



## **BACHELOR THESIS**

Een simulatiestudie naar de verbetering van het  
werkvloergebruik bij VMI Holland BV

**Auteur:**

R.H.J. Wichink

**Datum:**

25-07-2017

## VMI Holland BV

8161 RK Epe

Gelriaweg 16

Tel: 0578 679 111

[www.vmi-group.com](http://www.vmi-group.com)

**Auteur:**

R.H.J. Wichink

S1597671

**Universiteit:**

Universiteit Twente

**Bachelor opleiding:**

Technische Bedrijfskunde

**Supervisors**

Dr. ir. J.M.J. Schutten

Faculty of Behavioural, Management, and Social Sciences

Department of Industrial Engineering and Business Information Systems

University of Twente

Dr. ir. M.R.K. Mes

Faculty of Behavioural, Management, and Social Sciences

Department of Industrial Engineering and Business Information Systems

University of Twente

Dhr. P. van den Berg

Production Engineering

VMI Group

## Managementsamenvatting

VMI Holland is een productiebedrijf dat gespecialiseerd is in het fabriceren van machines die banden produceren. De productie van deze bandenbouwmachines vindt plaats in de montagehallen van VMI Holland. Binnen deze montagehallen worden verschillende onderdelen van de machine, zogenaamde sub assemblies, elk in aparte werkcellen geassembleerd. Al deze aparte sub assemblies worden vervolgens geassembleerd tot een bandenbouwmachine. Productie heeft ten tijde van drukte te weinig capaciteit om aan de vraag te voldoen. Hierdoor worden de machines in een vroeger stadium, tijdens de planning, uitgesteld naar een minder druk moment of besluit men tot overwerken. Dit leidt tot een langere doorlooptijd, waardoor de afgesproken leverdatum in gevaar komt, of hogere kosten ontstaan door overwerk.

Het doel van dit onderzoek is inzicht verkrijgen in het huidige proces en de huidige capaciteitsindeling en planning te verbeteren, om de doorlooptijd te verlagen en de bezettingsgraad te verhogen. De hoofdvraag van dit onderzoek luidt:

*‘Wat is de huidige prestatie van het productieproces van VMI Holland op het gebied van capaciteitsplanning en hoe kan deze verbeterd worden?’*

In dit onderzoek is eerst een literatuurstudie opgesteld om te bepalen hoe efficiënter van de bestaande capaciteit gebruik gemaakt kan worden, door te kijken naar flexibiliteit van de capaciteitsplanning. Aan de hand hiervan is de huidige situatie geanalyseerd. Hieruit is geconcludeerd dat het productieproces van VMI erg gespecialiseerd is, doordat elke werkcel een eigen sub assembly toegewezen krijgt. Dit heeft als gevolg dat er wachtrijen ontstaan bij drukke werkcellen, terwijl andere werkcellen leeg staan.

Om potentiële verbeteringen te vinden in het systeem, hebben we een simulatiemodel gemaakt met het programma Siemens Plant Simulation. We hebben de focus gelegd op twee verschillende montagehallen:

- Montagehal 10B, waar de sub assemblies van de twee belangrijkste bandenbouwmachines geproduceerd worden. Hier werd ten tijde van drukte een capaciteitstekort geconstateerd.
- Montagehal 6A, waar een kleinere soort machine in zijn geheel geproduceerd wordt. Hier blijkt de bezetting erg laag te zijn.

In het simulatiemodel is het plannings- en productieproces gemodelleerd. VMI's prognose van de vraag bepaalt de binnenkomst van de orders. Uit de prognose blijkt dat VMI een stijgende trend verwacht tot 2019. De prognose is echter een verwachting, daarom hebben we drie scenario's voor de binnenkomst van de orders toegevoegd: het minimum, het gemiddelde en het maximum van de trend van de prognose van 70 weken. Dit wordt ten eerste getest aan de hand van de huidige manier van capaciteitsplanning. Hierbij worden alle sub assemblies in de vooraf toegewezen werkcel gepland en geproduceerd.

Aan de hand van het literatuuronderzoek over het onderwerp 'machine flexibility' hebben we interventies geformuleerd, waarbij er extra flexibiliteit wordt geïntroduceerd in het productieproces, waardoor de werkcellen tussen hal 10B en hal 6A elkaars werk kunnen overnemen. Hiervoor hebben we de werkcel-indeling van hal 6A opnieuw ingedeeld, waarbij 3 verschillende interventies zijn onderzocht:

- Hal 6A verdelen in 6 middelgrote werkcellen
- Hal 6A verdelen in 3 kleine en 3 grote werkcellen

- Hal 6A verdelen in 5 grote werkcellen

De grootte van de werkcellen zijn bepalend voor de soorten sub assemblies die er geproduceerd worden. De sub assemblies hebben we gecategoriseerd in kleine, middelgrote en grote sub assemblies.

Het simulatiemodel hebben we gevalideerd in overleg met de medewerkers van VMI en door de resultaten te vergelijken met de werkelijkheid.

### Resultaten

We hebben de resultaten uit het simulatiemodel onderzocht:

#### *Huidige situatie*

De resultaten van de huidige situatie geven ons meer inzicht in het huidige proces. Er is ontdekt dat er stijgende wachtrijen ontstaan in scenario 3 en 4. Dit heeft als gevolg dat de gehele doorlooptijd van een machine hoger wordt, omdat alle sub assemblies uiteindelijk bijeen komen en dus van elkaar afhankelijk zijn. De bezettingsgraad van hal 6A blijkt behoorlijk laag te zijn, namelijk gemiddeld 21%. Dit betekent dat 79% van de tijd de werkcellen niet gebruikt worden. Over alle scenario's wordt een gemiddelde doorlooptijd van 31 dagen bereikt.

#### *Interventie 1*

In interventie 1 hebben we hal 6A onderverdeeld in 6 gelijke middelgrote sub assemblies. Met interventie 1 wordt de doorlooptijd verlaagd met 26% en wordt de output van machines met 6% verhoogd. Echter blijkt dat het opslagniveau bij de vervolgprocessen stijgt met 19%, doordat er nu meer kleine en middelgrote sub assemblies moeten wachten op de grote sub assemblies.

#### *Interventie 2*

Bij interventie 2 hebben we hal 6A onderverdeeld in 3 kleine en 3 grote sub assemblies. Hieruit blijkt dat de doorlooptijd gemiddeld met ruim 33% is gedaald en de output met 14% is verhoogd. Dit terwijl het geen nadelige gevolgen heeft voor het opslagniveau in de vervolgprocessen.

#### *Interventie 3*

Interventie 3 heeft in tegenstelling tot interventie 1 en 2 plaats voor 5 sub assemblies, echter zijn deze werkcellen allemaal groot genoeg om alle sub assemblies te produceren. Hieruit blijkt dat de doorlooptijd gemiddeld gedaald is met 29% en de output gestegen is met 12%. Daarnaast heeft interventie 3 positieve gevolgen voor het gemiddelde opslagniveau, dit daalt met ongeveer 5%.

Uit de resultaten blijkt dat VMI Holland de prestaties van het productieproces het beste kan verbeteren met een flexibele werkcel-indeling, waarbij hal 6A opgedeeld wordt volgens interventie 2. Dit is volgens dit onderzoek de beste keuze is voor het verbeteren van het productieproces op het gebied van capaciteitsplanning.

Naast het onderzoek naar welk effect flexibiliteit heeft op het productieproces, is ook onderzocht hoe deze interventies geïmplementeerd kunnen worden. Dit kan op twee manieren gedaan worden. De eerste manier is het toevoegen van een extra planner. De planner zal in staat zijn om de route van een sub assembly te veranderen en zal dit communiceren met de leidinggevenden van het productieproces.

De tweede manier is het implementeren van een buffersysteem. Er wordt een extra opslagruimte toegevoegd aan het productieproces, waarbij monteurs van lege werkcellen zelf hun materiaal op moeten halen voor het produceren van sub assemblies. Zodra een werkcel leeg is zal het zelf voor nieuw werk zorgen.

We hebben de volgende aanbevelingen voor VMI:

- Hal 6A toevoegen aan de mogelijke bestemmingen van de sub assemblies.
- De werkcellen van hal 6A volgens interventie 2 indelen.
- De werkcel-indeling flexibel maken door een extra planner toe te voegen of gebruik te maken van het buffersysteem.

## Voorwoord

Voor u ligt mijn verslag van mijn Bachelor project bij VMI Holland BV in Epe. Hiermee voltooi ik het laatste deel van de bachelor opleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Ik heb deze ervaring opgedaan in de periode april tot juli 2017. Het onderzoek was voor mij de perfecte gelegenheid om mijn kennis in de praktijk te brengen.

Daarom wil ik VMI Holland bedanken. Speciale dank ook voor mijn afstudeerbegeleider Peter van den Berg die mij de kans heeft gegeven dit onderzoek uit te voeren en Bob Brummelhuis voor de wekelijkse feedbacksessies en de hulp bij mijn simulatiemodel.

Daarnaast wil ik mijn begeleiders van Universiteit Twente Marco Schutten en Martijn Mes bedanken voor de feedbacksessies.

Ten slotte wil ik mijn studiegenoten, vrienden en familie bedanken voor hun hulp en steun tijdens dit onderzoek.

## Inhoudsopgave

|                                                 |           |
|-------------------------------------------------|-----------|
| Managementsamenvatting .....                    | ii        |
| Voorwoord.....                                  | v         |
| Inhoudsopgave .....                             | vi        |
| <b>1    Introductie van het probleem .....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1 Bedrijfsintroductie .....                   | 1         |
| 1.2 Het probleem.....                           | 2         |
| 1.3 Onderzoeksmethode .....                     | 3         |
| <b>2    Theoretisch kader .....</b>             | <b>6</b>  |
| 2.1 Flexibele productie .....                   | 6         |
| 2.2 Planning .....                              | 10        |
| 2.3 Simulatie .....                             | 12        |
| 2.4 Prestatie indicatoren .....                 | 15        |
| 2.5 Conclusie.....                              | 17        |
| <b>3    Huidige situatie.....</b>               | <b>18</b> |
| 3.1 Procesbeschrijving .....                    | 18        |
| 3.2 Flexibiliteit van de huidige situatie ..... | 20        |
| 3.3 Data-analyse .....                          | 22        |
| 3.4 Conclusie.....                              | 23        |
| <b>4    Simulatie.....</b>                      | <b>24</b> |
| 4.1 Simulatiekeuze.....                         | 24        |
| 4.2 Conceptueel model .....                     | 24        |
| 4.3 Validatie.....                              | 31        |
| 4.4 De huidige prestaties.....                  | 33        |
| 4.5 Conclusie.....                              | 35        |
| <b>5    De interventies .....</b>               | <b>37</b> |
| 5.1 Beschrijving van de interventie .....       | 37        |
| 5.2 Resultaten interventies .....               | 39        |
| 5.3 Selecteren van de beste interventie.....    | 40        |
| 5.4 Toepassing in de praktijk .....             | 41        |
| <b>6    Conclusie en aanbevelingen .....</b>    | <b>43</b> |
| 6.1 Conclusie.....                              | 43        |
| 6.2 Beperkingen.....                            | 45        |
| 6.3 Aanbevelingen .....                         | 46        |
| 6.4 Nader te onderzoeken.....                   | 46        |
| <b>7    Reference list.....</b>                 | <b>47</b> |
| <b>Appendix.....</b>                            | <b>I</b>  |

Bijlage 1: Belangrijke begrippen en afkortingen..... I

Bijlage 2: Uitgebreide process lay-out..... II

Bijlage 3: Performance indicators..... II

Bijlage 4: Goodness of Fit test ..... III

Bijlage 5: Montage Afloop Schema van MAXX en EXXIUM ..... IV

Bijlage 6: De visuele weergave van het simulatiemodel ..... V

Bijlage 7: Prestaties huidig systeem ..... V

Bijlage 8: Oppervlaktes werkcellen ..... VI

Bijlage 9: Sub assembly mogelijkheden..... VII

Bijlage 10: Warm-up periode..... VII

Bijlage 11: Hal-inrichting..... VIII



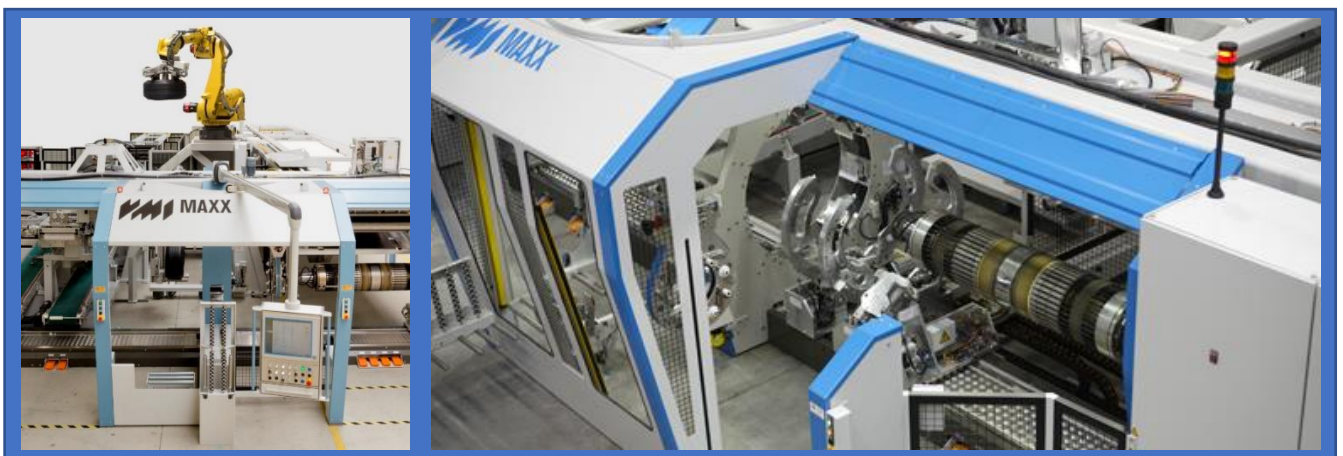
# 1 Introductie van het probleem

Dit hoofdstuk geeft een introductie voor dit verslag. Eerst wordt het bedrijf VMI Group in paragraaf 1.1 geïntroduceerd. In paragraaf 1.2 wordt het probleem beschreven. Dit doen we door eerst de context van het probleem te behandelen. Hierbij beschrijven we kort het product en proces. Vervolgens wordt het probleem geïntroduceerd en uitgelegd. In paragraaf 1.3 wordt er gekeken naar de onderzoeksmethode.

## 1.1 Bedrijfsintroductie

Veluwe Machine Industrie (VMI) is een productiebedrijf dat is opgericht aan het einde van de 2<sup>e</sup> wereldoorlog. VMI was gespecialiseerd in kleine bouwwerkzaamheden aan de Nederlandse Spoorwegen. Rond de jaren 60 ging VMI zich richten op de rubber- en bandenindustrie. Tegenwoordig is VMI marktleider in de productie van machines voor de banden-, blik- en rubberindustrie. VMI telt ongeveer 1200 werknemers en is actief in Nederland, Duitsland, de Verenigde Staten, Brazilië en China. Het succes van VMI is te danken aan de constante innovatie van hun producten. Zij richt zich op het handhaven van aanhoudende groei en winst. De aandelen van VMI zijn 100% eigendom van de TKH groep in Haaksbergen. TKH groep is een internationale groep bedrijven die de focus legt op het creëren en leveren van innovatieve Telecom en Industriële oplossingen.

Dit onderzoek wordt gedaan bij het hoofdkantoor van de vestiging in Epe, VMI Holland. VMI Holland produceert machines voor de bandenindustrie. De MAXX en EXXIUM zijn hier voorbeelden van. De MAXX en EXXIUM zijn twee vergelijkbare bandenbouwmachines die banden voor personenauto's produceren. In figuur 1.1 is de bandenbouwmachine MAXX te zien.



*Figuur 1.1: De MAXX bandenbouwmachine*

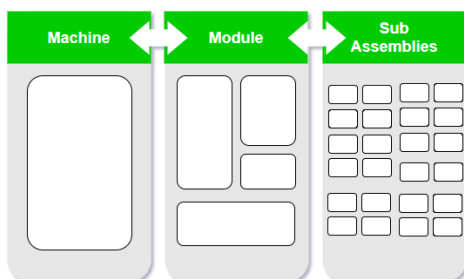
## 1.2 Het probleem

In deze paragraaf wordt het probleem beschreven. In paragraaf 1.2.1 wordt kort de context van het probleem beschreven, waar later in het verslag verder in wordt verdiept. De context beschrijven we door de producten van VMI en het productieproces te introduceren. Vervolgens identificeren we het probleem in paragraaf 1.2.2.

### 1.2.1 Probleem context

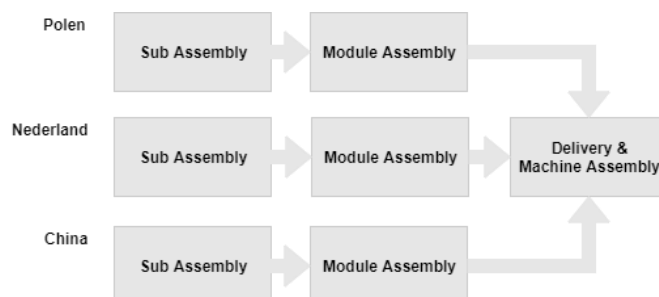
VMI produceert op dit moment voornamelijk de MAXX en EXXIUM bandenbouwmachine. Deze machines produceren beide banden voor personenauto's. Het belangrijkste verschil is dat de MAXX volledig geautomatiseerd is en de nieuwste technologie bevat. De EXXIUM vereist nog enige handbewerking en wordt daarom vooral voor bandenproducenten uit lageloonlanden geproduceerd. Daarnaast produceert VMI ook nog kleinere machines voor de nabewerking of componenten van de band. Dit gebeurt echter in kleinere hoeveelheden in vergelijking met de bandenbouwmachines.

De bandenbouwmachines zijn grote en complexe machines. VMI heeft ervoor gekozen de bandenbouwmachine op te delen, waarbij elk gedeelte op een andere locatie geproduceerd wordt. Elke vestiging kan zich hierdoor op een gedeelte specialiseren. De bandenbouwmachine wordt in China, Polen en Nederland geproduceerd. De bandenbouwmachine bestaat uit vijf modules. Elke locatie produceert zijn eigen module(s). De relatief minder complexe modules worden in de lageloonlanden (China en Polen) geproduceerd. De vestiging in Epe produceert de meest complexe module: de bandenbouwmodule (TBM-module). Deze module vormt de band uit rubber en is het belangrijkste onderdeel van de machine. De modules zijn echter ook te complex om in zijn geheel in één keer te maken. Daarom worden ook de modules opgedeeld. Dit zijn de sub assemblies. In figuur 1.2 is een schematische weergave te zien van de opbouw van een bandenbouwmachine.



Figuur 1.2: Opbouw van de bandenbouwmachine

De productie van een machine gebeurt in montagehallen. VMI Holland heeft meerdere montagehallen staan bij de fabriek in Epe, waarbij elke montagehal een eigen taak in het productieproces heeft. Het productieproces begint bij de productie van de sub assemblies. Dit gebeurt dus in één montagehal, waarbij elke sub assembly binnen de hal afzonderlijk geassembleerd wordt. Als de verschillende sub assemblies geassembleerd zijn, komen ze bijeen in de volgende stap van het productieproces. Dit gebeurt weer in een andere montagehal, dit maal worden de sub assemblies in elkaar gezet tot een module. Zodra de module geassembleerd is, wordt de module samen met de andere modules van de andere vestigingen naar de klant verscheept, zie figuur 1.3. De modules worden vervolgens bij de klant geassembleerd tot een bandenbouwmachine.



Figuur 1.3: Productieproces van een bandenbouwmachine

### 1.2.2 Probleemidentificatie

VMI Holland heeft drie problemen waargenomen. Ten eerste constateert VMI Holland het probleem dat de huidige productiecapaciteit van sub assemblies onvoldoende is in tijden van drukte. Dit probleem leidt tot overwerk, huren van externe montagehallen of langere levertijden. Door overwerk en het huren van externe montagehallen ontstaan er hogere kosten, terwijl latere levertijden de klanttevredenheid in gevaar brengen.

Het tweede probleem dat VMI Holland constateert is dat een deel van het jaar de montagehal voor productie voor een gedeelte leeg staat. Er is dus niet alleen een probleem in de tijden van drukte, maar ook in tijden van geen drukte is er een lage bezetting.

Ten slotte constateert VMI Holland een lage bezetting bij de productie van een wat kleinere machine, de Bead Apex, in een kleinere montagehal.

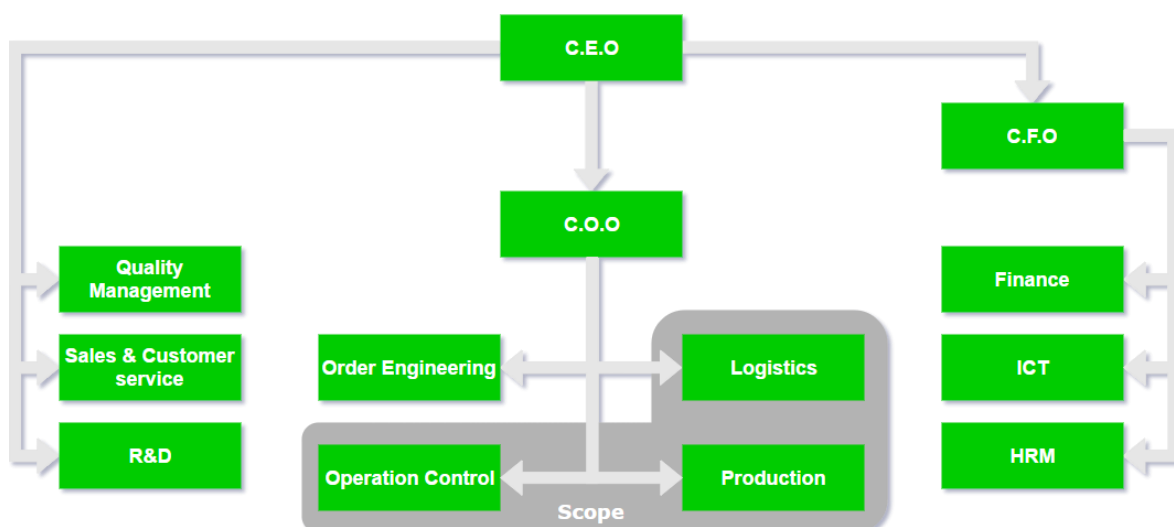
VMI Holland heeft te maken met een lage gemiddelde bezettingsgraad en een hoge gemiddelde doorlooptijd. Er is sprake van een probleem met de flexibiliteit van het productieproces. In dit onderzoek hebben we een efficiëntere manier gevonden om gebruik te maken van de capaciteit, waardoor de doorlooptijd wordt verlaagd en de bezetting wordt verhoogd.

## 1.3 Onderzoeksmethode

In deze paragraaf wordt de onderzoeksmethode uitgelegd. Eerst is er in paragraaf 1.3.1 de afbakening gegeven, zodat we in paragraaf 1.3.2 het onderzoeksdoel en de stappen die gedaan worden bespreken. Vervolgens zijn in paragraaf 1.3.3 de onderzoeksvragen opgesteld.

### 1.3.1 Afbakening

In figuur 1.5 is de organigram van VMI te zien met de afbakening van dit onderzoek. Hiermee bepalen we de afbakening van het onderzoek. In figuur 1.5 is ook de scope van dit onderzoek weergegeven. Operation Control, Logistics en Production zullen relevant zijn voor mijn onderzoek. Binnen Operation Control worden alle orders ontvangen en ingepland. Door de korte tijd van de bacheloropdracht (10 weken) zal het onderzoek binnen Operation Control afgebakend zijn tot het inplannen van de TBM module. Binnen Logistics zal er alleen gekeken worden naar de levering van het materiaal. Binnen Production gaan we vooral focussen op de productie van sub assemblies van de bouwmaschinen. In hoofdstuk 4 komen alle verdere simplificaties aan bod.



