



DEMCON | metal injection
moulding

OPTIMALISATIE EN INRICHTING VAN HET TOEKOMSTIGE MIM PROCES

Bacheloropdracht

UNIVERSITY OF TWENTE.

Siete Dijkstra
Technische Bedrijfskunde
s1604376

Auteur

Siete Dijkstra
s1604376

Opleiding

Technische Bedrijfskunde
Faculteit Behavioural, Management and Social Sciences
Universiteit Twente

Opdrachtgever

DEMCON
Institutenweg 25
7521 PH Enschede
+31 (0)88 – 115 20 00
info@demcon.nl

Datum

22 maart 2019

Begeleiders

DEMCON: Dr. Ir. E. Dietrich (Erik)

Universiteit Twente 1^{ste} begeleider: Dr. Ir. M.R.K. Mes (Martijn)

Universiteit Twente 2^{de} begeleider: Dr. Ir. L.L.M. van der Wegen (Leo)

VOORWOORD

Dit is het verslag van het onderzoek naar de ‘Optimalisatie en inrichting van toekomstige MIM proces’. Dit onderzoek is gedaan voor DEMCON Metal Injection Molding en ter afsluiting van mijn bachelor Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Dit onderzoek is tot stand gekomen naar aanleiding van vragen van het Management van DEMCON Metal Injection Molding over de toekomst. Een uitbreiding van het proces zorgt voor nieuwe uitdagingen waar het management graag meer grip op krijgt. Tijdens dit onderzoek is er met behulp van een simulatiemodel gekeken naar het proces en hoe dit er met nieuwe uitbreidingen uit moet zien.

De begeleiding vanuit DEMCON kwam in dit onderzoek van Erik Dietrich. Ik wil Erik dan ook bedanken voor de goede begeleiding die hij mij gegeven heeft. Hij wist mij waar nodig altijd de goede kant op te sturen en met de goede feedback heeft hij veel tijd en moeite gestoken in de totstandkoming van dit onderzoek. Daarbij wil ik ook de collega’s van Demcon Metal Injection Molding bedanken voor het beantwoorden van mijn vragen en de gezellige sfeer op de werkvloer.

Als laatste wil ik mijn begeleiders vanuit de Universiteit Twente bedanken. Martijn Mes als eerste begeleider voor de sturing, ondersteuning en nuttige feedback tijdens dit onderzoek en Leo van de Wegen voor het meelezen en beoordelen van dit onderzoek.

Siete Dijkstra

Enschede, Maart 2019

MANAGEMENTSAMENVATTING

DEMCON Metal Injection Molding (DMIM) is een bedrijf dat gespecialiseerd is in metaalpoederspuitgieten. Hiermee kunnen producten geproduceerd worden met een hoge nauwkeurigheid. Dit is geschikt voor industrieën met een hoge productcomplexiteit, zoals bijvoorbeeld de medische industrie en de auto-industrie. Op dit gebied is DMIM uniek, hierdoor maakt DMIM de laatste jaren een sterke groei door.

Door deze sterke groei bestaat er onzekerheid over hoe het toekomstige MIM proces eruit zou moeten zien. De productie moet in de komende jaren meer dan 200% groeien, maar hoe? Dit vraagstuk resulteerde in de volgende hoofdvraag voor dit onderzoek: *“Welke problemen ontstaan er in het MIM proces naarmate de productie (sterk) stijgt en hoe moeten deze problemen opgelost worden?”*

Voor dit onderzoek is het huidige proces van DMIM door Guus Dubbink (2018) in een simulatiemodel geplaatst. Hierbij zijn er verbeteringen in het proces gezocht voor de korte termijn op de huidige productielocatie. Met de verwachte groei in acht genomen, is er een nieuwe productielocatie in aanbouw. Hierbij zijn er meer mogelijkheden om de capaciteit te vergroten. Aangezien het model voor de huidige locatie bestaat is deze in dit onderzoek deels hergebruikt.

Dit onderzoek is begonnen met het onderzoeken wat er allemaal gaat veranderen voor het proces. Hierbij kan gedacht worden aan nieuwe machines, een nieuwe productielocatie en de toekomstige vraag. Aan de hand van literatuur is er gezocht naar hoe dit proces het beste ingevuld kan worden en hoe een productiecapaciteit vergroot kan worden. Hierbij is de focus komen te liggen op de ‘Theory of Constraints’. In deze theorie wordt de capaciteit vergroot door middel van het vergroten van de productiestap met de kleinste capaciteit. Deze zet immers de toon van de andere productiestappen.

Om deze theorie te kunnen hanteren is er een betrouwbaar model nodig. Aan de hand van literatuur over simulatie is dit model opgezet om deze vervolgens te implementeren in simulatiesoftware. Hierbij zijn delen van het oude model geïmplementeerd. Het nieuwe model wordt gevalideerd met versimpelde analytische modellen en met de kennis van de mensen op de werkvloer.

Op het moment dat het model betrouwbaar genoeg is bevonden om aan het doel van dit onderzoek te kunnen voldoen, kan het model gebruikt worden om te experimenteren. De experimenten hebben de volgende opzet:

- Eerst wordt er een nulmeting gedaan. Het model wordt met de meest simpele instellingen voor de verschillende groottes van producten getest. Dit wordt als basis genomen om andere experimenten mee te kunnen vergelijken.
- Met de ‘Theory of Constraints’ wordt er gekeken naar wat er in het proces nodig is om de toekomstige verwachte vraag te kunnen vervullen. De productie wordt steeds verhoogd door steeds extra capaciteit toe te voegen in de vorm van machines en operators. De verhogingen gaan door totdat de verwachte vraag van 2021 ruim voldaan is. Ook wordt er rekening gehouden met de beste indeling van operators in het proces.
- Vanaf de nulmeting en in verschillende capaciteitsvergrotingen worden verschillende interventies getest. Bij deze interventies gaat het om een bepaalde investering of een verandering van de inrichting van het proces. Bij een investering

zal er gekeken worden of het de investering waard is. Bij de veranderingen van de inrichting van het proces wordt getest of het een verbetering voor het proces is en of het de moeite waard is om te implementeren.

- Als laatste wordt er gekeken naar bijzondere scenario's die het management als realistisch beschouwt. Met het model kan er een inschatting gemaakt worden van wat de impact van het scenario op het proces zal zijn.

Uit de nulmeting van de verschillende producten wordt duidelijk dat er een groot verschil zit tussen hoe de verschillende producten door het proces lopen en dat het voor de productieplanning handig kan zijn om een constante mix van grote, gemiddelde en kleine producten in te plannen.

Door steeds extra capaciteit toe te voegen bij de bottleneck worden er operators, spuitgietmachines en een sinteroven toegevoegd (tabel A)

Capaciteitsvergroting (totaal)	Totale productie
+1 operator (7)	1.798.241
+2 operators (8)	2.043.775
+3 operators (9)	2.254.232
+3 operators (9), +1 Spuitgietmachines (7)	2.360.240
+4 operators (10), +1 spuitgietmachines (7)	2.629.938
+5 operators (11), +2 spuitgietmachines (8)	2.804.468
+6 operators (12), +2 spuitgietmachines (8)	3.015.891
+6 operators (12), +3 spuitgietmachines (9)	3.052.938
+7 operators (13), +3 spuitgietmachines (9), +1 sinteroven (3)	3.385.723
+8 operators (14), +4 spuitgietmachines (10), +1 sinteroven (3)	3.528.668
+9 operators (15), +4 spuitgietmachines (10), +1 sinteroven (3)	3.756.274

Tabel A – Capaciteitsvergrotingen met daarbij het totale aantal in het proces en de totale productie per jaar.

Met deze capaciteitstoevoegingen kan er aan de verwachte vraag van 2021 voldaan worden.

Na de capaciteitsvergrotingen worden middels het simulatiemodel verschillende interventies getest:

- Produceren op zaterdag.
- Producten van dezelfde grootte kunnen alleen op een plaat of rackkar met de dezelfde soort producten.
- Verplaatsen van het afstapelen.
- Nabewerking met een robot

Met het produceren op zaterdag is er getest of de capaciteitsvergrotingen kunnen worden uitgesteld en daarmee op een later moment kunnen worden aangeschaft, waarbij de zekerheid over de vraag hoger is. Er is getest met 2 volledige shifts op zaterdag en met het inplannen van slechts 2 operators. Op deze manier kan er met de huidige apparatuur meer geproduceerd worden. Met slechts 2 operators wordt de winst vooral behaald doordat de ovens en waterbakken een extra dag in de week met producten gevuld kunnen worden. Dit blijkt vooral een goede oplossing bij plotselinge vraagstijgingen. Het werken op zaterdag kan makkelijk en snel geïmplementeerd worden, ditzelfde geldt voor het eventuele terugdraaien als er minder geproduceerd moet worden.

Kleinere producten kunnen een kortere productietijd hebben bij het waterdebinden en het thermisch debinden. Dit is het geval als enkel dezelfde soort producten zich in de waterbak of oven bevindt. Door dit uit te voeren neemt de bezetting van de waterbakken en de debindovens met ongeveer 5% af.

Het verplaatsen van de plek van het afstapelen zorgt ervoor dat operators minder afstand hoeven af te leggen. In het model zorgt dit niet voor extra productie, maar het zorgt wel voor een overzichtelijker proces.

Voor de nabewerking met een robot is er met het model gekeken naar wat het zou opleveren als de robot ervoor zorgt dat 1 operator 2 spuitgietmachines kan bedienen. Als dit het geval is kan de robot zichzelf in 58 weken terugverdienen. In praktijk blijkt dit echter lastig en moet er nog meer met de robot geëxperimenteerd worden. De robot kan nog niet alle producten nabewerken en kan deze taak nog niet constant overnemen van operators. Als deze robots meerdere producten kunnen nabewerken en constant kunnen werken kunnen ze zichzelf snel terugverdienen.

Als laatste is een test gedaan met een extreem groot product in het proces. Een groot product blijkt veel ruimte in te nemen van de productiecapaciteit en wordt pas rendabel als er een hoge verkoopprijs wordt gehanteerd. Als het grote product dertig plaatsen inneemt van een klein product moet de prijs met deze verhouding meestijgen. In de huidige situatie is dit niet het geval en zorgen de kleinere producten voor het grootste deel van de omzet.

Bij deze bevindingen uit de verschillende experimenten horen de volgende aanbevelingen:

- Plan zoveel mogelijk operators in op de spuitgietmachines, om ze zoveel mogelijk draaiende te houden.
- Inventariseer alvast opties om de capaciteit van het sinteren te vergroten. Bij de verwachte productiestijging gaat dit een bottleneck vormen.
- Zet de waterbakken en thermisch debindovens alleen aan met producten van dezelfde klassering.
- Probeer in de productieplanning grote en kleine producten samen te plannen. Zo loopt er een constante stroom aan producten door het proces en zijn er geen onverwachte buffers of tekorten aan operators.
- Probeer te monitoren waar na het spuitgieten veel defecte producten worden weggegooid, zo kan er gekeken worden of dit voorkomen kan worden.
- Haal het afstapelen los van het overstapelen. De operators winnen er niet veel tijd mee, maar het zorgt voor meer overzicht in het proces.
- Kijk nog eens goed naar de prijsverdeling van de producten.

INHOUD

Voorwoord	2
Managementsamenvatting	3
1 Introductie en probleemidentificatie	8
1.1 Bedrijfsachtergrond	8
1.2 Aanleiding onderzoek	8
1.3 Probleemdefiniëring	8
1.4 Onderzoeksdoel	10
1.5 Hoofd- en deelvragen	11
1.6 Onderzoeksontwerp	12
2 Huidige productie en in de toekomst.....	13
2.1 Huidige situatie	13
2.2 De toekomst	17
2.3 Wat is er al onderzocht?	19
2.4 Conclusie	19
3 Theoretisch kader	20
3.1 Bottleneck	20
3.2 Proces design.....	21
3.3 Forecasting.....	22
3.4 Simulatie.....	23
3.5 Conclusie	25
4 Model.....	26
4.1 Conceptueel model.....	26
4.2 Implementatie model in software.....	40
4.3 Validatie en verificatie	43
4.4 Opwarmperiode, loopduur en replicaties	45
4.5 Conclusie	46
5 Experimenten en interventies	47
5.1 Experimenteel ontwerp	47
5.2 De nulmeting	48
5.3 Verwachte toekomstige vraag en capaciteit.....	50
5.4 Interventies.....	54
5.5 Bijzonder scenario: groot product.....	60
6 Conclusie en aanbevelingen	62
6.1 Conclusie.....	62

6.2	Aanbevelingen	63
7	Literatuur	65
	Bijlage A – Bereik oude model.....	67
	Bijlage B – Bereik oude model in detail	68
	Bijlage C – Flowdiagram oude model.....	69
	Bijlage D – Productiestappen en in-en output oude model.....	70
	Bijlage E – Aannames en vereenvoudigingen oude model	71
	Bijlage F – Productielocatie Enschede	73
	Bijlage G – Defecten na spuitgieten	74
	Bijlage H – Code spuitgieten	75
	Bijlage I – Verschillende frames.....	76
	Bijlage J – Histogrammen aantal sinterplaten.....	78
	bijlage K – Aantal replicaties	79
	Bijlage L – Omzet per product.....	80

1 INTRODUCTIE EN PROBLEEMIDENTIFICATIE

In dit hoofdstuk wordt de probleembeschrijving besproken. In §1.1 wordt kort het bedrijf DEMCON beschreven en in §1.2 welke aanleiding DEMCON heeft gehad om deze opdracht te geven. Daarna worden in §1.3 alle gevonden problemen beschreven en wordt het kernprobleem beschreven. Vervolgens komt in §1.4 het onderzoeksdoel aan bod en wordt in §1.5 besproken hoe het onderzoeksontwerp eruitziet. Uiteindelijk wordt in §1.6 de hoofdvraag besproken, welke deelvragen hierbij horen en waar deze deelvragen in dit verslag besproken worden.

1.1 BEDRIJFSACHTERGROND

DEMCON is in 1993 gestart als een mechatronisch ingenieurbureau. Hierbij onderscheidt DEMCON zich door aan de gehele behoefte van een klant te kunnen voldoen, van proof-of-principle, prototype en pre-productie tot serieproductie. DEMCON heeft sindsdien een sterke groei doorgemaakt en zijn er verschillende kleinere ondernemingen bij DEMCON aangesloten. De DEMCON groep is inmiddels gegroeid naar een onderneming met 550 werknemers.

De focus in deze opdracht ligt bij zo'n aangesloten onderneming, namelijk DEMCON Metal Injection Molding (DMIM). DMIM is gespecialiseerd in metaalpoederspuitgieten. Hiermee kunnen er producten geproduceerd worden met een hoge nauwkeurigheid. Dit is geschikt voor industrieën met een hoge productcomplexiteit, zoals bijvoorbeeld de medische- en auto-industrie. Op dit gebied is DMIM uniek, hierdoor maakt DMIM de laatste jaren een sterke groei door.

1.2 AANLEIDING ONDERZOEK

In 2017 heeft Guus Dubbink een bacheloronderzoek uitgevoerd bij DEMCON. Guus heeft een simulatieonderzoek gedaan naar manieren om de productie van het MIM proces te verhogen. Hier zijn binnen de bestaande productie en capaciteit aanbevelingen gedaan.

Door de sterk toenemende vraag voor de producten van DMIM is de bestaande productiecapaciteit te klein geworden. In 2019 gaat DMIM naar een nieuwe productielocatie in Enschede verhuizen. Er zijn plannen om meerdere nieuwe machines aan te schaffen voor het MIM proces. Naar verwachting zal de productie de komende jaren met 200% stijgen. Met deze verwachte stijging is er onzekerheid over de wijze van produceren in de nabije toekomst. Wat is er allemaal voor nodig om de productie op te schalen? Welke machine-indeling en logistieke routes zijn hier bijvoorbeeld nodig? Hier moet meer inzicht in komen met de blik gericht op de toekomst.

1.3 PROBLEEMDEFINIËRING

Voor het oplossen van een bedrijfskundig probleem is er binnen de opleiding 'Technische Bedrijfskunde' een duidelijk aanpak. Via het aflopen van een methodologische checklist kan de oplossing gevonden worden voor een bedrijfskundig probleem. In dit onderzoek zal deze methodologie worden gebruikt. Het gaat hier om de Algemene Bedrijfskundige Probleemaanpak (ABP) zoals deze wordt beschreven door Heerkens & Van Winden (2012).

De ABP beschrijft dat het onderzoek kan beginnen als er een duidelijke probleemomschrijving is gedefinieerd. Om tot het kernprobleem te komen moeten er vier stappen gevolgd worden, namelijk:

1. Inventariseer welke problemen er zijn.
2. Geef aan wat oorzaken en gevolgen zijn en zet ze in een probleemkluwen.
3. Kies het kernprobleem dat je gaat aanpakken.
4. Maak het probleem meetbaar.

In de eerste stap is het belangrijk dat er op alle vlakken van het bedrijf gekeken wordt naar welke problemen er voorkomen. Alle problemen moeten worden geïnventariseerd, deze worden niet gewaardeerd. Bij het inventariseren zijn alle problemen gelijk.

De volgende de problemen zijn aan het licht gekomen na gesprekken met het management van DMIM.

Nieuwe indeling voor productiehal nog niet met cijfers onderbouwd

De indeling van de nieuwe productiehal is niet met cijfers onderbouwd, dit wordt bepaald op basis van ervaringen van het management. Wat bijvoorbeeld de beste indeling is, zodat werknemers geen onnodige afstanden hoeven af te leggen, is onbekend.

Onduidelijkheid over de benodigheden voor nieuwe oven

Voor de 'debinding' stap in het MIM-proces wordt een nieuwe oven aangeschaft. De aanschafprijs van deze oven is hoog en om hem rendabel te maken moet deze oven constant draaien. Het is op dit moment bijvoorbeeld nog onduidelijk hoeveel spuitgietmachines er nodig zijn om voor deze constante aanvoer te zorgen.

