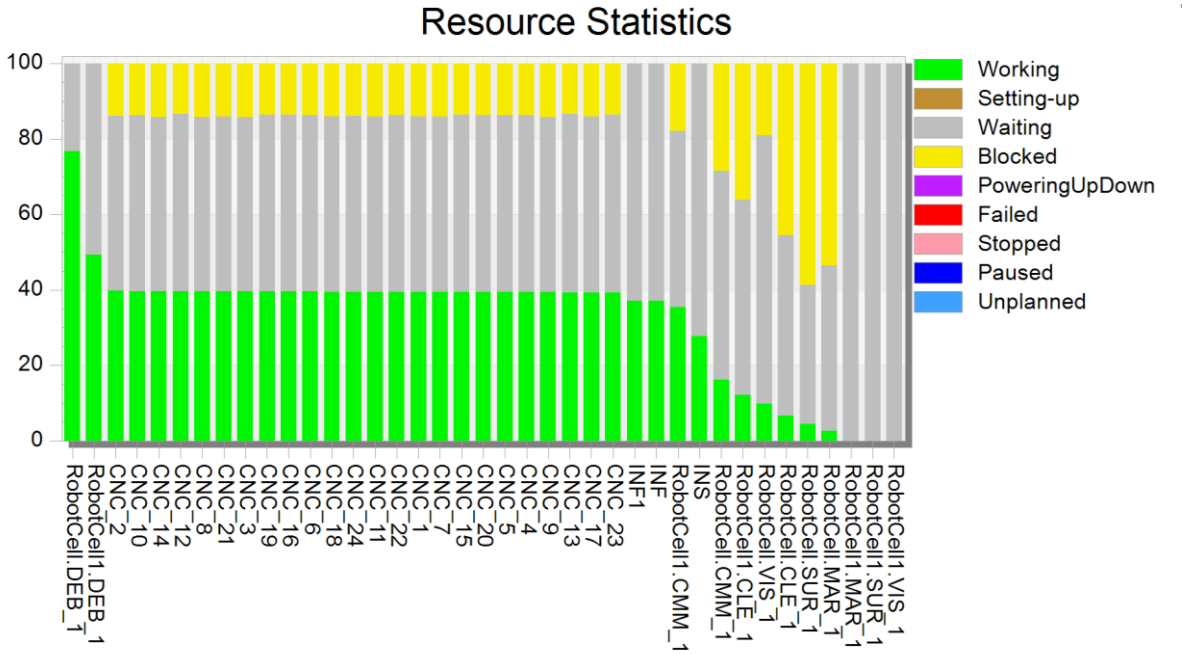
De scenarion som simulerades och dess resultat samt förbättringsåtgärder presenteras i kommande avsnitt.

4.3.1 Produktionsvolymer

För att kunna utvärdera och se hur systemet påverkas i olika produktionssituationer krävs simulering av systemet med olika volymer. Det angivna spannet på hur många produkter som ska produceras i systemet varje vecka är 90–270 där 270 produkter är en 200% ökning jämfört med de 90 komponenter som efterfrågas en lugnare vecka. För att kunna se över tid hur produktionssystemet påverkas av de enbart höga, enbart låga respektive en varierad volym varje vecka inom spannet krävs att systemet simuleras. Resultatet av den lägsta produktionsvolymen ses i figur 11. Resultatet av den högsta produktionsvolymen ses i figur 12.



Figur 11 - Statistik över utnyttjandegraden vid lägsta produktionsvolymen

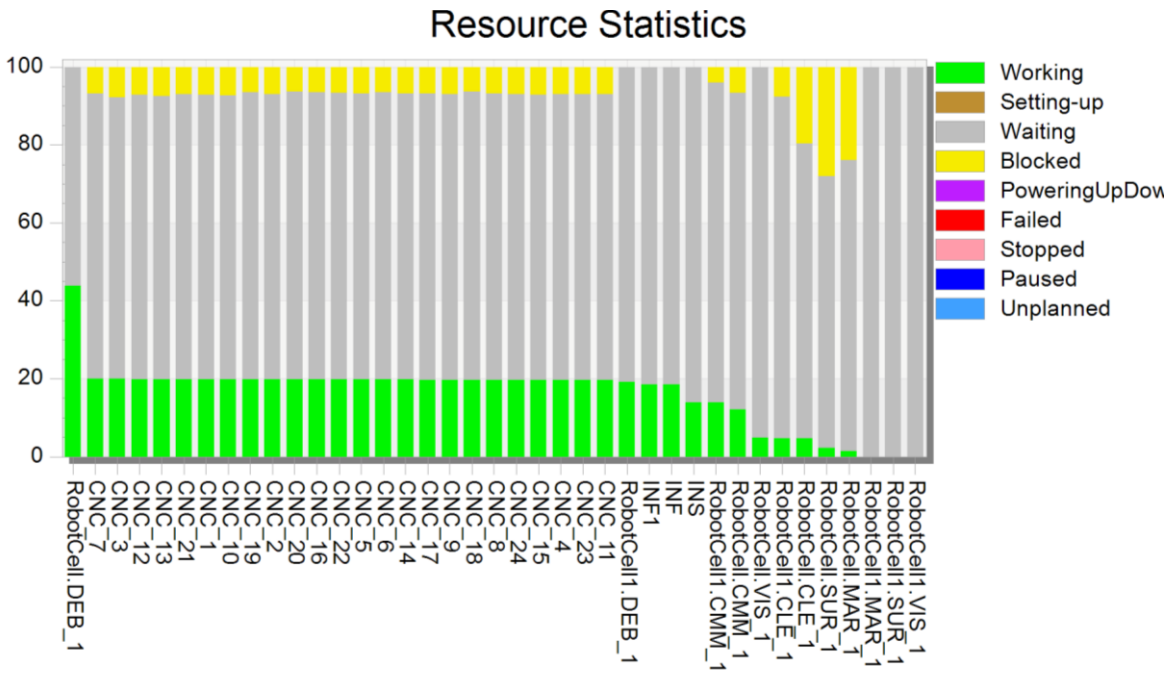


Figur 12 - Statistik över utnyttjandegraden vid högre produktionsvolym

Resultatet för antalet produkter ut ur systemet efter två år blev 9396 produkter vid den lägsta produktionsvolymen och 28 153 vid högsta produktionsvolymen. Den beräknade volymen för två år vid låg produktionsvolym var 90 (produkter per vecka) x 52 (veckor på ett år) x 2 (år) = 9360. Den beräknade volymen för två år av hög produktionsvolym var med samma uträkning fast med 270 produkter per vecka = 28 080. Vilket resulterade med en differens på 36 respektive 73 produkter. Volymen vid simulerat utfall är en ökning med 199,6% för den höga volymen jämfört med den låga vilket visar en konsekvent kurva och stämmer bra överens med antalet produkter in.

4.3.2 Flaskhalsar

Genom att simulera och använda flaskhalsfunktionen kan arbetsbelastningen utläsas hos de olika stationerna samt vart i produktionsflödet som det eventuellt bromsas upp. Från figur 13 kan de olika stadiernas utnyttjade kapacitet avläsas. Där kan statistik som procentuellt hur mycket stationen arbetar, ställer in, väntar, är blockerad, värmer upp eller ner, ligger nere, är stoppad, pausad eller oplanerad, avläsas genom att se hur stor andel varje kategori är utav en stapel. En notering är att ställtid är inbakad i processtid. Vad respektive stapel och färg står för går att se i figuren.