Figuur 1.5: Organigram van VMI Holland

### 1.3.2 Onderzoeksdoel en methodologie

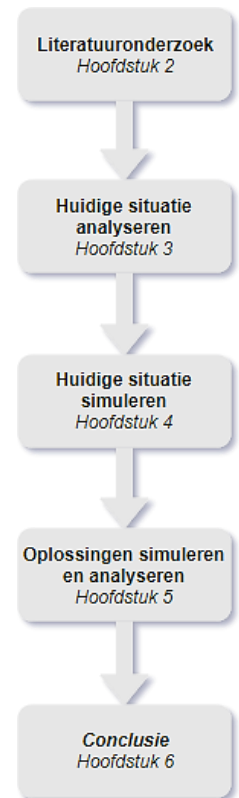
Het doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in het huidige proces en verbeteringen aan te dragen aan de huidige capaciteitsindeling en -planning, om de doorlooptijd te verlagen en de bezettingsgraad te verhogen. Dit onderzoek draagt bij aan zowel het verbeteren van het inzicht op de productieprocessen als het identificeren van mogelijke verbeterpunten. In figuur 1.6 is het onderzoeksopzet schematisch weergegeven.

Om ons doel te bereiken zal eerst een literatuurstudie gedaan moeten worden naar het verhogen van de capaciteit en de planning hiervan. Hierbij moeten de belangrijkste onderwerpen onderzocht worden. Hiermee beschrijven we de huidige situatie volgens de literatuur en onderzoeken we mogelijke interventies om het systeem te verbeteren. Dit behandelen we in hoofdstuk 2 van dit verslag.

Vervolgens beschrijven we in hoofdstuk 3 van dit verslag de huidige situatie en bekritisseren we het m.b.v. het literatuuronderzoek. Het gehele proces dat een order doorloopt zal per afdeling behandeld worden.

Om de bottlenecks en verbeterpunten te vinden, maken we een simulatiemodel van de huidige situatie. Simulatie biedt de mogelijkheid om complexe systemen te modelleren en te testen met verschillende experimenten. Met simulatie kunnen we de prestaties van het systeem onderzoeken. De simulatie behandelen we in hoofdstuk 4.

Vervolgens ontwerpen we in hoofdstuk 5 de verschillende interventies die leiden tot een oplossing. We onderzoeken hoe de interventies presteren door ze te simuleren. De verschillende oplossingen worden getoetst en geanalyseerd, waarna we kijken naar de implementatie van de oplossingen. Ten slotte bevat hoofdstuk 6 de conclusies.



Figuur 1.6 Het onderzoeksopzet

### 1.3.3 Onderzoeksvragen

Om een oplossing aan het probleem te geven en het onderzoeksdoel te behalen, hebben we de volgende hoofdvraag geformuleerd:

***‘Wat is de huidige prestatie van het productieproces van VMI Holland op het gebied van capaciteitsplanning en hoe kan deze verbeterd worden?’***

Om de hoofdvraag systematisch te beantwoorden, hebben we deelvragen opgesteld. De deelvragen geven structuur aan dit onderzoek:

*Deelvraag 1:* Welke kennis uit de literatuur is er aan te dragen voor de situatie van VMI Holland?

In hoofdstuk 2 doen we een literatuuronderzoek. Om deze deelvraag te beantwoorden, hebben we vier subvragen opgesteld:

*Subvraag 1a:* Hoe ziet de capaciteitsplanning in een productieproces eruit?

De eerste subvraag is een literatuuronderzoek naar flexibiliteit van een productieproces. Om het productieproces aan te laten passen aan de vraag kan flexibiliteit een belangrijke rol spelen. Paragraaf 2.1 beschrijft welke soorten flexibiliteit belangrijk zijn voor dit onderzoek, hoe de flexibiliteit van een productieproces verhoogd kan worden en welke keerzijdes het heeft.

*Subvraag 1b:* Welke capaciteitsbeslissingen worden er per planningslevel volgens de literatuur gemaakt?

In paragraaf 2.2 onderzoeken we met een literatuuronderzoek in welke periodes welke plannings gemaakt worden voor de capaciteit en productie.

*Subvraag 1c:* Wat is simulatie en hoe wordt een simulatiemodel gemaakt?

Paragraaf 2.3 beschrijft aan de hand van een literatuuronderzoek wat simulatie inhoudt en welke stappen er gedaan moeten worden bij het maken van een simulatiemodel.

*Subvraag 1d:* Wat zijn de algemene prestatie-indicatoren voor productieprocessen en welke voldoen aan de eisen van VMI?

Bij deze deelvraag zoeken we naar de prestatie-indicatoren die voldoen aan de eisen van VMI. Paragraaf 2.4 beschrijft hoe en welke prestatie-indicatoren geselecteerd worden.

*Deelvraag 2:* Hoe ziet de huidige situatie van VMI eruit?

Bij deze deelvraag wordt de huidige situatie van VMI besproken. In hoofdstuk 3 wordt het huidige productieproces beschreven. Daarnaast zullen we een kritische blik werpen op het huidige proces met behulp van het literatuuronderzoek.

*Deelvraag 3:* Hoe moet het simulatiemodel van VMI's productieproces eruit zien?

In hoofdstuk 4 beschrijven we welke keuzes en aannames in het simulatiemodel we gedaan hebben. Daarnaast leggen we de werking van het simulatiemodel uit, hoe het model gevalideerd is en onder welke scenario's we het systeem hebben getest.

*Deelvraag 4:* Welke interventies kunnen toegepast worden op het simulatiemodel, zodat de bezettingsgraad verhoogd en de doorlooptijd verlaagd wordt?

hoofdstuk 5 beschrijft de interventies die toegepast worden op de huidige situatie en wat voor resultaten dit oplevert. Er wordt vervolgens beschreven hoe de verbeteringen geïmplementeerd kunnen worden in het huidige proces.

Ten slotte wordt er een conclusie gegeven, waarbij de hoofdvraag aan de hand van de deelvragen beantwoordt wordt. Daarnaast geven we VMI Holland een aanbeveling op basis van dit onderzoek en welke onderwerpen er in de toekomst verder onderzocht moeten worden voor een succesvolle implementatie.

## 2 Theoretisch kader

Het doel van dit hoofdstuk is om kennis te verkrijgen over vier onderwerpen: flexibiliteit in paragraaf 2.1, productie- en capaciteitsplanning in paragraaf 2.2, simulatie in paragraaf 2.3 en Key Performance Indicators in paragraaf 2.4. Aan de hand van de theorie maken we een analyse van het huidige proces van VMI en kunnen we op zoek gaan naar een oplossing voor het probleem. Hiervoor wordt een literatuuronderzoek gedaan (waarbij Scopus en Google Scholar gebruikt worden om nuttige en betrouwbare artikelen te vinden).

### 2.1 Flexibele productie

In deze paragraaf wordt de flexibiliteit van productieprocessen beschreven. Deze paragraaf zal antwoord geven op de eerste onderzoeksvraag: *Hoe kan een productieproces flexibeler gemaakt worden?* Om hier antwoord op te kunnen geven is eerst de productieflexibiliteit gedefinieerd, daarna bespreken we de verschillende soorten flexibiliteit in productiesystemen. Hieruit zijn er een aantal geselecteerd die het meest van toepassing zijn op mijn onderzoek en deze zijn vervolgens uitgebreid toegelicht.

Om de variabiliteit in de vraag zo goed mogelijk op te vangen, speelt flexibiliteit in de productieplanning een belangrijke rol. Volgens Hobbs (1984) is een flexibel productieplan een plan waarmee de configuratie van een systeem of operatie snel en goedkoop veranderd kan worden, als reactie op de wisselende markt en regelgeving. Een belangrijke voorwaarde en vaak ook het punt van aandacht bij het vermogen om te veranderen is het minimaliseren van de negatieve effecten van de doorlooptijd, inspanning, kosten of prestaties.

Flexibiliteit is een complex, multidimensionaal en lastig vast te stellen concept. Flexibiliteit kan gezien worden als de potentie van een productiesysteem om met verwachte en onverwachte activiteiten om te gaan. Wanneer een productiesysteem flexibeler wordt, kan dit meerdere voordelen opleveren. Zo kan flexibiliteit over het algemeen de productie-, opslagkosten en de doorlooptijd verlagen, maar ook de arbeidsproductiviteit en machine-efficiëntie verhogen. Daarentegen zijn er ook nadelen: zo kan het systeem erg complex worden en gelden er hogere eisen voor planning en arbeid. Omdat flexibiliteit een veelzijdig concept is, hebben Sethi & Sethi (1990) onderscheid gemaakt tussen 11 verschillende soorten flexibiliteit onderverdeelt in 3 categorieën. Om verwarring te voorkomen gebruiken we de Engelse termen om naar de verschillende soorten flexibiliteit te verwijzen.

#### A: Basic flexibility

- **Machine flexibility:** verschillende processen die een machine kan uitvoeren.
- **Material handling flexibility:** het gemak van het verplaatsen van materiaal of producten binnen of tussen fabriekshallen (op korte afstanden).
- **Operation flexibility:** De flexibiliteit om de processtappen in andere volgorde uit te voeren om een bepaald onderdeel te produceren.

#### B: System flexibility

- **Process flexibility:** de hoeveelheid verschillende type producten die het systeem kan produceren, zonder setup tijd.
- **Product flexibility:** de flexibiliteit om geheel nieuwe producten aan het systeem met een lage setup tijd toe te voegen.



- **Routing flexibility:** de verschillende routes (langs machines en werkplaatsen) die gebruikt kunnen worden om een product te produceren.
- **Volume flexibility:** het gemak om een winstgevende output van het systeem te verhogen of te verlagen. Oftewel de mogelijkheid van een onderneming om winstgevend te werken op verschillende outputniveaus.
- **Expansion flexibility:** het vermogen om de capaciteit van een systeem uit te bouwen.

#### C: Aggregatie flexibiliteit

- **Program flexibility:** de mogelijkheid om een systeem automatisch te runnen.
- **Production flexibility:** het huidige aantal producten dat een systeem kan produceren
- **Market flexibility:** de mogelijkheid om een systeem aan te passen aan de marktvraag.

Met oog op het onderzoek wordt er in dit hoofdstuk de verdere focus gelegd op machine flexibility, material handling flexibility en expansion flexibility. Bij expansion flexibility wordt er vooral vanuit een strategisch standpunt gekeken, waarbij machine flexibility en material handling flexibility meer op operationeel niveau invloed heeft.

Eerst wordt er gekeken naar expansion flexibility in paragraaf 2.1.1, waarbij beantwoord wordt hoe capaciteit uitgebreid kan worden. Vervolgens wordt machine flexibility beschreven in paragraaf 2.1.2, waarbij er onderzocht wordt hoe een productieproces op operationeel niveau flexibeler gemaakt kan worden. En ten slotte wordt er in paragraaf 2.1.3 onderzocht hoe het materiaal en product verplaatsing een rol speelt in flexibiliteit.

##### 2.1.1 Expansion flexibility

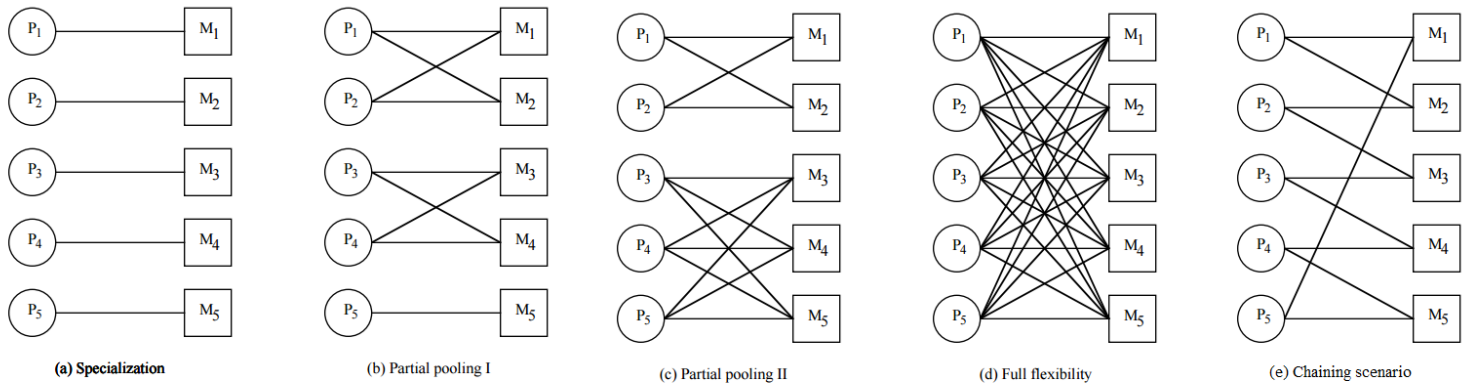
De expansion flexibility is volgens Browne et al. (1984) het vermogen om de capaciteit van het systeem aan te passen aan de vraag. Hierbij is de expansion flexibility te onderscheiden in tijdelijke expansion flexibility en permanente expansion flexibility. Tijdelijke expansion flexibility is het vermogen om tijdelijke resources aan je capaciteit toe te voegen. Voorbeelden hiervan zijn tijdelijke werknemers van externe arbeidsbureaus, overuren in de productie, huren van machines, etc. Permanente expansion flexibility is de totale productieve capaciteit van alle intern gebruikte resources, inclusief arbeidskrachten en machines, tijdens de reguliere werktijden.

Volgens Parker (1999) heeft een bedrijf drie opties wanneer er sprake is van ondercapaciteit: (1) investeer veel in conventionele apparatuur om de capaciteitsbehoeften in de nabije toekomst met zekerheid te dekken. (2) Investeer in een minimale capaciteit, stel orders uit of gebruik tijdelijke resources en wacht tot er meer informatie over de toekomstige marktvraag is om vervolgens de capaciteit uit te breiden. (3) Investeer in expansion flexibility, zodat het huidige systeem een hogere vraag aan kan. Stel verdere investeringen in de capaciteit uit totdat er meer informatie over de toekomstige marktvraag beschikbaar is.

Optie 1 heeft als voordeel dat het investeren in het apparatuur waarschijnlijk goedkoper zal zijn dan investeren in tijdelijke apparatuur om dezelfde capaciteit te bereiken. Het nadeel van optie 1 zijn de hoge financiële verbintenissen op een enkel moment in de tijd en bovendien het gebrek aan informatie over de hoeveelheid van de benodigde apparatuur. Optie 2 is juist de omgekeerde situatie van toepassing, waarbij er sprake is van een onderinvestering. Optie 3 daarentegen biedt de mogelijkheid om niet alle investeringen in één keer te doen maar het stapsgewijs te verdelen over de tijd.

### 2.1.2 Machine flexibility

Machine flexibility is het vermogen om machines andere processen te laten uitvoeren, zodat machines elkaars werk kunnen overnemen. Machines hoeven in dit geval echter niet alleen fysieke machines te zijn, in dit geval is het een productieproces van één product. De machine flexibility wordt in 5 voorbeeldscenario's beschreven.



Figuur 2.1: Machine flexibility scenario's

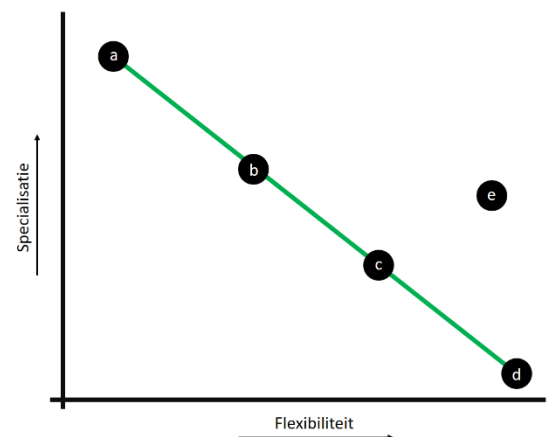
In figuur 2.1 zijn 5 machine flexibility scenario's te zien. Elke machine (M) kan de verbonden producten (P) produceren. In scenario (a) is er sprake van specialisatie, machines zijn elk op één product ingericht. Het is hier dus niet mogelijk om product 1 bij machine 2 te produceren, wanneer bijvoorbeeld machine 1 vol zit. Bij scenario's (b) en (c) zijn de machines gegroepeerd, waar elke groep, meerdere producttypes kan produceren. In scenario (b) kan machine 1 of 2 zowel product 1 als product 2 produceren. De machines die onderling elkaars werk kunnen delen wordt een 'pool' genoemd. Dit betekent dat binnen elke pool de machines volledig flexibel zijn. In scenario (b) zijn er dus 3 pools. Dit systeem heet Partial Pooling. De grootte en het aantal pools bepaalt de 'level of sharing'. Scenario (c) heeft een hogere level of sharing dan (b), wat betekent dat scenario (c) een flexibeler systeem is dan scenario (b). Bij scenario (d) bevinden alle machines zich in een enkele pool. Het systeem heeft een maximale level of sharing en is dus volledig flexibel. Scenario (e) zal later in deze paragraaf aan bod komen.

De voordelen van een hoge flexibiliteit is dat als een machine vol zit of bijvoorbeeld een storing heeft het werk verplaatst kan worden naar een andere machine die ruimte vrij heeft. De gevolgen hiervan kunnen zijn: een gelijkmatigere en hogere bezettingsgraad, een lagere doorlooptijd, maar ook een lagere work-in-proces opslagniveau.

Hoge flexibiliteit staat echter niet garant voor een lagere doorlooptijd. Zo kan er een wisseltijd ontstaan als een product door een andere machine geproduceerd moet worden. Wanneer deze wisseltijd groter is dan de wachttijd die het anders had, is het niet voordelig om van machine te wisselen en dus gebruik te maken van de flexibiliteit. Een andere nadeel kan zijn dat er flink geïnvesteerd moet worden om de gewenste flexibiliteit te behalen en deze investering zich niet uitbetaalt. Daarnaast is het in deze theorie ook mogelijk om arbeiders te zien als machines. In zulke situaties is het voor een arbeider makkelijker om zich in één product te specialiseren in plaats van vijf. Wanneer een arbeider zich kan specialiseren in één taak, zal de taak sneller klaar zijn dan wanneer een arbeider meerdere taken moet kunnen uitvoeren.



Naast de eerder behandelde 4 scenario's bestaat ook de mogelijkheid om de twee extremen te combineren tot scenario (e). Bij scenario (e) kan elke machines twee verschillende soorten producten produceren. Elke buurman van een machine kan het werk van de ander overnemen, dit wordt ook wel de chaining-scenario genoemd. Door het maken van een gesloten ketting van machines en producttypes wordt de werklast gebalanceerd in het systeem. Hierdoor hoeft niet elke machines zich voor 5 producttypes in te richten, maar wordt de flexibiliteit wel behouden. In figuur 2.2 wordt de mate van specialisatie afgewogen met de mate van flexibiliteit van de 5 scenario's. Scenario (a) heeft nauwelijks flexibiliteit, maar heeft wel een hoge specialisatie. Scenario (d) daarentegen heeft een lage specialisatie, maar een hoge flexibiliteit. Bij scenario (e) is te zien dat het vergeleken met de scenario (d) een hogere specialisatie behaalt, terwijl dit nauwelijks invloed heeft op de flexibiliteit.



Figuur 2.2: De scenario's ten opzichte van elkaar

### 2.1.3 Material handling flexibility

Wanneer de machine flexibility wordt toegepast op het productieproces moet er ook rekening worden gehouden met het verplaatsten van de apparatuur, gereedschap, het materiaal en het product zelf. Dit is de material handling flexibility. Material handling flexibility kan gedefinieerd worden als het vermogen om resources op korte afstanden (in of tussen gebouwen) te verplaatsen en op te slaan.

Het verplaatsen van resources kost tijd en ruimte. Hierbij is de grootte, vorm, gewicht en de staat van de resource van belang, maar ook de route die het aflegt en de frequentie hiervan. Material handling is een belangrijke voorwaarde voor flexibel produceren. Wanneer een vorm van pooling wordt gebruikt, zoals beschreven in paragraaf 2.1.2, wordt het product naar een andere machine verplaatst en zullen er ook bepaalde resources verplaatst moeten worden om het product te kunnen produceren.

De resources die verplaatst moeten worden verschillen per productieproces. Het is mogelijk dat het product op een andere locatie gemaakt wordt, dit betekend dat ook het benodigde materiaal verplaatst moeten worden. Een andere mogelijkheid is dat alleen de arbeider zich naar een andere werkplek moet verplaatsen, in dit geval is de material handling flexibility hoog.

Het verplaatsen en opslaan van materiaal is een belangrijk onderdeel van material handling. Volgens Aized (2010) besteed materiaal meer dan 80% van de tijd dat het in het systeem zit in opslag of transport, terwijl beide activiteiten geen waarde opleveren. Efficiënte material handling is nodig voor een tijdige levering, minder opstoppen en lagere stilstand tijd van de machines. Material handling flexibility is dus een voorwaarde voor het succesvol implementeren van machine flexibility.

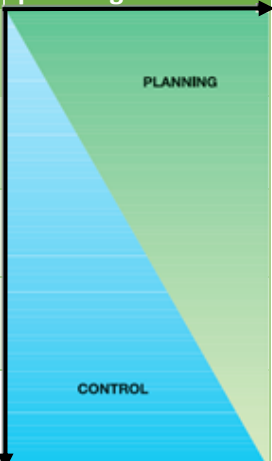
## 2.2 Planning

Deze paragraaf beantwoordt de tweede deelvraag: “Welke productieplanning en bijbehorende capaciteitsplanning zijn er op elk productielevel?”.

Alle processen die een product ondergaat moeten ingepland worden. Om machine flexibility te implementeren in een proces moet dit wel binnen een plan passen. Daarom zal er eerst in paragraaf 2.2.1 onderzocht moeten worden welke productieplannen er zijn en wat de plannen inhouden. Hierna zal in paragraaf 2.2.2 per productieplan gekeken worden welke capaciteitsbeslissingen er gemaakt worden.

### 2.2.1 Planning en Control

Slack (2013) maakt ten eerste het verschil tussen planning en control van processen. Een plan is een formalisering van wat er verwacht wordt te gaan gebeuren op een bepaald moment in de toekomst, terwijl control activiteiten ervoor zorgen dat de doelen behaald worden, ook wanneer dit betekend dat er van het plan afgeweken moet worden (Slack, 2013, p. 290). Daarnaast wordt er door Fleischmann (2013) onderscheid gemaakt tussen lange, medium en korte termijn plannen. Op basis van de planningslevels volgens Fleischmann (2013) en de planning en control theorie van Slack (2013) hebben we tabel 2.1 opgesteld.

| Managementniveau                       | Productieplanning                   | Maateenheid                         | Belang van planning en control                                                       |
|----------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Strategisch:<br/>5 jaar of meer</b> | Lange termijn planning              | Gehele productielijn                |  |
| <b>Tactisch:<br/>6 - 18 maanden</b>    | Aggregate planning (medium termijn) | Productfamilie                      |                                                                                      |
| <b>Operationeel:<br/>weken</b>         | Master Production Schedule          | Specifiek product                   |                                                                                      |
|                                        | Material Requirements Plan          | Productcomponenten, due date        |                                                                                      |
| <b>uren – dagen</b>                    | Detail Scheduling (PPC)             | Arbeidskracht, materialen, machines |                                                                                      |

tabel 2.1: Planningslevels gebaseerd op Fleischmann (2013) en Slack (2013)

Bij een lange termijn planning worden plannen gemaakt voor wat er wordt geproduceerd, welke resources daarvoor nodig zijn en welke doelen het bedrijf hoopt te behalen. De nadruk ligt hier meer op planning dan op control. Bij een lange termijn planning zal er gekeken worden naar verwachte hoeveelheden en hier een algemene plan voor maken. Er zal dus niet op elk onderdeel in detail gepland worden, maar op volume en financiën. Dit is een strategisch planningsproces waar geïnvesteerd wordt in capaciteit (gebouwen, machines etc.) en keuzes gemaakt worden in het productieproces (Fleischmann, 2003).