Het proces mist een constante flow

In het huidige proces mist een constante flow. Op verschillende plekken in het proces moet er soms op een andere productiestap gewacht worden voor nieuwe toevoer. Aan de andere kant kan bij sommige productiestappen de tussenvoorraad erg hoog oplopen. Hier mist een constante flow van producten die ervoor moet zorgen dat er geen machines stilstaan. Wat de ideale tussenvorraden zijn voor deze constante flow is niet bekend.

Onzekerheid over de voorraad

Op dit moment wordt er uit voorraad geleverd aan de klant. Hoe deze voorraden worden aangevuld gaat weer vooral op basis van ervaring. Hier wil het management graag meer onderbouwing en zekerheid voor.

Geen onderscheid tussen type producten

In het MIM-proces komen veel verschillende type producten langs. Producten die verschillen in grootte, gewicht en complexiteit. De logistieke stromen binnen het proces kunnen hierdoor per product sterk verschillen. De beste invulling van het proces per product is onbekend.

Huidig interne logistieke stromen lijken inefficiënt

De logistieke stromen lopen dwars door elkaar heen. Producten en werknemers lijken in het huidige proces te veel afstand af te leggen. Voor de nieuwe indeling moet er gekeken worden of dit kan worden opgelost.

Onzekerheid over de toekomst

De verwachting is dat de productie van DMIM door de toenemende vraag in de toekomst sterk zal stijgen. Een toekomstbestendig productieproces is hierdoor gewenst. Het is hierbij niet duidelijk wat er met het MIM-proces gaat gebeuren bij een grote stijging van de productie. DMIM wil hierbij groot denken, wat moet er gebeuren als de productie meer dan 5 keer zo groot wordt? Aanpassingen in de nabije toekomst moeten hierbij aansluiten op de visie voor een nog grotere stijging. Er moet een goede basis gelegd worden die niet binnen een paar jaar achterhaald is. Hier moet een duidelijke toekomstvisie voor komen.

Nieuwe bottlenecks in de toekomst onbekend

Door de investeringen zullen de oude bottlenecks verdwijnen, maar hierbij is het onduidelijk waar de nieuwe bottlenecks zullen ontstaan. Om hier zo snel mogelijk op in te kunnen spelen en problemen te voorkomen wil het management dit zo snel mogelijk achterhalen.

Om een kernprobleem te kiezen zouden de problemen in een probleemkluwen kunnen worden gezet. Tijdens de gesprekken met het management werd echter al snel duidelijk, dat de genoemde problemen bij het management al een duidelijke prioriteit hebben. Om deze reden is het maken van een probleemkluwen achterwege gelaten. Het management van DMIM heeft een duidelijke visie waar in dit onderzoek naar moet worden gekeken. Het management wil weten hoe de nieuwe productiehal ingericht moet worden en waar bij productiestijgingen de nieuwe bottlenecks ontstaan. Het management wil alvast op deze stijgingen kunnen anticiperen

Daarom wordt in dit onderzoek de onbekende toekomstige bottlenecks als kernprobleem genomen. Bij het wegnemen van deze mogelijke bottlenecks kunnen andere genoemde problemen ook worden opgelost.

1.4 ONDERZOEKSDOEL

In dit onderzoek zal er gekeken worden naar hoe het MIM-proces zich ontwikkelt naarmate er meer geproduceerd wordt. Het doel is om in beeld te krijgen wat er met het proces gaat gebeuren als de productie sterk stijgt. Het gaat om de korte termijn (2019) maar met name over de langere termijn (2021). De productie zal naar verwachting in verschillende stappen met 200% stijgen. Het management van DMIM heeft aangegeven groot te denken, bij de oplossingen kan er in dit onderzoek dus groot gedacht worden. Hoe de inrichting van de nieuwe productielocatie eruit moet zien is hierbij een belangrijk aspect. Het management wil ver van tevoren kunnen anticiperen als er grote veranderingen aan lijken te komen. Hiervoor zullen er verschillende scenario's geanalyseerd worden.

1.5 HOOFD- EN DEELVRAGEN

In deze paragraaf worden de hoofd -en deelvragen van dit onderzoek besproken.

1.5.1 Hoofdvraag

Het huidige proces in Oldenzaal is al in kaart gebracht. DEMCON zou graag verder willen bouwen op het huidige model om te weten te komen hoe het proces er op de lange termijn uit gaat zien. Om het onderzoeksdoel te kunnen voltooien is de volgende hoofdvraag opgesteld:

Welke problemen ontstaan er in het MIM-proces naarmate de productie (sterk) stijgt en hoe moeten deze problemen opgelost worden?

1.5.2 Deelvragen

Om deze hoofdvraag te kunnen beantwoorden zullen eerst de volgende deelvragen moeten worden beantwoord. In de volgende verschillende hoofdstukken zullen de volgende deelvragen beantwoord worden:

2 - Huidige productie en in de toekomst

In dit hoofdstuk wordt de context van dit onderzoek bepaald. Hierbij wordt besproken wat de huidige situatie is en wat hierin gaat veranderen. Dit is onderverdeeld in de volgende deelvragen:

- Hoe zien de huidige productielocatie en het productieproces eruit? (§2.1)
- Wat is er bekend over de toekomst? (§2.2)
- Hoe ziet het bestaande model eruit? (§2.3)

3 – Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt de gevonden literatuur met betrekking tot dit onderzoek besproken. Hierin zijn de volgende deelvragen beantwoord:

- Wat is een bottleneck en hoe kan deze geïdentificeerd worden? (§3.1)
- Hoe kan een bottleneck gebruikt worden om de productiecapaciteit te vergroten? (§3.1)
- Hoe kan de beste lay-out voor een nieuw productieproces bepaald worden? (§3.2)
- Op welke manier kan de toekomstige vraag voorspeld worden? (§3.3)
- Wat is simulatie en hoe kan het gebruikt worden? (§3.4)

4 – Het model

In dit hoofdstuk wordt besproken hoe het model wordt opgebouwd. Met behulp van de gevonden theorie over simulatie wordt het conceptuele model in verschillende stappen opgebouwd. Vervolgens wordt het model geïmplementeerd in simulatiesoftware en wordt bepaald hoe dit model gebruikt kan worden voor experimenten. Hier horen de volgende deelvragen bij:

- Hoe wordt het conceptuele model opgebouwd? (§4.1)
- Hoe wordt het conceptuele model geïmplementeerd in de simulatiesoftware? (§4.2)
- Is het opgebouwde model valide? (§4.3)
- Hoe kan dit model gebruikt worden voor experimenten? (§4.4)

5 – Experimenten en interventies

In dit hoofdstuk wordt er geëxperimenteerd met verschillende instellingen van het proces en wordt er getest wat er nodig is om aan de bepaalde toekomstige vraag te kunnen voldoen. Na deze experimenten komen enkele mogelijke interventies en scenario's aan bod. Hierbij worden de volgende deelvragen beantwoord:

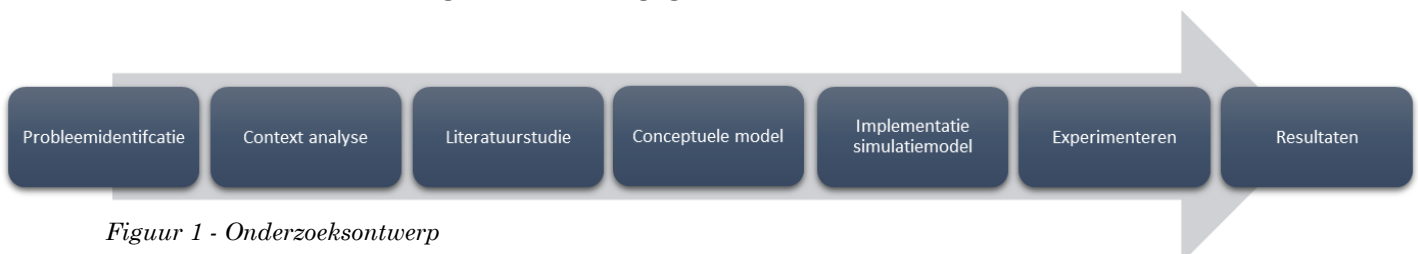
- Waar ontstaan de bottlenecks als de productie toeneemt? (§5.3)
- Wat voor indeling van het proces is nodig om te voldoen aan toekomstige vraag? (§5.3)
- Welke interventies dragen bij aan een efficiënter en minder arbeidsintensief proces? En welke interventies zijn de investering waard? (§5.4)
- Welke bijzondere scenario's worden verwacht en moet bij deze scenario's iets veranderd worden aan het proces? (§5.5)

6 – Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de conclusie en aanbevelingen besproken die uit dit onderzoek voortvloeien.

1.6 ONDERZOEKSONTWERP

In dit onderzoek is het de wens vanuit Demcon om verder te gaan met het huidige simulatiemodel. De uitkomsten van een voorgaande simulatiestudie zijn het management goed bevallen en zij zouden dit graag via dezelfde weg uitgebreid zien. Daarmee is dit onderzoek automatisch een simulatieonderzoek geworden. In figuur 1 zijn de stappen die in dit onderzoek worden genomen weergegeven.



Figuur 1 - Onderzoeksontwerp

Middels het volgen van dit onderzoeksontwerp worden de verschillende deelvragen beantwoord. De verschillende stappen zijn als volgt over de verschillende hoofdstukken verdeeld:

- Hoofdstuk 1: Probleemidentificatie
- Hoofdstuk 2: Context analyse
- Hoofdstuk 3: Literatuurstudie
- Hoofdstuk 4: Conceptuele model en implementatie van het model
- Hoofdstuk 5: Experimenteren en resultaten

In hoofdstuk 1, 2 en 3 wordt er kennis opgedaan door gesprekken met het management en het onderzoeken van dit probleem in de literatuur. In hoofdstuk 4 en 5 wordt deze kennis gebruikt om een simulatiemodel op te bouwen en hier vervolgens experimenten mee uit te voeren waarmee informatie ingewonnen kan worden over de toekomst van het MIM-proces.

2 HUIDIGE PRODUCTIE EN IN DE TOEKOMST

In dit hoofdstuk wordt besproken hoe de huidige situatie eruit ziet, wat er al eerder onderzocht is en wat er bekend is over de toekomst van DMIM. De paragrafen geven antwoord op de onderstaande deelvragen.

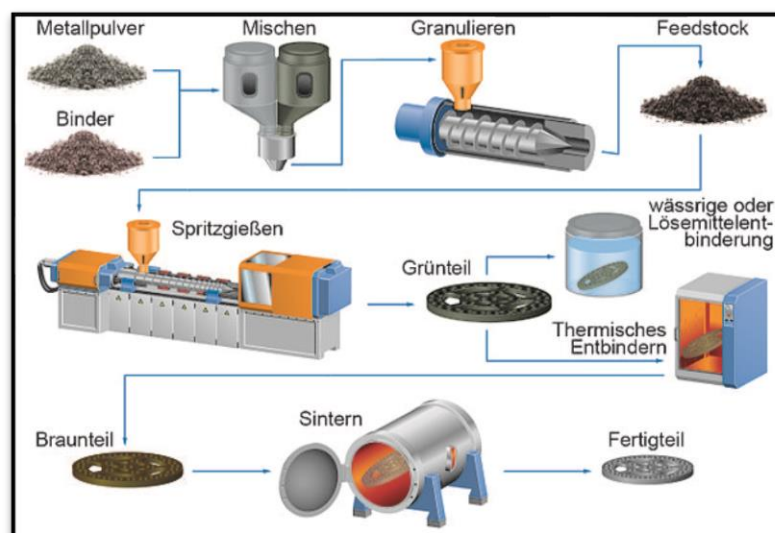
- Hoe zien de huidige productielocatie en het productieproces eruit? (§2.1)
- Wat is er bekend over de toekomst? (§2.2)
- Hoe ziet het bestaande model eruit? (§2.3)

2.1 HUIDIGE SITUATIE

Metal Injection Molding (MIM) is een uniek proces waarbij er kleine metalen producten met hoge nauwkeurigheid kunnen worden geproduceerd. Middels MIM is het mogelijk de vormvrijheid van kunststof bij het spuitgieten los te laten op een metalen onderdeel. Met deze vormvrijheid kunnen producten in complexe vormen worden gegoten, wat met enkel metaaldeeltjes niet mogelijk is. Zo wordt er weinig materiaal verspild, maar moet het kunststof weer uit het product worden verwijderd (debinden) om een sterk metalen product te verkrijgen. Het MIM-proces, om van een metaal-kunststof mengsel tot een metalen product te komen, gaat als volgt :

1. Mengen: Metaalpoeder wordt gemengd met kunststof, dit mengsel wordt vermalen tot korrels. Het tussenproduct wordt 'feedstock' genoemd. (Figuur 2: 'Mischen' & 'Granulieren')

2. Spuitgieten: De korrels worden verwarmd en in een matrijs gespoten. De matrijs is verschillend voor elk product en wordt al eerder ontwikkeld. De tussenproducten worden op debindplaten gelegd, zodat ze gemakkelijk verplaatst kunnen worden. Het tussenproduct wordt 'groenling' genoemd. In afbeelding 1 en 2 zijn voorbeelden van de gevulde debindplaten te zien. (Figuur 2: 'Spritzgießen')



Figuur 2 - MIM proces

https://en.wikipedia.org/wiki/Metal_injection_molding



Afbeelding 2 – Kleine groenling producten op een debindplaat

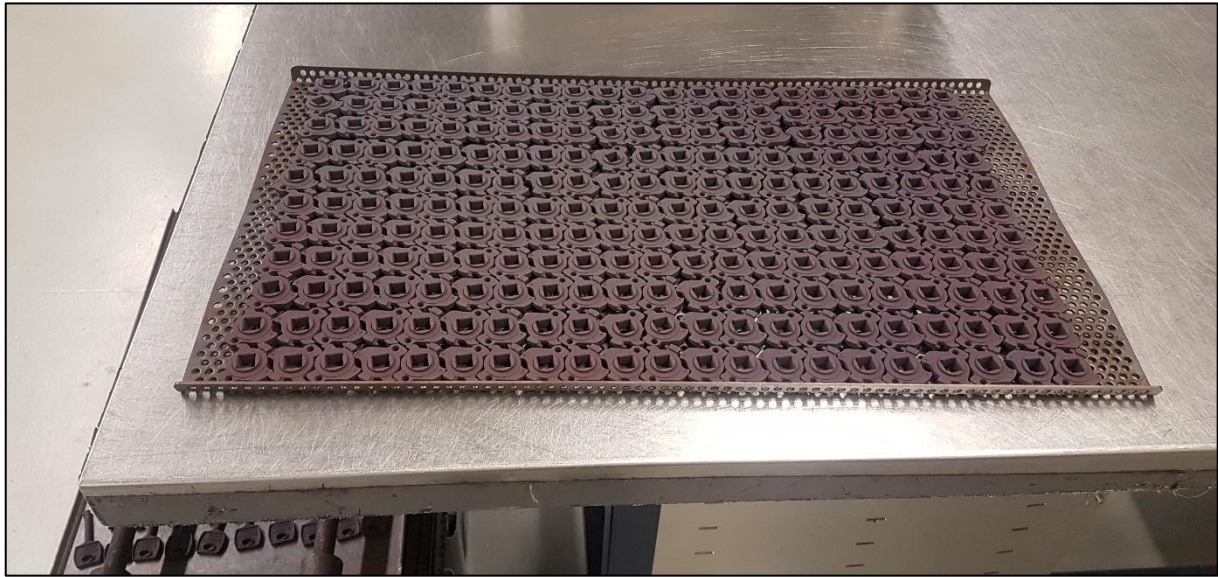


Afbeelding 1 – Grote groenling producten op en debindplaat

3. Waterdebinden: Het eerste deel van de kunststof wordt verwijderd door het tussenproduct te spoelen met water. Dit wordt gedaan door meerdere gevulde debindplaten in waterbakken te plaatsen. Dit wordt het waterdebinden genoemd. (Figuur 2: 'Lösemittellentbinderung')

4. Thermisch debinden: De resterende kunststof wordt verwijderd door het product te verwarmen tot de smeltemperatuur van kunststof (lager dan het smeltpunt van metaal). Het tussenproduct wordt 'bruinling' genoemd. Het proces zelf wordt beschreven als thermisch debinden. (Figuur 2: 'Thermisches Entbindern')

5. Overstapelen: De producten worden overgestapeld op hittebestendige platen (sinterplaten). In afbeelding 3 en 4 is te zien hoe de platen er voor en na het overstapelen uitzien. In afbeelding 4 is ook te zien dat onderdelen met keramische onderdelen op de hittebestendige platen worden geplaatst. Dit is om te voorkomen dat producten aan elkaar of aan de plaat vast smelten.



Afbeelding 4 - Debindplaat na het thermisch debinden en voor het overstapelen.



Afbeelding 3 - Debindplaat na het thermisch debinden en na het overstapelen.

6. Sinteren: Het brosse metalen onderdeel wordt verwarmd tot nét onder de smelttemperatuur van metaal. Het metaal smelt aan elkaar (krimpt) tot een solide stuk metaal. (Figuur 2: 'Sintern')

7. Afstapelen: De producten worden van de hitte bestendige platen verwijderd en in plastic bakken geplaatst. De plastic bakken worden vervolgens in de 'wit opslag' geplaatst. Hier zijn alle producten opgeslagen die na het sinteren gereed zijn.