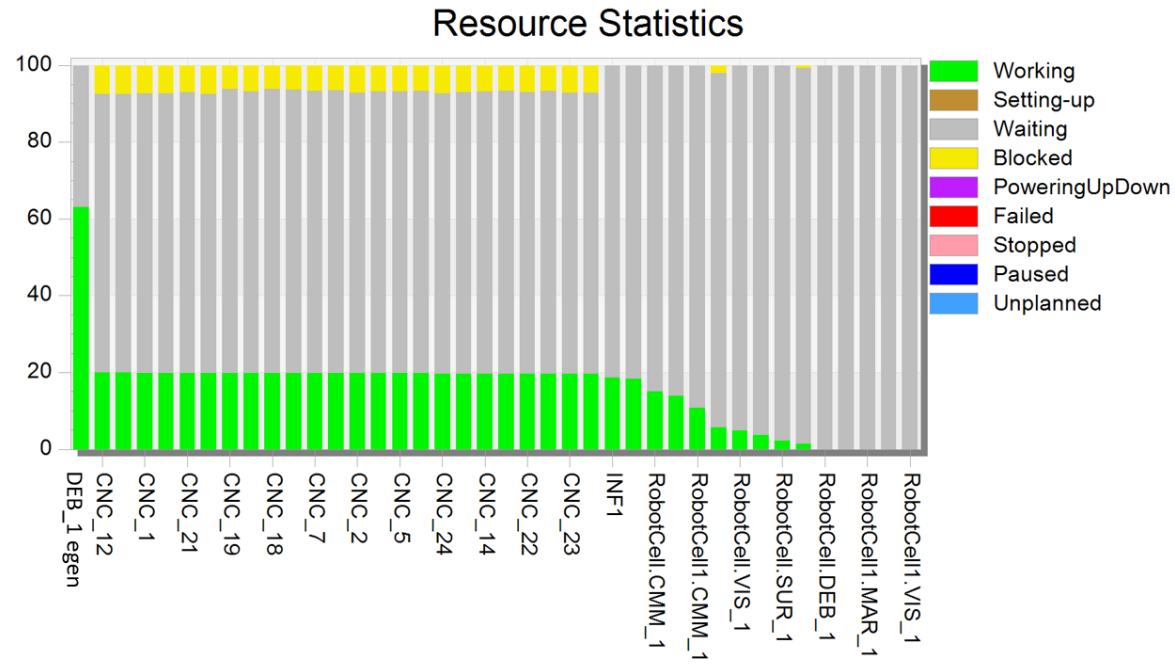


Figur 13 - Statistik över utnyttjandegraden vid normal produktionsvolym

Efter att ha simulerat scenariot ses tydligt att utnyttjandet av maskinerna är väldigt lågt och att det krävs fler komponenter in i systemet för att uppfylla systemets potential. Det kan även ses ovan att gradningsstation DEB_1 är en flaskhals då stationerna i robotcellen är blockerad. Detta är något som även hade kunnat ses på förhand om operationslistan och dess processtider hade studerats, eftersom samtliga komponenter ska genomgå gradningsarbete och processtiden för detta jämfört med de andra operationerna i robotcellen är betydligt längre. För att få en bättre bild över eventuella flaskhalsar simulerades systemet med fler ingående komponenter vilket visas i figur 12. I figuren ser man tydligare hur mycket gradningen (DEB_1) arbetar och hur de övriga stationerna i robotcellen väntar på att antingen få material tills sig i form av ”Waiting” eller väntar på att processade komponenter ska blir hämtade ”Blocked”. Detta lämnar utrymme för förbättring och nedan presenteras två åtgärder och dess simulerade utfall.

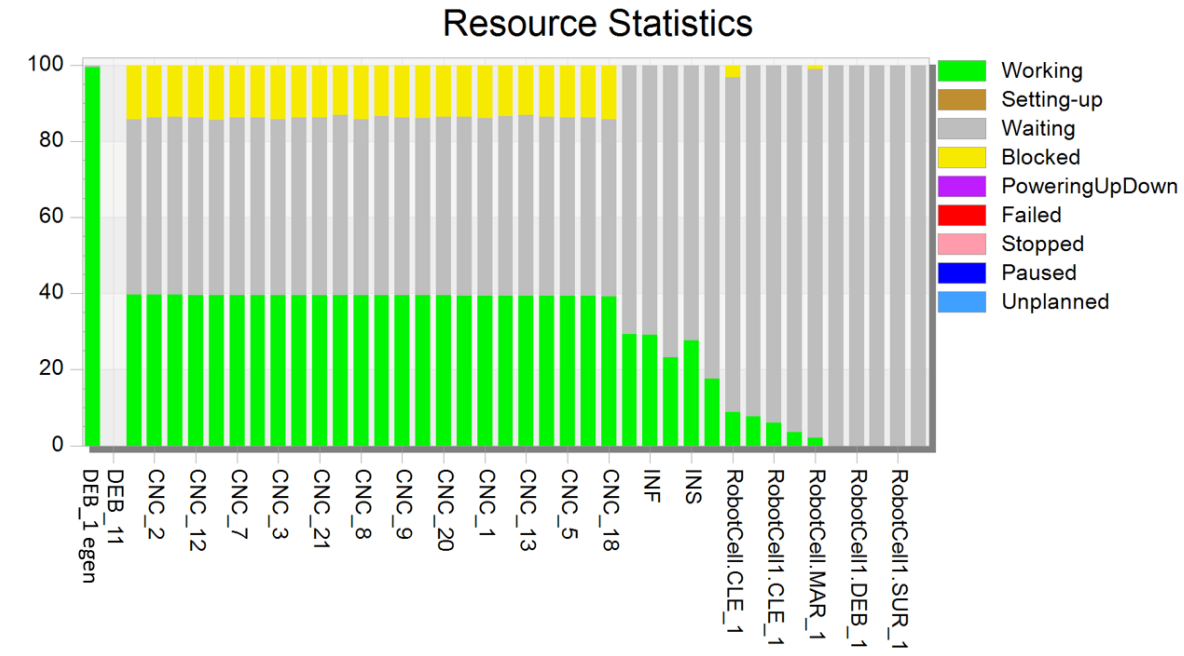
Förbättringsåtgärd 1:

Samtliga komponenter i systemet har gradning som operation, där roboten arbetar och utför gradningsarbetet i stationen. I de övriga stationerna används roboten endast för att flytta komponenterna mellan respektive station. För att effektivisera systemet valdes möjligheten att simulera gradningen innan robotcellen och låta stationen ha en egen robot som kan utföra gradningen samt flytta komponenterna mellan buffrar innan och efter processen. Därmed skulle flödet i robotcellen flyta på bättre då materialet i cellen inte behöver vänta på att roboten ska grada färdigt komponenten den arbetar med innan flyttning av de övriga produkterna i cellen. Se resultat av förbättringen i figur 14.



Figur 14 - Statistik över utnyttjandegraden vid gradning utanför robotcell med normal produktionsvolym