Medium termijn planning gaat gedetailleerder in op het productieproces. Hier wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten vraag, er zullen activiteiten en resources gecategoriseerd worden. Bovendien wordt hier ook rekening gehouden met risico's en afwijkingen in het plan die met reserves opgevangen moeten worden. Er zal met een planning gekeken worden of de huidige resources aan de vraag kunnen voldoen. Deze planning wordt ook wel de 'aggregate planning' genoemd.

In korte termijn planning wordt de vraag behandeld als individuele activiteiten. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de verschillende producten en bijbehorende gegevens (due date, Bill of Materials, levertijden, etc.). Rond deze tijd zijn bijna alle resources al ingepland en wordt het lastig om hiervan in grote mate van af te wijken. Desondanks is het mogelijk om kleine aanpassing te maken wanneer dingen niet volgens plan verlopen, meestal om kwaliteit, snelheid, afhankelijkheid of flexibiliteit te balanceren. Bij korte termijn horen voornamelijk twee planningsprocessen:

- Master Production Schedule (MPS): Het MPS is het plan dat een bedrijf heeft ontwikkeld voor de productie, voorraad, personeel etc. Het bepaalt de hoeveelheid van elk product. De MPS voorziet de productie, planning, inkoop en het topmanagement van informatie die nodig is om te plannen en de controle van de productie-operatie te behouden.
- Material Requirements Planning (MRP): Het MRP wordt gedreven door het MPS. Het MRP is een systeem dat ervoor zorgt dat de MPS uitgedrukt wordt in een Bill Of Materials, waarbij elk onderdeel een due date heeft. Een MRP moet drie doelstellingen realiseren: materialen beschikbaar stellen voor productie; zo laag mogelijk materiaal- productielevels in stand houden; het plannen van productieactiviteiten, leveringsschema's en inkoopactiviteiten. (Fleischmann, 2003)

Daarnaast bestaat er ook een plan voor de zeer korte termijn. Hierbij wordt meestal per uur tot een dag een planning gemaakt, waarbij er van dag tot dag productieactiviteiten gemonitord worden en de output vergeleken wordt met het plan.

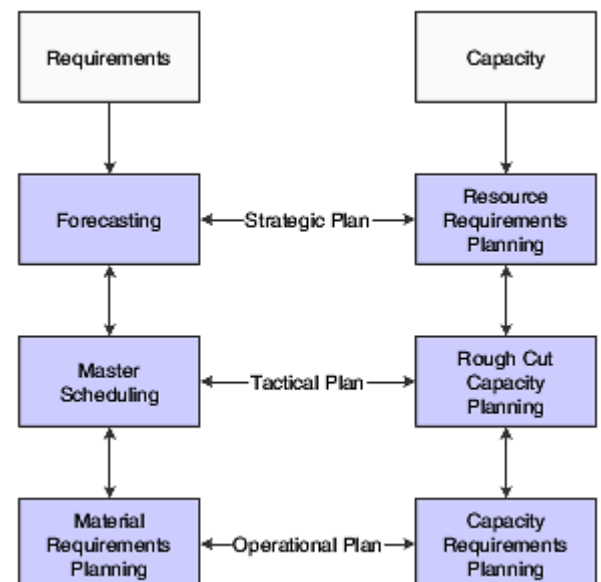
Uit deze informatie blijkt dat naarmate de periode van planning kleiner wordt, het belang van control toeneemt.

### 2.2.2 Capaciteitsplanning

Naast de productie wordt ook voor de capaciteit een plan gemaakt. De capaciteitsplanning kan net zoals de productieplanning onderverdeeld worden op verschillende niveaus.

Wanneer we kijken naar het strategisch niveau, op het middellange tot lange termijn, worden strategische capaciteitsbeslissingen gemaakt in het Resource Requirements Plan. In het Resource Requirements Plan worden alle benodigheden voor de productie gepland om het doel te behalen, zoals de machines, gereedschap en werknemers. In figuur 2.3 is te zien dat het Resource Requirements Plan gebaseerd is op een schatting van de vraag.

De Resource Requirements Planning gebeurt voor de Master Scheduling, waar een MPS gemaakt wordt. Op tactisch niveau wordt er gebruik gemaakt van de Rough-Cut Capacity Planning (RCCP). Deze planning controleert of er genoeg capaciteit beschikbaar is om te voldoen aan de eisen van het MPS. Om het balans te krijgen tussen de productie en de capaciteit kan een van de twee planningen aangepast worden. In het geval van de Master Production Schedule zullen er datums of productieaantallen veranderd worden. Om de capaciteit te veranderen kunnen shifts toegevoegd of verwijderd worden, werknemers overwerken, flexibele arbeidskrachten gehuurd worden of het aantal machines veranderd worden.



Figuur 2.3: Capaciteitsplanningslevels (Edwards, 2015)

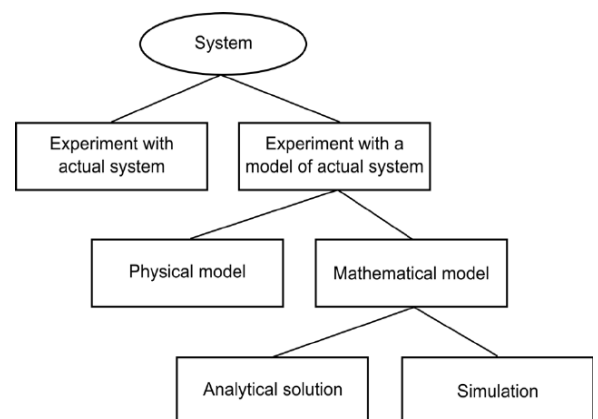
Als laatste capaciteitsplanning is er de Capacity Requirements Planning, dit gebeurt op operationeel niveau. Zodra de Material Requirements Planning gemaakt is, is er nog geen plan voor alle afzonderlijke productieproces. De 'losse' materialen van de Bill Of Materials moeten door een aantal aparte processen heen voordat het eindproduct gemaakt wordt. Bij de Capacity Requirements Planning wordt dus aan de hand van de Material Requirements Planning een plan gemaakt voor elke proces dat het materiaal moet ondergaan (Chung, 1997).

## 2.3 Simulatie

Voordat er een simulatiemodel geïntroduceerd wordt in hoofdstuk 4, moet er eerst onderzoek gedaan worden naar simulatie. Dit doen we door allereerst door te onderzoeken welke methodes er zijn om een systeem te testen. Hierna zal simulatie gedefinieerd worden, vervolgens zullen verschillende soorten simulatie behandeld worden en ten slotte zullen de belangrijkste aspecten van simulatie beschreven worden.

### 2.3.1 Simulatie definiëren

Robinson (2014) definieert een simulatie als: "An imitation (on a computer) of a system as it progresses through time, for the purpose of better understanding and/or improving that system". Een simulatie is dus een nabootsing van de werkelijkheid. Met een simulatie kunnen de prestaties van een model gemeten worden.



Figuur 2.4: Het testen van een systeem (Law, 2007)

### 2.3.2 Het testen van een model

Na het meten van de huidige prestaties worden vervolgens verbeteringen doorgevoerd in het simulatiemodel. Dit verbeterd systeem moet getest worden. Dit doen we aan de hand van het model van Law (2007). Bij het testen van een systeem zijn allereerst twee opties: het systeem testen in de realiteit of in een model van de realiteit. Een groot nadeel van het testen in de realiteit, is dat het huidige (productie)proces vaak stilgelegd moet worden om het nieuwe systeem te implementeren. Dit kan een bedrijf veel geld kosten. Daarnaast is het van belang dat het systeem over een bepaalde tijd getest wordt. Dus kan het ook veel tijd kosten om erachter te komen of het nieuwe systeem beter is. Bij de keuze van een experiment met een model van de werkelijkheid zal de onderzoeker moeten bepalen of het systeem fysiek of wiskundig gemodelleerd moet worden. Een fysiek model is nuttig bij het studeren van systemen op het gebied van engineering. Met een wiskundig model kunnen systemen in termen van logica en kwantitatieve relaties onderzocht worden. Wanneer het systeem simpel is en de oplossing via analytische modellen gevonden kan worden, is een analytische aanpak de beste keuze. Echter wanneer een systeem complex is, kan het systeem het beste via een simulatiemodel onderzocht worden.

### 2.3.3 Soorten simulatie

Er zijn verschillende soorten simulaties om een model te testen. Volgens Robinson (2014) zijn de primaire soorten de discrete-event simulation, Monte Carlo simulation, System dynamics en Agent based simulation.

#### *Discrete-event simulation*

Discrete-event simulation wordt gebruikt bij het modelleren van wachtrij systemen. Een wachtrij systeem geeft een object weer dat verschillende activiteiten ondergaat. De activiteiten zijn van elkaar gescheiden door wachtrijen, die gebruikt worden als objecten moeten wachten om een activiteit te kunnen ondergaan.

#### *Monte Carlo simulation*

Monte Carlo simulatie is een risico model, waarbij de uitkomst afhangt van verschillende kansen. Er worden verschillende kansverdelingen (a, b, of c) aan variabelen gekoppeld, waarbij alle variabelen samen één uitkomst (f) vormen, zodat bijvoorbeeld  $f=a+b+c$ .

#### *System dynamics*

System dynamics simulatie is een continue simulatie methode, waarbij er stromingen van grote hoeveelheden objecten dat een systeem doorloopt wordt gesimuleerd. In tegenstelling tot een discrete eventmodel wordt hier meer gekeken naar het resultaat van de stromingen in plaats van het doorlopen van een object.

#### *Agent Based simulation*

Een agent based simulation is een model waarbij een groep objecten met allen een eigen gedrag reageren over een bepaalde tijd. Er wordt onderzocht hoe de agents op elkaar reageren in een vooraf bepaalde omgeving. De agent based simulatie is bedacht om gedrag, patronen en structuur te bestuderen.

#### 2.3.4 Belangrijkste aspecten

Volgens Robinson (2014) zijn er 4 belangrijke stappen bij simulaties: conceptuele modelering, model coderen, experimenteren en validatie en verificatie.

#### *Conceptueel model*

Het werkelijk systeem bepaalt hoe het simulatie model eruit komt te zien, zo kan het werkelijke systeem bijvoorbeeld een restaurant, huisartspraktijk of een productieproces zijn. Dit wordt omgezet naar een conceptueel model, hierin komen alle activiteiten en worden simplificaties gemaakt. Het is bijna onmogelijk om een systeem te modelleren dat exact overeenkomt met het werkelijke systeem, daarom moet bepaald worden welke objecten, activiteiten en details wel gemodelleerd moeten worden en welke niet.

#### *Model coderen*

Bij de activiteit model coderen wordt het conceptuele model in het simulatieprogramma geprogrammeerd. Aan de hand van input data kunnen bijvoorbeeld de aankomsttijden van objecten gegenereerd worden of bepaalde activiteiten een procestijd krijgen.

#### *Experimenteren*

Wanneer het huidige systeem geprogrammeerd en begrepen is, worden er experimenten toegevoegd. Dit proces bestaat veelal uit wat-als analyses. Er worden veranderingen in het huidige model gebracht, bijvoorbeeld andere inputdata, zodat van de resultaten geleerd kan worden. Aan de hand van deze resultaten kan een conclusie getrokken worden en kan bepaald worden of deze verandering in de werkelijkheid geïmplementeerd moet worden.

### Validatie en verificatie

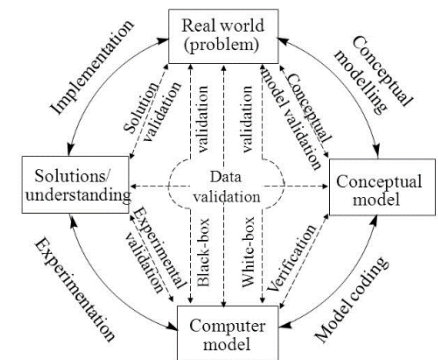
De volgende activiteit, validatie en verificatie, gebeurt na en tijdens elk van de bovengenoemde stappen. Het verifiëren is volgens Robinson (2014) het proces waarbij er verzekerd wordt dat het conceptuele model met voldoende nauwkeurigheid is omgezet naar het geprogrammeerde model. Met validatie moet in elke simulatie-activiteit voldoende nauwkeurigheid zitten en daarnaast moet het goed genoeg overeenkomen met het werkelijke systeem. Dit kan echter nooit 100% accuraat zijn.

Het verifiëren en valideren wordt gedaan met behulp van het validatie en verificatie model van Robinson (2014). In figuur 2.5 is het model zien, waarbij bij elke stap het model of gevalideerd of geverifieerd wordt. Qua validatie zijn er een aantal verschillende soorten die in dit model benoemd worden:

- **Conceptuele model validatie:** Het conceptuele model moet voldoende overeenkomen met het specifieke doel.
- **Data validatie:** Bepalen of de gebruikte data voor het geprogrammeerde model voldoende overeenkomt met het werkelijke systeem.
- **White-box validatie:** Elk specifiek onderdeel van het simulatiemodel wordt getest aan validatie.
- **Black-box validatie:** Het algehele model wordt gevalideerd.
- **Experiment validatie:** De resultaten van de experimentele procedures moeten voldoende overeenkomen met het specifieke doel.
- **Solution validatie:** Het resultaat van het model moet gevalideerd worden met de werkelijkheid, waar de oplossing al is geïmplementeerd. Dit is een soort evaluatie en is vergelijkbaar met de black-box validatie, alleen wordt hier een oplossing gevalideerd i.p.v. de originele situatie.

Verificatie gebeurt bij het programmeren van het model. Hier wordt gekeken of het conceptuele model met voldoende nauwkeurigheid is omgezet naar een geprogrammeerd model. Verificatie lijkt erg op white-box validatie: er wordt gedetailleerd na elke activiteit gekeken of het overeenkomt met het specifieke doel. Het enige verschil is dat white-box valideert het ten opzichte van de werkelijkheid en verificatie ten opzichte van het conceptuele model. Bij verificatie wordt het model naar het beeld dat de programmeur over het proces heeft getest. White-box validatie kan alleen gedaan worden met behulp van mensen binnen het bedrijf.

### V&V in the Modelling Process



Figuur 2.5: Validatie en verificatie (Robinson, 2014)

## 2.4 Prestatie indicatoren

Om een systeem te testen moeten variabelen gemeten worden. Dit wordt gedaan met Key Performance Indicators (KPI). John Reh (2017) definieert KPI's als variabelen om prestaties van organisaties te analyseren. In deze paragraaf wordt een lijst met prestatie indicatoren gegeven om de prestaties van het huidige proces en het toekomstige proces te meten. In paragraaf 2.4.1 worden de criteria van prestatie indicatoren uitgelegd. In paragraaf 2.4.2 worden de prestatie indicatoren geïntroduceerd en vervolgens geselecteerd aan de hand van een stakeholder-analyse.

### 2.4.1 De S.M.A.R.T-methode

Met een performance indicator worden variabelen gemeten en vervolgens getoetst aan de vooraf bepaalde doelen om vervolgens de afwijking te meten. Volgens Doran (1981) moeten prestatie-indicatoren voldoen aan de S.M.A.R.T. criteria, waarmee doelstellingen opgesteld en gecontroleerd worden:

- **Specifiek:** de prestatie indicator moet een duidelijk doel hebben om te meten
- **Meetbaar:** de prestatie indicator moet gemeten kunnen worden door middel van een methode of procedure.
- **Acceptabel:** de prestatie indicator moet van belang zijn voor de organisatie.
- **Realistisch:** de prestatie indicator moet realistisch en haalbaar zijn.
- **Tijdsgebonden:** de indicator moet gemeten worden in een bepaalde tijd.

### 2.4.2 Stakeholderanalyse

Bij de stakeholdersanalyse worden de meest invloedrijke en belangrijkste interne personen of groepen die bij dit project betrokken zijn geanalyseerd. Hierdoor kunnen er Key Performance Indicators geselecteerd worden. In tabel 2.2 is de stakeholdersanalyse van VMI Holland te zien.

| Stakeholders                          | Doel en invloed                                                                                                                                                                                                                                    | Performance Indicators                                 |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>Productie engineering afdeling</b> | Productie engineering zorgt ervoor dat het productieproces efficiënt en zo snel mogelijk verloopt.                                                                                                                                                 | Doorlooptijd<br>Wachttijd<br>Bezettingsgraad<br>Output |
| <b>Operation Control afdeling</b>     | Operation Control plant de orders in en bepaalt hoeveel modules er elke week worden ingepland. Operation Control wil zo min mogelijk orders uitstellen en dus zo veel en snel mogelijk produceren.                                                 | Gemiddelde wachttijd<br>Output                         |
| <b>Work Preparation afdeling</b>      | De afdeling Work Preparation wil een duidelijke planning leveren aan logistiek en productie. Zij zijn verantwoordelijk voor het montage afloop schema.                                                                                             | Output<br>Doorlooptijd<br>Wachttijd                    |
| <b>Logistiek afdeling</b>             | De logistiek afdeling wil dat Production Orders op tijd en op de juiste plek geleverd worden. Zij zijn verantwoordelijk voor het inkopen en leveren van de benodigde materialen. Daarnaast willen ze een zo laag mogelijke opslag in het magazijn. | Gemiddelde wachttijd sub assemblies                    |
| <b>Ploegbazen</b>                     | De ploegbazen hebben een leidende rol over de monteurs en beslissen mee in de planning. Zij willen een overzichtelijk productieproces. Bovendien willen ze geen overvolle hallen. Wanneer sub assemblies op elkaar wachten                         | Doorlooptijd<br>Kwaliteit                              |



|                      |                                                                                                                                          |                                     |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|                      | zullen ze in de hallen opgeslagen worden. Deze opslag moet laag blijven. Daarnaast Willen ze een kwalitatief goede machine produceren.   |                                     |
| Monteurs (productie) | Monteurs willen duidelijke en kloppende werkinstructies, zodat ze weten wat er moet gebeuren. Daarnaast willen ze een stabiele werklust. | Bezettingsgraad                     |
| Aandeelhouders       | Aandeelhouders worden beïnvloed door de prestaties van de gehele organisatie. Zij willen een goed georganiseerde gezonde organisatie.    | Doorlooptijd<br>Kwaliteit<br>Output |
| Klanten              | De klanten willen goedkoop en snel een kwalitatief goed product.                                                                         | Doorlooptijd<br>Kwaliteit           |

tabel 2.2: Stakeholdersanalyse VMI Holland

Uit de stakeholdersanalyse is een aantal Performance Indicators geselecteerd. Hieruit zijn de volgende Key Performance Indicators (KPI's) afgeleid:

#### *Bezettingsgraad*

De KPI bezettingsgraad geeft aan hoe goed de machinecapaciteit wordt gebruikt, wat een direct resultaat is van het inplannen van orders. Grote verschillen in bezettingsgraad kan een indicatie zijn voor een inefficiënte productie- of capaciteitsplanning en lage flexibiliteit.

De gemiddelde bezettingsgraad wordt berekend door te kijken naar het aantal objecten dat het systeem (of machine) verlaat, de bewerkingstijd per object en de totale capaciteit van het systeem.

#### *Doorlooptijd*

De doorlooptijd geeft inzicht in de tijd die een object erover doet om het gehele proces te doorlopen. De gemiddelde doorlooptijd berekenen we aan de hand van de aankomst- en vertrektijden van alle objecten.

#### *Wachttijd*

De wachttijd is de tijd die een object aan het wachten is, omdat het object nog niet geproduceerd kan worden. De wachttijd geeft ons inzicht in de flexibiliteit. Net als bij de bezettingsgraad kunnen grote verschillen tussen wachttijden wijzen op een lage flexibiliteit en geeft ons inzicht waar de knelpunten zitten. De wachttijd wordt per locatie en soort object gemeten.

#### *Aantal wachtenden*

Met het aantal wachtenden wordt bedoeld hoeveel sub assemblies er gemiddeld aan het wachten zijn in opslag voordat de productie begint. In tegenstelling tot de wachttijd kan het aantal wachtenden inzicht geven in de hoeveelheid dat in opslag ligt, niet hoelang een object in opslag ligt.

#### *Output per week*

De output per week is een goede indicator om de productiviteit te meten. Met deze indicator kan na een bepaalde periode het aantal objecten dat er gemiddeld geproduceerd zijn gemeten worden.



## 2.5 Conclusie

Deze paragraaf geeft de conclusie van het literatuuronderzoek. In dit hoofdstuk zijn flexibiliteit, productie- en capaciteitsplanning, simulatiemodellen en Key Performance Indicators aan bod gekomen.

Paragraaf 2.1 gaf een inzicht op flexibiliteit. Flexibiliteit is een breed begrip en kent vele vormen. We hebben ons voornamelijk gefocust op expansion flexibility, machine flexibility en material handling flexibility. Expansion flexibility gaf ons inzicht hoe er op strategisch niveau gekeken wordt naar capaciteitsuitbreiding. Machine flexibility maakt duidelijk welke vormen flexibiliteit geeft en welke voor- en nadelen eraan verbonden zijn, hieruit wordt duidelijk dat het niet voor elk productieproces voordelig is om te investeren in een verhoogde machine flexibility. In het geval van VMI Holland zijn de machines werkcellen met monteurs. Bij material handling flexibility is de belangrijkste restrictie van machine flexibility besproken.

In paragraaf 2.2 is de theorie over productie- en capaciteitsplanning besproken. Allereerst is de betekenis van planning uitgelegd en de mate van controle bij elk planningslevel. Naarmate de planning op een kortere termijn gebeurt zal het belang van het ingrijpen en afwijken van de planning toenemen. Verder zijn planningslevels toegelicht en gelinkt aan de beslissingen die in capaciteit genomen worden. Hieruit kan geconcludeerd worden dat mijn onderzoek zich focust op de strategische en tactische productie- en capaciteitsplanning van VMI Holland. Daarnaast gaan we onderzoeken wat de gevolgen zijn van strategisch en tactische aanpassingen voor de lagere planningslevels en welke restricties dit met zich meebrengt.

Paragraaf 2.3 geeft ten eerste een beschrijving over hoe verschillende systemen getest kunnen worden. Verder zijn in dit hoofdstuk verschillende soorten simulaties behandeld en heeft het ons inzicht gegeven in de belangrijkste activiteiten van simulatie.

Ten slotte beschrijft paragraaf 2.4 de Key Performance Indicators die we in dit onderzoek gebruiken. De Key Performance Indicators zijn geselecteerd aan de hand van de S.M.A.R.T.-methode.

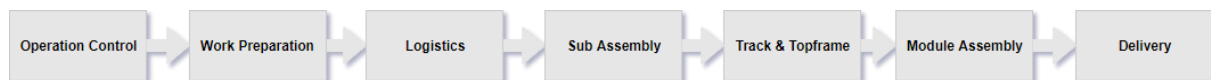
In het volgende hoofdstuk zal de opgedane kennis uit dit hoofdstuk gebruikt worden om een kritische blik te werpen op de huidige situatie.

### 3 Huidige situatie

In dit hoofdstuk is de huidige situatie beschreven per afdeling van het proces dat een order ondergaat. In paragraaf 3.1 is het huidige proces nader onderzocht. Paragraaf 3.2 geeft een beschrijving van de flexibiliteit van het productieproces. Vervolgens is in paragraaf 3.3 het proces aan de hand van verkregen data geanalyseerd.

#### 3.1 Procesbeschrijving

In deze paragraaf worden de belangrijkste activiteiten beschreven aan de hand van de planningstheorie. In figuur 3.1 is een schematische weergave van het procesverloop van een order te zien. Dit proces is een make-to-order proces, waarbij een product pas gemaakt wordt, nadat het besteld is. Zie bijlage 2 voor een uitgebreidere weergave van het proces.



Figuur 3.1: Het huidige procesverloop

##### 3.1.1 Operation Control

De taak van Operation Control is om het MPS te maken. In het MPS wordt bepaald welke module waar en in welke week gemaakt wordt. Ook wordt hier bepaald welke onderdelen uitbesteed moeten worden en welke onderdelen VMI Holland zelf produceert. De planning van het proces bij VMI Holland moet aansluiten bij het proces van de andere vestigingen van VMI.