8. Testen: Het onderdeel wordt gecontroleerd op de eisen van de klant met betrekking tot de afmetingen en/of eigenschappen van het materiaal. Het product mag niet veel afwijken van de maten die de klant doorgeeft. Als dit wel het geval is, wordt het product afgekeurd en kan het niet verkocht worden aan deze klant. (Dubbink, 2018, p. 18)

2.1.1 Soorten producten

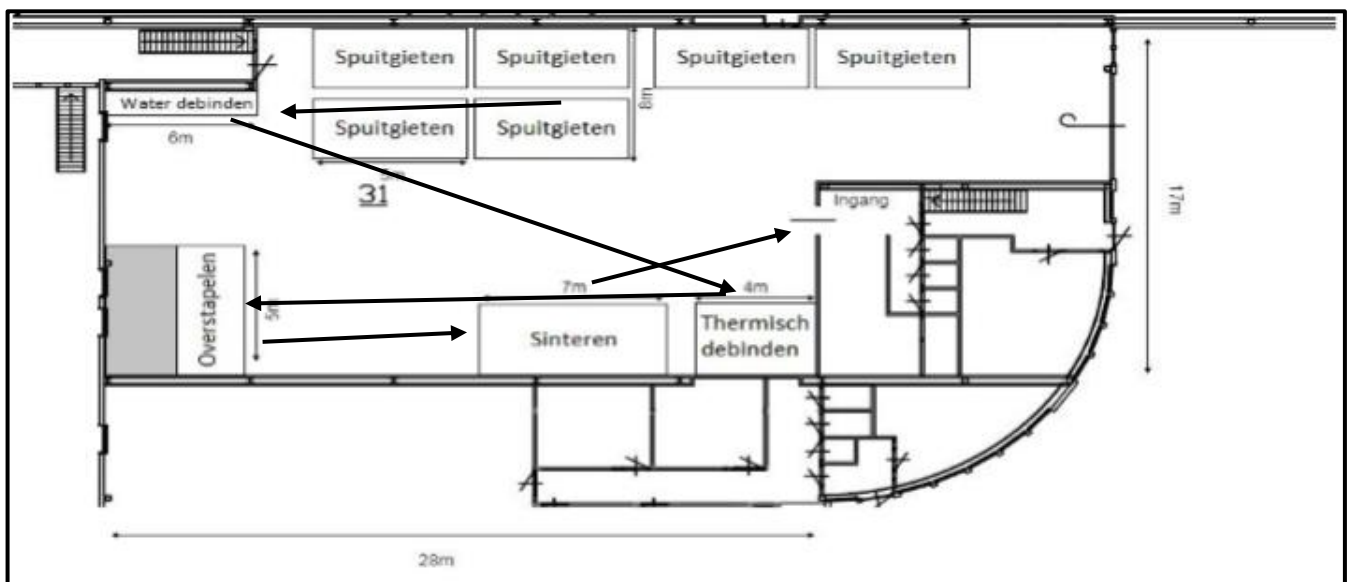
Er zijn verschillende soorten producten die door dit MIM-proces gaan. In afbeelding 5 is een klein deel van het productportfolio weergegeven. Deze selectie producten is gekozen om zo goed mogelijk te laten zien dat het verschil tussen de producten groot is. In afbeelding 5 zijn het grootste product, het kleinste product en enkele producten hiertussen te zien. Ter illustratie is er een euro munt tussen geplaatst. De grootte, het gewicht en de complexiteit van een product in het proces kan dus erg variëren.



Afbeelding 5 – Verschillende soorten producten

2.1.2 Productiehal

In figuur 3 is een schets van de huidige productiehal te zien. Hier is te zien dat de productie nog op kleine schaal gebeurt. De logistieke stromen zijn met pijlen weergegeven. Hier is te zien dat de logistieke stromen elkaar kruiselings kunnen passeren.



Figuur 3 - Indeling huidige productiehal

2.2 DE TOEKOMST

Het management van DMIM heeft een duidelijk plan voor de productiestijging in de komende jaren. In 2019 moet de productie ten opzichte van 2018 met 79% stijgen. In 2020 moet de productie ten opzichte van 2019 nog eens 71% en in 2021 dan nog 29%. Een absolute productiestijging van 293% over 3 jaar. Deze stijgingen zijn gebaseerd op huidige raamcontracten, die het management verzekeren van afzet en nieuwe klanten waar het management mee in overleg is.



Figuur 4 - groei productie

Om dit te verwezenlijken worden er in 2019, 2020 en 2021 investeringen gedaan in het productieproces om de capaciteit te vergroten. Een voorbeeld hiervan is te zien in afbeelding 6 en 7. In de afbeeldingen zijn een oude en een nieuwe spuitgietmachine te zien.

Het management van DMIM wil bij deze stijgingen een optimalisatieslag maken. Het management wil meer produceren in totaal maar ook meer produceren per operator. Welke veranderingen deze investeringen voor het proces (en het model) zullen hebben, wordt in hoofdstuk 4 besproken.

2.2.1 Nieuwe productielocatie

In bijlage F is de bouwtekening van de locatie in Enschede bijgevoegd. Het productieoppervlak in Enschede is 1100 m². Ten opzichte van de locatie in Oldenzaal is dit een grote toename van productieoppervlak. In Oldenzaal is het productieoppervlak slechts 500 m². In Enschede is nog veel ruimte om te groeien. Deze ruimte is nodig omdat er in Oldenzaal geen enkele ruimte meer is om te groeien.

In bijlage F is een logische indeling gemaakt die voor het nieuwe model gebruikt kan worden. Bij deze inrichting is er van logistieke stromen uitgegaan waarbij producten en werknemers zo min mogelijk afstand afleggen. Ook is het proces met deze inrichting overzichtelijker. Hoe verder het product zich in de hal bevindt, hoe verder deze in het proces is. Elke productiestap heeft een eigen plek voor de tussenvoorraad. De logistieke stroom gaat in een rechte lijn door de productielocatie. Deze inrichting kan eventueel nog aangepast worden voor een efficiënter proces.



Afbeelding 6 - Nieuwe spuitgietmachine



Afbeelding 7 - Oude spuitgietmachine

2.3 WAT IS ER AL ONDERZOCHT?

Zoals al eerder genoemd, bestaat er een simulatiemodel van het proces zoals deze hierboven beschreven is. Dit model heeft als doel om bottlenecks op te sporen en waar mogelijk op te lossen. Voor dit doel is het model geverifieerd en gevalideerd en kan het voor het bereiken van dit doel worden beschouwd als representatief voor de werkelijkheid.

Om duidelijk te krijgen wat dit model precies omvat zijn de volgende onderdelen belangrijk:

- Het bereik van het model (bijlage A en B)
- Het conceptuele model (bijlage C)
- In- en output variabelen (bijlage D)
- Procestijden van de verschillende productiestappen (bijlage D)
- De aannames en vereenvoudigingen (bijlage E)

Het model en de keuzes in het model zijn gemaakt in combinatie met het management van DMIM, dus een aantal onderdelen hiervan kunnen hergebruikt worden voor het model om toekomstige bottlenecks te bepalen. Het management staat nog steeds achter dit model. Hoe het model er in dit onderzoek precies uit gaat zien, wordt in hoofdstuk 4 besproken. Er is destijds veel veranderd en dit model is dus verouderd. Daarom zijn ook niet alle onderdelen relevant voor dit onderzoek.

2.4 CONCLUSIE

In dit hoofdstuk is onderzocht hoe de huidige situatie van het MIM-proces eruit ziet en wat veranderingen zijn voor de toekomst. Ook is nu bekend hoe het oude model is opgebouwd en welke keuzes hierbij gemaakt zijn. Later zal duidelijk worden welke onderdelen hiervan voor het model gebruikt gaan worden. In het volgende hoofdstuk wordt er naar literatuur gezocht die kan bijdragen bij het opbouwen van het model.

3 THEORETISCH KADER

De literatuur die kan bijdragen aan dit onderzoek zal gaan over simulatie, procesoptimalisatie en proces design. Omdat dit onderzoek gericht is op de toekomst zal ook literatuur over forecasting besproken worden. Daarbij worden in de verschillende paragrafen de volgende deelvragen beantwoord:

- Wat is een bottleneck en hoe kan deze geïdentificeerd worden? (§3.1)
- Hoe kan een bottleneck gebruikt worden om de productiecapaciteit te vergroten? (§3.1)
- Hoe kan de beste lay-out voor een nieuw productieproces bepaald worden? (§3.2)
- Op welke manier kan de toekomstige vraag voorspeld worden? (§3.3)
- Wat is simulatie en hoe kan het gebruikt worden? (§3.4)

3.1 BOTTLENECK

Het kernprobleem gaat over bottlenecks in het toekomstige MIM-proces. Om dit goed te begrijpen is het belangrijk dat het concept bottlenecks duidelijk is. Goldratt (1984) beschrijft in zijn boek 'The Goal' een *bottleneck* als het punt in een proces dat de doorstroom beperkt. Dit punt bepaalt de 'beat' van het proces en wordt ook wel *drum* genoemd. De bottleneck beperkt het hele proces doordat er bij de bottleneck niet genoeg capaciteit is. Als de capaciteit van de bottleneck hoger wordt, wordt de totale capaciteit ook hoger. Dit wordt door Goldratt ook wel beschreven als de 'Theory of Constraints'. Met deze theorie probeert men steeds de bottleneck op te sporen om die vervolgens maximaal te benutten of zelfs weg te nemen.

Om bottlenecks aan te kunnen pakken moeten ze eerst herkend worden. Volgens Bert Markgraf (2017) zijn bottlenecks door een aantal indicatoren te herkennen.

- *Wachtrijen*
De productiestap met de langste wachtrij is vaak de bottleneck. Deze stap heeft niet genoeg capaciteit om alles te verwerken en zorgt voor een ophoping van producten.
- *Doorvoersnelheid*
De doorvoersnelheid van een proces is direct gelinkt aan de bottleneck. Met dit gegeven is de bottleneck te bepalen, door van elke productiestap een voor een de output te veranderen. De stap die de totale output beïnvloed is de bottleneck.
- *Capaciteit*
Een productiestap heeft een maximale capaciteit en de machine die het hoogste percentage van deze capaciteit gebruikt is de bottleneck.
- *Wachttijden*
Als een productiestap lange wachttijden heeft voor de toevoer van producten dan is de productiestap ervoor de bottleneck. De bottleneck kan namelijk niet genoeg aanleveren om de volgende stap constant te laten draaien.

Doordat in het MIM-proces verschillende producten door het proces lopen zijn de wachtrijen, doorvoersnelheid en wachttijden in dit geval niet geschikt om de bottlenecks te identificeren. Producten hebben verschillende productietijden en aantallen op debinden sinterplaten. Hierdoor veranderen deze indicatoren per product in het proces. De indicatoren zijn daardoor soms zichtbaar en soms niet en is het lastig om hiermee om de

bottlenecks te bepalen. In dit onderzoek wordt gebruikt gemaakt van de maximale benutte capaciteit van de verschillende productiestappen voor het identificeren van de bottleneck. De maximaal benutte capaciteit is altijd te meten en kan dus bij elk mogelijk scenario gebruikt worden voor het identificeren van bottlenecks.

3.2 PROCES DESIGN

Het proces van DMIM gaat veel veranderen en moet gedeeltelijk opnieuw ontworpen worden. Voordat een proces ontworpen wordt, is het belangrijk om de uiteindelijke doelen duidelijk te hebben.

Volgens Slack (2013) moeten bij de volgende prestatie- indicatoren duidelijk doelen gesteld worden:

- *Kwaliteit*
- *Snelheid*
- *Betrouwbaarheid*
- *Flexibiliteit*
- *Kosten*

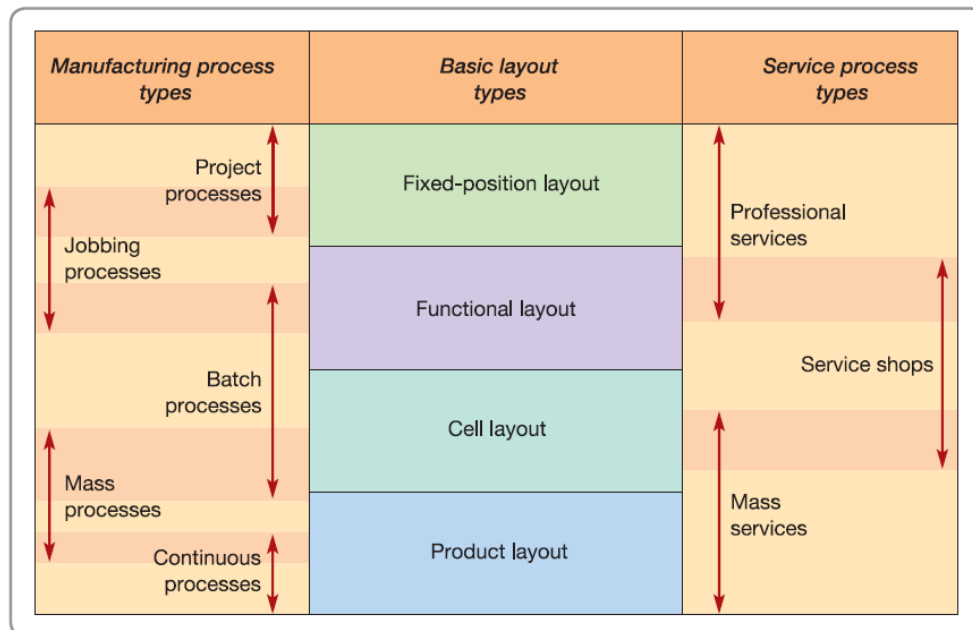
De doelen op deze gebieden moeten aansluiten met wat het proces zou moeten bereiken. Bij het bepalen van deze doelen moet er goed gekeken worden naar de mate van volume en productdiversiteit. Als er in dit spectrum voor een verkeerd procestype gekozen wordt leidt dit tot onnodig hoge kosten. Hier gaat het vooral om de mate van standaardisatie in het proces. In Slack (2013) worden verschillende procestypes genoemd. Voor dit onderzoek zijn vooral de volgende belangrijk:

- *Batchprocessen*, per batch worden er dezelfde producten gemaakt. Het hangt van het proces af hoe groot deze batches zijn. Als batches erg groot zijn kan het op een massaproces lijken.
- *Massaprocessen*, hier worden veel producten geproduceerd in lage diversiteit.

Deze processen liggen in het volume-diversiteit spectrum in het midden. Een behoorlijk volume met een redelijk kleine diversiteit. Aan de hand van deze processen kunnen er (standaard) lay-outs gekozen worden voor de nieuwe inrichting.

In figuur 2 is te zien wat de standaard lay-outs zijn bij de verschillende processen. Voor batch- en massaprocessen gaat het om de volgende lay-outs:

- *Cell lay-out*: De lay-out is verdeeld in verschillende onderdelen(cellen), waar niet elk product langs hoeft te komen.
- *Product lay-out*: Een standaard route die elk product aflegt. Dit is goed voorspelbaar en relatief makkelijk te controleren.



Figuur 5 - Relatie tussen procestype en standaard lay-out types (Slack, 2013)

De verschillende lay-outs kunnen gecombineerd worden om tot de beste indeling te komen die aansluit bij de doelen van het proces. In bijlage F is er in eerste instantie gekozen voor een product lay-out. De productie is ingedeeld in een lijn zodat de output van de ene productiestap de input is voor de eerstvolgende productiestap. Zo ontstaat er een goed overzichtelijk proces, waarbij het management makkelijk toezicht kan houden op het proces.

In hoofdstuk 5 zal er nog geëxperimenteerd worden met de lay-out. In deze product lay-out zal getest worden of invloeden van de cell lay-out gunstig zijn voor het proces.

3.3 FORECASTING

In dit onderzoek zal het vooral over de toekomst gaan. Deze toekomst is nog onzeker, om wat meer zekerheid te krijgen zijn er verschillende manieren om dit te voorspellen. Deze voorspellingen kunnen gebruikt worden voor de simulatie.

Volgens Slack (2013) zijn er 2 verschillende benaderingen om toekomstige vraag te voorspellen: *Kwalitatieve- en kwantitatieve methodes*. In dit onderzoek zal er gekeken worden naar de kwalitatieve forecast methodes, omdat er te weinig informatie beschikbaar is om de kwantitatieve methode te kunnen gebruiken.

Er zijn 3 verschillende kwalitatieve methodes beschreven:

- *Panel methode*: Hier wordt gebruikt gemaakt van een panel specialisten die samen een voorspelling zullen doen.
- *Delphi methode*: Bij deze methode wordt er gebruikt gemaakt van een enquête die onafhankelijk door experts wordt ingevuld. Van deze resultaten wordt een samenvatting gemaakt en opnieuw aan de experts voorgelegd. Aan de hand van de samenvatting mogen ze hun antwoorden aanpassen. Dit proces wordt een aantal keer herhaald om tot een conclusie te komen.
- *Scenario planning*: Bij zeer grote onzekerheid en een lange termijn wordt scenario planning gebruikt. Hierbij wordt weer een panel gebruikt. Dit panel wordt gevraagd om een reeks van verschillende toekomstige scenario's te bedenken. Elk

scenario wordt vervolgens besproken en hierbij worden verschillende risico's besproken. Hierbij kan er een onderscheid gemaakt worden tussen verschillende scenario's. Welke is het meest wenselijk en welke scenario's moeten er gemeden worden?

Scenarioplanning lijkt hiervan de beste optie voor dit onderzoek. Zo kan er met het management bepaald worden hoe de vraag er in de toekomst uit gaat zien en welke scenario's hierbij horen. Er is veel onzekerheid over de toekomst en de te verwachten groei. Hier zijn geen historische data voor beschikbaar. Echter gaat scenarioplanning vooral over externe factoren die de vraag beïnvloeden (Schoemaker, 2016). Niet alle aspecten van scenarioplanning kunnen gebruikt worden. Een conclusie van scenarioplanning gaat over vaak externe factoren die de vraag kunnen beïnvloeden. De externe factoren zijn in dit onderzoek niet relevant. Daarom wordt ook *visionary forecasting* ("Techniques of forecasting Marketing Management", 2017) gebruikt. Bij visionary forecasting wordt er alleen gebruik gemaakt van de kennis en de mening van het management. De toekomstige vraag wordt bepaald aan de hand van de expertise van het management. Visionary forecasting kan als te subjectief worden bevonden. Dat is in dit geval niet heel erg, omdat er bij het management veel nieuwe bedrijven aankloppen en een bepaalde groei zeker is. Een deel van deze groei staat vast, een deel is relatief zeker en een deel is relatief onzeker. Er worden aan de hand van deze voorspelling ook niet direct grote investeringen gedaan. De situaties en scenario's die het management schetst kunnen getest worden met een simulatiemodel. Deze subjectiviteit brengt in dit onderzoek geen risico's met zich mee.