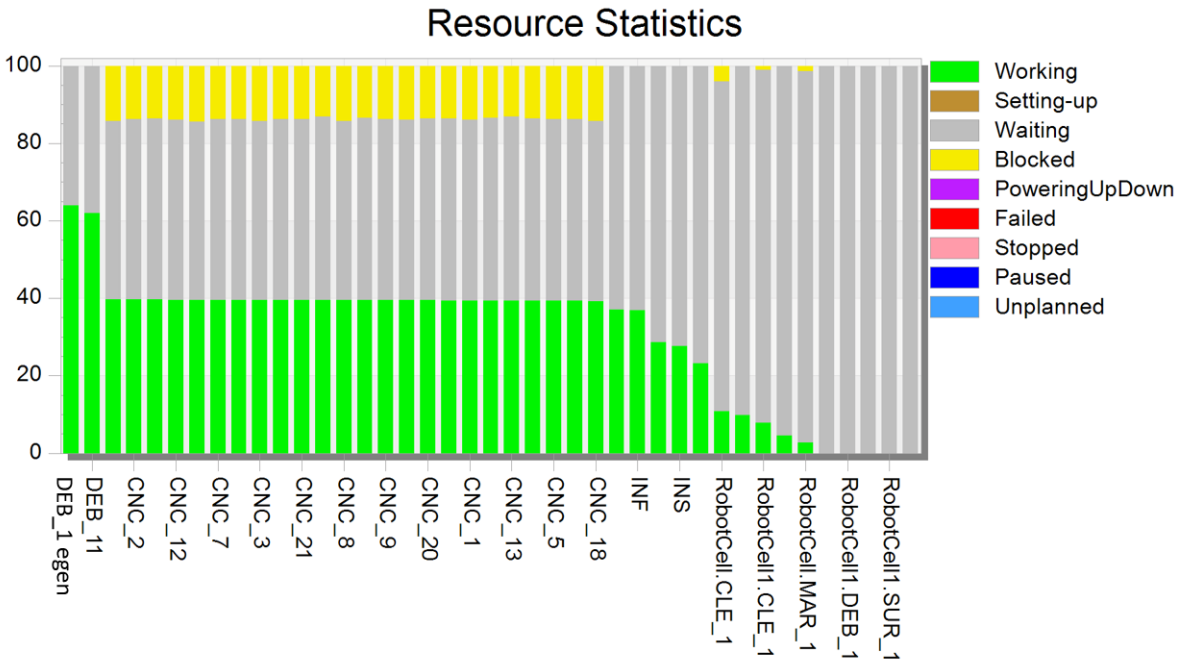
När gradningsstationen flyttades ut ur cellen visar detta att stationerna i robotcellen blev mindre blockade. Samtidigt visar det på att utnyttjandegraden av gradningsstationen är omkring 60%. Detta gör det svårt att visa på flaskhalsar och en ny simulering med högre produktionsvolym utfördes. Utfallet av denna simulering visas i figur 15 nedan.



Figur 15 - Statistik över utnyttjandegraden vid gradning utanför robotcell med hög produktionsvolym

Simuleringen visar att gradningsstationen har en utnyttjandegrad på 100% vid en högre produktionsvolym. Eftersom gradningsstationen arbetar hela tiden skapas det en flaskhals vid stationen. Denna flaskhals gör i sin tur att CNC-maskiner blockeras i högre grad jämfört med

simuleringen av den lägre produktionsvolymen. Eftersom utnyttjandegraden i gradningsstationen blev 100%, gjordes en ytterligare simulering där två gradningsstationer användes. Simuleringen gjordes med hög produktionsvolym och resultatet visas i figur 16 nedan.



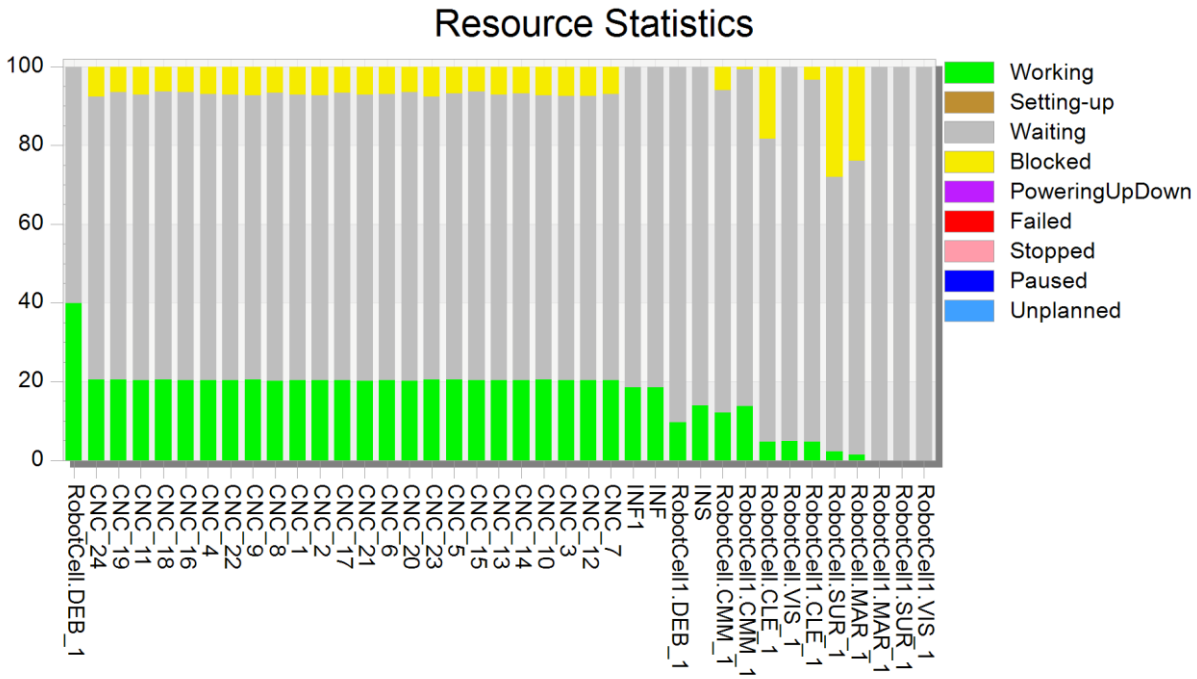
Figur 16 - Statistik över utnyttjandegraden vid två gradningsstationer utanför robotcell med hög produktionsvolym

Simuleringen av två gradningsstationer, som ligger utanför robotcellen, visar på en utnyttjandegrad på omkring 60% för respektive gradningsstation. Liknande siffror på blockerandet av CNC-maskinerna visas även i denna simulering.

Med att göra denna förändring och simulera det nya scenariot kan man på ett tydligare vis också kunna avgöra om behovet av en ytterligare robotcell med respektive moduler är nödvändig eller om man behöver en ytterligare en gradningsstation.

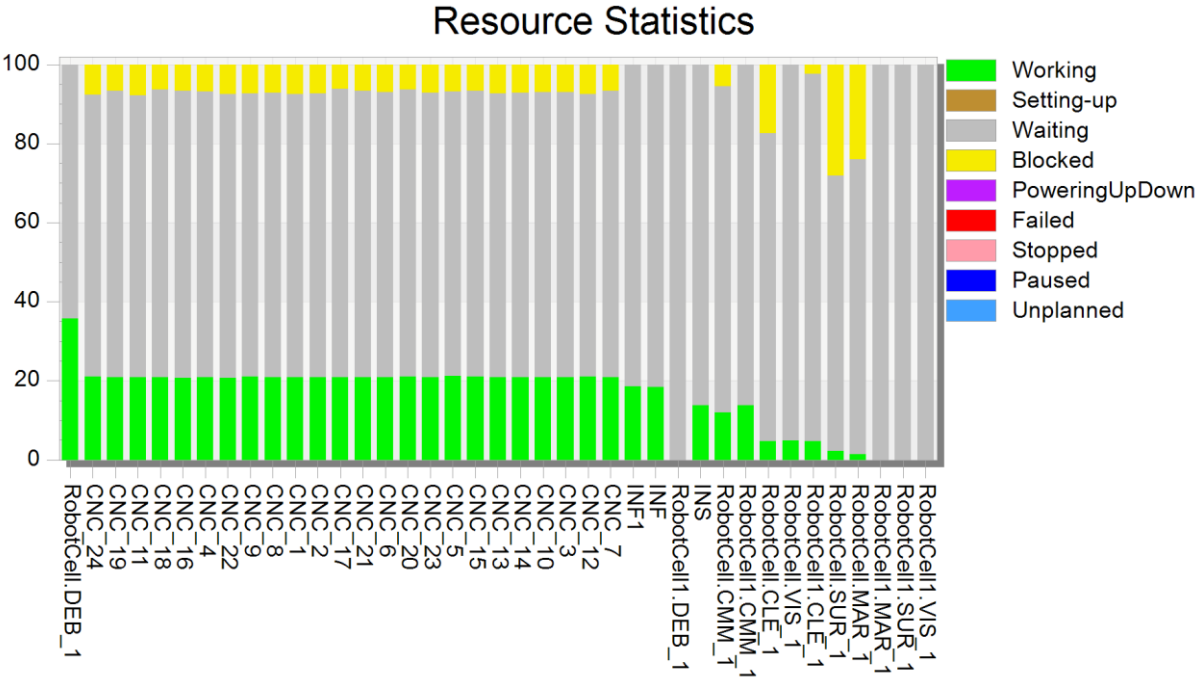
Förbättringsåtgärd 2:

En alternativ förbättringsåtgärd som hade kunnat göras är att låta CNC-maskinerna processa mer på de olika komponenterna för att minska processtiderna i gradningsstationen. Därmed ökar processtiden i CNC-maskinerna, men eftersom dessa inte varit fullt belägrade i tidigare simuleringar, är det inget problem. I figur 17 visas resultatet av simuleringen där normal produktionsvolym och halverade processtider i gradningsstationen användes. Där processtiden hos gradningen ersätts av att arbetet istället görs i CNC-maskinen. Det vill säga att om man tar bort fem minuters gradningsarbete läggs det till fem minuter i CNC-bearbetningen.



Figur 17 - Normal produktionsvolym med halverade processtider vid gradning

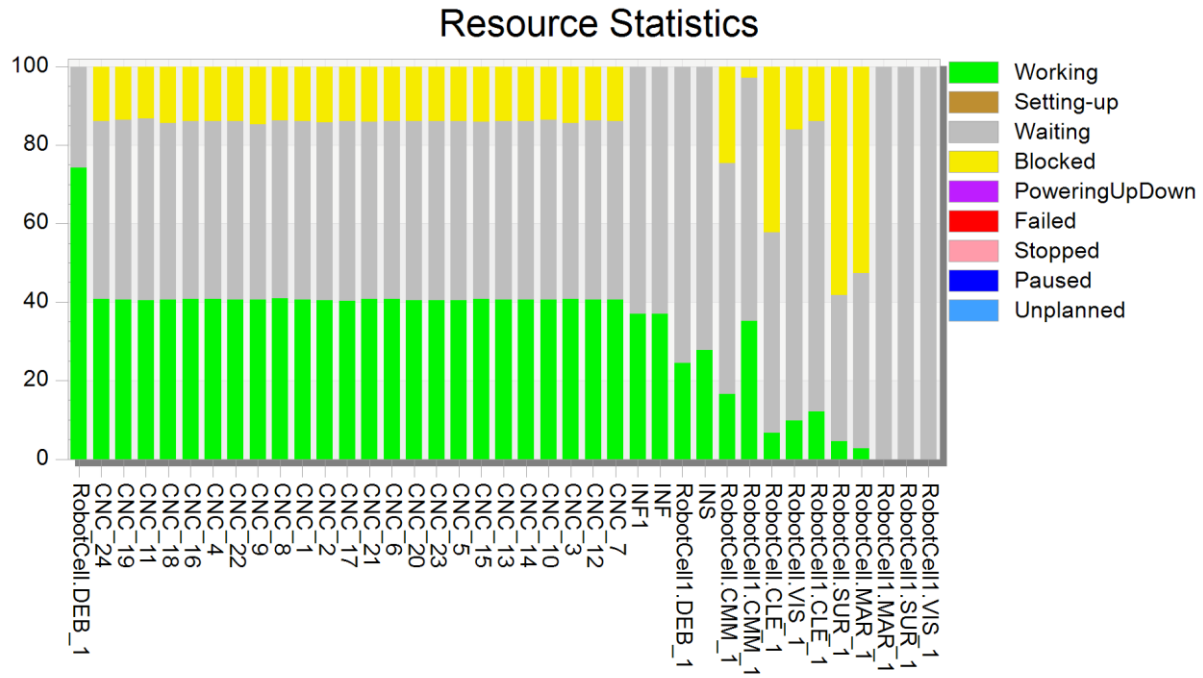
En utnyttjandegrad på 40% på gradningsstationen i robotcellen kan utläsas. I den duplicerade robotcellen kan en utnyttjandegrad på 10% ses i gradningsstationen, detta eftersom AM-komponenterna inte körs i den duplicerade robotcellen. Utnyttjandegraden är låg på maskinerna och ”Waiting” är högt. För att kunna jämföra gjordes en ny simulering där all gradning gjordes i CNC-maskinerna, förutom på AM- komponenterna då dessa aldrig genomgår CNC-maskinerna. Resultatet av denna simulering visas i figur 18 nedan.



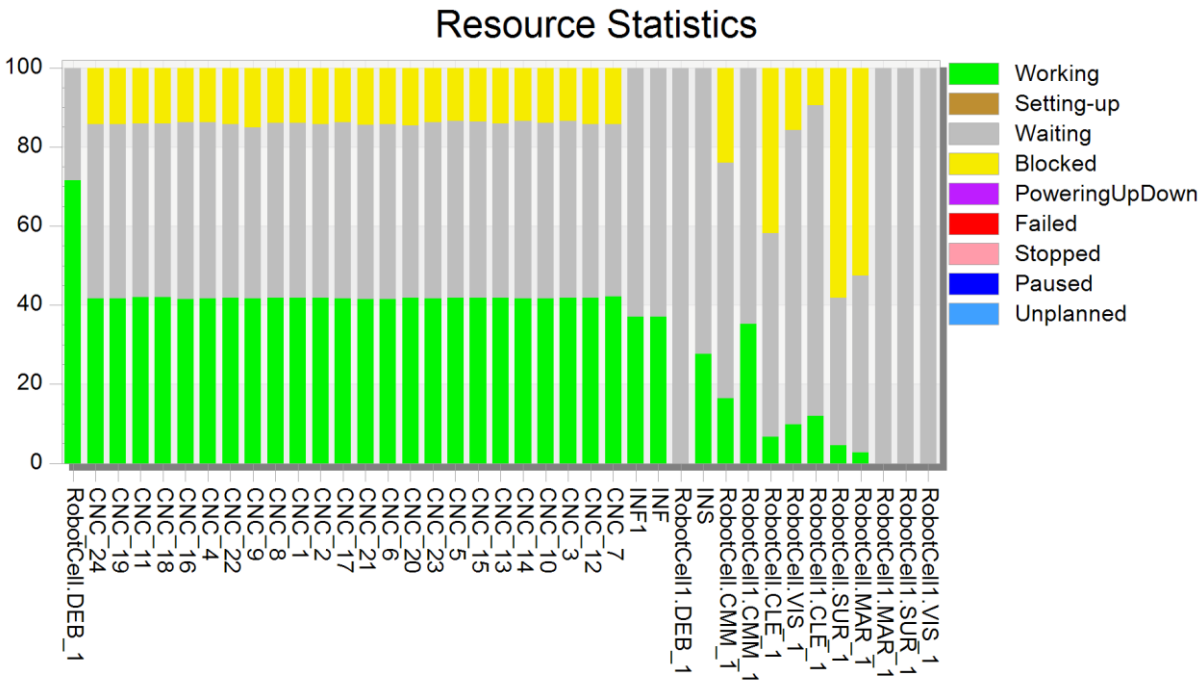
Figur 18 - Normal produktionsvolym utan processtider vid gradning

Det som kan ses är att utnyttjandegraden på gradningsstationen i robotcellen har gått ner till omkring 37%, samtidigt som utnyttjandegraden av gradningsstationen i den duplicerade cellen

ligger på 0% av förklarade skäl. Utnyttjandegraden är minimalt högre på CNC-maskinerna. För att se tydligare skillnader gjordes de två ovannämnda simuleringarna om men med högre produktionsvolym. Resultatet av dessa simuleringar visas i figur 19 och figur 20 nedan.