Het MPS dat in dit onderzoek gebruikt wordt is de prognose van de komende 18 maanden. Hierin staat het aantal van elk type machine dat er naar verwachting besteld gaat worden of wat al staat ingepland. De eerste maanden van het MPS zullen de daadwerkelijke orders bevatten en naarmate er verder in de toekomst gekeken wordt zullen de orders onzekerder zijn. Deze verwachting is berekend door de Sales afdeling en wordt door het hele bedrijf als maatstaf gebruikt. De Sales afdeling zal verder in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten worden.

Naast het MPS zal ook het Rough Cut Capacity Plan hier gemaakt worden. Deze planning hangt nauw samen met het MPS. Hier wordt bepaald of er genoeg capaciteit is om het aantal ingeplande modules te produceren. Wanneer dit niet het geval is, is er de keuze om de order uit te stellen, dus het MPS aan te passen, of kan er gebruik worden gemaakt van de tijdelijke expansion flexibility. De capaciteit zal dan tijdelijk verhoogd worden door monteurs te laten overwerken of door een externe hal in Heerde te huren. Dit ligt voornamelijk aan de eisen van de klant.

Operation Control plant dus een  $x$  aantal modules in voor productie die voor week  $y$  geproduceerd moet zijn. Dit kunnen in het geval van de TBM modules niet meer dan 3 zijn.

##### 3.1.2 Work Preparation

De volgende stap in het proces is Work Preparation. Hier wordt allereerst het Montage Afloop Schema gemaakt (MAS). Het MAS is een combinatie van het MRP en de Capacity Requirements Planning. Hier worden de modules onderverdeeld in sub assemblies. Aan elke sub assembly is een aantal Production Orders verbonden. De materialen voor een sub assembly worden gespreid geleverd, omdat de productie van een sub assembly meerdere dagen kan duren. Hierdoor blijft het opslagniveau laag, want het materiaal komt niet in één keer. Daarom bevat een sub assembly meerdere Production Orders. De Production Order bevat informatie welk materiaal, waar en wanneer geleverd moet worden.

Net zoals de levering van de materialen, wordt ook het produceren van modules niet op dezelfde dag ingepland. Als er bijvoorbeeld 3 te produceren modules in één week staan ingepland, zal er één op maandag ingepland worden, één op woensdag en één op vrijdag. Hierdoor blijven de opslagniveaus in de montagehallen gebalanceerd.

Volgens de capaciteitsplanning theorie hoort bij een MRP een Capacity Requirements Planning, waarbij de afzonderlijke processen worden ingepland. De verdeling van de werkcellen is bij VMI echter een standaard die op strategisch niveau bepaalt wordt. De huidige werkcel-indeling is gebaseerd op een maximale productie van 3 modules die verdeelt over de week gemaakt worden.

### 3.1.3 Logistics

De volgende stap is Logistics. Logistics heeft de langste lead time met twee hoofdactiviteiten. Als eerste hoofdactiviteit moeten materialen ingekocht worden. Logistics krijgt de MAS binnen en maakt op basis van dit plan een Bill of Materials (BOM) om in te kopen en een plan voor de levering van de materialen. De levertermijn van de materialen is ongeveer 40 dagen. Alle materialen worden eerst opgeslagen in het magazijn.

De tweede hoofdactiviteit is het picken van de orders in het magazijn. Alle materialen die nodig zijn voor de module of project zullen aanwezig zijn in het magazijn en worden door het magazijnpersoneel gepicked. Dit proces duurt 5 dagen, hierna wordt het materiaal getransporteerd naar Productie waar het bij de juiste werkcel geleverd wordt. Na het transport is het logistieke proces afgelopen.

### 3.1.4 Productie

De productie van de TBM-modules bestaat uit 3 hoofdactiviteiten: Sub Assembly, Track en Topframe en ten slotte Module Assembly. In bijlage 11 is een overzicht te zien van de montagehallen van VMI Holland, waar het productieproces plaatsvindt. De productie van de sub assemblies gebeurt in montagehal 10B. Als de sub assemblies geproduceerd zijn zullen de sub assemblies verplaatst worden naar hal 10A of 10C (afhankelijk van het type machine), hier worden de sub assemblies op een track of topframe geplaatst. Vervolgens worden de track en topframe in hal 12A of 12B geassembleerd tot een module.

#### *Sub Assembly*

Wanneer het materiaal geleverd is door Logistics kan de sub assembly productie beginnen. Dit proces maakt de aparte onderdelen voor de module. Om een sub assembly te maken heeft de monteur een werkcel, product gebaseerd gereedschap en de standaardgereedschapsuitrusting nodig. De werkcel waar het materiaal geleverd is, en waar dus ook de sub assembly geassembleerd wordt, is vooraf opgeslagen in het ERP-systeem. Deze positie kan 10 dagen voor het begin van de productie nog gewijzigd worden, hierna staat het vast in het systeem.

Bij VMI kan de onderverdeling van de werkcellen gezien worden als specialisatie. Elk werkstation kan een type sub assembly produceren. Een werkstation bestaat uit drie werkcellen (A, B en C) waar in elk een sub-assembly geproduceerd kan worden. Hierbij is er echter nog een onderscheid tussen de sub-assemblies van de MAXX en de EXXIUM. Dit behandelen we nog uitgebreid in paragraaf 3.2.2.

De MAXX bouwmachine module heeft 8 sub assemblies, die alle in hal 10B gemaakt worden. De sub assemblies hebben verschillende doorlooptijden en startdagen, zie bijlage 5. De EXXIUM daarentegen wordt ook gedeeltelijk in een vestiging in Polen gemaakt. Hierdoor worden er minder sub assemblies van de EXXIUM in hal 10B gemaakt. De Bead Apex is een gehele machine die in 1 week gemaakt wordt. De Bead Apex heeft 8 kleine werkcellen nodig voor het produceren, echter wordt dat in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten en wordt de Bead Apex beschouwd als één module. Met oog op de

interventies die toegepast worden, wordt de Bead Apex onderverdeeld in 6 sub assemblies met elk een doorlooptijd van 40 uur.

#### *Track en Top Frame*

Zodra de sub assemblies geassembleerd zijn worden ze naar hal 10A of 10C gebracht (resp. EXXIUM en MAXX). Sub assemblies van het type 1 tot en met 4 worden op een top frame gemonteerd en sub assemblies met type 5 tot en met 8 worden op een track gemonteerd. De Track en Top Frame Assembly is een tussenstap voor Module Assembly. Een belangrijke voorwaarde voor dit proces is dat alle sub assemblies aanwezig moeten zijn voordat de track of top frame verplaatst kan worden naar het Module Assembly. Wanneer dit niet het geval is, staan de sub assemblies in hal 10A of 10C op elkaar te wachten, waardoor het opslagniveau in de hallen toeneemt. Ook de doorlooptijden van deze processen zijn te vinden in bijlage 5.

#### *Module Assembly*

De track en top frame worden verplaatst naar de montagehal tegenover hal 10: hal 12. Hier worden de onderdelen samengesteld tot een bouwmachine module. Vervolgens wordt de module uitvoerig getest door gespecialiseerd personeel.

#### *3.1.5 Delivery*

Wanneer de module geassembleerd en volledig getest is, wordt de module verscheept naar de klant, de bandenproducent. De andere modules van de bandenbouwmachine, die in China en Polen gemaakt worden, komen vervolgens bij de klant waar de uiteindelijke machine in elkaar gezet wordt.

### **3.2 Flexibiliteit van de huidige situatie**

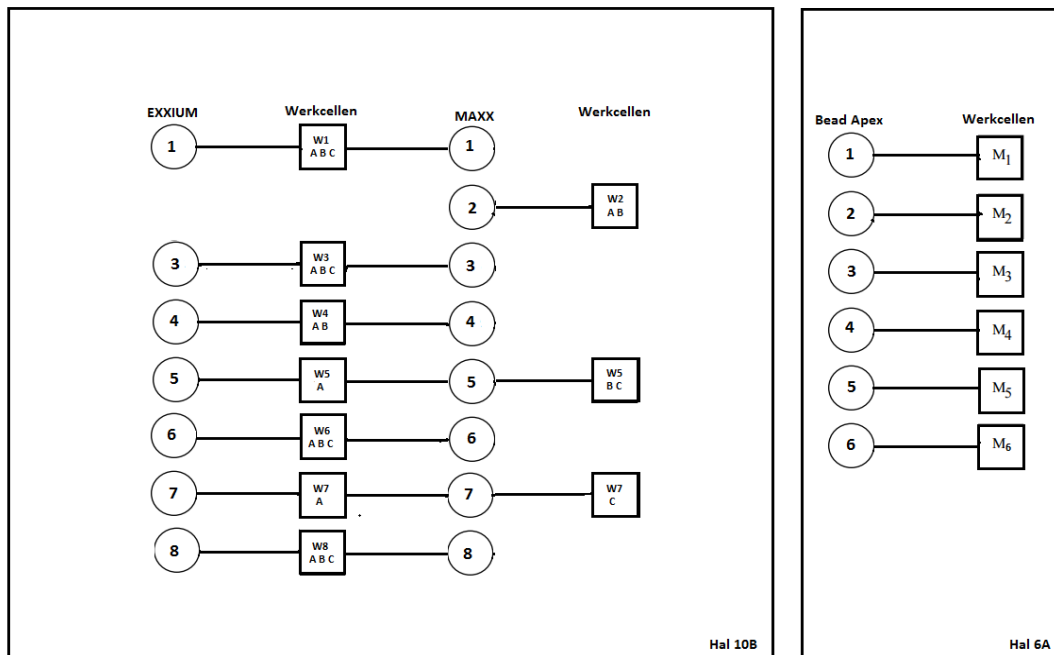
In deze paragraaf wordt er met een kritische blik gekeken naar het huidige proces aan de hand van de flexibiliteitstheorie uit paragraaf 2.1.

#### *3.2.1 Expansion flexibility*

De expansion flexibility is voornamelijk tijdelijke expansion flexibility bij VMI Holland. Wanneer er sprake is van ondercapaciteit wordt er gebruik gemaakt van een externe hal in Heerde of VMI Holland laat monteurs overwerken. Nu wordt echter in de meeste gevallen het werk uitgesteld naar weken waarin rustiger is. Hierdoor ontstaan langere doorlooptijden, waardoor de afgesproken leverdatum aan de klant in gevaar komt.

### 3.2.2 Machine flexibility

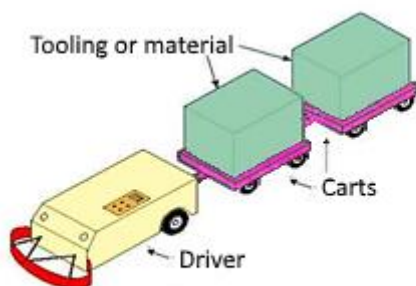
De machine flexibility van VMI is erg specialistisch ingericht. In figuur 3.2 is een schematische weergave te zien van de machine flexibility van hal 10B en 6A. Hieruit kan geconcludeerd worden dat in hal 10B en 6A nauwelijks sprake is van flexibiliteit en er dus een lage level of sharing aanwezig is. Er is alleen flexibiliteit tussen dezelfde soort sub assemblies, waarbij de MAXX sub assemblies geproduceerd kunnen worden in de EXXIUM werkcellen. Het belangrijkste verschil tussen de werkcellen zijn de grootte en het specifieke gereedschap ook wel tooling genoemd. De verschillende groottes tussen de werkcellen is in bijlage 7 te zien. De tooling zal bij material handling flexibility behandeld worden.



Figuur 3.2: Machine flexibility hal 6A en 10B

### 3.2.3 Material handling flexibility

Wanneer materiaal of resources verplaats worden, heeft VMI genoeg mogelijkheden om dit te realiseren. De belangrijkste en meest efficiënte manier om te verplaatsen is de goederentrein die rond de montagehallen komt te rijden. VMI laat in de nabije toekomst een logistieke trein rijden, zie figuur 3.3, waarbij materiaal of tooling aan de driver gekoppelt kan worden. Hierbij zal de alternatieve werkcel aan de route van de logistiek trein gekoppelt worden. In het huidige proces wordt er vooral gebruik gemaakt van heftrucks (verplaatsing tussen de hallen) en bovenloopkranen (verplaatsing binnen de hallen).



Figuur 3.3: Logistieke trein binnen montagehallen



Figuur 3.4: Werkcel in hal 10B (niet beschikbaar in openbare versie)

Elke werkcel, zoals in figuur 3.4 te zien, bevat de volgende componenten:

- Standaardgereedschap
- Grijpvoorraad (bouten, moeren, etc.)
- Specifiek ingekocht materiaal
- Tooling (Gereedschap specifiek voor een soort sub assembly)

Op figuur 3.4 is de grijpvoorraad te zien in het blauwe rek (links) en het specifiek ingekochte materiaal op de pallets (midden). De tooling wordt verplaatst op de paarse karren. Het materiaal wordt nu nog verplaatst met een heftruck, maar zal in de toekomst ook net zoals de tooling met karren verplaatst worden en kan (zoals in figuur 3.3) aan de trein gekoppeld worden. Het standaardgereedschap en de grijpvoorraad hoeft niet te verplaatst te worden, aangezien elke werkcel hiermee voorzien is.

### 3.3 Data-analyse

In deze paragraaf hebben we de data geanalyseerd en is vooral de bezettingsgraad onderzocht. De data die we gebruiken zijn de MPS en de MAS.

De data die we gebruiken bestaat uit de MPS prognose voor de hoeveelheid modules die geproduceerd worden. VMI Holland wil dat we de prognose gebruiken, omdat de historische data niet de groei meeneemt die er in de nabije toekomst wel verwacht wordt. De groei is te zien in figuur 3.5, hier valt op dat VMI Holland verwacht dat de productie in 18 maanden tijd zal groeien met 50%.



*Figuur 3.5: Belangrijkste gegevens uit het MPS (niet beschikbaar in openbare versie)*

In het MPS vinden we de hoeveelheden die er per type machine besteld worden, zie figuur 3.5. Hieruit blijkt dat de Bead Apex ten opzichte van de MAXX en EXXIUM in een veel lagere mate geproduceerd wordt. Ondanks dat in hal 6A veel minder werkcellen worden gebruikt (6 ten opzichte van de 22 van hal 10B) behaalt hal 6A maar een bezettingsgraad van 21%. In hal 6A kan er één Bead Apex machine per week geproduceerd worden. In 70 weken tijd komen er echter maar 15 orders binnen, oftewel 21%.

De bezettingsgraad van hal 10B ligt veel hoger. Elke week kunnen er in hal 10B voor 3 TBM modules de sub assemblies geproduceerd worden. In totaal wordt er voor  $84 + 67 = 151$  modules geproduceerd met een maximale capaciteit van 210 machines in 70 weken. Dit betekent dat 71% van de maximale capaciteit geproduceerd moet worden. De 71% bezetting is echter niet de werkelijk waargenomen bezettingsgraad van hal 10B. In dit onderzoek nemen we de bezetting van alle afzonderlijke werkcellen waar. Als we kijken naar de startdagen en procestijden uit de MAS, zie bijlage 5, dan zien we dat niet alle sub assemblies tegelijk geproduceerd worden en tegelijk klaar zijn, hierdoor zullen niet alle werkcellen op hetzelfde moment bezet zijn en dus dezelfde bezettingsgraad hebben. In het vervolg van dit verslag gebruiken we daarom de gemiddelde bezettingsgraad van de werkcellen om de

bezetting van hal 10B te meten. De bezettingsgraad van de werkcellen meten we door een gebrek aan historische data en de beperkte tijd van dit onderzoek (10 weken) aan de hand van simulatie.

Hal 6A zal in mijn onderzoek wel een bezettingsgraad van 21% hebben. In de afbakening van mijn onderzoek staat aangegeven dat het produceren van de Bead Apex niet uitgebreid onderzocht wordt, maar gesimplificeerd wordt, zodat een Bead Apex machine in 6 werkcellen tegelijk geproduceerd wordt. Het proces van Bead Apex is complexer en minder gestandaardiseerd dan de TBM module, waarbij de werkcellen afhankelijk van elkaar zijn. In werkelijkheid zal de bezettingsgraad dus iets lager liggen.

### 3.4 Conclusie

Deze paragraaf geeft de conclusie van hoofdstuk 3, waarbij de huidige situatie is beschreven. De huidige situatie is beschreven aan de hand van een procesbeschrijving. Daarnaast hebben we met behulp van de literatuur en data een kritische blik geworpen op de huidige situatie.

Paragraaf 3.1 beschrijft het huidige proces, van het binnenkomen van een order tot de levering van de module. Hieruit blijkt dat de planning van de werkcellen in een vroeg stadium gebeurt. Bovendien kunnen er 10 dagen voor productie geen aanpassingen meer gedaan worden en is er dus geen control meer.

Paragraaf 3.2 beschrijft de huidige situatie aan de hand van de flexibiliteit. Hier hebben we de drie vormen van flexibiliteit uit paragraaf 2.1 bij VMI's productieproces beoordeeld. De expansion flexibility van VMI bestaat voornamelijk uit tijdelijke flexibiliteit, dit zorgt voor relatief hoge kosten. Vervolgens is de machine flexibility bekeken. Het productieproces is erg specialistisch en heeft dus een lage level of sharing. Dit ondanks het feit dat VMI veel opties heeft om een hoge material handling flexibility (trein, heftrucks, etc.) te behalen.

In paragraaf 3.3 is er een analyse gemaakt aan de hand van het MPS en de MAS. Hieruit kan geconcludeerd worden dat VMI een stijgende vraag verwacht. Daarnaast heeft hal 6A een lage bezettingsgraad en wordt de bezettingsgraad van hal 10B gemeten door het gemiddelde te nemen van de bezettingsgraad van de individuele werkcellen. Door een gebrek aan historische data en de beperkte tijd van dit onderzoek meten we de bezetting van de werkcellen d.m.v. simulatie.

In het volgende hoofdstuk zal het simulatiemodel geïntroduceerd worden en bespreken we de prestaties en knelpunten van de huidige situatie.



## 4 Simulatie

Dit hoofdstuk gaat over het simulatiemodel. Hier worden de aanpak, werking, eisen, randvoorwaarden en de key performance indicators besproken. Het geeft antwoord op deelvraag 5:

*Hoe moet het simulatiemodel van VMI's productieproces eruit zien?*

Paragraaf 4.1 bespreekt de keuze voor het testen van een systeem d.m.v. simulatie, het gebruikte simulatietype en programma. In paragraaf 4.2 bespreken we het conceptuele model door te kijken naar het doel van de simulatie, de inputs, de outputs, de inhoud en de werking van het model. Vervolgens beschrijven we de werking van het model m.b.v. een flowchart diagram. De validatie wordt in paragraaf 4.3 besproken, hier behandelen we de validatie en verificatie, warm-up periode, aantal replicaties en de runlengte. Vervolgens gaan we in paragraaf 4.4 de resultaten van het simulatiemodel analyseren.

### 4.1 Simulatiekeuze

In paragraaf 2.3 is onderzocht welke aanpak gebruikt moet worden om een systeem te testen. De productieprocessen van VMI zijn complexe systemen die elk van elkaar afhankelijk zijn. Om metingen te doen en naar verbeteringen te zoeken, zal het lastig worden om een experiment in de realiteit uit te voeren. Het productieproces moet stilgelegd worden en er zal een langdurige observatie nodig zijn. Daarnaast is het lastig om een analytisch model te gebruiken voor dit systeem. Daarom maken we gebruik van een simulatiemodel.

De keuze voor het type simulatie valt op de Discrete Event Simulation (beschreven in paragraaf 2.3.1). Het productieproces van VMI Holland bestaat uit activiteiten en wachtrijen, die elk specifiek onderzocht moeten worden. Met een Discrete Event Simulation kunnen deze activiteiten en wachtrijen gesimuleerd worden.

Het programma dat we voor dit onderzoek gaan gebruiken is Tecnomatix Plant Simulation van Siemens. De Universiteit Twente heeft een licentie voor dit simulatieprogramma. Bovendien is dit programma ook gebruikt tijdens het bachelor onderwijs.

### 4.2 Conceptueel model

In deze paragraaf beschrijven we het conceptuele model van het simulatiemodel van het planning- en productieproces van VMI's bandenbouwmachines. Dit doen we door het doel, de input, de output en de aannames te bespreken.

#### 4.2.1 Het doel

Het doel van de simulatie studie is het meten van Key Performance Indicators om te bepalen wat de huidige prestaties van de planning- en productieproces van VMI's bandenbouwmachines zijn en het management van VMI Holland te voorzien van potentiële procesverbeteringen. Het doel is om het werkelijke systeem beter te begrijpen en de efficiëntie van de processen te verhogen. De uitkomsten van de simulatiestudie helpen bij het maken van de keuzes om wel of geen veranderingen te implementeren.

#### 4.2.2 Input

De input van het model is onder te verdelen in twee categorieën: experimentele input en vaste input. Volgens Robinson (2014) is de experimentele input van het model de waardes die veranderd kunnen worden om verbeteringen te testen, of om een beter begrip te krijgen van de werkelijkheid. Deze inputwaardes dienen als experimentele factoren voor de simulatiestudie. In dit model gebruiken we de volgende experimentele input:

- De tussenaankomsttijd (inter-arrival time): de tijd tussen het binnenkomen van de orders.
- De verschillende routes die een sub assembly kan afleggen: in plaats van de vaste posities die de sub assemblies hebben, kunnen de sub assemblies in alternatieve werkcellen gemaakt worden.
- De capaciteit van de sub assembly montagehallen: meer of minder werkcellen binnen de montagehallen.

De vaste input waardes zijn de input waardes die niet veranderen. Deze input is bedoeld om de karakteristieken van het werkelijke proces over te brengen in het model. De volgende input wordt gebruikt:

- De soort sub assemblies per type module.
- Het aantal sub assemblies per type module.
- De procestijden van elke sub assembly, track, topframe en module.
- De starttijden van elke sub assembly.
- De capaciteit binnen de Track & Topframe en de Module Assembly montagehallen.
- De tijden dat de fabriek actief is.

#### *De tussenaankomsttijd*

De tussenaankomsttijd is een experimentele input waarde. De tussenaankomsttijden zijn gebaseerd op het prognose MPS van VMI. Het prognose MPS is de verwachting van de vraag naar bandenbouwmachines tot het jaar 2019. Dit is een prognose van 70 weken berekend door de Sales afdeling, die in mei 2017 voor het laatst is bijgewerkt. De prognose is door Sales bepaald door statistische analyse met behulp van historische data, trends en verwachtingen. Er is allereerst gekeken naar de verdeling van deze data. Met de 'Goodness of fit' test, te vinden in bijlage 5, zijn er geen verdelingen gevonden die bij de huidige data passen. Toch gebruiken we deze data om tot experimentele inputwaardes te komen. De inputwaardes komen op het oog het meeste overeen met een normale verdeling, maar door de stijgende trend is er geen passende verdeling te vinden. Voor een normale verdeling zijn er twee parameters nodig: de verwachte waarde ( $\mu$ ) en de variantie ( $\sigma^2$ ). Met de verwachte waardes bepalen we de verschillende scenario's waarmee we experimenteren. De verwachte waardes zijn gekozen aan de hand van de 1<sup>e</sup>, 9<sup>e</sup> en 18<sup>e</sup> maand van de trend van het prognose MPS. Hiermee onderscheiden we 3 scenario's:

- Scenario 1 met  $\mu = 8$
- Scenario 2 met  $\mu = 10$
- Scenario 3 met  $\mu = 12$

Naast de verwachte waarde voegen we ook variantie toe aan de aankomst van de machines. De huidige variantie van het prognose MPS kunnen we niet direct gebruiken voor de drie scenario's, omdat er in het prognose MPS sprake is van een stijging van de vraag. Daarom bepalen we de variantie door de waardes in het prognose MPS te delen door de stijging van de trend, waardoor de gemiddelde van de prognose op 8 machines per maand blijft. De variantie hiervan is voor alle drie de scenario's gelijk, want we gaan ervan uit dat een stijging van de verwachte waarde geen invloed heeft op de variantie. Door een data-analyse komen we uit op een variantie van  $\sigma^2 = 4,25$ .