3.4 SIMULATIE

Zoals al eerder genoemd is, is simulatie een belangrijk onderdeel in dit onderzoek. In dit hoofdstuk wordt besproken wat simulatie precies inhoudt en waarom het in dit onderzoek gebruikt wordt. Vervolgens wordt besproken welke stappen er nodig zijn om tot een goed simulatiemodel te komen.

3.4.1 Wat is simulatie?

Robinson (2004) beschrijft een simulatie als het experimenteren met een gesimplificeerde imitatie van een proces (op een computer) dat vordert door de tijd met als doel het proces beter te begrijpen en/of te verbeteren. Een simulatie kan de prestaties van een systeem voorspellen op basis van verschillende inputvariabelen. Simulatie werd veelvuldig gebruikt om bepaalde keuzes te kunnen onderbouwen.

3.4.2 Waarom simuleren?

Zoals al eerder is genoemd zijn er naast simulatie andere opties om een proces beter te begrijpen of te kunnen voorspellen. Bij het voorspellen van de prestaties van zo'n proces kunnen deze processen onderhevig zijn aan variabiliteit, verbondenheid binnen het proces en complexiteit. Bij deze processen is het vrijwel onmogelijk om een goede voorspelling te doen. Simulatiemodellen daarentegen zijn bij uitstek geschikt om deze variabiliteit, verbondenheid en complexiteit te voorspellen. Met dit gegeven is het met simulatie dus mogelijk om bijvoorbeeld verschillende procesontwerpen te testen. (Robinson, 2004)

De wens van het management is om voorspellingen te doen aan de hand van een simulatie, omdat dit in het verleden goed bevallen is. Een nadeel van simuleren zijn de kosten die het met zich mee kan brengen. Omdat dit onderzoek als afstudeeropdracht dient en dus leerdoeleinden heeft, is dit nadeel weggenomen. Met dit in acht genomen wordt simulatie in dit onderzoek gekozen.

3.4.3 Het huidige model

Het bestaande model maakt gebruik van discrete-event simulatie. De staat van de variabelen verandert alleen op bepaalde momenten in de tijd. Het model is volledig gevalideerd en geverifieerd (Dubbink, 2018) en geschikt gebleken om bottlenecks te ontdekken. Bij veranderingen in het model moet dit opnieuw gedaan worden, zodat het model een geschikte afspiegeling van de toekomst blijft. Ook in dit onderzoek wordt de discrete-even simulatie gebruikt.

3.4.4 Simulatie software

Uit een samenwerking van de Universiteit Twente en Siemens Plant Simulation vloeit de keuze voort om in dit onderzoek de software van Siemens te gebruiken. Het huidige model is daarbij ook in deze software geïmplementeerd.

3.4.5 Conceptueel model

Het maken van het conceptuele model is één van de belangrijkste onderdelen in proces van een simulatiemodel opzetten (Law, 1991). Het conceptuele model moet daarbij tenminste uit de volgende onderdelen bestaan (Robinson, 2004):

- Doel van het model
- Input (experimentele) variabelen
- Output variabelen
- Inhoud model
 - Scope van het model
 - Detailniveau
- Aannames en vereenvoudigingen

Dit conceptuele model is bedoeld als een basis voor het te ontwikkelen computermodel. Voordat er wordt begonnen met het coderen met het computermodel moet eerst het conceptuele model staan. Als dit niet het geval is, kan dit ervoor zorgen dat model niet geschikt is voor het beoogde doel.

3.4.6 Validatie en verificatie

Op het moment dat het model gereed is voor gebruik moet getest worden of het model geschikt is voor de doeleinden die het model heeft. Het nadeel van een simulatiemodel is dat het nooit een volledige afspiegeling van de werkelijkheid kan zijn. Met validatie en verificatie moet er in ieder geval genoeg vertrouwen in het model gecreëerd worden, namelijk vertrouwen in het feit dat het een goede tool is om beslissingen mee te onderbouwen. Het model moet in ieder geval nauwkeurig genoeg zijn zodat het gebruikt kan worden voor de beoogde doeleinden. In hoofdstuk 4 wordt dit voor dit onderzoek besproken. De volgende onderdelen worden hier besproken: validatie conceptuele model, black-box validatie en verificatie en white-box validatie.

3.4.6.1 Black-box validatie

In black-box validatie wordt er gekeken naar het algehele gedrag van het model. Hierbij gaat het vooral om de output van het model. Dit moet overeenkomen met het proces in de realiteit of met een simpeler model. Aangezien er in dit onderzoek geen proces in de realiteit is wordt er gekeken naar een simpeler analytisch model, wat een simpelere versie van het simulatiemodel kan voorspellen. De output van het analytische model moet bij dezelfde input dezelfde uitkomst hebben als het simulatiemodel.

Daarvoor wordt het model vergeleken met een deterministisch model. Het simulatiemodel moet aan het volgende voldoen om een goede vergelijking te maken:

- Machines hebben deterministische productietijden.
- Producten komen het systeem volgens een deterministisch patroon binnen.
- Buffers hebben oneindige capaciteit.
- Het proces is in steady state.

De maximale throughput van een systeem is voor de black-box validatie een goede output om een vergelijking te maken tussen de modellen. Zo kan gevalideerd worden dat de flow van producten in het simulatiemodel geen fouten bevat. Om deze maximale throughput te bepalen moeten de volgende stappen gevolgd worden:

1. Deterministische productie- en aankomsttijden, oneindige buffer en een steady state systeem aannemen.
2. De hoeveelheid producten bepalen die elke machine per tijdseenheid verlaat.
3. De benutting van de machines bepalen.
4. De bottleneck bepalen. Daar het maximale aantal producten wat deze bottleneck kan doorlopen bepalen, want dat staat gelijk aan de maximale throughput van het gehele systeem.

Het simulatiemodel is niet volledig deterministisch, dus om het simulatiemodel met dit analytische model te vergelijken wordt het simulatiemodel versimpeld om te kunnen bepalen of het model een juiste doorstroom van producten heeft.

3.5 CONCLUSIE

In dit hoofdstuk is er in de literatuur gezocht naar antwoorden op de gestelde deelvragen. Hierbij zijn er manieren gevonden om bottlenecks te identificeren en hoe deze gebruikt kunnen worden om de productiecapaciteit te vergroten. Ook is een standaard lay-out bepaald die past bij de eigenschappen van het MIM-proces. Om de toekomstige vraag te kunnen voorspellen past visionary forecast het beste bij dit onderzoek. Als laatste is uit de literatuur gehaald hoe de informatie over het MIM-proces omgezet kan worden tot een simulatiemodel. Het daadwerkelijke model wordt in het volgende hoofdstuk besproken.

4 MODEL

In dit hoofdstuk wordt de opbouw van het model besproken. Hiervoor worden de volgende onderwerpen besproken: het conceptuele model, implementatie in simulatiesoftware, opwarmperiode, replicaties, loopduur en validatie en verificatie. In de verschillende paragrafen wordt er antwoord gegeven op de volgende deelvragen:

- Hoe wordt het conceptuele model opgebouwd? (§4.1)
- Hoe wordt het conceptuele model geïmplementeerd in de simulatiesoftware? (§4.2)
- Is het opgebouwde model valide? (§4.3)
- Hoe kan dit model gebruikt worden voor experimenten? (§4.4)

4.1 CONCEPTUEEL MODEL

Om het conceptuele model duidelijk te maken worden de volgende onderwerpen besproken: het doel van de simulatie, in- en output van het model, bereik van het model, de aannames en vereenvoudigen en het stroomdiagram.

4.1.1 Doel van de simulatie

Het doel van dit simulatiemodel is om het management van DMIM inzicht te geven in het productieproces met de nieuwe investeringen en grotere capaciteit. Hierbij gaat het om het bepalen van nieuwe bottlenecks, bepalen of de investeringen de gewenste capaciteit leveren, hoeveel ondersteunende middelen (zoals platen en keramiek) er nodig zijn in dit proces en hoe de productiecapaciteit het beste verder vergroot kan worden.

4.1.2 Input van het model

In het werkelijke proces is er een grote diversiteit aan producten. In dit model is ervoor gekozen om deze producten te categoriseren. Dit zorgt ook voor enkele vereenvoudigingen in de inrichting van de verschillende productiestappen. De categorieën worden in §4.1.2.1 besproken en vervolgens wordt in §4.1.2.2 de inrichting en van de productiestappen besproken.

4.1.2.1 Productcategorieën

Voor grote en kleine producten kunnen verschillende productietijden gehanteerd worden. Tot op het heden is dit alleen het geval bij het spuitgieten. Kleinere producten kunnen door de kleinere massa in theorie korter water- en thermisch debinden. In de huidige productielocatie zijn hier nog standaardprogramma's voor, omdat producten van verschillende groottes en gewichten zich door het proces bewegen en gemixt bij productiestappen verwerkt worden. Hierin bepalen de grotere producten hoe lang de hele batch moet debinden, omdat alle kunststof uit het product verwijderd moet zijn. Als dit niet het geval is kan dit in een later stadium tot defecte producten leiden.

In het oude model is er een gemiddeld product dat door het proces loopt. In verband met de mogelijke verschillende debind programma's is er in het nieuwe model voor gekozen om dit gemiddelde product op te delen in 3 gemiddelde producten. Deze zijn weergegeven in tabel 1. Hoe de waardes uit tabel 1 tot stand zijn gekomen wordt onder de tabel besproken.

	Producten				
	Gewicht	Gemiddelde gewichten	% van de vraag	Debinderplaat factor	Sinterplaat factor
Klein	<i>Tot 7 gram</i>	<i>3,42 gram</i>	<i>44%</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
Gemiddeld	<i>7 tot 25 gram</i>	<i>14,89 gram</i>	<i>35%</i>	<i>2,33</i>	<i>2,84</i>
Groot	<i>meer dan 25 gram</i>	<i>34,1 gram</i>	<i>21%</i>	<i>10,97</i>	<i>3,99</i>

Tabel 1 – Soorten producten

In overleg met het management van DMIM zijn de klasseringen voor de grootte van de producten bepaald. Hierbij is er gekeken naar de gehele productportfolio en is er bepaald welke producten als klein, gemiddeld en groot gelden. Met deze informatie is bepaald welke gewichten bij welke klassering passen. Hierbij werden producten vanaf 7 gram niet meer als kleine producten gezien en producten van 25 gram als grote producten. Hier volgt de huidige klassering uit.

Per klassering zijn de gewogen gemiddeldes van het gewicht bepaald. De sommaties worden gedaan met alle producten van een bepaalde klassering.

$$\text{Gemiddelde gewicht} = \sum_{k=1}^n \text{Gewicht}(k) * \text{Vraagfractie}(k)$$

De vraagfractie is de fractie van de vraag van een product in een bepaalde klassering.

$$\text{Vraagfractie}(k) = \frac{\text{Vraag product } k}{\text{Totale vraag bijbehorende klassering}}$$

Het aandeel van de verschillende klasseringen in de totale vraag is bepaald op basis van aantallen producten.

In het oude model is er zoals gezegd maar één soort product. Dit zorgt ervoor dat deze producten ook allemaal dezelfde ruimte innemen op de debind-en sinterplaten. Met de verschillende klassering van producten neemt een groter product meer plaats in op een plaat dan een kleiner product. Elk product heeft een factor gekregen van de ruimte die het inneemt op een plaat. Op een debinderplaat passen 878 kleine producten. Een groot product neemt hiervan 10,97 plekken in en een gemiddeld product 2,33.

Daarvoor zijn eerst de aantallen berekend van producten per klassering op een plaat.

$$\text{Aantal producten op een plaat} = \sum_{k=1}^n \text{Vraagfractie}(k) * \text{aantal producten op een plaat}(k)$$

Deze resultaten zijn in tabel 2 te zien. Om de factor van de klassering te bepalen, is het aantal van de kleine producten gedeeld door de aantallen van de gemiddelde en grote producten.

Klassering	Debindplaten		Sinterplaten	
	Aantallen op plaat	Factor	Aantallen op plaat	Factor
Klein	878	1	460	1
Gemiddeld	376	2,33	162	2,84
Groot	80	10,97	115	3,99

Tabel 2 - Producten op een plaat

Deze plaatfactor houdt in dat een groot product 10,97 keer een plek inneemt van een klein product.

4.1.2.2 Productiestappen

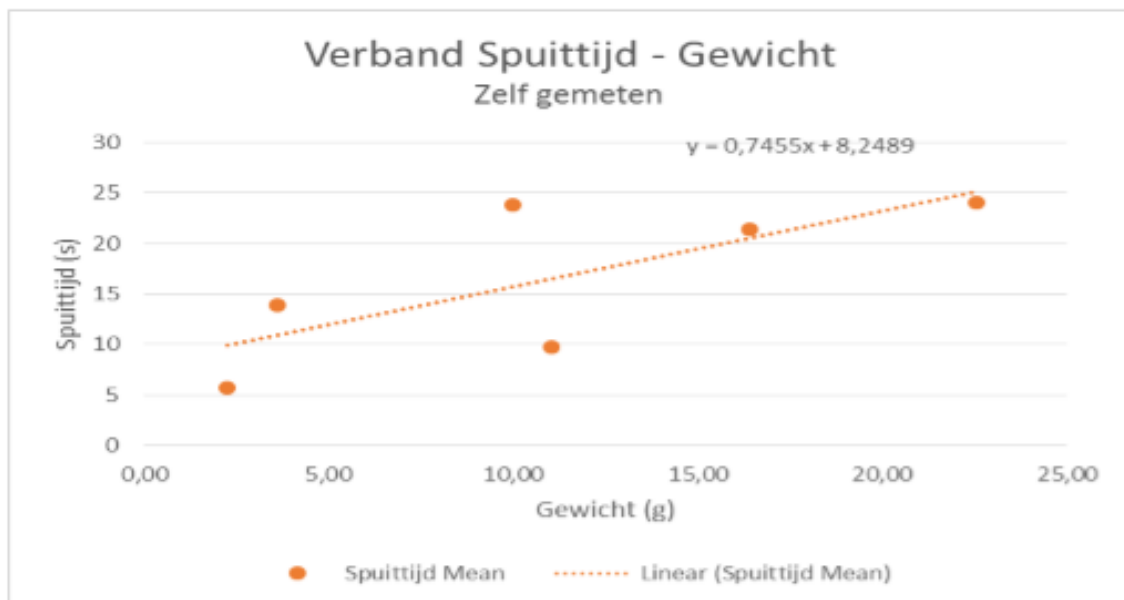
Deze paragraaf beschrijft hoe de onderdelen van de productie in het model weergegeven worden. Hierbij wordt bijvoorbeeld het aantal machines, het aantal werknemers, de productietijden en de afstanden tussen de verschillende productiestappen besproken.

4.1.2.2.1 Spuitgieten

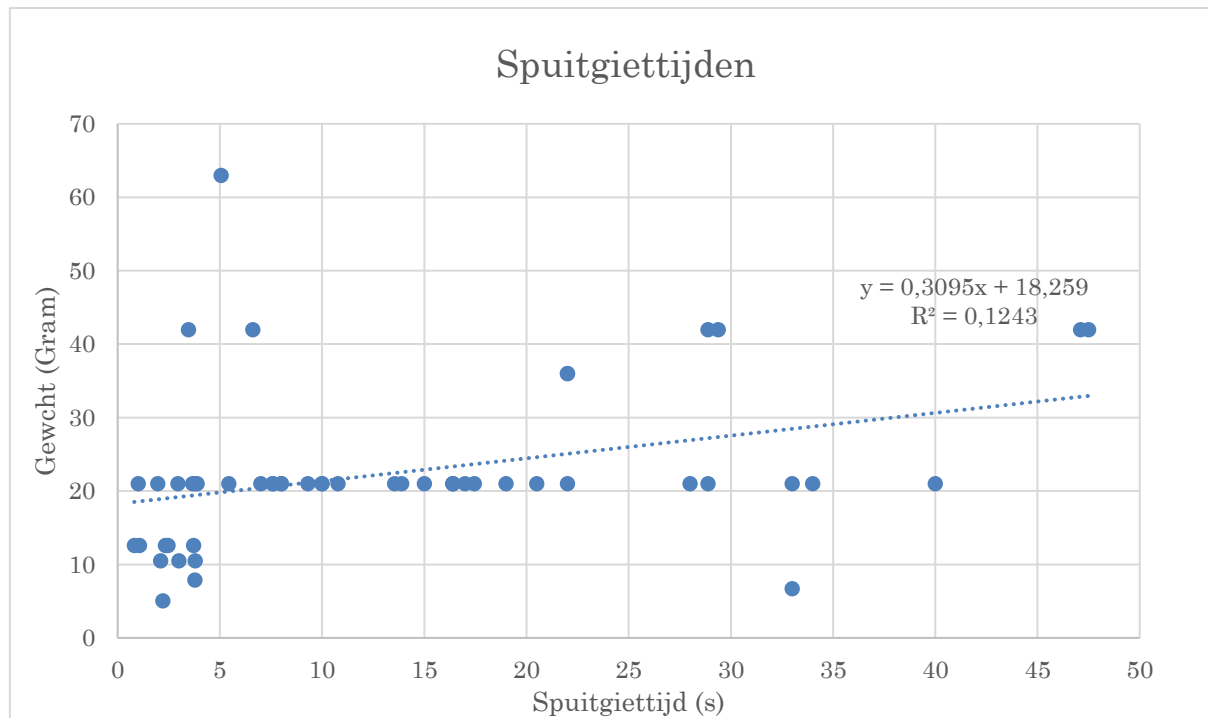
Bij het spuitgieten zijn er veel veranderingen aanstaande. Er zijn ten opzichte van het oude model andere spuitgietsmachines aangeschaft. Er zullen nog twee nieuwe spuitgietsmachines bijkomen om de oudere te vervangen. Deze spuitgietsmachines waren eerder al in hoofdstuk 2 in afbeelding 6 en 7 te zien.