Figur 19 - Hög produktionsvolym med halverade processtider vid gradning



Figur 20 - Hög produktionsvolym utan processtider vid gradning

Det som kan ses är högre utnyttjandegrad av alla maskiner jämfört med de två simuleringarna med normal processvolym. Skillnaden mellan de två simuleringarna med hög produktionsvolym är desamma som för de med normal produktionsvolym. Gradningsstationen i robotcellen är mer belägrad vid halverad processtid och den duplicerade robotcellens

gradningsstation är inte alls belägrad vid simuleringen utan processtider i gradningsstationerna. Det som kan ses är även att CNC-maskinerna är mer belägrade vid simuleringen utan processtider i gradningsstationerna.

4.3.3 Förändring i systemet och flexibilitet

Att skapa en simuleringsmodell som automatiskt förändras under simuleringslöpet kräver att satta villkor uppfylls eller inte uppfylls. I denna modell fungerar systemet enligt följande: om systemet skulle få för stora väntetider i form av att det blir många komponenter väntandes i bufferten innan robotcellen, skapar modellen ytterligare en robotcell som komponenterna kan gå till. Utöver detta förändras även modellen under simulering beroende på vilka komponenter som går in i robotcellen. Om till exempel en CNC-bearbetad del ska in i cellen, ställer den om sig och de aktiva stationerna tänds. Skulle komponenter som är tillverkade additivt åka in i robotcellen tänds de nya stationerna upp och släcks igen när de CNC-bearbetade bitarna går in i cellen. Detta för att visuellt visa och tydliggöra vilka komponenter som är i cellen och visa förändringen i cellen rent visuellt. Systemet förändras också beroende på dess processtider i CNC-maskinerna där komponenterna placeras i maskinerna vid en optimal tidpunkt för att undvika att komponenterna blir klara vid eller precis efter nattens skiftslut.

Flexibel och konfigurerbar produktion i systemet demonstreras genom att möjliggöra för de olika komponenterna att kunna ha en egen processföljd i robotcellen och att de respektive processerna är visuellt synliga i cellen. Att alla produkters processtid kan variera och att alla CNC-maskinerna kan köra alla de produkter som är ämnade att köras där visar på flexibilitet. För att kunna testa modellens flexibilitet och kunna se hur systemet påverkas kräver det att man ändrar på de olika produkternas processföljd och ändrar dem på ett sätt där skillnaderna mellan dem blir stora.

Vid olika simuleringar där processföljden på de olika produkterna ändrades, blev resultatet enligt följande: När samtliga produkter hade samma processföljd mötte cellen inga komplikationer. När de CNC-bearbetade komponenter hade samma processföljd men där AM-komponenterna hade sin egen, var det inga komplikationer heller. Men när alla komponenter hade olika processföljder fungerade systemet till en viss grad, tills systemet blev överbelastat då det inte längre fanns någonstans för komponenterna att ta vägen.

Förbättringsåtgärd

Att begränsa robotcellen till att enbart ha två komponenter i sig samtidigt gör att den inte blir överbelastat och komponenten alltid har möjlighet att följa den valda processgången. Detta då processen kan ha komponent i sig och den tillhörande bufferten kan ha en komponent i sig.

5. Diskussion

I detta avsnitt diskuteras avgränsningarna, arbetsgången, simuleringsmodellen, resultatet av simuleringarna samt hur simulering bidrar till hållbarhet.

5.1 Avgränsningar

Avgränsningar sattes på vilken data som skulle användas vid projektet. Det bestämdes att maskinavbrott och leveransförseningar inte skulle behandlas. Viktigt att tänka på är att maskinavbrott är en naturlig del av produktionssystem, där dessa påverkar resultat som genomströmning av produkter och ledtider. Eftersom arbetet inte har omfattat denna typ av data, kommer därför resultatet inte att återspegla exakt hur produktionen hade sett ut i verkligheten. Det går därför inte att använda modellen just nu för att ta beslut baserat på data som utfaller från simuleringarna. Syftet med arbetet var aldrig att få fram konkreta siffror som återspegla verkligheten i produktionen, utan syftet var att modellen ska ge en fingervisning på huruvida en modell i Plant Simulation kan vara flexibel och konfigurerbar. Avgränsningarna har tillåtit arbetet att inte fastna vid exakta siffror vilket har avgränsat arbetet till en resonabel arbetsbörda.

5.2 Teoretisk referensram

Under arbetsgången har en flexibel och konfigurerbar modell tagits fram som kan kopplas till den teoretiska referensramen. Programvaran Plant Simulation har möjliggjort användandet av diskret händelsestyrd simulering. Då produktionen av komponenter som arbetet omfattar är av en avancerad typ, där ledtider är höga och genomströmningen är relativt låg, behövs simulering av system ske under en lång period. I simuleringsförsöken har tre års produktion simulerats varav ett har varit uppvärmningstid. På grund av att Plant Simulation använder diskret händelsestyrd simulering har simuleringstiden varit kort, där tre års produktion endast har tagit ett par minuter. Det kan ses som ett starkt verktyg för att förutspå hur ett produktionssystem kommer att bete sig. Eftersom simuleringstiden hållits kort, har förbättringar snabbare tagits fram och testats.

Då arbetet har strävat efter att visa på flexibilitet och konfigurerbarhet har teorin för både flexibla och konfigurerbara tillverkningssystem varit till hjälp. För att visa på flexibilitet och konfigurerbarhet har viktiga aspekter från teorin använts, där flexibiliteten har kommit från modellens sätt att hantera olika processvägar. Konfigurerbarheten visas av ändringarna som sker då modellen ställs om för olika produkter. Vidare kan modellen ändras om för att vara konfigurerbar, där nya produkter snabbt kan läggas in och testas i modellen. Flexibiliteten som medförs av att användaren kan ändra i processvägarna ger en routingflexibilitet samtidigt som programvaran medför att maskiner snabbt kan ställas om för att visa på maskinflexibilitet.

Att arbetet har utgått från dessa begrepp är förestående eftersom framtidens produktion går mot att skapa konfigurerbara och flexibla produktionssystem för att klara av den massanpassning som kunder begär av företagen. Företag behöver idag utforska möjligheterna inom området för att öka reaktionsförmågan till de krav som sätts av kunderna.

5.3 Simuleringsmetodik

Modellen [13] är beprövad med en tydlig struktur och en arbetsgång som var enkel att efterfölja. Det föll sig naturligt att börja med att tydliggöra och formulera problemet för att sedan fastställa mål och syfte med arbetet. Det konceptuella utseendet för modellen var redan bestämt i arbetsbeskrivningen men där uppbyggnaden för hur simuleringsmodellen skulle vara låg inom arbetsuppgifterna. Då den data som skulle användas redan var angiven krävdes inga insamlingar i form av tidtagning etcetera. Efter att en konceptuell lösning hittas på ett av delproblemen provades den genom kodning och byggande i modell för att sedan verifieras och valideras för att se om det löste problemet och om utfallet var rimligt. Denna fyrstegsprocess återupprepades ett antal gånger tills modellen fungerade på det sätt som eftersträvades. Då brist på erfarenhet inom ämnet och då projektplanen sattes i ett tidigt skede märktes det relativt tidigt in i projektet att det var under framtagning av en lösning och hur det skulle kodas som majoriteten av tiden behövdes läggas.

I nästa steg simulerades och analyserades det angivna produktionsscenariot för att sedan göra ändringar och experiment där olika scenario testades för att kunna dra slutsatser av modellen. Dokumentering av resultatet gjordes genom att klippa ut diagram och skriva upp de visuella händelser som väl skedde under simuleringslöpen. De siffror som ändrades och de utfallet man fick dokumenterades också för att enklare kunna dra slutsatser av modellen. Implementeringsfasen som är sista steget i Banks modell är något som inte togs i beaktning då det inte ingick inom projektets gränser.