Naast de drie scenario's voegen we het prognose MPS toe als scenario 4. Het prognose MPS wordt rechtstreeks aan het simulatiemodel toegevoegd. Hierdoor is er bij scenario 4 geen sprake van 'randomness', maar simuleren we rechtstreeks de verwachte trend. In figuur 4.1 is een overzicht van verschillende scenario's weergegeven.



*Figuur 4.1: De verschillende scenario's het simulatiemodel (niet beschikbaar in openbare versie)*

#### *Capaciteit van de montagehallen*

De capaciteit van de montagehallen is gelijk aan het aantal werkcellen dat de montagehallen bevat, immers één werkcel kan één sub assembly tegelijk produceren. Voor het model van de huidige situatie gebruiken we de capaciteitsverdeling van figuur 3.2 uit paragraaf 3.2.2.

#### *Alternatieve routes*

Een sub assembly kan verschillende routes doorlopen, wanneer de primaire route geblokkeerd is. Net zoals de capaciteit van de montagehallen zijn ook de routes bepaald aan de hand van figuur 3.2. In tabel 4.1 zijn de inputwaarden van de routes van alle soorten sub assemblies te zien. De route is afhankelijk van het type machine en het type sub assembly. In de huidige situatie zijn er echter maar twee type sub assemblies die een alternatieve route hebben. Dit zijn de sub assembly 5 en 7 van de MAXX machine. Deze sub assemblies kunnen ook in de werkcel van de sub assembly 5 en 7 van de EXXIUM machine geproduceerd worden. Dit behoort echter nog wel tot dezelfde groep werkcellen.

| Type Machine | Type Sub assembly | 1 <sup>e</sup> Keuze | 2 <sup>e</sup> keuze |
|--------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| MAXX         | 1                 | Hal10B.WS1           |                      |
| MAXX         | 2                 | Hal10B.WS2           |                      |
| MAXX         | 3                 | Hal10B.WS3           |                      |
| MAXX         | 4                 | Hal10B.WS4           |                      |
| MAXX         | 5                 | Hal10B.WS5BC         | Hal10B.WS5A          |
| MAXX         | 6                 | Hal10B.WS6           |                      |
| MAXX         | 7                 | Hal10B.WS7C          | Hal10B.WS7AB         |
| MAXX         | 8                 | Hal10B.WS8           |                      |
| EXXIUM       | 1                 | Hal10B.WS1           |                      |
| EXXIUM       | 3                 | Hal10B.WS3           |                      |
| EXXIUM       | 4                 | Hal10B.WS4           |                      |
| EXXIUM       | 5                 | Hal10B.WS5A          |                      |
| EXXIUM       | 6                 | Hal10B.WS6           |                      |
| EXXIUM       | 7                 | Hal10B.WS7AB         |                      |
| EXXIUM       | 8                 | Hal10B.WS8           |                      |
| Bead Apex    | 1                 | Hal6A.WS1            |                      |
| Bead Apex    | 2                 | Hal6A.WS2            |                      |
| Bead Apex    | 3                 | Hal6A.WS3            |                      |
| Bead Apex    | 4                 | Hal6A.WS4            |                      |
| Bead Apex    | 5                 | Hal6A.WS5            |                      |
| Bead Apex    | 6                 | Hal6A.WS6            |                      |

Tabel 4.1: Routes per sub assembly

#### Start- en procestijden

Net zoals de alternatieve routes zijn ook de start- en procestijden gelinkt aan het type sub assembly en machine. In bijlage 5 is de algemene productieplanning van de MAXX en EXXIUM gegeven. Hieruit blijkt dat niet elke sub assembly dezelfde starttijd hebben. Sommige sub assemblies kunnen pas gemaakt worden als andere sub assemblies geproduceerd zijn. Hierdoor moeten ze dus een bepaalde tijd wachten: de starttijd.

De sub assemblies worden per dag gemaakt. Dit betekent dat er niet halverwege de dag een sub assembly verplaatst wordt naar het volgende proces, maar pas de dag erna volgens de planning. Er is dus sprake van deadlines voor de sub assemblies. Hierdoor kunnen de procestijden in gehele dagen gesimuleerd worden.

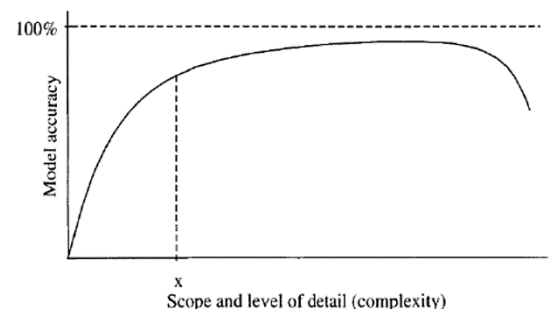
#### 4.2.3 Output

De output van het simulatiemodel bestaat uit item specifieke data en proces specifieke data. Item specifieke data bevat de informatie over individuele activiteiten of objecten, terwijl proces specifieke data informatie bevat over een geheel proces. De output biedt ons de mogelijkheid om de prestaties van het model te meten. De output van het model geeft ons informatie over:

- Totaal aantal geproduceerde machines.
- De prestaties van de productie- en capaciteitsplanning: de gemiddelde wachttijd en de gemiddelde bezettingsgraad van alle werkcellen.
- De productiviteit van de werkcellen: de gemiddelde bezettingsgraad per werkcel.
- De productiviteit van het systeem: de gemiddelde bezettingsgraad en het gemiddeld aantal geproduceerde modules.
- De benodigde opslagruimte: het gemiddeld aantal sub assemblies dat moet wachten voordat de sub assemblies de volgende stap in het productieproces kunnen ondergaan.

#### 4.2.4 Scope en level of detail

Het conceptuele model geeft weer welke inhoud het simulatiemodel moet bevatten. Het conceptuele model is gevalideerd in samenwerking met de afdeling Production Engineering. Hierbij zijn simplificaties en dus de 'level of detail' erg belangrijk. Te weinig details geeft een invalide simulatiemodel, maar te veel details kan zonde zijn van de tijd, want niet alles is van toegevoegde waarde. Volgens Robinson (2014) kan te veel details juist leiden tot een minder valide model, doordat de onzekerheden en variabelen (onnodig) toenemen, zie figuur 4.2.



Figuur 4.2: Belang van details (Robinson, 2014)

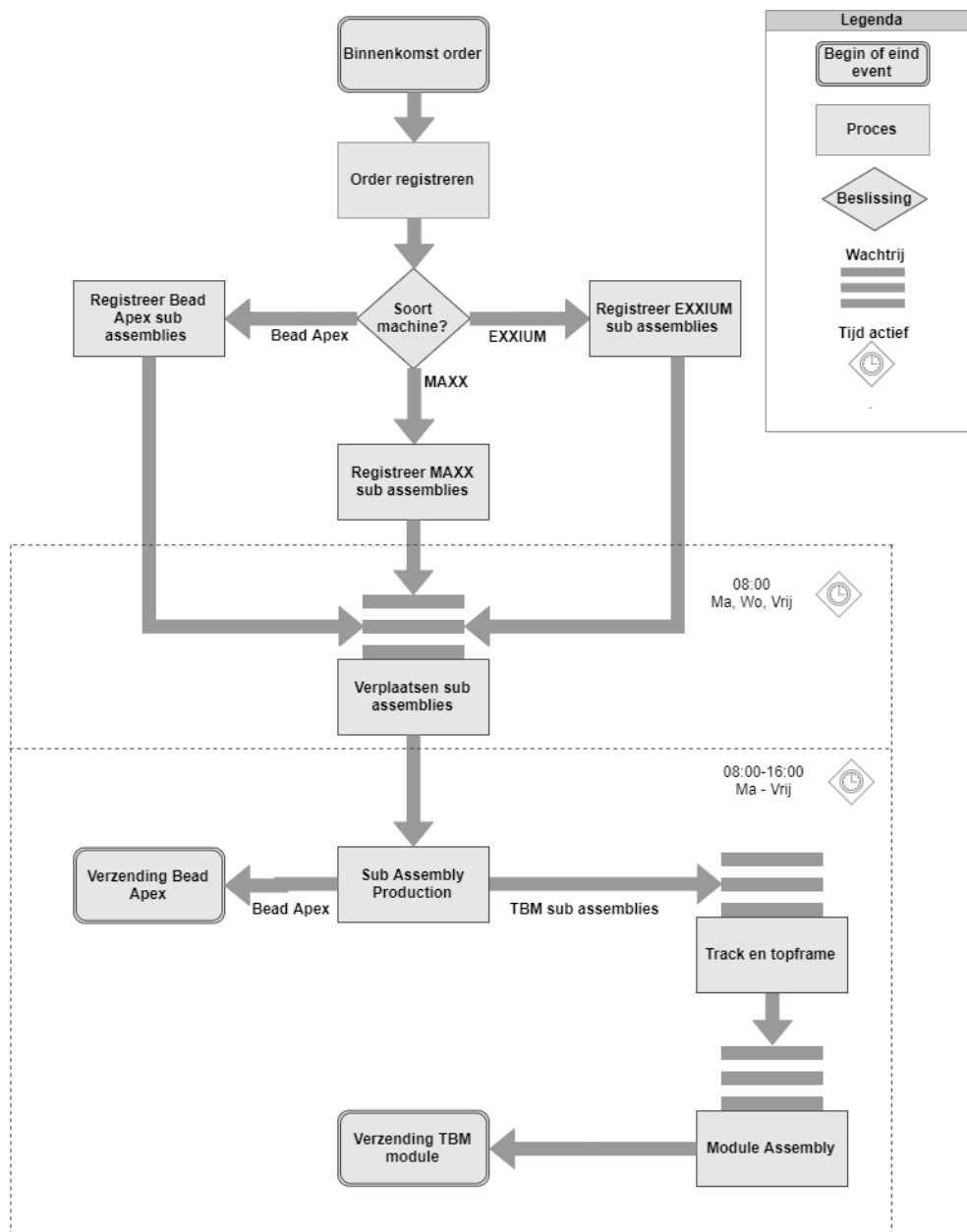
Vanwege het tijdsbestek van 10 weken van de bacheloropdracht en de complexiteit van het systeem, zijn de volgende aannames gedaan:

- De procestijden van alle sub assemblies zijn gebaseerd op de deadlines die deze onderdelen in de werkelijkheid hebben. Op de deadlines worden de sub assemblies verplaatst naar de track en topframe. Dit betekent dat, ongeacht of de sub assemblies eerder klaar zijn, ze pas op de deadline verplaatst worden. Hierdoor is het mogelijk om de deadline als het einde van het proces te zien en dit in het model te verwerken als een procestijd.
- De 'failures' zijn in het simulatiemodel niet meegenomen. Deze failures bestaan uit het te laat leveren van materiaal, het uitvallen van monteurs of het niet functioneren van een onderdeel. Doordat VMI hier geen concrete data over heeft, hebben we dit niet in het simulatiemodel verwerkt.
- De Bead Apex bestaat in werkelijkheid uit 8 onderdelen, die tijdens het produceren van elkaar afhankelijk zijn. In het simulatiemodel hebben we de Bead Apex onderverdeeld in 6 sub assemblies die tegelijkertijd geproduceerd worden. Hierdoor kan hal 6A onderverdeeld worden in werkcellen van dezelfde grootte als de werkcellen van hal 10B en zijn de werkcellen, met oog op de interventies, vergelijkbaar met elkaar.
- Alle orders die voor dezelfde week staan ingepland komen binnen als een batch.
- Alle buffers voor productieprocessen hebben een oneindige capaciteit.
- We negeren de leveringstijden van materialen, alle materialen zijn altijd op voorraad.
- We negeren de transporttijden van het magazijn naar de montagehallen.
- Er zijn altijd genoeg monteurs aanwezig op werkdagen tussen 8:00 en 16:00. Buiten deze tijden zijn er geen monteurs aanwezig en is er dus geen sprake van overwerk.

De scope in het simulatiemodel ligt nadrukkelijk op de Sub Assembly Production. Hier ligt ook de scope van het onderzoek (zie paragraaf 1.3.1) en hier passen we de interventies op toe. Het Sub Assembly proces is, in tegenstelling tot de Track en Topframe en Module Assembly processen, op werkcelniveau gemodelleerd. Dit betekent dat de aparte processen binnen de montagehallen die in de verschillende werkcellen plaatsvinden gemodelleerd zijn. De productie van het track, topframe en de module is niet op werkcelniveau gemodelleerd, maar op montagehalniveau. We modelleren niet wat er binnen de montagehallen van de Track en Topframe Assembly en Module Assembly gebeurt, maar meten we wel de gevolgen van de interventies die bij Sub Assembly Production worden toegepast.

#### 4.2.5 Flowchart van het simulatiemodel

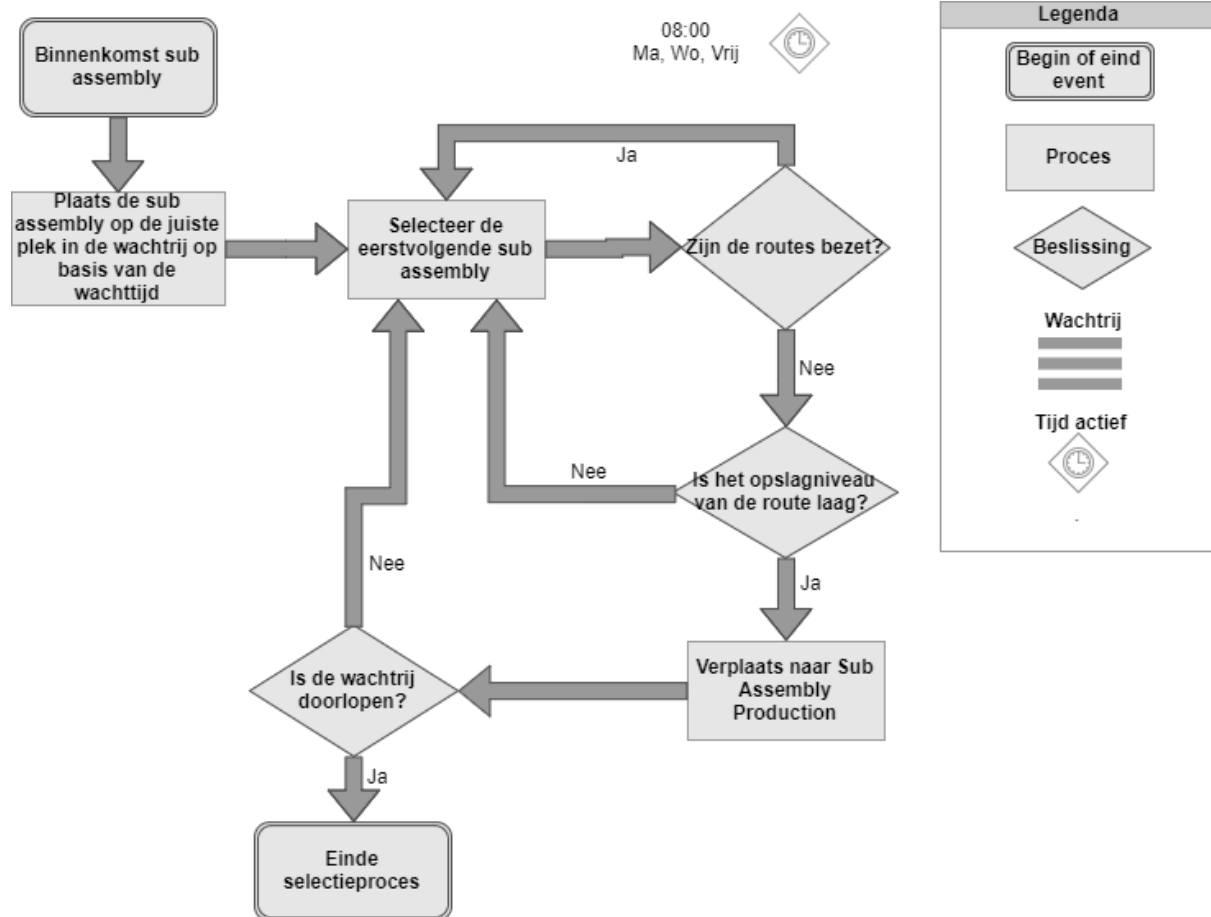
In deze paragraaf beschrijven we de componenten en de werking van het simulatiemodel. We doen dit aan de hand van figuur 4.3, waarin een flowchart van de werking van het simulatiemodel is te zien.



Figuur 4.3: Flowchart van de werking van het simulatiemodel

Het proces begint bij het binnenkomen van een order. De order bevat een vraag naar producten, dit kunnen één of meerdere bouwmaachines zijn. De aankomst wordt bepaald door de verschillende scenario's die besproken zijn in paragraaf 4.2.2. Vervolgens wordt de order geregistreerd, hierbij wordt de tijd van aankomst vastgesteld en krijgt elke machine binnen de order een eigen identificatienummer. In de volgende stap worden de machines van elkaar onderscheiden en wordt de machine opgedeeld in sub assemblies. Per sub assembly wordt het soort machine, type sub assembly, aankomsttijd en benodigde procestijd geregistreerd.

Na de registratie zullen de sub assemblies plaats nemen in de wachtrij om verplaatst te worden naar Sub Assembly Production. Aan het verplaatsen van de sub assemblies zijn een aantal restricties en voorwaarden verbonden. In figuur 4.4 is een flowchart gegeven die inzoomt op het selectieproces bij het verplaatsen van de sub assemblies.



Figuur 4.4: Het selectieproces voor Sub Assembly Production

Het selectieproces begint als er een sub assembly binnenkomt. Dit gebeurt alleen op maandag, woensdag of vrijdag. Dit zijn de dagen dat de productie van een sub assembly kan beginnen. Dit heeft te maken met het opslagniveau van de montagehallen. Wanneer er drie modules voor dezelfde week staan ingepland, zal er één op maandag, één op woensdag en één op vrijdag geproduceerd worden. Hierdoor blijft het opslagniveau gebalanceerd. De sub assembly wordt op de juiste plek in de wachtrij geplaatst. Dit is afhankelijk van de wachttijd. De sub assembly met de kortste wachttijd wordt achteraan de rij geplaatst.

In de wachtrij wordt de sub assembly met de hoogste wachttijd geselecteerd. Elke sub assembly heeft een vooraf bepaalde primaire en secundaire route, zie tabel 4.2 in paragraaf 4.2.2. Als blijkt dat de werkcellen van de primaire en secundaire route vol zitten, zal de eerstvolgende sub assembly uit de wachtrij geselecteerd worden. Wanneer blijkt dat de werkcellen niet vol zitten, wordt er vervolgens gekeken naar het opslagniveau van de werkstations. Een werkstation is een groep van dezelfde soort werkcellen. In paragraaf 3.1.2 is het opslagniveau beschreven. Het opslagniveau is laag als:

- het maandag, woensdag of vrijdag is;
- er op dezelfde dag nog geen sub assembly verplaatst is naar de desbetreffende werkstation.

Als het opslagniveau van de werkstations laag is dan zal de sub assembly verplaatst worden naar Production. Dit selectieproces herhaalt zich totdat elke sub assembly in de wachtrij gecheckt is.

Na het selectieproces in figuur 4.4 gaan weer terug naar figuur 4.3. De volgende stap in figuur 4.3 is de Sub Assembly Production. Wanneer een sub assembly verplaatst wordt naar Sub Assembly Production, zal het gelijk geproduceerd worden, hier zijn geen wachtrijen meer, dit is in het selectieproces gecheckt. De procestijden voor elke sub assembly zijn vooraf bepaald, zie paragraaf 4.2.2.

Na de Sub Assembly Production worden de Bead Apex verzonden. De TBM sub assemblies komen in de wachtrij voor Track en Topframe productie terecht. Alle sub assemblies van type 1 t/m 4 gaan naar de topframe en type 5 t/m 8 gaan naar de track. De track en topframe worden pas geproduceerd als alle benodigde sub assemblies van dezelfde machine ID aanwezig zijn. Vervolgens zullen de track en topframe bij elkaar komen in Module Assembly, waarna de module geproduceerd wordt en het proces afgelopen is.

### 4.3 Validatie

In deze paragraaf behandelen we de validatie en verificatie van het model. In paragraaf 4.3.1 valideren en verifiëren we het model m.b.v. de white-box en black-box validatie. In paragraaf 4.3.2 bepalen we het aantal replicaties, de warm-up periode en de runlengte van het model.

#### 4.3.1 Het valideren van het model

Het valideren van het model doen we op basis van de conceptueel model validatie en verificatie. De eerste methode, de conceptuele model validatie, is een manier van valideren. Dit is gedaan door de aannames en componenten in het model in samenwerking met de ploegbaas te valideren. Wij hebben geconcludeerd dat het simulatiemodel aan de eisen en voorwaarden voldoet.

De volgende methode die toegepast is, is de verificatie. Verificatie is het nagaan of het conceptuele model en het geprogrammeerde model logisch consistent zijn. Hierbij hebben we gecontroleerd of de vergelijkingen in het geprogrammeerde model de juiste dimensies hebben en in de juiste programmeer taal (syntaxis) zijn geprogrammeerd.

Vervolgens hebben we de white-box validatie toegepast. Hierbij zijn drie belangrijke aspecten van white-box onderzocht: de geprogrammeerde code, het model visueel checken en resultaten van afzonderlijke processen vergelijken met de werkelijkheid. De geprogrammeerde code hebben we samen met VMI onderzocht door de relatie tussen verschillende componenten te controleren, bedrijfslogica toe te passen en te checken of de juiste data is gebruikt. Het model is visueel gecheckt door de afzonderlijke objecten stapsgewijs te volgen. Ook de speciale restricties die in het model verwerkt zijn (bij Track en Topframe en Module Assembly), waarbij elke onderdeel aanwezig moest zijn om het model succesvol te runnen, heeft ons geholpen om het model te valideren. Ten slotte hebben we bij de white-box validatie de verkregen data van de afzonderlijke processen onderzocht en vergeleken met de werkelijkheid. Dit hebben we gedaan door de bezettingsgraad en output van afzonderlijke werkcellen te onderzoeken.

Als laatste methode hebben we een black-box validatie gedaan. Hier hebben we de output waardes gecheckt op uitschieters en hebben we de data vergeleken met de werkelijkheid. De doorloop- en wachttijd bleken niet met de werkelijkheid overeen te komen. Dit komt doordat het simulatiemodel een uitstel van een module in het MPS wel als wachttijd meerekent, terwijl het bij VMI Holland niet wordt bijgehouden. De order wordt bij drukte bijvoorbeeld een week later ingepland. De doorlooptijden zijn echter wel te vergelijken: het simulatiemodel doet er gemiddeld 14 dagen en 3 uur over om een module te produceren en in de werkelijkheid duurt dit gemiddeld rond de 15 dagen voordat een module getest wordt en vervolgens verzonden kan worden.

De gemiddelde bezettingsgraad is ook output die met de werkelijkheid vergeleken kan worden. Hal 6A heeft een gemiddelde bezettingsgraad van zo'n 24%. In werkelijkheid is dat ook rond de 20%, doordat



er slechts één keer in de vijf weken een Bead Apex machine besteld wordt. De gemiddelde bezettingsgraad van hal 10B is echter niet te vergelijken met de werkelijkheid, omdat VMI Holland daar niet de exacte gegevens van heeft.

Omdat we niet alle black-box resultaten kunnen vergelijken met de werkelijkheid, hebben we de resultaten voorgelegd aan VMI, waarbij er geconcludeerd werd dat het model als valide beschouwd kan worden.

#### 4.3.2 Aantal replicaties, warm-up periode en de runlengte

In deze paragraaf bespreken we de warm-up periode, het aantal replicaties en de runlengte van het simulatiemodel.