De geschatte gemiddelde spuitgiettijden van het oude model (figuur 5) zijn gemeten met een paar producten. De productportfolio en de machines zijn sindsdien veranderd. Het kleinste product waar de spuitgiettijden van zijn gemeten is een product dat een uitzonderlijk lage spuitgietsijd heeft. Doordat er maar weinig producten gemeten zijn zorgt dit voor te lage spuitgiettijden in vergelijking met de werkelijkheid. Daarom is er door het management een schatting gemaakt van hoeveel producten er per product per uur spuitgegoten kunnen worden. Zo kan het gemiddelde met meer data bepaald worden en is ook te zien dat het gemiddelde een stuk hoger is (figuur 6). Het nadeel van deze schatting is dat het veel ruis bevat. Hetzelfde geldt voor de spuitgiettijden uit de bijgehouden logboeken. Het is lastig om uit deze data zuivere spuitgiettijden te halen. Defecte producten, downtime van spuitgietsmachine en pauzes van werknemers worden met deze data in de tijden meegenomen. De verschillende soorten ruis worden in het model meegenomen dus zijn er voor de spuitgiettijden de tijden zonder ruis nodig.

Omdat het meten van deze tijden veel tijd kost en het meten van meer producten waarschijnlijk niet tot verandering in spuitgiettijden zal leiden, is ervoor gekozen om de reeds gemeten zuivere spuitgiettijden in dit model over te nemen.



Figuur 6 - Spuitgiettijden oude model (Dubbink, 2018)



Figuur 7 - Spuitsgieltijden schatting management

In het oude model is het statistisch bewezen dat de spuitsgieltijden normaal verdeeld zijn en welke productietijden hierbij horen. De oude gegevens zijn te zien in tabel 3. De veranderde spuitsgieltijden voor de toekomst zijn te zien in tabel 3. Voor de productietijden van de spuitgietsmachines wordt de formule gebruikt uit figuur 6.

Spuitsgieten	
Aantal machines	6
Productietijd	Norm. Dist. $\mu = 15.18$ sec, $\sigma = 0.735$ sec
Bijvultijd	Norm. Dist. $\mu = 5$ min, $\sigma = 1$ min

Tabel 4 - Gegevens spuitgieten oude model(Dubbink, 2018)

Productietijd klein	Norm. Dist. $\mu = 10,80$ $\sigma = 0,735$
Productietijd gemiddeld	Norm. Dist. $\mu = 14,89$ $\sigma = 0,735$
Productietijd groot	Norm. Dist. $\mu = 33,67$ $\sigma = 0,735$

Tabel 3 - Gegevens spuitgieten nieuwe model

4.1.2.2.2 Waterdebinden

Bij het waterdebinden is er een investering gedaan. Op de nieuwe productielocatie komen 16 waterbakken te staan in plaats van de huidige 4. Ook wordt met de nieuwe configuratie het proces beter gecontroleerd. Hierdoor kan het proces verkort worden met behoud van kwaliteit. Waar de huidige procestijd nu standaard 3 dagen bedraagt, wordt deze in de nieuwe opstelling geschat op de waarden in tabel 6. Deze waarden zijn tot stand gekomen in overleg met het management. Tests moeten nog uitwijzen wat precies de beste productietijden zijn voor de verschillende klasseringen.

Waterdebinden	
Aantal machines	16
Productietijd klein	1 dag
Productietijd gemiddeld	2 dagen
Productietijd groot	3 dagen

Tabel 6 - Nieuwe model

Waterdebinden	
Aantal machines	4
Productietijd	3 dagen
Platen per machine	12
Producten per plaat	494
In-en uitlaadtijd	Norm. Dist. $\mu = 15$ min, $\sigma = 5$ min [min: 10, max: 20]

Tabel 5 - Oude model



Afbeelding 8 – Debind rack met 12 platen

Deze kortere productietijden zijn op basis van ervaring en kennis van het management bepaald. De 12 platen (afbeelding 8) per bak blijven in de nieuwe waterbakken van toepassing, het aantal producten op de platen is zoals besproken wel veranderd. De in- en uitlaadtijden veranderen niet.

4.1.2.2.3 Thermisch debinden

Ook bij het thermisch debinden is er een investering gedaan. Naast de huidige oven wordt er een nieuwe, grotere oven aangeschaft. Ook bij het thermisch debinden zijn aangepaste programma's voor de verschillende klasseringen bepaald met het management.

Thermisch debinden	
Aantal machines	1
Productietijd	15 uur
Platen per machine	24
Producten per plaat	494
In- en uitlaadtijd	Norm. Dist. $\mu = 15$ min, $\sigma = 5$ min [min: 10, max: 20]

Tabel 7 - Oude model

Thermisch debinden	Platen	Productietijd klein	Productietijd gemiddeld	Productietijd groot
Oven oud	24	10 uur	15 uur	20 uur
Oven nieuw	48	10 uur	15 uur	20 uur

Tabel 8 - Nieuwe model

In de nieuwe oven passen 48 platen, waarvoor dezelfde programma's gebruikt kunnen worden. De in- en uitlaadtijden veranderen naar verwachting niet aangezien het hele rack met een takel uit de oven gehaald wordt. Dit blijft dezelfde handeling.

4.1.2.2.4 Overstapelen

Bij het overstapelen worden de producten van de debindplaten op sinterplaten gelegd. Dit wordt gedaan, omdat de sinterplaten hittebestendig moeten zijn. Deze platen zijn duur en genoeg van deze platen aanschaffen om ze door het hele proces te gebruiken kost teveel geld. Ditzelfde geldt voor het keramiek dat wordt gebruikt om te voorkomen dat producten in de sinteroven aan elkaar of aan de plaat smelten. De sinterplaten zijn een stuk kleiner en worden anders ingedeeld. Hierdoor verschillen de aantallen producten op de plaat en de factoren van de klasseringen. In afbeelding 1 en 2 van hoofdstuk 2 is een voorbeeld gegeven van dit proces.

Overstapelen	
Aantal machines	4 plekken
Productietijd	Norm. Dist. $\mu = 5.18$ sec, $\sigma = 0.1$ sec

Tabel 9 - Overstapelen oude en nieuwe model

De handeling of het aantal plekken bij het overstapelen veranderen niet. De gegevens van het oude model blijven hier behouden.

4.1.2.2.5 Sinteren

Bij het sinteren verandert er weinig. De huidige sinterovens gaan mee naar de nieuwe productielocatie. Alleen de aantallen op de sinterplaten veranderen in het model. De productietijden en in- en uitlaadtijden blijven hetzelfde.

Sinteren	
Aantal machines	2
Productietijd	24 uur
Platen per machine	30
Producten per plaat	265
Inlaadtijd	Norm. Dist. $\mu = 30$ min, $\sigma = 5$ min [min: 25, max: 35]
Uitlaadtijd	Norm. Dist. $\mu = 20$ min, $\sigma = 5$ min [min: 15, max: 25]

Tabel 10 - Oude model

Bij de sinterovens is er ook gekeken naar verschillende programma's voor de klasseringen. Hier acht het management het niet reëel om met verschillende programma's te werken en wordt het in het model ook achterwege gelaten.

4.1.2.2.6 Afstapelen

Het afstapelen is dezelfde handeling als het overstapelen dus hier worden dezelfde gegevens voor gehanteerd. Het afstapelen wordt in de huidige productie op dezelfde plek gedaan als het overstapelen. Dit wordt gedaan omdat de tafels die worden gebruikt voor het overstapelen naast de sinterovens staan. Deze racks zijn zwaar en worden daarom zo dicht mogelijk bij de sinterovens afgestapeld. Voor het afstapelen worden eigenlijk nooit meer dan 2 operators ingepland. De producten worden van de sinterplaten afgehaald en in bakken gedaan die de voorraad in gaan. In deze bakken passen gemiddeld 2000 producten.

4.1.2.2.7 Operators

Op de nieuwe locatie gaan de operators in twee shifts werken. Van 06:00 tot 14:30 en van 15:00 tot 23:30 met beide een uur pauze. In vergelijking met het oude model wordt er per dag 7,5 uur meer gewerkt. Elke shift worden er momenteel gemiddeld 6 operators ingepland.

4.1.2.2.8 Defecten

In het oude model wordt er geen rekening gehouden met defecten die tijdens het proces kunnen ontstaan. Alle producten zullen het model verlaten als goed product. In werkelijkheid is dit niet het geval.

Bij het spuitgieten worden in ieder geval de producten voor en na het schoonmaken van de matrijs weggegooid. Om erachter te komen hoeveel defecten er ontstaan zijn er metingen gedaan (tabel 11). Deze defecten nemen wel capaciteit in beslag en zijn dus belangrijk om mee te nemen.

Dag	1	2	3	4	5	6	7	8
Spuitgegoten producten	922	284	649	334	1058	622	1228	540
Defecten	82	16	28	14	64	33	65	22
%	8,89%	5,63%	4,31%	4,19%	6,05%	5,31%	5,29%	4,07%
							Gemiddelde	5,47%

Tabel 11 - Defecten spuitgieten

Niet alleen bij het spuitgieten komen er defecten voor. Als de producten worden overgestapeld komen er ook defecten aan het licht. Deze worden vervolgens weggegooid en nemen geen plek in de sinteroven in. Ook deze defecten zijn daarom belangrijk om mee te nemen in het model. Het afgelopen half jaar is er door het management bijgehouden hoeveel goede producten er per week worden spuitgegoten en hoeveel goede producten er

uit de sinteroven komen. Uit deze gegevens (bijlage G) blijkt dat er na het spuitgieten nog 7,5% aan producten uit het proces verdwijnt.

4.1.2.2.9 Productielocaties

Tussen verschillende productiestappen moeten de operators kleine stukken lopen. De locatie in Enschede is een stuk groter dus de totale loopafstanden (tabel 14) zijn langer. De afstanden tussen de opvolgende productiestappen zijn daarentegen een korter dan in de locatie in Oldenzaal (tabel 13). De afstanden naar het afstapelen en van het afstapelen naar de voorraad zijn toegevoegd.

	Ingang	Spuitgieten	Water Debinden	Thermisch Debinden	Overstapelen	Sinteren
Ingang	x	9	28	10	28	23
Spuitgieten		x	23	5	23	18
Water Debinden			x	24	8	13
Thermisch Debinden				x	22	19
Overstapelen					x	5
Sinteren						x

Tabel 13 - Loopafstand Oldenzaal in meters

	Ingang	Spuitgieten	Waterdebinden	Thermisch debinden	Overstapelen	Sinteren	Afstapelen	Voorraad
Ingang	x	40	15	7.5	5	0	5	10
Spuitgieten		x	25	32.5	35	40	35	50
Waterdebinden			x	7.5	10	15	10	25
Thermisch debinden				x	2.5	7.5	2.5	17.5
Overstapelen					x	5	0	15
Sinteren						x	5	10
Afstapelen							x	15
Voorraad								x

Tabel 12 - Loopafstand Enschede in meters

4.1.2.2.10 Transportbatch

Voor de nieuwe locatie worden karren aangeschaft waardoor producten na het spuitgieten worden verzameld en per 12 platen en kunnen worden weggebracht.

4.1.3 Experimentele variabelen

Veel van de input die in §4.1.2.2 besproken is, staat vast. Daarnaast is er ook input die veranderd kan worden en waarmee geëxperimenteerd kan worden (tabel 14). De experimentele variabelen worden in deze paragraaf besproken, de andere input blijft bij alle experimenten gelijk.

Experimentale variabelen
Aantal spuitgietmachines
Aantal operators
Soort product of verhouding producten
Soort product op platen
Indeling locatie
Operator per spuitgietmachine

Tabel 14 - Experimentele variabelen

- In het meerjarenplan van het management staan plannen voor meer spuitgietmachines en operators in de komende jaren. Hier kan mee geëxperimenteerd worden om te testen of deze plannen met de bijbehorende vraag overeenkomen.
- Door de klassering aan te brengen voor de producten kan er in het model geëxperimenteerd worden met verschillende klasseringen van de producten. De verhouding van grote, gemiddelde en kleine producten kan hierbij aangepast worden. Hoe de toekomstige vraag er precies uit ziet is onzeker en het is zinvol om te weten hoe het proces zich gedraagt met verschillende verhoudingen of producten.
- Een plaat kan gevuld worden met een mix van producten of met enkel producten van dezelfde klassering. Door de verschillende productietijden voor de debindstappen kan dit mogelijk winst opleveren. Dit zullen experimenten moeten uitwijzen.
- De uiteindelijke indeling van de productielocatie in Enschede staat nog niet vast en standplaatsen van machines kunnen nog verplaatst worden.
- In het huidige productieproces wordt momenteel geëxperimenteerd met een robot die bij het spuitgieten de nabewerking doet. Dit zou betekenen dat niet elke spuitgietmachine 100% van de tijd van een operator nodig heeft. In dit geval zou een operator meerdere spuitgietmachines draaiende kunnen houden.

4.1.4 Output variabelen

De veranderingen van de experimentele variabelen kunnen beoordeeld worden aan de hand van de outputvariabelen. De outputvariabelen zijn in tabel 15 weergegeven.

Output variabelen
Aantal sinterplaten in gebruik
Aantal debindplaten in gebruik
Benutting productiecapaciteit per stap (%)
Aantal kilo en producten spuitgegoten per week
Aantal kilo en producten afgestapeld per week
Aantal uren gewerkt per week
Aantal minuten arbeidstijd per kilo

Tabel 15 - Output variabelen

- Het is voor de verschillende inrichtingen van het proces belangrijk om te weten hoeveel van deze sinterplaten er in gebruik zijn geweest. Zo kan het management het juiste aantal platen aanschaffen zodat de productie hierdoor nooit hoeft komen stil te liggen. Aan de andere kant wordt er ook niet onnodig geld uitgegeven aan teveel platen.
- Door de benutting van de verschillende productiestappen te bepalen kan er per experiment bepaald worden waar de bottlenecks liggen.
- Met de informatie over de aantallen producten en kilo's kan bepaald worden of de input de juiste capaciteiten heeft om te voldoen aan de vraag die er verwacht wordt.
- Het aantal uren gewerkt per week is een belangrijke kostenpost en is voor de verschillende experimenten belangrijk om in de gaten te houden.
- Het aantal minuten arbeidstijd per kilo kan bij verschillende experimenten een belangrijke variabele zijn voor het testen van een optimalisatie.

4.1.5 Scope model

Niet alle onderdelen die werkelijk voorkomen in het productieproces zijn nuttig voor het doel van deze simulatie. Om het model werkbaar te houden worden alleen de onderdelen meegenomen die noodzakelijk zijn om het doel te bereiken. Hierbij wordt er eerst ingegaan op de breedte van het hele productieproces en wat er binnen de scope valt. Daarna wordt er voor de binnen de scope vallende onderdelen ingegaan tot op welk detailniveau deze onderdelen in de scope vallen.

4.1.5.1 Algemene scope model

- De productiestappen zijn in tabel 16 genoteerd in de volgorde van doorlopen van het proces. Hierbij is ervoor gekozen om alleen de productiestappen mee te nemen waar operators voor nodig zijn. Feedstock mengen, testen en verzenden worden uitbesteed of gedaan door het ondersteunende personeel. Dit heeft geen directe invloed op de doorloop van het proces en wordt daarom buiten de scope gelaten.
- Binnen de scope vallen van de werknemers ook alleen de operators. Deze zijn direct verantwoordelijk voor het produceren en essentieel voor het model. Het ondersteunend personeel is onmisbaar maar voor het bepalen van capaciteiten en bottlenecks niet relevant.
- In het proces worden veel verschillende (klein, gemiddeld en groot) producten geproduceerd. Dit zorgt ervoor dat het gedrag van het proces kan verschillen per product. Dit heeft invloed op de capaciteit en bottlenecks van het proces. Om hier inzicht in te krijgen worden de verschillende types producten in dit model meegenomen.
- De sinter- en debindplaten zijn een belangrijk onderdeel voor de flow in het proces. Als alle platen in gebruik zijn kan het proces stil komen te liggen. Meer informatie hierover is belangrijk voor het management.

Productiestappen	Binnen scope
1 Feedstock mengen	
2 Smitgieten	x
3 Waterdebinden	x
4 Thermisch debinden	x
5 Overstapelen	x
6 Sinteren	x
7 Afstapelen	x
8 Testen	
9 Verzenden	

Werknemers	
Operators	x
Ondersteunend personeel	

Type product	x
--------------	---

Tabel 16 - Algemene scope model

4.1.5.2 Detailniveau

In tabel 18 worden de verschillende onderdelen in detail besproken: welke details binnen de scope vallen, welke erbuiten en voor welke details een aanname of vereenvoudiging is gedaan.

Onderdelen scope	Detail	Binnen scope	Opmerking
Productiestappen			
<i>Spuitsgieten</i>	Aantal	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Productietijd	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Nabewerkingstijd	x	Info in hoofdstuk 4.1.3.2
	Matrijs verwisselen	x	Vereenvoudiging 1
	Fractie mislukt	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Defecten machine	x	Vereenvoudiging 1
	Schoonmaken	x	Vereenvoudiging 1
	Bijvullen feedstock	x	Vereenvoudiging 1 en Aannamen 4
<i>Waterdebinden</i>	Aantal	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Productietijd	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Inladen/uitladen	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Fractie mislukt	x	Aannamen 1
	Defecten machine		Aannamen 2
	Schoonmaken		Aannamen 2
<i>Thermisch debinden</i>	Aantal	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Productietijd	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Inladen/uitladen	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Fractie mislukt	x	Aannamen 1
	Defecten machine		Aannamen 2
	Schoonmaken		Aannamen 2
<i>Overstapelen</i>	Aantal werkplekken	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Productietijd	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Fractie mislukt	x	Info in hoofdstuk 2.4
<i>Sinteren</i>	Productietijd	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Inladen/uitladen	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Fractie mislukt		Aannamen 1
	Defecten machine		Aannamen 2
	Schoonmaken		Aannamen 2
<i>Afstapelen</i>	Aantal werkplekken	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Productietijd	x	Info in hoofdstuk 2.4
Operators			
	Aantal	x	Vereenvoudiging 2
	Shifttijden	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Prioriteiten werkzaamheden	x	Vereenvoudiging 3
	Effectiviteit	x	Aannamen 3
	Looptempo	x	Aannamen 3
Type product			
	Gewicht	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Aantallen op plaat	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Productietijden	x	Info in hoofdstuk 2.4
	Batch		Vereenvoudiging 4
Platen			
	Aantal sinterplaten	x	Vereenvoudiging 5
	Aantal debindplaten	x	Vereenvoudiging 5

Tabel 17 - Scope op detailniveau

4.1.6 Aannames en vereenvoudigingen

Om het model simpel en werkbaar te houden moeten aannames en vereenvoudigingen gemaakt worden ten opzichte van de realiteit. Dit heeft de volgende doelen:

- De onderdelen die weinig invloed hebben op de nauwkeurigheid van het model worden niet meegenomen.
- Complexe onderdelen te laten vertegenwoordigen door simpele componenten die ervoor zorgen dat de nauwkeurigheid van het model goed genoeg blijft om het doel van de simulatie te bereiken (Robinson 2014).