5.3.1 Simuleringsbyggande

Simuleringsbyggandet har varit en utmaning i projektet då erfarenhet av programvaran var på en begränsad nivå. Tidigare har endast enkla uppgifter utförts i programmet inom utbildningen. Genom arbetet har erfarenheten ökat väsentligt inom programvaran vilket har möjliggjort för en mer avancerad modell än inledningsvis förväntats. Det som har framkommit av att kolla på andra modeller som finns tillgängliga på internet, är att flexibla och konfigurerbara system inte är vanliga inom Plant Simulation. Modellbyggandet har således varit utmanande i den aspekten att kunna ta hjälp av befintlig information. Den för oss, avancerade graden av modellbyggande har gjort att processen byggt på att testa sig fram, försök och misstag för att komma fram till den resulterande modellen.

I avsnitt 3.4 definierades en kravlista för att modellen ska visa på tydlig flexibilitet och konfigurerbarhet. En förklaring på huruvida kraven uppfylls och hur de uppfylls beskrivs nedan:

Krav 1 - Kunna lägga till en micro-flowcell

Kravet på att kunna lägga till en microflow-cell i modellen bestämdes för att visa om modellen kunde, under simulering, lägga till en microflow-cell när systemet kände av att mer kapacitet behövdes. För att modellen skulle klara av detta behövde villkor sättas. I modellen skrevs en metod för att duplicera microflow-cellen när distributions bufferten blev full. Kravet att lägga till en microflow-cell är därav uppfyllt.

Krav 2 - Kunna avläsa processtider från tabell

Vanligtvis definieras en processtid i varje station i Plant Simulation för att stationen ska veta hur länge komponenten som befinner sig i stationen ska processas. Eftersom scenariot innehöll flera produkter med olika processtider i de olika stationerna sattes detta krav för att vi se om modellen klarar av att hantera ett sådant scenario. Genom att skapa en tabell som definierar processtiden för varje komponent i varje station och sedan skapa en metod som läser av denna tabell baserat på vilken komponent som befinner sig i vilken station, kunde detta krav uppfyllas. Modellen kan alltså hantera olika produkter och sätta korrekt processtid för en specifik komponent i en specifik station.

Krav 3 - Kunna skicka in olika komponenter i modellen med olika volymer utan bestämd ordning

Detta krav sattes för att återigen visa på flexibilitet. För att kunna avgöra om modellen är flexibel behöver olika komponenter skickas in med olika volymer utan en bestämd ordning. Detta krav uppfylldes genom att göra tabeller som kopplades till de två source som finns i modellen. Tabellerna definierar vilka produkter som ska skickas in i systemet och vilken procentuell andel av varje produkt som ska skapas. I source sattes även ett enhetligt intervall för att definiera volymen av produkter. Intervallet kan ändras för att få ändrad volym. Genom att använda intervallet för att bestämma volymen, tabellen för att bestämma vilka produkter som ska föras in i systemet samt tabellerna för att bestämma procentuellt av volymen hur mycket av varje del som ska in i systemet, kan modellen skicka in produkter i systemet som uppfyller kravet.

Krav 4 - Samtliga komponenter ska kunna gå till samtliga CNC-maskiner

För att visa att komponenterna i modellen kan ta olika vägar sattes detta krav. Kravet sattes även för att alla CNC-maskiner skulle vara lika mycket uttnyttjade under simuleringarna. För att lösa detta användes en inställning i en buffert för att uppfylla kravet. Inställningen gör att bufferten innan CNC-maskinerna läser av vilken CNC-maskin som har haft minst antal ingående komponenter och skickar därefter. Kravet är således uppfyllt.

Krav 5 - Komponenten ska kunna ha en egen processföljd i microflow-cellen

I avsnitt 2.2 beskrivs flexibla tillverkningssystem och där nämns routingflexibilitet. En komponent ska inom flexibla tillverkningssystem och inom routingflexibilitet kunna ta så många olika processvägar inom systemet som möjligt. Olika komponenter ska kunna ta olika vägar och därför sattes detta krav. Kravet uppfylldes genom att skapa tabeller i den ingående bufferten i microflow-cellen. I tabellerna definieras vilken specifik väg komponenten ska ta i robotcellen. En metod skrevs som läser av vägen och tillsammans med exit-kontroller i de olika modulerna räknar koden ner i listan för att hitta nästa station. Under arbetet har många olika försök genomförts för att få denna routingflexibilitet att fungera. Tillslut var det en inbyggd funktion som hittades och användes för att få metoden att fungera. Detta krav har varit av stor vikt under arbetsgången eftersom det visar på hög flexibilitet inom modellen.

Krav 6 - Komponenten ska transporteras till den bäst lämpade micro-flowcellen om det finns mer än en cell

Kravet bygger på att krav 1, kunna lägga till en micro-flowcell, är uppfyllt. Kravet sattes återigen för att visa på routingflexibilitet inom modellen. När en ny robotcell skapas kopplas den till det omkringliggande systemet. När den ursprungliga robotcellen konfigureras för att ta hand om AM- komponenter, finns det en kodrad som säger: Om AM-konfigurationen är sann, skicka komponenterna till den duplicerade robotcellen istället. På detta sätt blir de vanliga komponenterna inte blockerade utan kan fortsätta processas i de duplicerade robotcellen. Kravet är uppfyllt.

Krav 7 - Micro-flowcellen ska kunna arbeta under natten utan att någon behöver bemanna avslutande inspektionen

Detta krav sattes för att undersöka möjligheten att utöka arbete som sker obemannad tid under natten. Genom att sätta ingående buffrar i robotcellen, kan roboten i cellen arbeta med komponenterna som ligger i bufferten under natten då modellen är obemannad. På detta sätt maximeras arbete som sker under natten, vilket oftast är tid som inte används inom produktionen. Kravet är uppfyllt.

Krav 8 - Optimera produktionslogistiken för att undvika att CNC-maskiner står stilla under natten

Detta krav sattes med samma anledning som krav 7, nämligen att öka produktion under natten. Metoden som används för att lösa detta beskrivs i början på avsnitt 4.2. Antagandet som gjordes, att komponenterna inte får bli klara mellan 23:45 och 02:00, baseras på diskussioner. Sista operatören går hem vid 00:00 och hinner därför inte lägga in en ny komponent i CNC-maskinerna på mindre än 15 minuter. Första operatören kommer till jobbet vid 06:00 och det ansågs därför vara rimligt att komponenten i CNC-maskinen maximalt får ligga klar 4 timmar i CNC-maskinerna innan den första personen på morgonen kan ta ut den. Diskussionen ligger till grund för metoden som skapades och uppfyller kravet.

Krav 9 - Roboten ska stå vid gradningsstationen för att visuellt visa att den utför arbetet och därför inte kunna utföra några andra uppgifter medan en komponent bearbetas i gradningssationen

I verkligheten så utför roboten gradningsarbetet genom att byta verktyg och processa komponenten. Det var viktigt att få med denna aspekt i modellen och därför sattes detta krav. Roboten som används i modellen kallas PickAndPlace och har ingen inbyggd funktion som gör att den kan processa komponenten i en station. Därför sattes kravet att roboten skulle stanna vid stationen för att både visuellt visa att roboten är vid stationen under processen men också för att själva roboten inte skulle kunna utföra andra arbeten under tiden komponenten processades. Kravet uppfylls genom att en variabel säger åt roboten att stå still vid gradningsstationen under processen för att sedan flytta komponenten till nästa station.