##### *Warm-up periode*

Het simulatiemodel moet een bepaalde tijd runnen voordat het in een realistische situatie komt. Zo is in het geval van VMI het model aan het begin van de simulatie nog niet gevuld met orders en staan de productiehallen leeg. Hiervoor wordt een warm-up periode gebruikt. Het is bij de warm-up periode de vraag hoelang de simulatie nodig heeft om in een realistische situatie te komen. Dit berekenen we aan de hand van de MSER-formule (Robinson, 2014):

$$MSER(w) = \frac{1}{(m - w)^2} \sum_{i=w+1}^m (Y_m - Y(m, w))^2$$

Hierbij:

$m$  = totaal aantal weken

$w$  = week

$Y_m$  = output in week  $m$

$\bar{Y}_m$  = gemiddelde waarde van de outputdata van week  $w + 1$  t/m week  $m$ .

De lengte van de warm-up periode wordt bepaald door naar de week te kijken met de laagste MSER-waarde. In bijlage 10 is een grafiek te zien met de output en MSER waarden. De gekozen output waarde is de gemiddelde doorlooptijd van een sub assembly. De warm-up periode is vastgesteld op 33 dagen. Voor de input van het model tijdens de warm-up periode is gelijk aan de gebruikte interventie. Voor interventie 4: voor het prognose MPS is een input met de verwachte waarde  $\mu=8$  gebruikt. Deze input is het meest representatief voor de situatie voor het prognose MPS. In figuur 3.5 is te zien dat het de trend begint met  $\mu = 8$ .

##### *Runlengte*

Om een betrouwbaar resultaat te krijgen moet het simulatiemodel een minimale tijd doorlopen, dit is de runlengte. Volgens Robinson (2014) is er een vuistregel die aangeeft dat de runlengte minstens 10 keer groter moet zijn dan de warm-up periode. Dit zou betekenen dat het simulatiemodel minstens 400 dagen runlengte moet hebben. De runlengte die we voor het simulatiemodel gekozen hebben, is 70 weken, oftewel 490 dagen. Dit hebben we gekozen, zodat het gehele prognose MPS doorgelopen wordt.

##### *Aantal replicaties*

Het doel van het uitvoeren van meerdere replicaties is om een betrouwbare schatting te verkrijgen uit de output van het simulatiemodel. De output die we gebruiken is de gemiddelde doorlooptijd van een sub assembly. Voor dit model gaan we uit van een betrouwbaarheid van 95%. Dit betekent dat met een bepaald aantal replicaties 95% van de uitgevoerde simulaties het betrouwbaarheidsinterval het

ware gemiddelde bevat. Met behulp van de formule van Robinson (2014) hebben we het aantal replicaties bepaald zodanig dat de breedte van het betrouwbaarheidsinterval in verhouding met de relatieve fout onder de 5% ligt:

$$\frac{t_{(n-1, 1-\frac{\alpha}{2})} \sqrt{S^2/n}}{|\bar{X}|} < d$$

Hierbij:

$n$  = het aantal replicaties

$t_{((n-1, 1-\alpha/2))}$  = de waarde van de studentenverdeling met  $n-1$  vrijheidsgraden en betrouwbaarheidsgrens van  $\alpha$

$|\bar{X}|$  = gemiddelde van de outputdata (bij  $n$  aantal replicaties)

$S^2$  = de variantie van de outputdata

$d$  = maximale relatieve afwijking

Met de formule hebben we berekend dat er minstens 5 replicaties nodig zijn. Volgens Robinson (2014) is het een vuistregel om minimaal 3 of 5 replicaties uit te voeren voor een betrouwbare output, waarbij de hoeveelheid 'randomness' die in het model zit bepalend is. Daarom hebben we dan ook gekozen voor 5 replicaties per experiment.

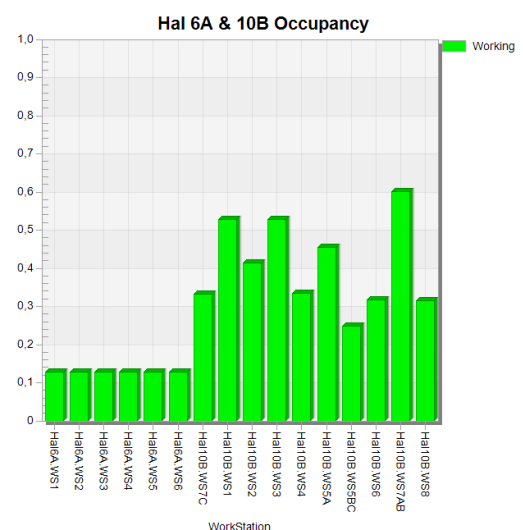
#### 4.4 De huidige prestaties

In deze paragraaf kijken we naar de opgeleverde resultaten van het simulatiemodel. Voordat we de interventies introduceren in hoofdstuk 5 kijken we eerst naar de prestaties van het model waarbij de huidige manier van werken gesimuleerd wordt. We kijken hoe ze scoren per Key Performance Indicator ten opzichte van de verschillende scenario's.

##### 4.4.1 Bezettingsgraad

Uit figuur 4.5 is de bezettingsgraad van hal 6A en 10B in scenario 1 afgebeeld in een staafdiagram. Wat meteen opvalt is de lage bezettingsgraad van 14% in hal 6A. Dit is te verklaren door de lage vraag naar Bead Apex machines, het enige product dat in hal 6A geproduceerd wordt.

Daarnaast zijn de verschillende bezettingsgraden per werkstation in hal 10B logisch te verklaren. Werkstation (WS) 1 en 3 hebben bijvoorbeeld een relatief hogere bezettingsgraad doordat hier sub assemblies worden gemaakt met een hogere procestijden. Daarnaast hebben WS 5A en WS 7AB ook hogere bezettingsgraden dan WS 5BC en WS 7C, dit komt doordat de EXXIUM sub assemblies 5 en 7 verplicht naar deze werkcellen moet gaan, terwijl ze een capaciteit hebben van respectievelijk 1 en 2. De gemiddelde bezettingsgraad van hal 10B komt neer op 45%, waardoor de totale bezettingsgraad van hal 10B en 6A neer komt op 42%.



Figuur 4.5: Bezettingsgraad bij scenario 1 per werkstation afkomstig uit het simulatiemodel

| Verschillende scenario's met de huidige manier van werken. | Bezettingsgraad: |
|------------------------------------------------------------|------------------|
| Scenario 1: $\mu=8$                                        | 35%              |
| Scenario 2: $\mu=10$                                       | 44%              |
| Scenario 3: $\mu=12$                                       | 48%              |
| Scenario 4: Prognose MPS                                   | 42%              |

Tabel 4.2: Bezettingsgraad tussen de verschillende scenario's

Als we naar de bezettingsgraden van scenario 2 en 3 kijken in tabel 4.2, blijkt dat het systeem een niet veel hogere bezettingsgraad krijgt als de vraag stijgt. Hieruit blijkt dat de ruimte niet (veel) meer benut wordt wanneer het drukker wordt. Wanneer een sub assembly klaar is, staat de werkcel leeg. De werkcel wordt pas weer ingepland als een volgend slot open gaat: op maandag, woensdag of vrijdag. Hierdoor blijft het opslagniveau in de montagehal laag, zie paragraaf 3.1.2. Dit betekent echter ook dat werkcellen enige tijd niet benut worden, wat resulteert in een lage bezettingsgraad.

#### 4.4.2 Wachtijd

Een grote beperking van de wachttijd is dat deze waarde niet overeenkomt met de wachttijd in de werkelijkheid. In de werkelijkheid wordt een sub assembly ruim van te voren ingepland door operations control, zie bijlage 2, waarbij er rekening gehouden wordt met de andere orders en de leveringstijden van het benodigde materiaal. In het simulatiemodel is dit gesimplificeerd tot één wachttijd. De wachttijd kan echter wel gebruikt worden om bottlenecks te vinden. In tabel 4.3 zijn de totale wachttijden en wachttijden van de Track en Topframe Production per soort TBM sub assemblies gegeven. Met de kortste wachttijd bij Track & Topframe, kunnen we onderzoeken welke sub assembly de bottleneck is. Eén van de eigenschappen van de Track en Topframe is dat het proces afhankelijk is van de bijbehorende sub assemblies. De andere sub assemblies moeten op de laatste sub assembly wachten.

Sub assembly type 3, de Bead-loader, heeft de laagste gemiddelde wachttijd bij de Track en Topframe met 16 uur, terwijl de andere sub assemblies gemiddeld 2 dagen en 14 uur wachten. Dit is logisch te verklaren door de hoge procestijd en de latere begindag van de productie, zie bijlage 5. Hier is dus sprake van een bottleneck.

| Soort TBM sub assembly: | Gemiddelde Totale wachttijd | Gemiddelde wachttijd Track en Topframe Production |
|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| 1                       | 8 dagen, 1 uur              | 1 dag, 19 uur                                     |
| 2                       | 10 dagen, 13 uur            | 2 dagen, 17 uur                                   |
| 3                       | 7 dagen, 1 uur              | 16 uur                                            |
| 4                       | 13 dagen, 9 uur             | 6 dagen, 22 uur                                   |
| 5                       | 10 dagen, 15 uur            | 2 dagen, 7 uur                                    |
| 6                       | 10 dagen, 16 uur            | 2 dagen, 6 uur                                    |
| 7                       | 9 dagen, 15 uur             | 1 dag, 2 uur                                      |
| 8                       | 9 dagen, 17 uur             | 1 dag, 2 uur                                      |

Tabel 4.3: Wachttijden per sub assembly van scenario 1

| Huidige situatie | Wachttijd        | Doorlooptijd     |
|------------------|------------------|------------------|
| Scenario 1       | 10 dagen, 7 uur  | 16 dagen, 19 uur |
| Scenario 2       | 18 dagen, 1 uur  | 24 dagen, 6 uur  |
| Scenario 3       | 40 dagen, 18 uur | 47 dagen, 2 uur  |
| Scenario 4       | 33 dagen, 15 uur | 40 dagen, 7 uur  |

Tabel 4.4: Wachttijden van verschillende scenario's

In tabel 4.4 zijn de wachttijden van de vier scenario's te zien. Een opvallend gegeven tussen scenario 1, 2 en 3 is dat de wachttijd sneller groeit dan de toename van de gemiddelde binnenkomst van machines ( $\mu$ ). In scenario 3 heeft het systeem te weinig capaciteit om de vraag aan te voldoen. Hierdoor ontstaan bij scenario 3 een gelijkmatige stijging van wachtrijen en dus ook wachttijden. Bij scenario 4 (het prognose MPS) zien we in bijlage 7 dat na ongeveer 250 dagen de wachttijden gelijkmatig stijgen. Hieruit kunnen we concluderen dat VMI met de huidige manier van werken niet aan de vraag van scenario 3 en 4 kan voldoen zonder constant stijgende wachttijden te verwachten.

#### 4.4.3 Aantal wachtende sub assemblies

Het aantal wachtende sub assemblies heeft invloed op het benodigde opslagniveau. In werkelijkheid zijn er meerdere plaatsen in het proces waar opslag plaats vindt:

- Materiaal voor Sub Assembly Production wordt in een externe magazijn opgeslagen.
- Sub assemblies voor de Track en Topframe Production worden in hal 10A en 10C opgeslagen.
- Het track en topframe voor Module Assembly worden in hal 12 opgeslagen.

In het simulatiemodel is de opslag in het externe magazijn echter geen goede indicatie voor het werkelijke opslagniveau. In de werkelijkheid worden machines en dus ook het bestellen van materiaal uitgesteld bij te weinig capaciteit.

Het is echter wel mogelijk om het opslag niveau in hal 10A en 10C te onderzoeken. Zo zitten er consequenties aan het inplannen van de type sub assembly. Als alle types niet tegelijk aanwezig zijn in hal 10A of 10C zullen ze moeten wachten, dit kost opslagruimte. In het model staan er gemiddeld 4,39 sub assemblies in opslag van Track en Topframe Production, hierbij wordt er geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende groottes van de sub assemblies. De opslag stijgt iets mee met de vraag in scenario 2, 3 en 4, wat te zien is in tabel 4.5.

| Huidige situatie | TBM modules per week | Opslag Track en Topframe Production |
|------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Scenario 1       | 1,57                 | 4,39                                |
| Scenario 2       | 1,97                 | 5,23                                |
| Scenario 3       | 2,09                 | 5,86                                |
| Scenario 4       | 1,82                 | 5,35                                |

Tabel 4.5: Aantal TBM modules per week en de opslag bij het Track en Topframe

#### 4.4.4 Output per week

De gemiddelde output per week geeft een indicatie voor hoeveel modules er gemiddeld per week gemaakt worden. Dit is een belangrijke indicator om de productiviteit te meten. In het simulatie model worden er uitgaande van scenario 4, het prognose MPS, gemiddeld 1,82 TBM modules per week geproduceerd in de periode van 70 weken, zie tabel 4.5. Bij een geschatte marktwaaarde van €800.000 per TBM module wordt er rond de  $(52 \text{ weken} * 1,82 * €800.000 \approx)$  7,6 miljoen euro omzet geboekt per jaar met TBM modules. Bij het gemiddeld aantal TBM modules per week in scenario 2 en 3 is ook een logische stijging te zien, net zoals de bezettingsgraad, de wachttijd en de opslag van de Track en Topframe.

### 4.5 Conclusie

In dit hoofdstuk is het simulatiemodel beschreven. In paragraaf 4.1 is de keuze voor Tecnomatix Plant Simulation gegeven en waarom we voor een Discrete Event simulatie hebben gekozen. In paragraaf 4.2 hebben we het conceptuele model uitgelegd door de input, output en de level of detail te beschrijven. Daarnaast zijn we specifiek ingegaan op het model en wordt het geprogrammeerde model uitgelegd aan de hand van een flowchart van het gehele proces.

Vervolgens is in paragraaf 4.3 de validatie van het model behandeld. Hierbij is de warm-up periode, de runlengte en het aantal replicaties bepaald. Een periode van 33 dagen blijkt genoeg voor het model om in een realistische situatie te komen, waarbij er meerdere orders in het systeem zitten. De runlengte van het model hebben we vastgesteld op 70 weken, zodat het gehele MPS prognose doorgelopen kan worden. Het aantal replicaties hebben we aan de hand van een betrouwbaarheidsinterval van 95% vastgesteld op 5 replicaties.

In paragraaf 4.4 zijn de resultaten voor de huidige situatie besproken. In dit hoofdstuk is duidelijk geworden dat, door de simplificaties, niet alle verkregen data exact overeenkomen met de

werkelijkheid. Wel hebben we die data kunnen gebruiken als indicatie voor het identificeren van verbeterpunten en bottlenecks. Hieruit was te zien dat de bottlenecks vooral in de grotere werkcellen zitten. Daarnaast heeft hal 6A een erg lage bezettingsgraad.

## 5 De interventies

In dit hoofdstuk worden de interventies geïntroduceerd, onderzocht en de resultaten vergeleken met het huidige proces. In dit hoofdstuk wordt er antwoord gegeven op de zevende deelvraag:

*Welke interventies kunnen toegepast worden op het simulatiemodel, zodat de bezettingsgraad verhoogd en de doorlooptijd verlaagd worden?*

In paragraaf 5.1 worden de interventies beschreven en getest op de voorwaarden van VMI. In paragraaf 5.2 worden de resultaten van de mogelijk toekomstige situatie met de huidige situatie vergeleken aan de hand van de vier verschillende scenario's. In paragraaf 5.3 worden verschillende opties gegeven om de interventies toe te passen in de werkelijkheid.

### 5.1 Beschrijving van de interventie

De interventie die toegepast wordt op dit model zijn de flexibele werkcellen. Ten eerste kijken we hoe hal 6A opnieuw ingedeeld kan worden, zodat de werkcellen ook voor de sub assemblies van de TBM module gebruikt kunnen worden. Daarna gaan we een nieuwe indeling opstellen voor de TBM sub assemblies en kijken we welke sub assemblies waar verplaatst kunnen worden.

Er is 380 m<sup>2</sup> vloeroppervlakte beschikbaar in hal 6A. Om te bepalen hoe groot elke werkcel moet worden, moeten we eerst weten hoe groot de werkcellen in hal 10B zijn gemaakt voor de sub assemblies. Daarom maken we eerst een overzicht van de grootte van alle werkstations. Dit is te vinden in bijlage 8. Alle werkcellen zijn 10 meter lang, hierover hoeft geen aanpassing gedaan te worden. Daarom zijn alle werkcellen met alleen de breedte te zien.

Het herindelen ligt aan de benodigde ruimtes van de sub assemblies van hal 10B. Een monteur heeft ten minste 95% van de huidige breedte nodig om de sub assemblies te assembleren. In tabel 5.1 is een overzicht te zien welke breedte elke soort sub assembly minimaal nodig heeft.

Met deze gegevens kunnen we een indeling maken voor hal 6A. We moeten een keuze maken tussen een kleiner aantal grote werkcellen, een groter aantal kleine werkcellen, of een combinatie van de twee. De 380 m<sup>2</sup> van hal 6A delen we op in

5 of 6 werkcellen. Wanneer er voor 7 werkcellen gekozen wordt, is de breedte van elke werkcel bij een gelijkmatige verdeling 5,4 meter. Hier kunnen volgens tabel 5.1 slechts 3 soorten sub assemblies geproduceerd worden: 4, 6, 8. Bij het opdelen van hal 6A in 6 werkcellen (elk 6,33 meter breed) kunnen er in al 5 soorten sub assemblies geproduceerd worden. Het is ook mogelijk om de 380 m<sup>2</sup> op te delen in 4 werkcellen. Elke werkcel zou een breedte krijgen van 9,5 meter, waar dus alle soorten sub assemblies geproduceerd kunnen worden. Dit kan echter ook met 5 werkcellen van elk 7,6 meter, omdat de minimale breedte van de grootste sub assembly 6,97 meter is.

Het kiezen van de opties gaat tussen de 5 of 6 werkcellen. Hier wordt de afweging gemaakt tussen de verschillende soorten sub assemblies dat er in een werkcel geproduceerd kan worden en het aantal werkcellen. In tabel 5.1 zijn de gekozen opties te zien.

| Sub assembly type | Minimale benodigde breedte (m) |
|-------------------|--------------------------------|
| 1                 | 6,97                           |
| 2                 | 6,33                           |
| 3                 | 6,81                           |
| 4                 | 5,38                           |
| 5                 | 6,81                           |
| 6                 | 5,38                           |
| 7                 | 5,70                           |
| 8                 | 4,75                           |

Tabel 5.1: Minimale afmetingen per MAXX en EXXIUM sub assemblies

| Hal 6A: | Breedte Workstation 1 | Breedte Workstation 2 | Breedte Workstation 3 | Breedte Workstation 4 | Breedte Workstation 5 | Breedte Workstation 6 |
|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Optie 1 | 6,33 meter            | 6,33 meter            | 6,33 meter            | 6,33 meter            | 6,33 meter            | 6,33 meter            |
| Optie 2 | 5,70 meter            | 5,70 meter            | 5,70 meter            | 6,97 meter            | 6,97 meter            | 6,97 meter            |
| Optie 3 | 7,60 meter            | 7,60 meter            | 7,60 meter            | 7,60 meter            | 7,60 meter            | -                     |

Tabel 5.2: Nieuwe indeling voor hal 6A

Bij optie 1 hebben we hal 6A in 6 gelijke werkcellen verdeelt, waar in elke werkcel 5 soorten sub assemblies geproduceerd kunnen worden. Bij optie 2 hebben we de ruimte ingedeeld in 3 grote werkcellen (werkcellen waarin alle sub assemblies gemaakt kunnen worden) en 3 kleine werkcellen. Optie 2 was de enigste logische keuze om hal 6A gecombineerd in te delen: met een extra grote werkcel blijft er ruimte over voor 2 werkcellen die te klein zijn. Daarnaast heeft het toevoegen van een kleinere werkcel i.p.v. een grote werkcel alleen maar nadelige effecten. Optie 3 was de enige mogelijkheid om de 380 m<sup>2</sup> efficiënt in te delen. Het combineren van kleine en grote werkcellen heeft in deze optie met 5 werkcellen geen zin, want er zijn al 5 grote werkcellen. De breedtes zijn 7,6 meter zodat de gehele 380 m<sup>2</sup> gebruikt.

Samen met alle werkcellen van hal 10B kunnen we nu per sub assembly kijken naar welke werkcellen ze heen kunnen, dit overzicht is te vinden in bijlage 9. Als we dit volgens de literatuur indelen aan de hand van de pooling scenario's van paragraaf 3.1.2, kunnen we een hogere level of sharing verkrijgen. Bij interventie 1 wordt er gebruik gemaakt van optie 1, waarbij hal 6A gelijk wordt verdeelt, dit betekend dat voornamelijk de kleinere en middelgrote sub assemblies naar hal 6A verplaatst kunnen worden. Hierdoor wordt de pool van de kleinere en middelgrote sub assemblies (type 2, 4, 6, 7 en 8) waar hal 6A verplaatst kunnen worden.

Bij optie 2 kunnen de kleine sub assemblies naar alle werkcellen en de (middel)grote naar de drie grotere werkcellen verplaatst worden. Hierbij worden zowel de pools van de kleine als van de grote sub assemblies vergroot.

Bij optie 3 wordt hal 6A in 5 grote werkcellen opgedeeld, hierdoor kunnen de grote sub assemblies naar alle cellen verplaatst worden. Echter is de capaciteit van hal 6A minder in vergelijking met optie 1 en 2. Bij optie 3 heeft elke werkcel een breedte van 7,6 meter, terwijl een minimale breedte van 6,97 meter nodig is om alle soorten sub assemblies er in te kunnen produceren. Er blijft echter te weinig ruimte over (34,85 m<sup>2</sup>) om er nog een werkcel van te maken.

Interventie 1 en 2 worden dus gesimuleerd met twee aparte pools: grote sub assemblies (1, 3, 5) en kleine sub assemblies (2, 4, 6, 7, 8). Het verschil tussen de interventies is dus de grootte van de pools. Naast deze interventies is interventie 3 toegevoegd om te kijken of een overlapping van de twee pools een verbetering is met gebruik van de vloerindeling optie 3. In dit geval kunnen de kleine sub assemblies ook in grote werkcellen worden ingepland en is er dus sprake van meer flexibiliteit. Deze drie opties worden in het simulatiemodel geprogrammeerd.