Alle aannames en vereenvoudigingen zijn voorgelegd aan het management om te controleren of deze aannames en vereenvoudigingen de nauwkeurigheid van het model niet teveel aantasten en de uitkomsten van het model betrouwbaar blijven. Hier zijn de aannames en vereenvoudigingen van §4.1.4.1 en §4.1.4.2 uitgekomen. In §4.1.4.3 wordt de vereenvoudiging van de producten in dit model besproken.

4.1.6.1 Aannames

Een aanname wordt gedaan, omdat er te weinig bekend is over het desbetreffende onderdeel om het realistisch weer te geven. Een aanname zorgt ervoor dat het model toch ontwikkelt kan worden.

1. Vanuit de productiegegevens is bekend dat vanaf het spuitgieten totdat de producten uit de sinteroven komen er 7.5% van de producten verdwijnt of kapot gaat. Het is onbekend waar deze producten precies verdwijnen en deze 7.5% kan niet met zekerheid aan de verschillende productiestappen worden toegewezen. Het vermoeden is dat de meeste producten worden weggegooid tijdens het overstapelen. Alle producten worden hier bekeken en mogelijke defecten kunnen hier worden geïdentificeerd. Hiervoor wordt aangenomen dat deze 7.5% bij het overstapelen het proces verlaten. Zo kan de capaciteit van de sinteroven beter worden getest.
2. De waterbakken en de ovens zijn niet altijd 100% beschikbaar. Ze kunnen weleens stuk gaan of onderhoud nodig hebben. Het is verder onduidelijk hoe vaak en wanneer dit is. Hiervoor wordt er aangenomen dat de waterbakken en de ovens nooit stuk gaan en geen schoonmaak nodig hebben.
3. In werkelijkheid zijn niet alle operators gelijk en werkt de ene operator sneller dan de andere. Voor dit model wordt aangenomen dat alle operators gelijk zijn. Alle operators werken met een effectiviteit van 80% en lopen tussen de verschillende processtappen met een standaard wandeltempo (1.5 m/s).
4. Feedstock moet besteld worden en het kan voorkomen dat dit niet of te laat is gebeurd. Voor het model wordt er aangenomen dat deze fout nooit wordt gemaakt en dat er altijd feedstock aanwezig is.

4.1.6.2 Vereenvoudigingen

Een vereenvoudiging is een versimpeling van het realistische proces. Van een bepaald onderdeel van de productie is de werkelijkheid bekend, maar het kan een complex onderdeel zijn. Als het versimpelen van dit onderdeel niet veel invloed heeft op de uitkomst, kan het beter versimpeld worden. Zo blijft het model simpel en werkbaar.

1. Bij het spuitgieten zijn er verschillende handelingen (tabel 18) die ervoor zorgen dat de machine stil komt te liggen. Uit de productiegegevens en overleg met het management blijkt dat de overall equipment effectiveness (OEE) van de spuitgietsmachines op 70% zit. In het model worden de verschillende handelingen

die tot stilstand kunnen leiden weggelaten en wordt de beschikbaarheid van de spuitgietmachines op 70% gezet.

2. Over het algemeen worden er altijd 6 operators ingepland om te werken. Dit wil niet zeggen dat er altijd 6 operators aan het werk zijn. Bij de operators kan er uitval zijn of sommige operators worden ingepland op activiteiten die niet binnen de scope van dit onderzoek vallen. Voor het model wordt er vanuit gegaan dat er geen uitval is en dat de ingeplande operators aan het werk zijn.
3. In werkelijkheid is er geen duidelijke prioriteit voor de werkzaamheden die de operators moeten verrichten. Er wordt gedaan wat op dat moment nodig is. Hier zit geen duidelijke lijn in. Voor het model worden de prioriteiten gezet zoals in tabel 19.

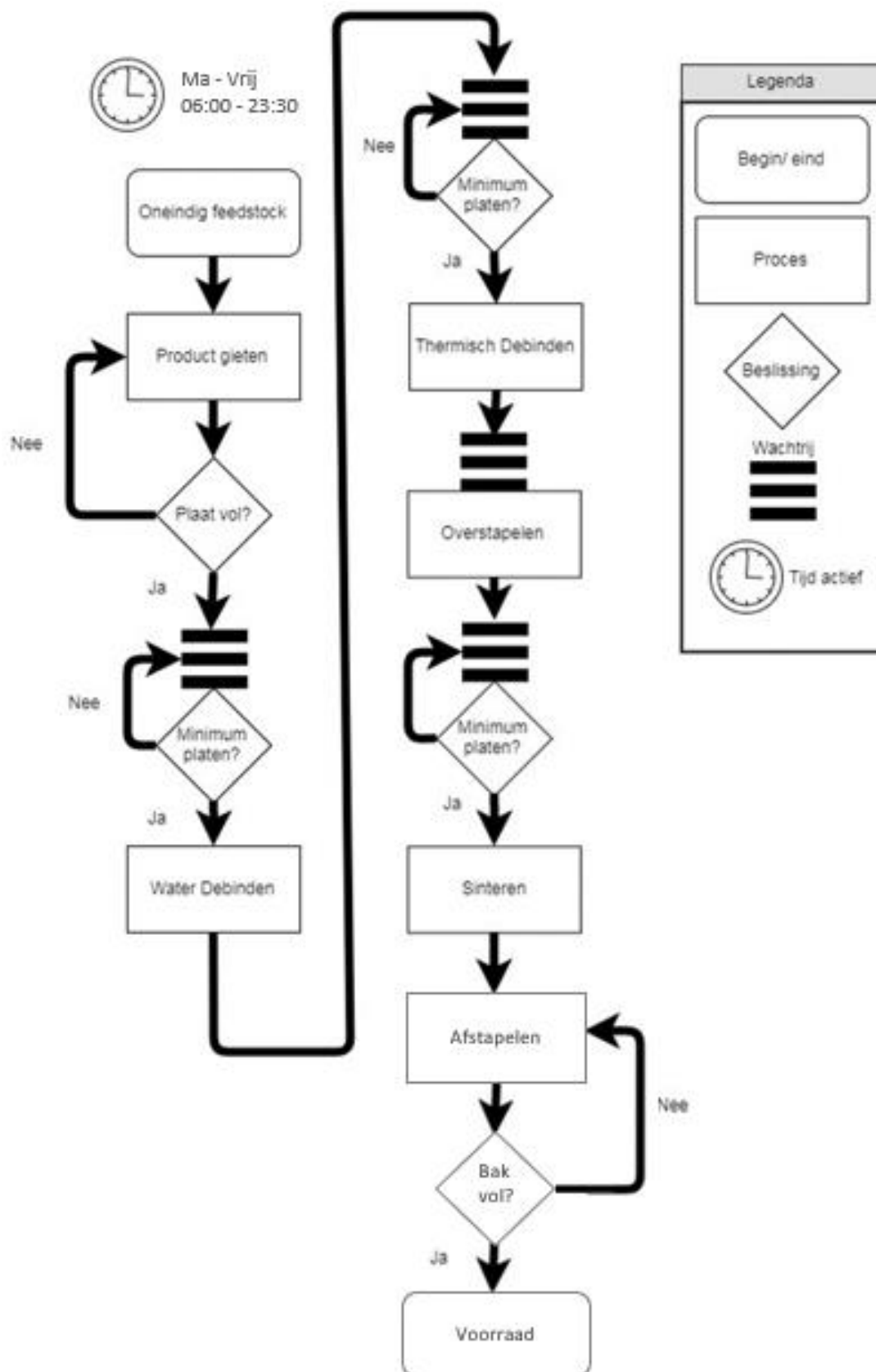
Prioriteit werkzaamheden	
1	<i>Uitladen/inladen oven en waterbakken</i>
2	<i>Overstapelen en afstapelen</i>
3	<i>Spuitgieten</i>

Tabel 18 - Prioriteit werkzaamheden

4. Producten worden in batches geproduceerd, omdat de matrijs per product gewisseld moet worden. Welk product wanneer geproduceerd wordt en hoeveel per batch geproduceerd wordt, gebeurt op intuïtie. Er wordt naar de voorraad gekeken en bepaald welk product en hoeveel ervan nodig zijn. Hier zit weinig lijn in en heeft uiteindelijk weinig invloed op het doel van de simulatie. Als er in het model met de mix van producten wordt geproduceerd kunnen verschillende klasseringen door elkaar worden geproduceerd.
5. In het model zijn er oneindig veel platen beschikbaar. In werkelijkheid is dit niet zo, maar om te kunnen bepalen hoeveel platen er in totaal nodig zouden zijn op de nieuwe locatie zijn er in het model oneindig veel platen beschikbaar.

4.1.7 Flowdiagram

In figuur 8 is het flowdiagram van het model te zien. Aan de hand van deze procesflow is het model opgezet. Hierbij wordt er in eerste instantie vanuit gegaan dat een oven pas aangaat als er genoeg platen zijn om de oven compleet vol te laden. Als dit niet het geval is, wordt er op meer platen gewacht. Bij experimenten kan de procesflow nog enigszins veranderen. Het afstapelen is toegevoegd aan het flowdiagram zoals Guus Dubbink (2018, p. 44) deze heeft beschreven.



Figuur 8 - Flowdiagram

4.2 IMPLEMENTATIE MODEL IN SOFTWARE

Om het conceptuele model te laten draaien door een computer moet het geïmplementeerd worden in software. Welke software hiervoor gekozen is en hoe het model er uiteindelijk in deze software uit ziet word in deze paragraaf besproken.

4.2.1 Software

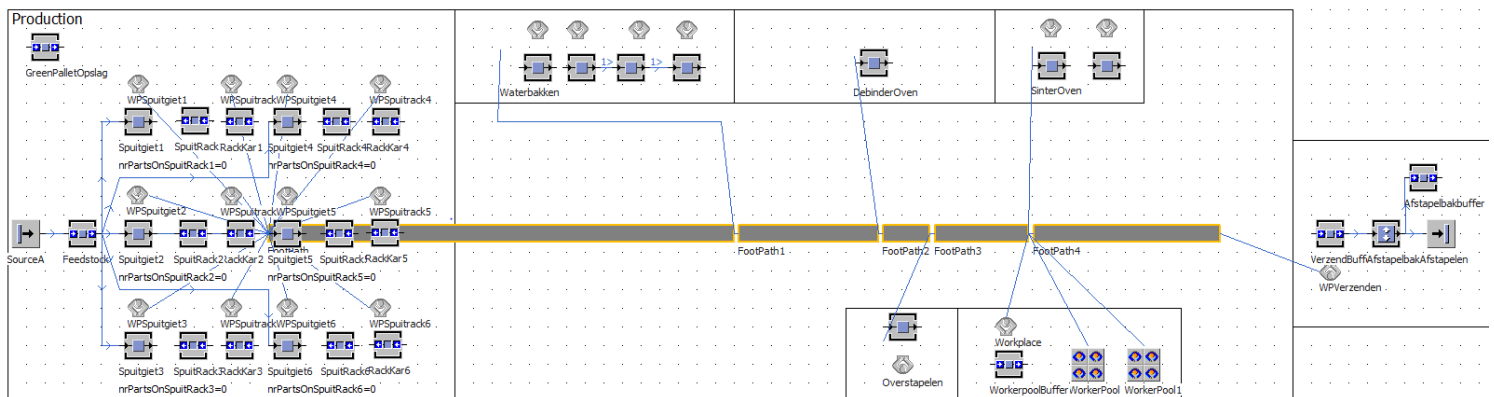
In dit onderzoek is er gekozen voor Siemens Plant Simulation. Deze keuze vloeit voort uit een samenwerking van Siemens met de Universiteit Twente en het al bestaande model. Plant Simulation maakt gebruik van verschillende voorgeprogrammeerde servers, buffers, queues en connectoren. Waar deze voorgeprogrammeerde onderdelen niet de juiste taken uitvoeren, kan er gebruikt gemaakt worden van methodes waarin code geplaatst kan worden om bijvoorbeeld verschillende productiestappen aan elkaar te linken op een complexere manier dan slechts een connector. Er wordt ook code gebruikt in het model die ervoor zorgt dat het model de juiste output bijhoudt.

4.2.2 Het model in de software

In figuur 9 is het model te zien in Plant Simulation. Voor het overzicht zijn de waterbakken, de debindovens, de sinterovens en het overstapen/afstapelen in andere frames

Voor de verschillende klasseringen is er een dropdownlist ingebouwd waarmee gekozen kan worden welke producten het model moeten doorlopen. Hierbij kan er de keuze gemaakt worden tussen kleine, gemiddelde, grote of een mix van producten. In bijlage G is de code bijgevoegd die wordt doorlopen als een product klaar is met het spuitgieten. Hier wordt bepaald welk product als volgende wordt spuitgegoten en of de plaat vol is. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de user-defined attribute palletfactor om te bepalen hoeveel ruimte het product inneemt op een plaat.

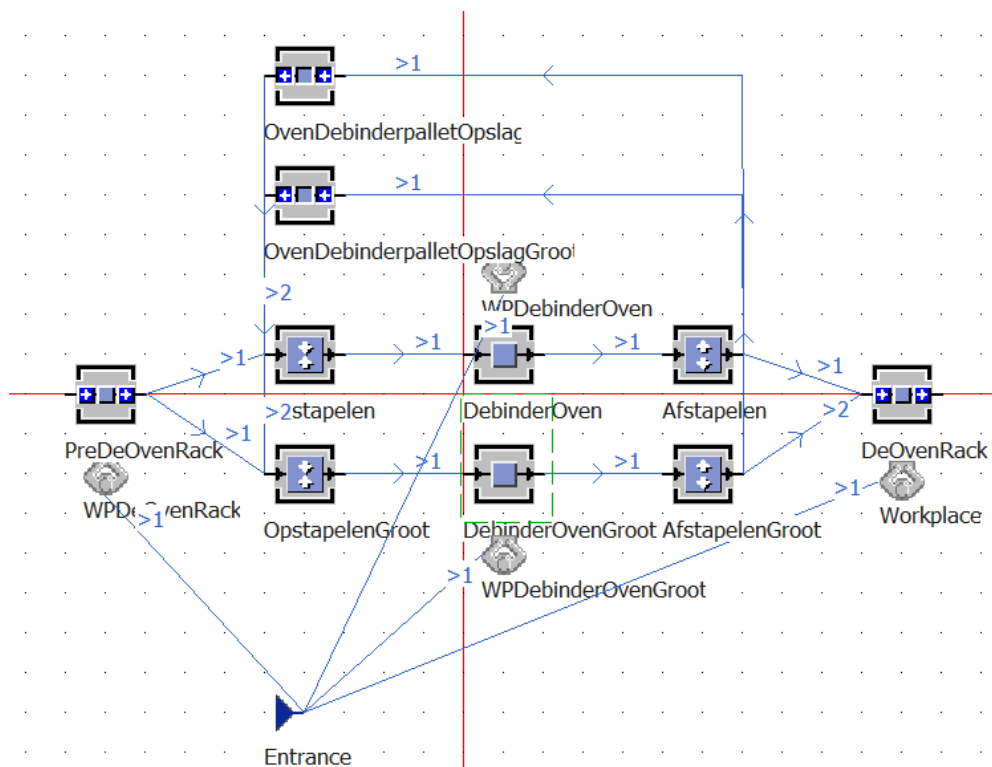
De spuitgietmachines zijn links in het model geplaatst. Elke spuitgietmachine heeft 2 buffers waar een container (plaat en rackkar) geplaatst wordt. Als de plaat vol zit wordt hij op de rackkar geplaatst. Hier wordt geen operator voor aangeroepen. Als de rackkar vol zit, wordt er een operator aangeroepen om de kar naar het waterdebinden te brengen. Het model gebruikt verschillende producten met verschillende productietijden. Hiervoor wordt er elke keer als een product een productiestap binnenkomt een methode aangeroepen om de juiste productietijd te bepalen.