5.4 Resultat

Vid simulering av en modell kan man kolla på en rad olika sorters data och göra olika sorters tester beroende på vad som efterfrågas. De åtgärder som presenterades diskuterades i samråd med handledare på GKN för att få bekräftelse att åtgärderna var realistiska och principiellt genomförbart men också möjliga att simulera i modellen. Den uppvärmningstiden som användes var en standardtid som GKN brukade använda sig av vid simulering av produktion. Detta för att underlätta och spara tid genom att undvika beräkningar samt analysering av när systemet blir stabilt vid olika volymer.

Något som gick att se vid simuleringarna för varierade produktionsvolym var att komponenter ut stämde väl överens med det förväntade antalet komponenter. En anledning till skillnaden mellan de förväntade och det aktuella värdet var att vid uppskattning räknades inte de komponenter som var i systemet efter uppvärmningstiden med. När produktionsvolymen med antalet komponenter in ökade, gjorde även antalet komponenter ut det i samma takt, vilket tyder på att systemet är kapabelt till att möta de efterfrågade volymerna.

För att få fram flaskhalsarna i systemet behövdes produktionsvolymerna höjas för att få tydliga indikationer och resultat. Det berodde på att systemet hade en hög kapacitet och att det inte hann med att bli några större flaskhalsar vid en lägre produktionsvolym. Vid analysering av statistiken hos de olika processerna kan man se att flera av dem både är blockerade och väntar. Anledningen till att CNC-maskinerna är blockerade emellanåt är för att ingen operatör tömmer maskinerna på natten utan först på morgonen när det anländer kl.06.00. Väntandet i sin tur är på grund av att det är för få komponenter in i systemet och man kan tydligt se att det är någon eller några CNC-maskiner som är överflödiga. Anledningen till att processerna i robotcellen är blockerade är för att roboten är upptagen med att utföra gradningsarbetet i stor utsträckning. Att processerna har olika stora staplar är beroende av dess processtider och beroende på att vissa operationer bara tillämpas hos de additivt tillverkade komponenterna. Skillnaden i utnyttjandegraden mellan gradningen i första och andra robotcellen beror främst på att i den första robotcellen körs AM- komponenterna som har mer än fyra gånger så lång processtid som övriga komponenter. Dessutom till en början existerar bara den första cellen då den andra skapas först när det blir fullt i första robotcellen. Att inspektionsstationerna aldrig är blockerade är för att de är sista utposten i systemet och inte har några begränsningar i den meningen. Då arbetet inte tar hänsyn till några eventuella stopp, störningar, oplanerad produktion och då setup-tider är inbakade i processtiderna visas inte de staplarna i statistiken.

När första åtgärden för flaskhalsen simulerades, som var att lyfta ut gradning från robotcellen, visade statistiken att gradningen arbetade konstant och att den aldrig behövde vänta på material eller var blockerad från efterföljande steg i processflödet. Detta gjorde att ytterligare åtgärd simulerades där en till gradningsstation med tillhörande robot lades till. Med hjälp utav dessa simuleringar kunde man få indikationer om att det inte behövs två robotceller såvida gradningsarbetet sker innan robotcellen och att det finns åtminstone två stationer. Problemet med detta upplägg, utöver kostnader för robotar vilket vi inte tar i beaktning, är att flexibilitet försämras avsevärt då processgången begränsas. Det kommer inte att vara möjligt att lägga in processer från robotcellen innan gradningen ska utföras och om man skulle vilja grada något två gånger med operationer mellan sig kommer det att göra att man behöver förändra systemet.

Andra förbättringsåtgärden när, processtiderna för gradningen flyttades till CNC-bearbetningen, resulterade i att stationerna i robotcellen som hanterar CNC-bearbetade komponenter arbetade mer och var mer sällan blockerade. De processer som bara ingår i flödet

för AM- komponenter påverkades inte. Det blev ingen större skillnad mellan halverade processtider och ingen processtid i gradning för stationerna i robotcellen, detta på grund av att vid halverade tider blev processtiderna för de olika stationerna relativt jämna och det är vid bearbetning av AM- komponenter flaskhalsen uppstår.

När flexibiliteten testades kunde man tydligt se att det fungerade som tänkt, men när många komponenter befanns sig i robotcellen och då stationerna och dess respektive buffer var platsbegränsade gjorde det att systemet blev fullt. En åtgärd för detta var att begränsa antalet komponenter åt gången för cellen till två för att möjliggöra fri väg. Ett annat alternativ hade kunnat vara att optimera logistiken och göra operationsföljden hos produkterna på ett sätt där de inte skulle krocka i samma utsträckning eller att man på något sätt skulle begränsa till att bara ha en slags produkt i cellen åt gången, fast flera komponenter. Det skulle kanske kräva att man schemalade när vissa produkter skulle tillverkas för att underlätta logistiken. Ett annat sätt att lösa problematiken med en överfull robotcell vid för stora variationer i processföljd hos produkterna är att inte begränsa buffertar till en komponent utan ha obegränsat. Detta skulle dock inte vara realistiskt att implementera i verkligheten men i simuleringsmodell är det fullt möjligt. Vilket skulle medföra att man flyttar in de komponenter som väntar på att bearbetas i robotcellen istället för att låta de vänta utanför.

5.5 Allmänt om simulering

Simuleringsmodeller ska ses som ett verktyg och användas som underlag vid beslut. Ett komplement tillsammans med många andra faktorer som bör tas i beaktning vid beslutatagande kring eventuella insatser. Simuleringsprogram kan inte helt återspegla verklighetens produktion då mänskliga insatser påverkar systemet i stor utsträckning i verkligheten, vilket inte går att simulera. Människors rörelsemönster, rutiner och välmående kan vara saker som påverkar produktivitet och som inte simuleringen tar i beaktning. Om eftersträvan för bästa möjliga realiserade simulering kräver mängder med observation- och datainsamling och att rutiner för operatörerna följs och är precisa. Dessutom måste arbete som utförs manuellt i produktionen göras i samma takt och med återupprepade utfall, automatiserade system är därför enklare att återskapa.

5.6 Användande av modellen

Ur simuleringsmodellen kan många indikationer fås och har potential att byggas vidare på vid förändring av scenariot eller om man skulle vilja använda sig av komponenter till ett helt annat arbete. Modellen kommer även att kunna användas av de som arbetar med produktionen för att simulera och få indikationer kring påverkan av vissa händelser eller ändringar i processgång och tider. Men även se hur utnyttjandegraden för de respektive maskiner, operatörer och robotar. Främsta uppgiften och arbetets huvudsyfte var att kunna skapa och simulera ett flexibelt och konfigurerbart produktionssystem där systemet inte skulle vara beroende av en specifik processföljd eller vissa tider utan möjliggöra förändring.

5.7 Hållbarhet

Genom att simulera olika scenarion kan man förutspå händelser och se vad det har för inverkan. Dessa simuleringar görs digitalt utan någon påverkan på miljö eller störningar i produktionen. Simulering medför att onödiga insatser kan förhindras och att man effektivisera och utnyttja de befintliga resurserna.

Ur ett socialt hållbarhetsperspektiv kan man simulera arbetsbördan för operatörer och kunna se till att tillräcklig personal finns tillgänglig. Då förändringar kring produktivitet och rutiner kan testas på förhand gör det att onödiga omställningar för operatörer kan förhindras. För uppnå det socialt hållbart krävs att simuleringsverktygen blir socialt accepterade bland arbetarna och att den resulterade datan från simulering också görs i verkligheten för att visa eventuella förbättringar.

6. Slutsats

Syftet med arbetet har varit att utveckla en simuleringsmodell i Plant Simulation som kan anpassas under simulering för att demonstrera konfigurerbar och flexibel produktion. Även att dra slutsatser kring hur modellen skulle kunna bidra till ökad produktivitet, minskade ledtider samt förbättrat resursutnyttjande.