## 5.2 Resultaten interventies

De 3 opties uit paragraaf 5.1 worden in deze paragraaf gemeten. De 3 opties worden samen met de flexibiliteit binnen hal 10B in het simulatiemodel als interventies gemodelleerd. Hiermee gaan we de 3 interventies per scenario testen op de bezettingsgraad, wacht- en doorlooptijd en de output en zullen we alle resultaten (inclusief de huidige prestaties) met elkaar vergelijken in tabel 5.3.

| <b>Resultaten Experimenten</b>    |                        |                  |                     |                             |                                       |
|-----------------------------------|------------------------|------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| <b>Huidige manier van werken:</b> | <b>Bezettingsgraad</b> | <b>Wachttijd</b> | <b>Doorlooptijd</b> | <b>TBM modules per week</b> | <b>Opslagniveau Track en Topframe</b> |
| Scenario 1: $\mu=8$               | 35%                    | 10 dagen, 7 uur  | 16 dagen, 19 uur    | 1,57                        | 4,39                                  |
| Scenario 2: $\mu=10$              | 44%                    | 18 dagen, 2 uur  | 24 dagen, 7 uur     | 1,97                        | 5,23                                  |
| Scenario 3: $\mu=12$              | 47%                    | 40 dagen, 8 uur  | 46 dagen, 22 uur    | 2,09                        | 5,86                                  |
| Scenario 4: Prognose MPS          | 42%                    | 33 dagen, 15 uur | 40 dagen, 7 uur     | 1,82                        | 5,35                                  |
| <b>Interventie 1:</b>             |                        |                  |                     |                             |                                       |
| Scenario 1: $\mu=8$               | 36%                    | 9 dagen, 9 uur   | 15 dagen, 23 uur    | 1,64                        | 4,77                                  |
| Scenario 2: $\mu=10$              | 46%                    | 12 dagen, 5 uur  | 18 dagen, 23 uur    | 2,13                        | 5,60                                  |
| Scenario 3: $\mu=12$              | 53%                    | 23 dagen, 4 uur  | 29 dagen, 22 uur    | 2,30                        | 6,31                                  |
| Scenario 4: Prognose MPS          | 47%                    | 22 dagen, 23 uur | 29 dagen, 17 uur    | 2,12                        | 6,34                                  |
| <b>Interventie 2:</b>             |                        |                  |                     |                             |                                       |
| Scenario 1: $\mu=8$               | 36%                    | 8 dagen, 16 uur  | 15 dagen, 2 uur     | 1,69                        | 4,17                                  |
| Scenario 2: $\mu=10$              | 47%                    | 11 dagen, 20 uur | 18 dagen, 8 uur     | 2,16                        | 4,99                                  |
| Scenario 3: $\mu=12$              | 53%                    | 17 dagen, 19 uur | 24 dagen, 7 uur     | 2,38                        | 5,70                                  |
| Scenario 4: Prognose MPS          | 48%                    | 18 dagen, 20 uur | 25 dagen, 15 uur    | 2,14                        | 5,87                                  |
| <b>Interventie 3:</b>             |                        |                  |                     |                             |                                       |
| Scenario 1: $\mu=8$               | 37%                    | 8 dagen, 14 uur  | 15 dagen, 1 uur     | 1,69                        | 4,11                                  |
| Scenario 2: $\mu=10$              | 47%                    | 11 dagen, 8 uur  | 17 dagen, 21 uur    | 2,10                        | 5,23                                  |
| Scenario 3: $\mu=12$              | 52%                    | 18 dagen, 15 uur | 25 dagen, 4 uur     | 2,33                        | 5,47                                  |
| Scenario 4: Prognose MPS          | 48%                    | 19 dagen, 16 uur | 26 dagen, 6 uur     | 2,12                        | 5,24                                  |

Tabel 5.3: Resultaten van alle experimenten (met een betrouwbaarheid van 95%)



### 5.2.1 Interventie 1

Bij interventie 1 verdelen we hal 6A in 6 gelijke werkcellen, waardoor de kleine en middelgrote sub assemblies verplaatst worden. Hierdoor blijkt dat over 70 weken de gemiddelde output stijgt van 1,82 naar 2,12 per week in scenario 4, het prognose MPS. Daarbij komt dat de bezettingsgraad van de hal 6A en 10B met 5% verhoogd is. De wacht- en doorlooptijd worden verlaagd met ruim 33%. Echter blijven de problemen in werkcel 1, 3 en 5 zich voordoen met hoge wachttijden als gevolg. Daarnaast wordt er meer opgeslagen in hal 10A en 10C in vergelijking met de huidige situatie. We moeten rekening houden met een stijging van 20% aan opslag bij track en topframe. Dit komt doordat de kleinere sub assemblies nu eerder klaar zijn, maar nog steeds op de grotere sub assemblies moeten wachten, voordat het proces verder kan. Ook als we de andere scenario's met elkaar vergelijken zien we een verbetering, op het opslagniveau na, ten opzichte van de huidige situatie.

### 5.2.2 Interventie 2

Het eerste wat opvalt bij interventie 2 zijn de aanzienlijk lagere wacht- en doorlooptijden in alle scenario's. De wachttijd is met zelfs met meer dan 50% verlaagd in scenario 3. Door de hal op te delen in kleine en grote werkcellen blijft er een balans tussen de verschillende werkcellen. Hierdoor blijkt ook dat de gemiddelde bezettingsgraad en de totale output zijn gestegen. Vooral in scenario 3 zien we een grote stijging van het gemiddeld aantal TBM modules per week. Door een stijging van 2,09 naar 2,38 TBM modules gemiddeld per week kan VMI op jaarbasis 15 modules meer produceren. Met een geschatte marktwaarde van €800.000, kan er  $(€800.000 \cdot 15 =)$  12 miljoen euro aan omzet meer geboekt worden.

In tegenstelling tot interventie 1, is ook bij de opslag een lichte verbetering te zien ten opzichte van de huidige situatie. De opslag bij de Track en Topframe daalt gemiddeld met 2%.

### 5.2.3 Interventie 3

Interventie 3 kent ook verbetering ten opzichte van de huidige situatie. Met interventie 3 hebben we nog meer flexibiliteit toegepast op het systeem. In de resultaten is te zien dat de verminderde capaciteit wel invloed heeft op het resultaat. Wat bij interventie 3 vooral opvalt is de hogere wachttijden in vergelijking met interventie 2, terwijl de bezettingsgraden dicht bij elkaar in de buurt liggen. Dit is te verklaren door te kijken naar de Bead Apex. In tabel 5.4 zijn de gemiddelde wachttijden van alle scenario's per producten gegeven. De Bead Apex heeft nu een langere wachttijd, doordat er meer sub assemblies in hal 6A worden ingepland. Verder is de gemiddelde opslag bij track en topframe op hetzelfde niveau gebleven als bij de huidige situatie.

|                  | Gemiddelde<br>Wachttijd Bead<br>Apex | Gemiddelde<br>Wachttijd MAXX | Gemiddelde<br>Wachttijd EXXIUM |
|------------------|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Huidige situatie | 5 dagen, 12 uur                      | 25 dagen, 9 uur              | 29 dagen, 14 uur               |
| Interventie 1    | 11 dagen, 8 uur                      | 15 dagen, 16 uur             | 17 dagen, 22 uur               |
| Interventie 2    | 9 dagen, 13 uur                      | 12 dagen, 7 uur              | 15 dagen, 1 uur                |
| Interventie 3    | 10 dagen                             | 13 dagen, 3 uur              | 17 dagen, 4 uur                |

Tabel 5.4: Gemiddelde wachttijden per product

## 5.3 Selecteren van de beste interventie

De gemiddelde wachttijd is bij alle interventies beduidend lager. Echter blijkt dat de wachttijd van de Bead Apex bij de huidige situatie gemiddeld wel lager is, dan bij de interventies. Dit komt logischerwijs doordat de Bead Apex op de TBM sub assemblies moet wachten. Dit weegt echter niet op tegen de voordelen die uit deze interventie te halen zijn.

Vervolgens kunnen we de criteria opstellen om de beste interventie te kiezen. Elke interventie krijgt een score van 1 tot 10 op basis van hoe de KPI's gemiddeld scoren op de vier verschillende scenario's. De score wordt uniform bepaald door de interventie die het laagst scoort per KPI een 1 te geven. En de interventie die het hoogst scoort bij dezelfde KPI een 10. De te geven scores van de interventies die ertussen zitten worden lineair bepaald door een lijn te trekken tussen de slechtste score en de beste score. Een score van 8 betekend niet dat deze interventie twee keer zo goed presteert dan een interventie met een score van 4, omdat de ondergrens bepaald wordt door de slechtst scorende interventie.

Daarnaast krijgt elke KPI zijn eigen gewicht, deze gewichten zijn in overleg met VMI Holland gekozen. De som van de gewichten komen op een totaal van 1. Hiermee wordt de totaalscore bepaald. De interventie met de hoogste totaalscore is de beste oplossing voor VMI Holland.

| Optie:                   | Huidige situatie |        |        | Interventie 1 |        |        | Interventie 2 |        |        | Interventie 3 |        |        |
|--------------------------|------------------|--------|--------|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
| Criteria:                | Score            | Weging | Totaal | Score         | Weging | Totaal | Score         | Weging | Totaal | Score         | Weging | Totaal |
| Bezettingsgraad          | 1                | 0,2    | 0,2    | 7             | 0,2    | 1,4    | 10            | 0,2    | 2      | 9,5           | 0,2    | 1,9    |
| Wacht- en doorlooptijd   | 1                | 0,3    | 0,3    | 7,5           | 0,3    | 2,25   | 10            | 0,3    | 3      | 8,5           | 0,3    | 2,55   |
| Output                   | 1                | 0,4    | 0,4    | 8,5           | 0,4    | 4,3    | 10            | 0,4    | 4      | 9             | 0,4    | 3,6    |
| Opslag track en topframe | 8                | 0,1    | 0,8    | 1             | 0,1    | 0,1    | 7             | 0,1    | 0,7    | 10            | 0,1    | 1      |
| Totaalscore per scenario |                  |        | 1,70   |               |        | 8,05   |               |        | 9,70   |               |        | 9,05   |

tabel 5.5: Interventies getest aan de criteria

Uit tabel 5.4 blijkt dat interventie 2 de beste oplossing is. De huidige situatie en interventie 1 presteren duidelijk slechter dan interventie 2 en 3. Doordat de bottleneck vooral bij de grotere sub assemblies ligt, presteren interventies 2 en 3 beter. Als we interventie 2 en 3 vergelijken komen we tot de conclusie dat de twee grote werkcellen van interventie 3 geen meerwaarde hebben ten opzichte van de 3 kleine werkcellen van interventie 2 en het voordeel van een grotere capaciteit belangrijker is.

## 5.4 Toepassing in de praktijk

In deze paragraaf wordt beschreven hoe de interventies toegepast kunnen worden in de praktijk. Naast het indelen van de hal en het gebruiken van flexibiliteit moet dit ook gepland en georganiseerd gebeuren. We bespreken in deze paragraaf twee opties hoe de capaciteitsplanning aangepast kan worden, zodat de flexibiliteit tussen de werkcellen gerealiseerd kan worden.

### 5.4.1 Optie 1

Bij de eerste optie zal er een planner komen die communiceert met Logistics en de ploegbazen van hal 10B en 6A. In de MAS planning, gemaakt door Work Preparation, wordt nog steeds aangegeven waar het materiaal van Logistics naartoe gebracht moet worden, deze planning zal alleen wel 'soft' zijn. Dat wil zeggen dat er nog veranderingen toegepast kunnen worden in een latere fase van het proces. 5 dagen voor het begin van productie begint Logistics met het orderpicken voor de eerste sub assembly. Wanneer problemen zich voordoen (piek in de vraag, leveringsproblemen, productie failure, etc.) biedt deze oplossing om tot 5 dagen voor de eerste productie dag een wijziging door te voeren. Deze

wijziging zal invloed hebben op de plek waar de sub-assembly geproduceerd wordt. Hierbij zal elke werkcel overgenomen kunnen worden door de ander, waardoor er een chaining-scenario ontstaat. In overleg met de ploegbazen zal de planner een werkcel toewijzen aan de sub assembly. Hierna zal de planning 'hard' worden, de levering van de materialen en de routing van de sub-assemblies staat vast.

Het verplaatsen van monteurs, tooling en gereedschap zal door de ploegbaas georganiseerd moeten worden. Dankzij de hoge material handling flexibility van VMI Holland, zie paragraaf 3.2.3, zal bij de verplaatsing alleen routeplanning een uitdaging zijn. De ploegbaas staat in contact met de planner die weer in contact staat met de ploegbazen van de andere hallen.

#### 5.4.2 Optie 2:

De tweede bedachte oplossing is het toevoegen van een buffer. De buffer werkt als een soort opslagruimte, waardoor het proces zich als een push/pull systeem gedraagt. Het huidige proces van VMI is een push systeem, waarbij elke afdeling het werk 'pusht' naar de volgende afdeling. Met het buffersysteem zal Logistics de Production Orders verplaatsen naar de buffer. Zodra de werkcellen leeg staan, zullen de monteurs hun eigen orders picken bij de buffer en kunnen ze beginnen aan de sub assembly. Voor dit systeem is communicatie erg belangrijk. De ploegbazen en monteurs moeten informatie krijgen waar en wanneer een werkcel vrij is. Dit kan met een KanBan systeem. Dit systeem geeft weer wanneer er een werkcel leegstaat en gebruikt kan worden. KanBan kan op verschillende manieren worden toegepast (Arora, 2001). Wij adviseren voor VMI het POLCA-systeem. Dit is een variant van het KanBan systeem. POLCA staat voor paired-cells-overlapping-loops-cards. Een POLCA-kaart geeft een melding wanneer een werkcel beschikbaar is. Een POLCA-kaart meldt ook waar het product vandaan komt en waar het heen gaat.

Met deze aanpassing wordt het proces een push/pull-systeem. Dat wil zeggen dat het materiaal naar de buffer wordt gepusht en vanuit de montagehallen wordt het werk aangetrokken.

## 6 Conclusie en aanbevelingen

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de hoofdvraag van dit onderzoek. paragraaf 6.1 geeft een conclusie, paragraaf 6.2 discuteert de beperkingen in dit onderzoek en paragraaf 6.3 geeft een aanbeveling voor VMI Holland. Ten slotte zal in paragraaf 6.4 het verdere onderzoek dat door VMI gedaan moet worden behandeld worden.

### 6.1 Conclusie

Deze paragraaf geeft de conclusie van dit onderzoek door de deelvragen en uiteindelijk de hoofdvraag te beantwoorden.

#### 6.1.1 Antwoorden op deelvragen

*Deelvraag 1:* Welke kennis uit de literatuur is er aan te dragen voor de situatie van VMI Holland?

Om deze deelvraag te beantwoorden maken we gebruik van 4 subvragen:

*Subvraag 1a:* Hoe kan een productieproces flexibeler gemaakt worden?

Deze deelvraag is beschreven in paragraaf 2.1 aan de hand van een literatuuronderzoek. Een belangrijke vorm van flexibiliteit bij het flexibeler maken van het productieproces is machine flexibility. Bij machine flexibility is er de afweging om specialistisch te produceren of om flexibel te produceren. Bij het flexibel produceren wordt een machine aan meerdere producten gekoppeld, zodat machines het werk van elkaar over kunnen nemen, dit gaat echter ten koste van de specialisatie. Aan de hand van de chaining scenario bleek het mogelijk te zijn om het beste van beide kanten te combineren. Het toepassen van een verhoogde machine flexibility had een belangrijke restrictie namelijk de material handling flexibility.

*Subvraag 1b:* Welke capaciteitsbeslissingen worden per planningslevel gemaakt?

Paragraaf 2.2 geeft een overzicht welke productieplanningen volgens de literatuur gemaakt worden. Capaciteitsplanning is te onderverdelen in drie niveaus, die elk gelinkt kunnen worden aan een productieplanningsniveau.

De Resource Requirements Planning is een strategisch plan die gelinkt wordt aan Forecasting, hierbij worden de benodigheden (machines, gereedschap en werknemers) gepland om de productie te kunnen starten. Dit is gebaseerd op de schatting van de vraag van Forecasting.

Het tweede capaciteitsplan is op tactisch niveau. Dit is de Rough Cut Capacity Plan. Dit is gelinkt aan het Master Production Schedule. Deze planning controleert of er genoeg capaciteit beschikbaar is om te voldoen aan de eisen van het Master Production Schedule.

Het derde capaciteitsplan is op operationeel niveau. Dit is de Capacity Requirements Planning. Dit plan staat in lijn met het Material Requirements Planning. Hier wordt gepland welke afzonderlijke processen het product moet ondergaan.

*Subvraag 1c:* Wat is een simulatie en hoe wordt een simulatiemodel gemaakt?

Een simulatie is een imitatie van een systeem dat vordert door tijd, met als doel om het systeem te begrijpen of te verbeteren. In paragraaf 2.3 zijn de 4 belangrijke aspecten van simulatie beschreven: het conceptuele model, het geprogrammeerde model, het experiment en de validatie en verificatie. In het conceptuele model worden de input, output en de aannames gedaan, waarna het model geprogrammeerd wordt. Tijdens dit proces wordt het model gevalideerd.

*Subvraag 1d:* Wat zijn de algemene prestatie-indicatoren voor productieprocessen en welke voldoen aan de eisen van VMI?

De belangrijkste prestatie indicatoren zijn op basis van de SMART-methode bepaald. Aan de hand van een stakeholders analyse zijn de belangrijkste indicatoren geselecteerd: bezettingsgraad, wacht- en doorlooptijd, output en het aantal wachtenden.

*Deelvraag 2:* Hoe ziet het huidige productieproces van VMI eruit?

In hoofdstuk 3 zijn de processen die een order langsloopt beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de huidige situatie door te kijken naar de planning en flexibiliteit van het productieproces. Hieruit blijkt dat de planning van de werkcellen, Capacity Requirements Planning, in een vroeg stadium gebeurt. Bovendien kan er 10 dagen voor productie geen aanpassingen meer gedaan worden en is er dus geen control meer. Het productieproces zelf blijkt erg specialistisch te zijn: elke sub assembly heeft zijn eigen werkstation.

*Deelvraag 3:* Hoe moet het simulatiemodel van VMI's productieproces eruit zien?

In hoofdstuk 4 is het simulatiemodel beschreven. Het simulatiemodel is opgebouwd aan de hand van de simulatiemethode van Robinson (2014), door eerst een conceptueel model op te stellen, vervolgens het model te programmeren en tot slot interventies toe te voegen, waarbij elk van deze activiteiten gevalideerd zijn.

*Deelvraag 4:* Welke interventies kunnen toegepast worden op het simulatiemodel, zodat de bezettingsgraad verhoogd en de doorlooptijd verlaagd wordt?

In hoofdstuk 5 zijn er 3 interventies bedacht op basis van de verschillende flexibiliteitsscenario's uit hoofdstuk 2. Interventie 1 maakt gebruik van twee pools, waarbij de focus ligt op de pool voor de kleinere sub assemblies. Aan deze pool is hal 6A toegevoegd, die in 6 middelgrote werkcellen zijn verdeelt. In de tweede interventie wordt hal 6A gebruikt voor zowel de grote als de kleine pool. Hal 6A zijn in 3 kleine en 3 grote werkcellen verdeeld. In de derde interventie wordt hal 6A opgedeeld in 5 grote werkcellen, waarbij er een grote pool ontstaat en er dus sprake is van totale flexibiliteit toegepast.

In hoofdstuk 5 zijn de interventies die toegepast worden in het simulatiemodel en wat voor resultaten dit oplevert beschreven. Er wordt vervolgens beschreven hoe de verbeteringen geïmplementeerd kunnen worden in het huidige proces.

#### 6.1.2 Antwoord op de hoofdvraag

***Hoofdvraag: Wat is de huidige prestatie van het productieproces van VMI Holland op het gebied van capaciteitsplanning en hoe kan er verbetering aan het proces worden gebracht?***

Uit resultaten van de simulatie blijkt dat in de huidige situatie maar een gemiddelde bezetting van 41% wordt bereikt in hal 6A en 10B. Orders worden uitgesteld vanwege een capaciteitstekort in hal 10B. De capaciteit in hal 10B is ingedeeld op basis van het type sub assembly, waardoor er grote verschillen in bezetting waarneembaar zijn tussen de werkstations. VMI Holland heeft echter wel de resources om het productieproces flexibeler te maken en de capaciteit te vergroten.

Met het vergroten van de machine flexibility kan hal 6A aan het TBM Sub Assembly productieproces toegevoegd worden. Hierbij is het van belang dat de bruikbare vloeroppervlakte van hal 6A opnieuw ingedeeld wordt, zodat de capaciteit van het TBM Sub Assembly productieproces vergroot wordt. Uit de verschillende experimenten blijkt dat door hal 6A zo in te delen, zodat er 3 kleine en 3 grote werkcellen ontstaan, het beste resultaat levert. De routes die aan de sub assemblies gegeven zijn aan de hand van chaining bepaald.

De interventies zijn getest aan de hand van vier scenario's, waarbij er in de eerste 3 scenario's gevarieerd wordt met de vraag en in de 4<sup>e</sup> scenario het prognose MPS in het systeem wordt geïntegreerd. De beste interventie, interventie 2, levert ten eerste een verwachte bezetting van 48% op als de vraag blijft stijgen. Hierdoor kunnen er 15 TBM modules per jaar meer geproduceerd worden in vergelijking met de huidige situatie. Dit betekent dat Operation Control meer modules kan inplannen in het MPS. Daarnaast wordt de doorlooptijd met ruim 33% verlaagd.

Het implementeren van deze oplossing kan op twee manieren gerealiseerd worden. De eerste manier is het toevoegen van een extra planner. De planner zal de processen indelen op basis van beschikbare ruimte. Een tweede optie voor het implementeren van de machine flexibility is het toevoegen van een buffer. De buffer gebruikt om onderdelen voor sub assemblies op te slaan, zodat monteurs de onderdelen zelf kunnen pakken. Daarnaast wordt er ook gebruik gemaakt van het POLCA-systeem om de monteurs en ploegbazen informatie te geven over de vrije werkcellen, waar ze de sub assembly kunnen produceren.

Kortom met de herverdeling van hal 6A in 3 kleine en 3 grote werkcellen dat in de praktijk geïmplementeerd kan worden door een planner of het buffersysteem te gebruiken zal er een verbetering aan het productieproces gebracht worden.

## 6.2 Beperkingen

Deze paragraaf brengt de beperkingen van dit onderzoek ter discussie. Eerst zullen de beperkingen van het simulatiemodel besproken worden. Vervolgens zullen we de beperkingen van de gebruikte data bespreken.

### 6.2.1 Beperkingen van het simulatiemodel

De eerste beperking in het simulatie model is het proces van de Bead Apex. De productie van de Bead Apex is gesimplificeerd als één proces met zes Sub Assemblies. Het proces van de Bead Apex ligt in werkelijkheid wat gecompliceerder, waarbij 8 kleinere werkcellen gemoeid gaan. De focus van dit onderzoek wordt gelegd op de TBM sub assemblies. Daarom is het minder van belang hoe de Bead Apex precies geproduceerd wordt, maar belangrijker wanneer de TBM sub assemblies in hal 6A geproduceerd kunnen worden. De consequentie hiervan is dat gevolgen van de flexibiliteit op de Bead Apex niet betrouwbaar onderzocht kunnen worden.

De tweede beperking in het simulatiemodel is het inplannen van modules. In werkelijkheid worden de modules ingepland door Operation Control. Het inplannen van een module is van veel variabelen afhankelijk, zo moet er bij de planning rekening gehouden worden met de andere afdelingen van VMI Holland en de vestigingen buiten VMI Holland. In het simulatiemodel wordt hier geen rekening mee gehouden, daarnaast worden 'losse' sub assemblies direct in een werkcel gepland, met een First In First Out prioriteit. Dit is echter wel vergelijkbaar met de werkelijkheid. De sub assemblies van dezelfde module hebben dezelfde aankomsttijd, dus zullen ze (wanneer mogelijk) tegelijk verplaatst worden. Deze beperking heeft vooral gevolgen voor de output. De wacht- en doorlooptijden nemen hierdoor hoge waarden aan, die niet te vergelijken zijn met de werkelijkheid. Echter geeft dit wel een goede indicatie hoelang de orders uitgesteld worden.

### 6.2.2 Beperking van de data

De eerste beperking van de data is het prognose MPS. Het prognose MPS is een verwachting, dit bemoeilijkt de black-box validatie van het simulatiemodel. De resultaten zijn moeilijker te controleren, doordat VMI Holland de situatie zelf nog niet heeft meegemaakt.

De tweede beperking zijn de procestijden van de TBM sub assemblies. De TBM sub assemblies hebben een vaste procestijd. Dit is echter de tijd dat er aan een sub assembly begonnen wordt en dat een sub

assembly af moet zijn. Dit is dus niet de werkelijke procestijd, maar een deadline. Pas op deze deadline worden de sub assemblies verplaatst, dus zal er in feite geen nieuwe sub assembly op dezelfde plaats kunnen komen.

De derde beperking is het toevoegen van incidenten. In het simulatiemodel zijn geen ‘failures’ toegevoegd. VMI Holland houdt geen gegevens bij over te laat geleverde materialen of fouten in de productie. Het gevolg hiervan is dat de output meer afwijkt van de werkelijkheid.

### 6.3 Aanbevelingen

Deze paragraaf bespreekt de aanbevelingen voor VMI Holland. Dit onderzoek toont aan dat VMI Holland haar capaciteit niet efficiënt gebruikt. De output kan verhoogd worden door flexibiliteit toe te passen in de productie- en capaciteitsplanning.

De eerste beslissing is het herindelen van hal 6A en het toevoegen aan de routes van de TBM sub assemblies. Hal 6A bevat 380 m<sup>2</sup> bruikbare oppervlakte, dit onderzoek bekeek drie alternatieve indelingen voor hal 6A. Volgens het onderzoek bleek dat hal 6A het beste is op te delen in 3 kleine en 3 grote werkcellen. Hal 6A kan vervolgens toegevoegd worden als alternatief voor de werkcellen in hal 10B. De kleinere en grotere TBM sub assemblies vormen twee aparte pools, waarbinnen het beste een chaining situatie toegepast kan worden.