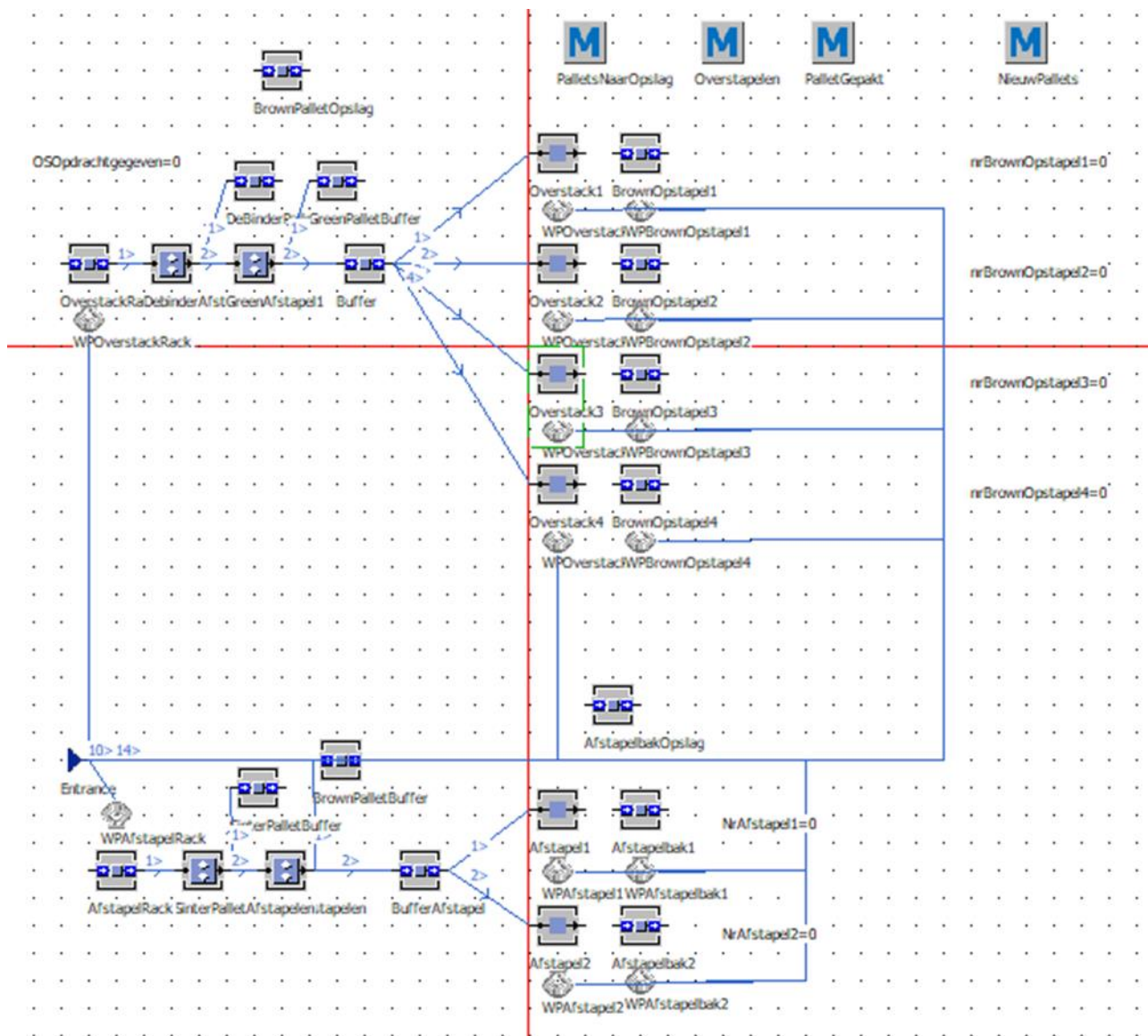
Figuur 9 - Model in Plant Simulation

Om de defecten het model te laten verlaten is er in de methode, die wordt aangeroepen als producten een spuitgietmachine of overstack processing station binnenkomen, een stuk code toegevoegd. Deze code neemt een random getal wat bepaald of het product defect is. Als dit het geval is, wordt het product uit het model verwijderd.

Het model maakt gebruik van verschillende containers die ervoor zorgen dat het juiste aantal platen en juiste aantal producten een bepaalde machine ingaan. Dit is goed te zien in het frame van de debindovens. De nieuwe debindovens kan twee keer zoveel platen verwerken als de oudere oven. Hiervoor zijn verschillende containers die eerst vol moeten voordat de debindovens kunnen gaan produceren. Hetzelfde principe wordt gehanteerd bij de andere frames. De andere frames kunnen in detail in bijlage I bekeken worden.



Figuur 10 - Debindoven frame



Figuur 11 - Overstapel/afstapel frame

Zoals in figuur 11 te zien is staat het overstapelen en afstapelen in hetzelfde frame. Dit is gedaan, omdat het op dezelfde plek gebeurt. Er worden voor het afstapelen niet meer dan twee personen ingepland dus zijn er ook maar twee plekken om af te stapelen. In totaal zijn er maar vier plekken voor het overstapelen en het afstapelen. Om dit na bootsen kunnen maar vier operators in het model deze handelingen uitvoeren. Zo zijn er nooit meer dan vier operators in dit frame aanwezig.

Elk product werd bij het overstapelen in eerste instantie gezien als een andere taak, waardoor de operator steeds om en om een product overstapelde en spuitgoot. In werkelijkheid gebeurt dit niet en heeft Guus Dubbink een stuk code geschreven dat ervoor zorgt dat operators pas weer gaan spuitgieten als het overstapelen klaar is. Voor het afstapelen is deze code ook gebruikt om het heen en weer lopen van de operators te voorkomen.

Als de producten zijn afgestapeld en de bak, die in de voorraad wordt geplaatst, vol is, dan verlaten de producten het model aan de rechterkant (figuur 9).

4.3 VALIDATIE EN VERIFICATIE

Validatie en verificatie zijn belangrijke onderdelen die ervoor zorgen dat er vertrouwen is in de uitkomsten van het model. Verificatie is het proces dat ervoor moet zorgen dat het conceptuele model met genoeg nauwkeurigheid is omgezet naar een computermodel (Davis, 1992). De validatie moet ervoor zorgen dat het model nauwkeurig genoeg is voor het beoogde doel (Carson, 1986). Voor het valideren en verifiëren zijn er verschillende manieren. Daar kunnen voor dit onderzoek er maar een paar van gebruikt worden. Het model is gemaakt voor een situatie in de toekomst en er is geen realiteit waarmee de uitkomsten van het model vergeleken kunnen worden. In dit onderzoek worden er van de volgende manieren gebruik gemaakt: validatie van het conceptuele model, verificatie en white-box validatie en black-box validatie.

4.3.1 Validatie van het conceptuele model

Grote delen van het conceptuele model zijn samen met het management opgesteld. De meeste informatie is ingewonnen bij het management en veel van de keuzes in het conceptuele model zijn in overleg gemaakt. Hieruit wordt geconcludeerd dat de aannames kloppen met de ervaring op de werkvloer.

Het gehele conceptuele model is uiteindelijk aan het management gepresenteerd. Per productiestap is bekeken of deze overeenkomt met de visie die het management voor de nieuwe productielocatie heeft. Hierbij zijn de aannames en vereenvoudigingen ook aan bod gekomen. Hier werd niet van verwacht dat ze de nauwkeurigheid ernstig aantastten om het doel te bereiken. Na de presentatie zijn er nog kleine aanpassingen in het conceptuele model gedaan en kan het conceptuele model als valide beschouwd worden.

4.3.2 Verificatie en white-box validatie

Verificatie en white-box validatie zijn in essentie verschillend, maar worden samen behandeld omdat het beide iteratieve processen zijn die tijdens het maken van het computermodel constant gebruikt worden.

Verificatie kan tijdens het gehele proces van het maken van het computermodel gedaan worden. Tijdens het maken van het computermodel is er steeds goed gekeken naar de beschrijving van het conceptuele model. Hierbij is vooral de flow door het proces belangrijk. De producten moeten het computermodel net zo doorlopen als in het conceptuele model beschreven is. Ook is de meeste input voor het model buiten de code in Plant Simulation goed zichtbaar op het hoofdframe. Hier kan goed gecheckt worden of de juiste input door het model loopt.

Waar verificatie voornamelijk op zichzelf gedaan kan worden is er voor white-box validatie de kennis nodig van het proces in de realiteit. Hiervoor is samen met het management stap voor stap door het model gelopen om te checken of het model klopt met het proces in de realiteit. De weg die een product aflegt in het model kwam overeen met de realiteit. Ook is de output van de verschillende klasseringen bekeken om te kijken of hier een logische trend in zit. Bij grote producten zouden de waterbakken door de langere productietijd bijvoorbeeld een hoger capaciteitsgebruik moeten hebben dan bij de kleine producten. Hier klopt de logica met de output.

4.3.3 Black-box validatie

In hoofdstuk 3 is geïntroduceerd hoe het algehele gedrag van een simulatiemodel vergeleken kan worden met deterministisch model.

Voor de verschillende productiestappen is de maximale throughput berekend op basis van aannames die in hoofdstuk 3 gesteld zijn. Dit is gedaan voor de verschillende klasseringen om te testen of de flow voor elk product goed is afgesteld in het simulatiemodel. Uit de throughput van de verschillende productiestappen kan de laagste throughput als bottleneck beschouwd worden. De bottleneck bepaalt de maximale throughput van het hele systeem. Hier zijn de spuitgietsmachines niet in meegenomen, omdat deze voor de aankomsten van producten in het systeem zorgen en in het deterministische model niet als bottleneck kunnen optreden. In tabel 19 zijn de verschillende throughputs per uur weergegeven. Deze zijn berekend op basis van productietijd, aantal platen per machine, aantal producten op een plaat en aantal machines.

$$\text{Throughput per uur} = \frac{\text{Aantal platen} \times \text{Aantal producten op een plaat} \times \text{Aantal machines}}{\text{Productietijd per aantal platen in uren}}$$

	Throughput producten per uur				
	Waterbakken	Thermisch debinden	Overstapelen	Sinteroven	Afstapelen
Groot	213,33	288,00	1440,00	287,50	1440,00
Gemiddeld	1504,00	1804,80	1440,00	405,00	1440,00
Klein	7024,00	6321,60	1440,00	1150,00	1440,00

Tabel 20 - Throughput per productiestap per klassering

Om het simulatiemodel hiermee te kunnen vergelijken moet dit worden aangepast. In het simulatiemodel worden de stochastische processen verwijderd en wordt er 7 dagen per week dag en nacht gewerkt. Hiermee wordt het model 50 dagen gerund (exclusief opwarmtijd). De deterministische throughput is bepaald door de throughput per uur van de bottleneck te vermenigvuldigen met het 1200 uur (aantal uren in 50 dagen).

	Deterministisch	Simulatie	Vershil
Groot	256.000	254.127	0,73%
Gemiddeld	486.000	484.242	0,36%
Klein	1.380.000	1.375.369	0,34%

Tabel 19 - Vergelijking throughput simulatiemodel en deterministisch model

Zoals in tabel 20 te zien is, is er een klein verschil tussen de output van het simulatiemodel en het deterministische model. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het algehele gedrag van het simulatiemodel valide is.

4.4 OPWARMPERIODE, LOOPDUUR EN REPLICATIES

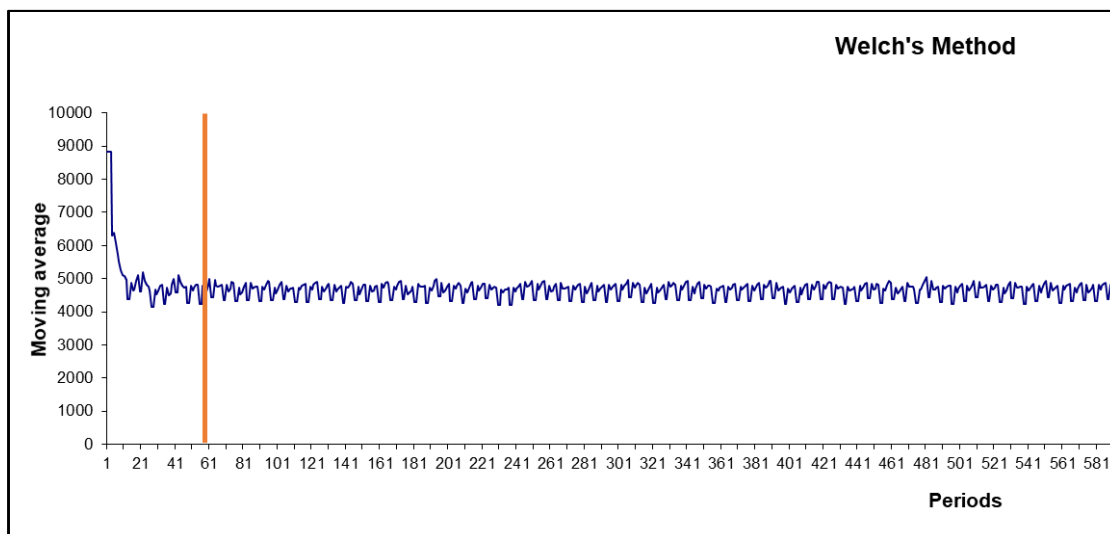
Om een betrouwbare uitkomst te krijgen van de experimenten is het belangrijk dat de juiste opwarmperiode, loopduur en replicaties van de experimenten bepaald worden.

4.4.1 Opwarmperiode

Het doel van de simulatie is meer inzicht krijgen in het productieproces. Hierbij gaat het vooral om het gedrag van het proces over een langere tijd. Dit model is daarom ook een non-terminating en steady state model. Om het doel te bereiken gaat om het proces in een steady state. Alleen de steady state wordt geanalyseerd en de opwarmperiode om in deze staat te komen wordt niet meegenomen.

Voor het bepalen van de opwarmperiode wordt als data de doorloop van het aantal producten door het proces genomen. Deze data hebben een grote invloed op de output van het model.

Voor het bepalen van de opwarmperiode zijn er veel verschillende methodes. Volgens Robinson (2014) is de Welch's methode een veel gebruikte manier om de opwarmperiode te bepalen. Het is niet een methode zonder tekortkomingen en volgens Gafarian et al. (1978) wordt de opwarmperiode over het algemeen te lang geschat. De opwarmperiode is naar verwachting niet lang en is een te lang geschatte opwarmtijd is in dit onderzoek geen ramp. De Welch's methode maakt gebruik van de moving averages van verschillende replicaties. Het aantal dagen waar de moving average over wordt berekend blijft hetzelfde (window). De data om de opwarmperiode te bepalen zijn gebaseerd op vijf replicaties van duizend dagen. Doordat het gemiddelde van de weken een steady state moeten bereiken is de window op zeven gezet.



Figuur 12 - Bepaling opwarmtijd

Vanaf 60 dagen lijkt de steady state bereikt te zijn voor het gemiddelde van het aantal producten per week. De opwarmtijd wordt op 60 dagen gezet.

4.4.2 Looptijd

Voor de looptijd van een simulatie is de vuistregel volgens Robinson (2014) dat de loopduur minimaal 10 keer zo lang moet zijn als de opwarmperiode. Dit zou voor dit model betekenen dat de looptijd 600 dagen moet zijn. Om er zeker van te zijn dat de looptijd lang genoeg is, wordt deze voor de zekerheid op 1000 dagen gezet.

4.4.3 Replicaties

Om verschillende random nummerreeksen door het model te laten lopen moeten er bij de experimenten meerdere replicaties gedaan worden waarbij de random nummerreeksen van elkaar verschillen. De output van het model verschilt tussen de verschillende replicaties en door meerdere replicaties te gebruiken worden de uitkomsten betrouwbaarder. Law en McComas (1990) adviseren om tenminste 3 tot 5 replicaties te gebruiken.

Om te bepalen hoeveel replicaties er voor dit model nodig zijn, wordt de output data van verschillende replicaties bekeken. Hiervoor wordt de betrouwbaarheidsinterval methode gebruikt (Robinson, 2004). Hierbij betekent een klein interval een betere nauwkeurigheid. Het interval wordt over het algemeen kleiner als er meer data van verschillende replicaties wordt gebruikt. Het interval wordt als volgt berekend:

$$CI = \bar{X} \pm t_{n-1, \alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Waarbij:

$\bar{X}$ = gemiddelde waarde van de output data

S = Standaard deviatie ($S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$)

n = Aantal replicaties

$t_{n-1, \alpha/2}$ = Waarde van de Student's t-verdeling met $n-1$ vrijheidsgraden en een significantie van $\alpha/2$

Als de deviatie van het interval kleiner is dan het gestelde significantie level bij een aantal replicaties wordt dit aantal gekozen en beschouwd als nauwkeurig genoeg.

Om het aantal replicaties te bepalen zijn er met het model 10 replicaties gedaan en de gemiddelde verzonden producten bepaald per replicatie. Hiermee zijn de betrouwbaarheidsintervallen bepaald (bijlage K). Na drie replicaties is te zien dat de nauwkeurigheid zich onder de 2% bevindt. Dit wordt beschouwd als nauwkeurig genoeg en wordt in dit onderzoek gebruik gemaakt van drie replicaties.

4.5 CONCLUSIE

In dit hoofdstuk is besproken hoe het toekomstige MIM-proces in een model weergegeven kan worden. Hiervoor is eerst het oude model bekeken en bepaald wat hiervan gebruikt kan worden voor een model over de toekomst. Vervolgens is het nieuwe conceptuele model opgebouwd en geïmplementeerd in Plant Simulation. Hierbij is het model gevalideerd en geverifieerd en blijkt dit model voor het doel van dit onderzoek geschikt. Om het model te kunnen gebruiken voor experimenten zijn als laatste de opwarmtijd, de looptijd en het aantal replicaties bepaald. In het volgende hoofdstuk zullen er met model experimenten gedaan worden.

5 EXPERIMENTEN EN INTERVENTIES

Met het model zullen er een aantal experimenten gedaan worden van scenario's die in de toekomst mogelijk voor gaan komen. Deze experimenten zijn bepaald op basis van de verwachte toekomstige vraag en mogelijke veranderingen in het proces. Eerst wordt er besproken wat er getest gaat worden en hoe de inrichting van de experimenten eruit ziet. De uitkomsten van de experimenten worden vervolgens besproken. Na elk experiment zal er een korte conclusie beschreven worden.

5.1 EXPERIMENTEEL ONTWERP

Er kan een oneindig aantal aan verschillende scenario's getest worden in dit onderzoek. In dit onderzoek is er een beperkte tijd beschikbaar en kan niet elke mogelijkheid getest worden. Er is een selectie gemaakt van scenario's die met de huidige kennis de werkelijkheid het beste benaderen.