- *Frågeställningen: Hur kan en simuleringsmodell byggas som demonstrerar flexibel och konfigurerbar produktion i Plant Simulation?*

Det blir svårt att visa exakt hur en simuleringsmodell ska byggas upp, men det som kan sägas är att den slutliga modellen som presenteras i arbetet demonstrerar flexibilitet och konfigurerbarhet genom att hantera olika produkter, volymer, processvägar och produktionslogistik. Genom att skapa en modell som uppfyller de specificerade kraven för flexibilitet och konfigurerbarhet som sattes, att kunna lägga till en microflow-cell, avläsa processtider från en tabell, skicka in komponenter med olika volymer utan bestämd ordning, möjliggöra olika processvägar för komponenter och optimera produktionslogistiken för att undvika stillastående CNC-maskiner, uppfylls syftet att visa på att modellen är flexibel och konfigurerbar.

Att bygga upp modellen på ett sätt som gör att det går att ändra processtider, volymer och produkter i tabeller gör att modifiering av modellen blir enkel och flexibel. Det är av stort intresse att bygga modellen så att den går att ändra efter behovet som användaren har, för att möjliggöra vidareutveckling och fortsatt arbete med modellen. Att visuellt visa på förändring i modellen under simulering bidrar till en upplevd flexibilitet i modellen, exempelvis att duplicera objekt eller tända/släcka objekt när dessa är aktiva.

Slutsatser som kan dras från de olika simuleringarna som gjordes var att man inte behöver två robotceller ifall man har en eller två gradningstationer innan komponenterna hamnar i robotcellen. Det försämrar flexibilitet avsevärt om man väljer att ha gradningen utanför ifall processföljden skulle ändras.

Referenser

[1] N. L. L. B. S. T. J. B. J. D. N. R. A. F. Phil Ogun, ”PERFoRM - Horizon 2020 – Factories of the Future,” Loughborough University, Loughborough , 2020.

[2] J. B. J. V. P. L. José Dias, ”Agent-based reconfiguration in a micro-flow production cell,” IEEE, Emden, Germany, 2017.

[3] A.Goti, Discrete Event Simulations, Rijeka: IntechOpen, 2010.

[4] U. H. (. S. F. J. (. d. M. Y. Kor& (University of Michigan), ”CIRP Annals,” i *Y. Kor& (University of Michigan), U. Heisel (Universitat Stuttgart), F. Jovane (Politecnico di Milano),*, Michigan, Stuttgart, Milano, Kobe, Leuven, CIRP, The International Academy for Production Engineering, 2022, pp. 527-540.

[5] R. Stewart, ”Simulation: The Practice of Model,” Warwick Business School, Warwick, 2004.

[6] N. Matloff, ”Introduction to Discrete-Event Simulation and the SimPy Language,” University of California, Davis, 2008.

[7] H. K. Shivanand, Flexible Manufacturing System, New Age International (P) Limited, 2006.

[8] L. Wood, ”What are Flexible Manufacturing Systems and How Can You Use It?,” Software Connect, 27 Januari 2023. [Online]. Available: https://softwareconnect.com/manufacturing/what-is-fms/. [Använd 15 April 2023].

[9] L. H. M. L. W. S. Sheng Ma, Networks-on-Chip, From Implementations to Programming Paradigms, Morgan Kaufmann, 2014.

[10] Melanie, ”Unleashed,” Unleashed Software, 13 Maj 2021. [Online]. Available: https://www.unleashedsoftware.com/blog/flexible-manufacturing-in-2021-flexible-manufacturing-systems-explained. [Använd 15 April 2023].

[11] K. V. Mehdi Kaighobadi, ”Flexible Manufacturing,” Florida Atlantic University, Fort Lauderdale, 1993.

[12] A. G. U. Y. K. M. G. Mehrabi, ”Journal of Intelligent Manufacturing,” Kluwer Academic Publishers, 2000.

[13] J. Banks, ”INTRODUCTION TO SIMULATION,” AutoSimulations, Inc., Atlanta, GA 30067, U.S.A., 1999.

[14] J.Dovelius, ”Att samla in och bearbeta data,” Liber distribution, Stockholm, 2000.

[15] Siemens, ”Tecnomatix Plant Simulation,” Siemens, 2023. [Online]. Available: https://plm.sw.siemens.com/en-US/tecnomatix/products/plant-simulation-software/. [Använd 15 April 2023].

[16] SIEMENS, ”Use plant simulation and throughout optimization to improve manufacturing performance,” 2023. [Online]. Available: https://static.sw.cdn.siemens.com/siemens-disw-assets/public/B0sr1mKsQOfGwWDCD8KFs/en-US/Siemens%20SW%20Plant%20Simulation%20Fact%20Sheet.pdf. [Använd 28 05 2023].

[17] SIEMENS, ”Tecnomatix Plant Simulation Help,” Material Flow Objects - Station. [Online]. [Använd 28 03 2023].

[18] SIEMENS, ”Tecnomatix Plant Simulation Help,” Material Flow Objects - Source. [Online]. [Använd 28 03 2023].

[19] SIEMENS, ”Tecnomatix Plant Simulation Help,” Material Flow Objects - PickAndPlace Robot. [Online]. [Använd 28 03 2023].

[20] SIEMENS, ”Tecnomatix Plant Simulation Help,” Material Flow Objects - Buffer. [Online]. [Använd 28 03 2023].

[21] SIEMENS, ”Tecnomatix Plant Simulation Help,” Resource Objects - Worker. [Online]. [Använd 28 03 2023].

[22] SIEMENS, ”Tecnomatix Plant Simulation Help,” Resource Objects - Workerpool. [Online]. [Använd 28 03 2023].

[23] SIEMENS, ”Tecnomatix Plant Simulation Help,” Resource Objects - Worksplace. [Online]. [Använd 28 03 2023].

[24] SIEMENS, ”Tecnomatix Plant Simulation Help,” Resource Objects - Broker. [Online]. [Använd 28 03 2023].

[25] SIEMENS, ”Tecnomatix Plant Simulation Help,” Material Flow Objects - Drain. [Online]. [Använd 28 03 2023].

[26] N. Kvalitetsregister, ”Validerings Handbok,” 24 10 2016. [Online]. Available: https://skr.se. [Använd 12 05 2023].

[27] A. M. L. W. Kelton, Simulation & Modeling, McGraw-Hill, 2007.

[28] J. M. F. J. L. M. W. E. S. C. C. H. Thomas H. Naylor, ”Verification of Computer Simulation Models,” 1967. [Online]. Available: https://www.jstor.org/stable/2628207. [Använd 18 05 2023].

[29] Simul8, ”Simul8,” 2023. [Online]. Available: https://www.simul8.com/support/help/doku.php?id=features:clock:warm_up_period. [Använd 16 05 2023].

Bilagor

Bilaga 1. Beräkningar för intervallet

Komponenter med CNC-bearbetning:

Total arbetstid per vecka är 105,5 timmar
Total antal komponenter per vecka är:
Minimum komponenter: 15 + 25 +25 + 10 = 75
Maximum komponenter: 45 + 75 + 75 + 30 = 225
Enhetligt intervall [nedre gräns, övre gräns]:
Nedre gräns: 105,5/225 = 28 minuter, 8 sekunder
Övre gräns: 105,5/75 = 1 timme, 24 minuter, 24 sekunder

Additivt tillverkade komponenter

Total arbetstid per vecka är 105,5 timmar
Total antal komponenter per vecka är:
Minimum komponenter: 5 + 10 = 15
Maximum komponenter: 15 + 30 = 45
Enhetligt intervall [nedre gräns, övre gräns]:
Nedre gräns: 105,5/45 = 2 timmar, 20minuter, 40 sekunder
Övre gräns: 105,5/15 = 7 timmar, 2 minuter

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se