De tweede beslissing is het toevoegen van een extra planner of een buffersysteem om meer control te krijgen over de productieplanning. Het aannemen van een extra planner kan ervoor zorgen dat op een later moment in het proces nog een locatiewijziging gemaakt kan worden. We raden VMI Holland aan om eerst een extra planner te gebruiken en langzamerhand over te gaan naar een buffersysteem. Het inhuren van een extra planner zal gemakkelijker te implementeren zijn, maar zal ook loonkosten met zich meebrengen. Het gebruik van een buffersysteem zal op de lange termijn meer voordeel opleveren.

### 6.4 Nader te onderzoeken

- Er zal nader onderzocht moeten worden, welke route en hoe vaak de logistieke trein zal moeten rijden (zie paragraaf 3.2.3).
- Er zal onderzocht moeten worden of het verbeteren van de karakteristieken van de processen en producten het simulatiemodel een verbeterde uitkomst biedt.
- De manieren van het implementeren van de oplossing zal verder onderzocht moeten worden naar de mogelijkheden binnen hal 10B (ruimte, logistieke restricties, etc.).

## 7 Reference list

- Slack et al. (2013). Operation Management. *Planning And Controlling Operations*, 290-292
- Fleischmann, B., & Meyr, H. (2003). Planning hierarchy, modelling and advanced planning systems. *Handbooks in operations research and management science*, 11, 455-523.
- Heerkens en van Winden. (2012). *Geen Probleem*.
- Law, A. M., Kelton, W. D., & Kelton, W. D. (2007). *Simulation modelling and analysis (Vol. 4)*.
- Volmann, E., Berry, W., Whybark, C. (1997)
- Chung, C. H., & Krajewski, L. J. (1997). Interfacing aggregate plans and master production schedules via a rolling horizon feedback procedure. *Omega*, 15(5), 401-409.
- B. F. Hobbs, J. C. Honious and J. Bluestein, "Estimating the Flexibility of Utility Resource Plans: An Application to Natural Gas Cofiring for SO Control." *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 9, No. 1, pp. 167-173, February 1994.
- Browne, J., Dubois, D., Rathmill, K., Sethi, S.P., Stecke, K.E., 1984. Classification of flexible manufacturing systems. *The FMS Magazine*, April, pp. 114–117
- Olhager, J., & Selldin, E. (2007). Strategic choice of manufacturing planning and control approaches: empirical analysis of drivers and performance. In *Advances in Production Management Systems* (pp. 35-42). Springer US.
- W.L. Berry, and T. Hill, Linking systems to strategy, *International Journal of Operations and Production Management*, 12(10), 3-15 (1992).
- Kanban Guide: Demand Scheduling for Lean Manufacturing, Compiled by Nilesh R Arora. Add ValueConsulting Inc., India 2001, p. 11.

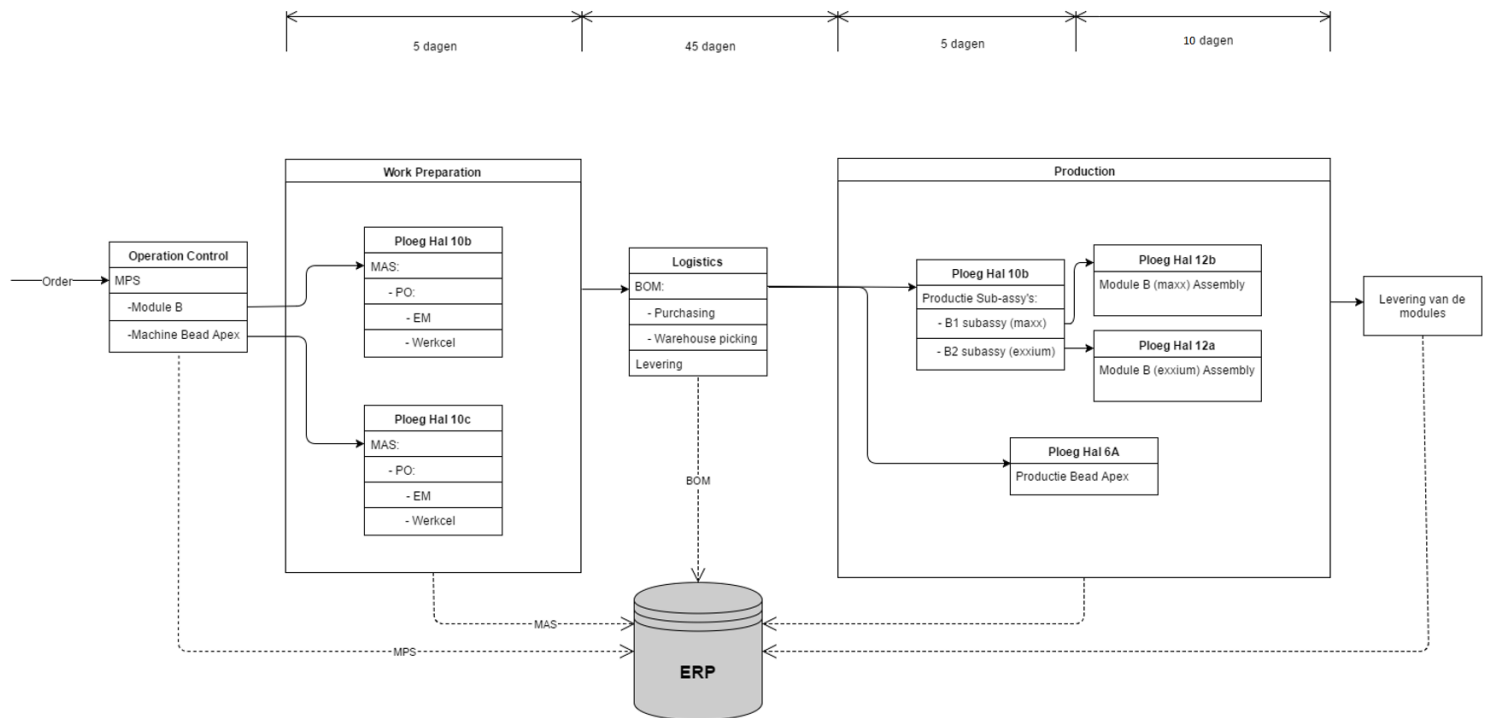


## Appendix

### Bijlage 1: Belangrijke begrippen en afkortingen

| Begrip                     | Afkorting | Betekenis                                                                                                                                                                     |
|----------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Module                     | -         | Onderdeel van een machine.                                                                                                                                                    |
| Sub-Assembly               | -         | Onderdeel van een module.                                                                                                                                                     |
| Production Order           | PO        | Een inkoop- en leverorder voor Logistics.                                                                                                                                     |
| Montage Afloop Schema      | MAS       | Hierin wordt bepaald per apart proces welke materialen er ingekocht moet worden, waar het geleverd moet worden en wanneer er aan het betreffende proces begonnen moet worden. |
| Master Production Schedule | MPS       | In het MPS worden gehele productaantallen ingepland dat per week geproduceerd moet worden.                                                                                    |
| Bill Of Materials          | BOM       | Lijst van benodigde materialen.                                                                                                                                               |
| Key Performance Indicators | KPI       | Belangrijke prestatie-indicator.                                                                                                                                              |

## Bijlage 2: Uitgebreide process lay-out



Figuur 8.1: Huidige proces VMI

## Bijlage 3: Performance indicators

| Dimensies      | Performance Indicator                                                                                   |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Productiviteit | Bezettingsgraad<br>Bezettingsgraad per hal<br>Output<br>Failure rate<br>Aantal wachtende sub assemblies |
| Tijd           | Wachtijd<br>Wachtijd per hal<br>Doorlooptijd<br>Omschakeltijd<br>Levertijd                              |
| Kosten         | Arbeidskosten<br>Opslagkosten                                                                           |
| Oppervlakte    | Gebruikte oppervlakte<br>Niet gebruikte oppervlakte                                                     |

#### Bijlage 4: Goodness of Fit test

De Goodness of Fit test beschijft hoe of een verdeling goed bij een reeks waarnemingen past. De Goodness of Fit test is bepaald met het statistiek programma MiniTab. MiniTab biedt de mogelijkheid om meerdere theoretische verdelingen aan de data te testen. Met behulp van de P-waarde kan bepaalt worden of de theoretische verdeling bij de data past. Hogere p-waarden betekenen dat de data wel bij de theoretische verdeling past. Lagere p-waarden geven aan dat de voorspelde waarden van de theoretische verdeling significant verschillen met de waargenomen waarden. De \* betekend dat de P-waarde aanmerkelijk klein is dat er zeer waarschijnlijk geen theoretische verdeling bij past.

#### Goodness of Fit Test

| Distribution            | AD     | P      |
|-------------------------|--------|--------|
| Normal                  | 5,021  | <0,005 |
| 3-Parameter Lognormal   | 14,773 | *      |
| 2-Parameter Exponential | 12,420 | <0,010 |
| 3-Parameter Weibull     | 15,044 | <0,005 |
| 3-Parameter Gamma       | 24,483 | *      |
| Logistic                | 4,321  | <0,005 |
| 3-Parameter Loglogistic | 13,508 | *      |

Uit de samenvattingsresultaten is te zien dat de data niet bij deze verdelingen past en dus waarschijnlijk geen theoretische verdeling bij de data past.

### Bijlage 5: Montage Afloop Schema van MAXX en EXXIUM

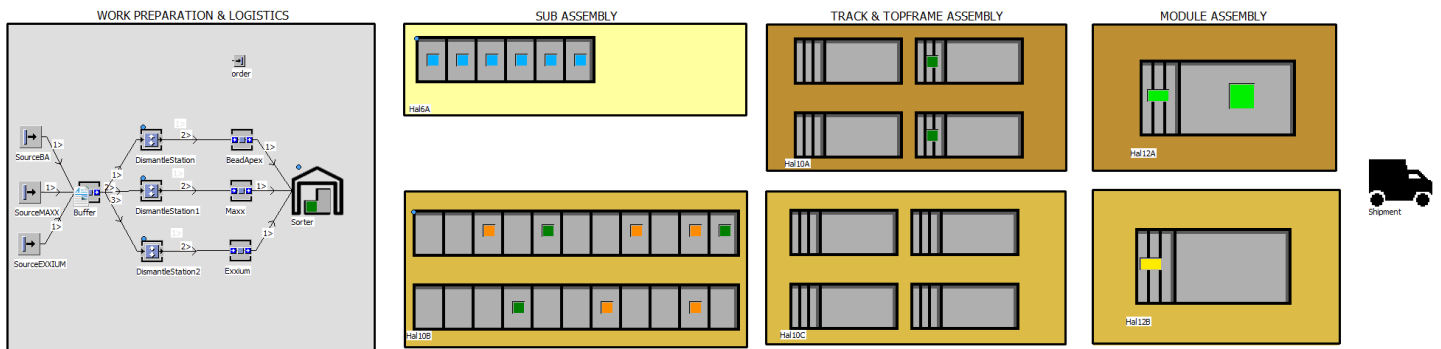
In deze bijlage is te zien dat de MAXX sub assemblies iets verschillen in de startdagen in vergelijking met de EXXIUM sub assemblies. De sub assemblies per module zijn onderverdeeld in de track en topframe. De sub assemblies moeten namelijk na productie op de track of topframe gemonteerd worden. In de schema's is te zien wanneer de productie van een sub assembly begint en wat de doorlooptijd per sub assembly is. Ook is de werkstation waar de sub assembly in het simulatiemodel geproduceerd wordt gegeven.

| MAXX MAS                |            |        |             |                    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------|------------|--------|-------------|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                         | Capaciteit | SUB NR | WS SIM      | Doorlooptijd (UUR) | MA | DI | WO | DO | VR | MA | DI | WO | DO | VR |
| <b>TOP FRAME</b>        |            |        |             |                    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Applicator lifting assy |            | 1      | 1           | 40                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| GTRU                    |            | 2      | 2           | 40                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| BEADLOADER              |            | 3      | 3           | 40                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| LASER                   |            | 4      | 4           | 16                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Top Frame Assembly      |            | 2      | HAL 10C - 2 | 8                  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>TRACK</b>            |            |        |             |                    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| B&T                     |            | 5      | 5           | 24                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| CARCASSHOUSING          |            | 6      | 6           | 24                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| BEADSETTER              |            | 7      | 7           | 32                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| TRANSFERTRACK BREAKER   |            | 8      | 8           | 24                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| TRANSFERTRACK           |            | 2      | HAL10C - 1  | 32                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

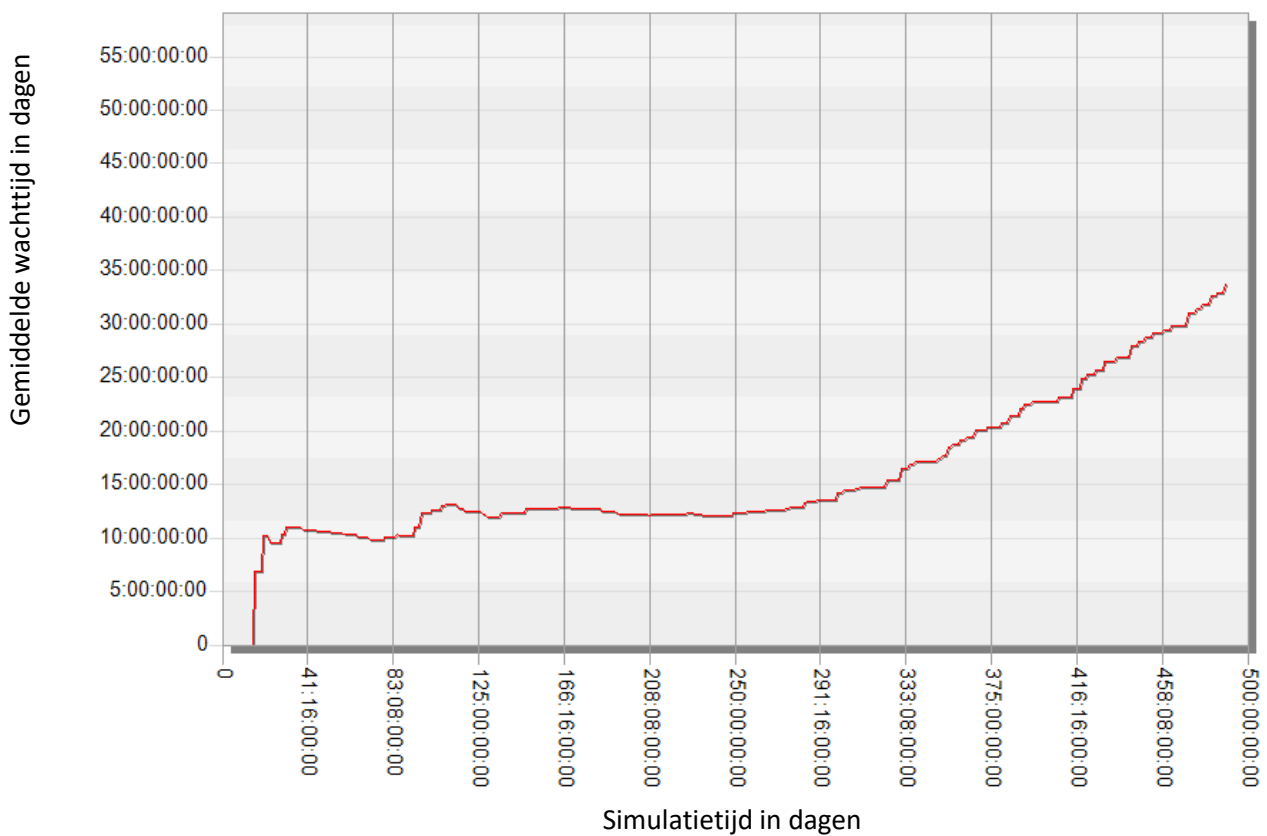
  

| EXXIUM MAS              |  |        |             |                    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------|--|--------|-------------|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                         |  | SUB NR | WS SIM      | Doorlooptijd (UUR) | MA | DI | WO | DO | VR | MA | DI | WO | DO | VR |
| <b>TOP FRAME</b>        |  |        |             |                    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Applicator lifting assy |  | 1      | 1           | 40                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| BEADLOADER              |  | 3      | 3           | 40                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| LASER                   |  | 4      | 4           | 16                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Top Frame Assembly      |  | 3      | HAL 10A - 2 | 8                  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>TRACK</b>            |  |        |             |                    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| B&T                     |  | 5      | 5           | 24                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| CARCASSHOUSING          |  | 6      | 6           | 24                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| BEADSETTER              |  | 7      | 7           | 32                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| TRANSFERTRACK BREAKER   |  | 8      | 8           | 24                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| TRANSFERTRACK           |  | 4      | HAL10A - 1  | 32                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

## Bijlage 6: De visuele weergave van het simulatiemodel

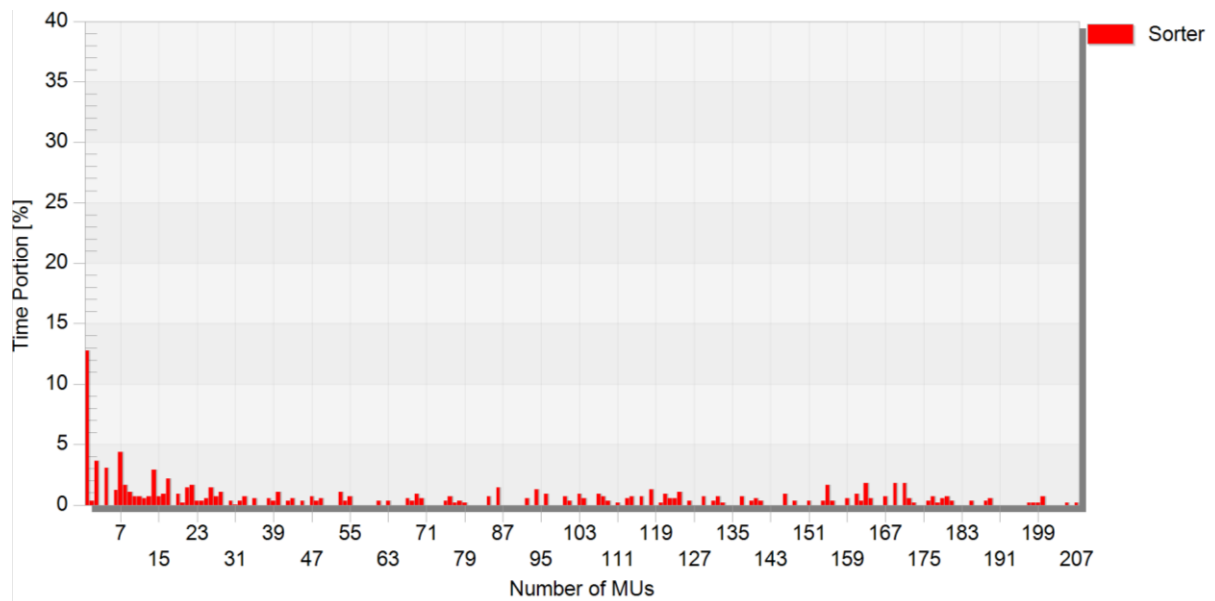


## Bijlage 7: Prestaties huidig systeem



Figuur 8.2: Gemiddelde wachttijd

In figuur 8.2 is de gemiddelde wachttijd van de sub assemblies die elke dag uit het systeem gaan gegeven volgens het prognose MPS (scenario 4).



Figuur 8.3: Opslag aantallen logistics

In figuur 8.3 is de opslaghoeveelheid in het warehouse te zien. Op de horizontale as zijn de aantallen te zien en op de verticale as het percentage dat het aantal voorkomt.

### Bijlage 8: Oppervlaktes werkcellen

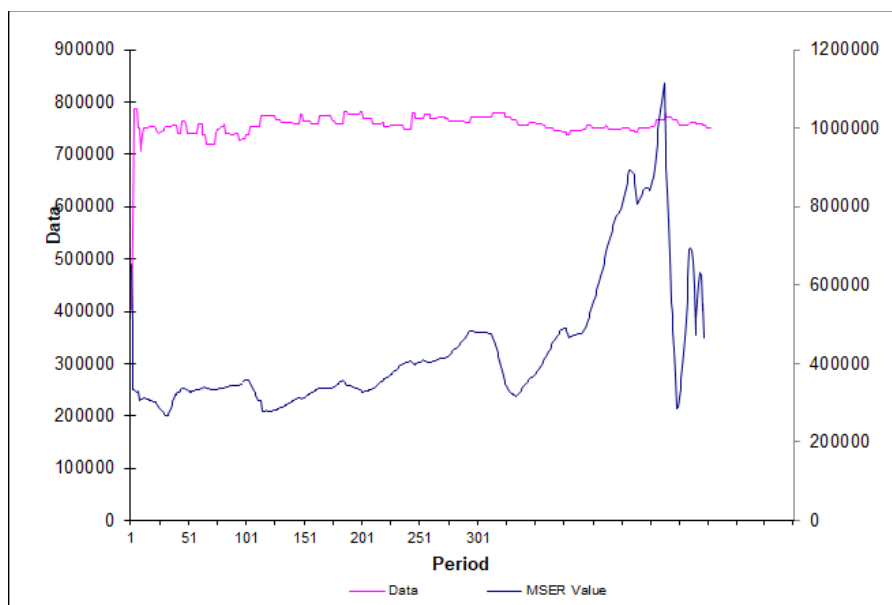
| Hal 10B WS  | 1     | 2           | 3     | 4      | 5     | 6      | 7      | 8     |
|-------------|-------|-------------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Breedte (m) | 7,33  | 6,67        | 7,17  | 5,67   | 7,17  | 5,67   | 6,00   | 5,00  |
| Categorie   | Groot | Middelgroot | Groot | Middel | Groot | Middel | Middel | Klein |

| Hal6A WS    | 1      | 2     | 3      | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|-------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Breedte (m) | 6      | 3,50  | 6,00   | 4,00  | 5,00  | 3,50  | 5,00  | 5,00  |
| Categorie   | Middel | klein | middel | klein | klein | klein | klein | klein |

## Bijlage 9: Sub assembly mogelijkheden

| Subassy<br>(MAXX<br>of<br>EXXIUM) | Minimale benodigde<br>breedte (m) | Hal 10B<br>WS | Hal 6A: Optie<br>1 WS | Hal 6A: Optie<br>2 WS | Hal 6A: Optie<br>3 WS |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                                 | 6,97                              | 1, 3, 5       | -                     | 4, 5, 6               | 1 ... 5               |
| 2                                 | 6,33                              | 1, 2, 3, 5    | 1 ... 6               | 4, 5, 6               | 1 ... 5               |
| 3                                 | 6,81                              | 1, 3, 5       | -                     | 4, 5, 6               | 1 ... 5               |
| 4                                 | 5,38                              | 1 ... 7       | 1..6                  | 1 ... 6               | 1 ... 5               |
| 5                                 | 6,81                              | 1, 3, 5       | -                     | 4, 5, 6               | 1 ... 5               |
| 6                                 | 5,38                              | 1 ... 7       | 1 ... 6               | 1 ... 6               | 1 ... 5               |
| 7                                 | 5,70                              | 1 ... 7       | 1 ... 6               | 1 ... 6               | 1 ... 5               |
| 8                                 | 4,75                              | 1 ... 8       | 1 ... 6               | 1 ... 6               | 1 ... 5               |

## Bijlage 10: Warm-up periode



Tabel 8.4 MSER-waarde bepalen

In tabel 8.4 is te zien dat rond de 33 dagen MSER waarde een dalpunt heeft, dit wijst op een warm-up periode van 33 dagen. De gebruikte data is de gemiddelde doorlooptijd van elke sub assembly per dag. Voor het bepalen van de MSER is een runlengte van 490 dagen gebruikt en zijn er 5 replicaties uitgevoerd.

## Bijlage 11: Hal-inrichting