Dit bestaat uit de volgende onderdelen:

- Eerst wordt er een nulmeting gedaan. Het model wordt met de meest simpele instellingen voor de verschillende klasseringen gerund. Dit wordt als basis genomen om andere experimenten mee te kunnen vergelijken. (§5.2)
- Met de 'Theory of Constraints' wordt er gekeken naar wat er in het proces nodig is om de toekomstige verwachte vraag te kunnen vervullen. De productie wordt steeds verhoogd door steeds extra capaciteit toe te voegen in de vorm van machines en operators. De verhogingen gaan door totdat de verwachte vraag van 2021 voldaan is. Ook wordt er rekening gehouden met de beste indeling van operators in het proces. (§5.3)
- Vanaf de nulmeting en in verschillende capaciteitsvergrotingen worden verschillende interventies getest. Bij deze interventies gaat het om een bepaalde investering of een verandering van de inrichting van het proces. Bij een investering zal er gekeken worden of het de investering waard is. Bij de veranderingen wordt getest of het een verbetering voor het proces is en of het de moeite waard is om te implementeren. (§5.4)
- Als laatste wordt er gekeken naar een bijzonder scenario die gebaseerd is op een verwachte order. Met het model kan er een inschatting gemaakt worden wat de impact van het scenario op het proces zal zijn. (§5.5)

5.2 DE NULMETING

Als nulmeting wordt het model genomen zonder enkele interventies en de meest standaardinstellingen voor de nabije toekomst (tabel 17).

Experimentele variabelen	Standaard instellingen
Aantal spuitgietsmachines	6
Aantal operators	6
Soort product of verhouding producten	<i>Verhouding producten en klasseringen zoals bij paragraaf 2.4 beschreven.</i>
Soort product op platen	<i>Verschillende klasseringen op een plaat gerekend met de plaatfactor</i>
Indeling locatie	<i>Op intuïtie gebaseerde indeling (bijlage)</i>
Operator per spuitgietsmachine	1

Tabel 21 - Standaardinstellingen

De nulmeting wordt voor de mix van verschillende producten gedaan en met de verschillende klasseringen.

5.2.1 Mix van producten

Bij een mix van producten liggen er verschillende producten op een plaat en wordt altijd de langste productietijd van de oven en de waterbakken aangehouden. Dit is wat momenteel in de werkelijkheid ook gebeurt, omdat er vrijwel altijd grotere producten bij zitten die de langere productietijd nodig hebben. Dit wordt als standaardinstelling genomen.

Het uitvoeren van een simulatie met de eerder genoemde instellingen levert de volgende output op (tabel 22).

Platen		Bezetting		Producten	
Max debindplaten	219	Operators	98%	Spuitgegoten	4.644.914
Max sinterplaten	145	Spuitgieten	69%	Gereed	4.062.030
Gemiddelde debindplaten	145	Waterbakken	30%	Gereed klein	1.787.765
Gemiddelde sinterplaten	45	Debindovens	34%	Gereed gemiddeld	1.422.699
		Overstapelen	39%	Gereed groot	851.566
		Sinterovens	50%		
		Afstapelen	36%		

Tabel 22 - Nulmeting mix van producten

In hoofdstuk 3 zijn de indicatoren voor de bottlenecks genoemd. Hierin is de bezetting van de totale capaciteit een belangrijke indicator. Daaruit kan geconcludeerd worden dat de operators de bottleneck zijn.

5.2.2 Kleine producten

Bij de kleine producten worden voor het waterdebinden (1 dag) en het thermisch debinden (10 uur) de korte programma's gebruikt.

Dit levert de volgende output op (tabel 23).

Platen		Bezetting		Producten	
Max debindplaten	133	Operators	98%	Spuitgegoten	6.911.508
Max sinterplaten	138	Spuitgieten	58%	Gereed	6.043.020
Gemiddelde debindplaten	76	Waterbakken	4%	Gereed klein	6.043.020
Gemiddelde sinterplaten	49	Debindovens	7%	Gereed gemiddeld	0
		Overstapelen	58%	Gereed groot	0
		Sinterovens	32%		
		Afstapelen	54%		

Tabel 23 – Nulmeting kleine producten

Ook bij de kleine producten zijn de operators de bottleneck. Door de kortere programma's wordt de bezetting van de waterbakken en de debindovens erg laag. Door de grote doorloop aan producten wordt er meer over- en afgestapeld, waardoor er minder tijd is om te spuitgieten. Ook dit zorgt ervoor dat de bezetting van de waterbakken en ovens laag zijn.

5.2.3 Gemiddelde producten

Bij de gemiddelde producten worden voor het waterdebinden (2 dagen) en het thermisch debinden (15 uur) de gemiddelde programma's gebruikt.

Dit levert de volgende output op (tabel 24).

Platen		Bezetting		Producten	
Max debindplaten	162	Operators	98%	Spuitgegoten	4.457.357
Max sinterplaten	220	Spuitgieten	70%	Gereed	3.899.949
Gemiddelde debindplaten	102	Waterbakken	12%	Gereed klein	0
Gemiddelde sinterplaten	64	Debindovens	16%	Gereed gemiddeld	3.899.949
		Overstapelen	38%	Gereed groot	0
		Sinterovens	58%		
		Afstapelen	35%		

Tabel 24 - Nulmeting gemiddelde producten

Ook bij de gemiddelde producten zijn de operators de bottleneck. De doorloop van producten is bij de gemiddelde producten kleiner. De operators hebben meer tijd voor het spuitgieten, in combinatie met de langere productietijden wordt de bezettingsgraad van de waterbakken en de ovens hoger.

5.2.4 Grote producten

Bij de grote producten worden voor het waterdebinden (3 dagen) en het thermisch debinden (20 uur) de langste programma's gebruikt.

Dit levert de volgende output op (tabel 25).

Platen		Bezetting		Producten	
Max debindplaten	318	Operators	98%	Spuutgegoten	2.870.828
Max sinterplaten	106	Spuutgieten	76%	Gereed	2.513.256
Gemiddelde debindplaten	239	Waterbakken	56%	Gereed klein	0
Gemiddelde sinterplaten	43	Debindovens	61%	Gereed gemiddeld	0
		Overstapelen	24%	Gereed groot	2.513.256
		Sinterovens	53%		
		Afstapelen	22%		

Tabel 25 - Nulmeting grote producten

Ook bij de grote producten zijn de operators de bottleneck. Er is een kleine doorstroom in het aantal producten, waardoor de operators veel tijd hebben voor het spuitgieten. De grote producten nemen veel ruimte in op de platen, het aantal gebruikte platen is daardoor hoog en de bezettingsgraden van de waterbakken en de ovens zijn een stuk hoger. Ook in combinatie met de lange programma's zorgt dit voor een sterke stijging van de bezettingsgraden van de waterbakken en debindovens.

5.2.5 Conclusie

Het proces ziet er voor de verschillende klasseringen verschillend uit. De producten worden in werkelijkheid in batches geproduceerd. Hierbij moet zoveel mogelijk geprobeerd worden om verschillende klasseringen aan producten tegelijk in te plannen. Zo ontstaat er een constante flow van producten en kunnen hoge tussenvoorraden voorkomen worden. Bij de kleine en grote producten verschilt het wat de meest tijdrovende productiestappen zijn, door deze producten samen in te plannen houden ze samen het proces in evenwicht.

5.3 VERWACHTE TOEKOMSTIGE VRAAG EN CAPACITEIT

Op basis van de kennis van het management is er een schatting gemaakt hoeveel producten er geproduceerd moeten worden in de komende jaren. Deze schatting is gebaseerd op toezeggingen van nieuwe klanten en op huidige raamcontracten. Door de raamcontracten is een deel in deze schatting verzekerd van afname. Bij de toezegging is er over het algemeen van een 'worst case scenario' uitgegaan. De verwachting van het management is dat deze cijfers (tabel 21 en 22) in realiteit hoger gaan uitvallen.

2019	20.000 kg
2020	35.000 kg
2021	45.000 kg

Tabel 26 – Geschatte vraag per jaar in kg

	2019	2020	2021
Klein	675.250	1.181.688	1.595.278
Gemiddeld	537.000	939.750	1.268.663
Groot	252.500	441.875	596.531
Totaal	1.464.750	2.563.313	3.460.472

Tabel 27 - Geschatte vraag in producten

Uit de nulmeting blijkt dat er met de standaardinstellingen op de nieuwe productielocatie al genoeg geproduceerd kan worden om te voldoen aan de vraag van 2019. Naast de nieuwe waterbakken en nieuwe debindoven zijn er in 2019 geen grote investeringen nodig. Om aan de vraag van 2020 en 2021 te voldoen moet het proces nog enkele capaciteitsvergrotingen krijgen.

Producten	Per jaar
Spuitsgegoten	1.809.385
Gereed	1.582.328
Gereed klein	696.408
Gereed gemiddeld	554.200
Gereed groot	331.720

Tabel 28 - Output producten nulmeting mix per jaar

5.3.1 Theory of constraints

Om erachter te komen hoe de capaciteitsvergroting eruit moet zien om aan de groeiende vraag te voldoen wordt de 'Theory of Constraints' (TOC), zoals deze in hoofdstuk 3 is beschreven, gebruikt.

5.3.1.1 Opzet

Doordat de capaciteit via de TOC wordt vergroot betekent dit dat de productiestap met de hoogste benutte capaciteit de bottleneck is en deze een capaciteitsvergroting krijgt. Het model wordt vervolgens met de capaciteitsvergroting opnieuw getest om de nieuwe output en de mogelijk nieuwe bottleneck te bepalen. De bottleneck wordt opnieuw bepaald en krijgt weer een capaciteitsvergroting. Dit proces gaat door totdat er ruim aan de groeiende vraag kan worden voldaan.

Als begin wordt de nulmeting genomen voor de mix van producten. In 5.1.1. is al geconcludeerd dat de bottleneck de operators zijn.

Bezetting	Nulmeting	+1 operator	+2 operators	+3 operators	+1 spuitgietmachine +3 operators	+1 spuitgietmachine +4 operators
<i>Operators</i>	98%	93%	91%	86%	95%	90%
<i>Spuitsgieten</i>	69%	76%	85%	90%	87%	90%
<i>Waterbakken</i>	30%	33%	37%	39%	41%	45%
<i>Debindovens</i>	34%	37%	41%	43%	46%	49%
<i>Overstapelen</i>	39%	44%	49%	52%	55%	60%
<i>Sinterovens</i>	50%	55%	60%	65%	68%	74%
<i>Afstapelen</i>	36%	40%	45%	48%	51%	55%

Tabel 29 - Bottlenecks en capaciteitstoevoegingen

In tabel 29 zijn de capaciteitstoevoegingen en bijbehorende bottlenecks (rode bezettingsgraden) te zien. In de laatste toevoeging is te zien dat de operators en de spuitgietmachines dezelfde bezettingsgraad hebben en samen de bottleneck vormen. Hieruit werd geconcludeerd dat het voordeel op kan leveren om de spuitgietmachines centraal te nemen voor de operatorindeling en een zo groot mogelijke flow aan producten te creëren. Om dit te kunnen testen wordt met terugwerkende kracht de planning van de operators veranderd.

Per capaciteitsvergroting, die in tabel 29 bepaald zijn, is de indeling van operators aangepast. Met 10 operators en 7 spuitgietmachines worden 7 operators ingepland die zich enkel bezighouden met spuitgieten. De overige operators houden zich bezig met de andere taken, zoals overstapelen en afstapelen. Deze manier van indelen wordt ook bij de andere capaciteitsvergrotingen aangehouden.

Bij het testen van deze manier van indelen wordt duidelijk dat er een minimaal aantal operators bezig moeten zijn met het afstapelen en overstapelen. Als dit niet het geval is, loopt de buffer bij het overstapelen hoog op en zijn er veel debindplaten nodig. Dit is geen wenselijke situatie. Met het minimale aantal operators blijft dit op een normaal pijl. Als er meer operators met het af- en overstapelen bezig zijn gaat dit ten koste van het aantal geproduceerde producten. Dit minimale aantal is dus ook het maximum. Als er niet genoeg operators in het proces zijn om deze taken te scheiden moeten sommige operators spuitgieten en af -en overstapelen combineren.

Bezetting	Nulmeting	+1 operator	+2 operators	+3 operators	+1 spuitgietmachine +3 operators	+1 spuitgietmachine +4 operators
Operators	98%	95%	95%	93%	97%	98%
Spuitgieten	69%	78%	89%	98%	88%	98%
Waterbakken	30%	34%	38%	42%	44%	49%
Debindovens	34%	38%	43%	46%	48%	54%
Overstapelen	39%	45%	51%	56%	59%	65%
Sinterovens	50%	57%	64%	70%	73%	81%
Afstapelen	36%	41%	47%	52%	54%	60%

Tabel 30 – Bottlenecks en bezettingsgraden met spuitgiet gefocuste indeling

De verandering van de indeling van de operators zorgt ook voor een verandering in de bezettingsgraden (tabel 30). De bottlenecks worden beter benut, waardoor er in totaal meer producten geproduceerd kunnen worden (tabel 31).

Producten per jaar	Nulmeting	+1 operator	+2 operators	+3 operators	+1 spuitgietmachine +3 operators	+1 spuitgietmachine +4 operators
Gereed indeling nulmeting	1.582.328	1.760.047	1.957.253	2.080.410	2.217.597	2.415.583
Gereed indeling spuitgiet focus	1.582.328	1.798.241	2.043.775	2.254.232	2.360.240	2.629.938
Verschil	0	38.194	86.521	173.822	142.643	214.355

Tabel 31 - Aantal producten per capaciteitstoevoeging met spuitgiet gefocuste operatorplanning

Omdat deze indeling tot meer productie leidt, wordt er met deze indelingen verder gegaan in het vergroten van de capaciteit. De bottlenecks zijn met deze indeling niet veranderd en blijven dus door voorgaande capaciteitsvergrotingen hetzelfde.

Uit tabel 30 blijkt dat bij 7 spuitgietmachines en 10 operators, de operators en de spuitgietmachines samen de bottleneck vormen. Daarom wordt in de volgende capaciteitsvergroting een spuitgietmachine en een operator toegevoegd, omdat enkel een operator of spuitgietmachine niet tot extra capaciteit zal leiden.

Alle capaciteitsvergrotingen (bij gebruik van de mix van producten) en bijbehorende bottlenecks zijn in tabel 32 weergegeven. Als er meerdere productieonderdelen zijn waarbij de bezettingsgraad hoog oploopt, is ervoor gekozen om beide productiestappen een capaciteitsvergroting te geven. Dit heeft geen invloed op het uiteindelijke resultaat.

Bezetting	+2 spuitgietsmachines +5 operators	+2 spuitgietsmachines +6 operators	+3 spuitgietsmachines +6 operators	+1 Sinteroven +3 spuitgietsmachines +7 operators	+1 Sinteroven +4 spuitgietsmachines +8 operators	+1 Sinteroven +4 spuitgietsmachines +9 operators
Operators	94%	93%	96%	96%	95%	93%
Spuitsieten	91%	98%	90%	98%	92%	98%
Waterbakken	52%	56%	58%	63%	66%	70%
Debindovens	57%	61%	63%	68%	71%	75%
Overstapelen	69%	75%	77%	84%	73%	74%
Sinterovens	86%	94%	96%	70%	73%	77%
Afstapelen	64%	69%	73%	77%	81%	86%
Aantal producten per jaar	2.804.468	3.015.891	3.052.938	3.385.723	3.528.668	3.756.274

Tabel 32 - Bottlenecks en capaciteitstoeloevoegingen vervolg

In tabel 32 is ook te zien dat aan de verwachte vraag van 2021 te voldoen is met een extra sinteroven, 4 extra spuitgietsmachines en 8 extra operators.

Om zoveel mogelijk producten te produceren en het aantal sinter- en debindplaten die in gebruik zijn laag te houden moeten de operators, zoals al eerder genoemd, op een bepaalde manier ingepland worden. Zoveel mogelijk operators moeten de spuitgietsmachines draaiende houden en een minimum aan operators houdt zich bezig met de andere taken. De indeling is te zien in tabel 33. Tot 8 spuitgietsmachines is dit minimum 3 operators, vanaf 8 spuitgietsmachines 4 operators en vanaf 10 spuitgietsmachines moeten er 5 operators ingepland worden voor andere taken naast het spuitsieten.

Op het moment dat er 10 spuitgietsmachines in gebruik zijn moet er ook een extra plek

Capaciteitsvergroting (totaal)	Spuitsieten	Spuitsieten, af-en overstapelen	Af-en overstapelen en in-en uitladen
+1 operator (7)	4	2	1
+2 operators (8)	5	1	2
+3 operators (9)	6	0	3
+3 operators (9), +1 Spuitsietsmachines (7)	6	1	2
+4 operators (10), +1 spuitgietsmachines (7)	7	0	3
+5 operators (11), +2 spuitgietsmachines (8)	7	1	3
+6 operators (12), +2 spuitgietsmachines (8)	8	0	4
+6 operators (12), +3 spuitgietsmachines (9)	8	1	3
+7 operators (13), +3 spuitgietsmachines (9), +1 sinteroven (3)	9	0	4
+8 operators (14), +4 spuitgietsmachines (10), +1 sinteroven (3)	9	1	4
+9 operators (15), +4 spuitgietsmachines (10), +1 sinteroven (3)	10	0	5

Tabel 33 - Indeling operators per capaciteitsvergroting

gecreëerd worden voor het over- en afstapelen. Op de huidige locatie is er maar plek voor 4. Vanaf 10 spuitgietsmachines moet dit naar 5 plekken.

5.3.2 Conclusie

Om de capaciteit te vergroten tot 3 miljoen producten kunnen er afwisselend spuitgietsmachines en operators worden toegevoegd. In tabel 32 is te zien dat de sinteroven bij 8 spuitgietsmachines en 12 operators al tegen zijn maximum aan zit. De 9^{de} spuitgietsmachine die wordt toegevoegd levert weinig extra productie op, omdat de sinteroven dan optreedt als bottleneck. In werkelijkheid kan het dus beter zijn om in een

eerder stadium al een sinteroven toe te voegen, omdat een bezetting van 94% voor de sinteroven niet ideaal is.

5.4 INTERVENTIES

Zoals in hoofdstuk 5.2 te zien is, zijn er verscheidene capaciteitsvergrotingen nodig om aan de verwachte vraag te voldoen. Vergroting van de capaciteit wordt in dit hoofdstuk middels verschillende interventies geprobeerd, waardoor er wellicht minder machines aangeschaft hoeven te worden of dat er minder operators nodig zijn. Zo kunnen investeringen mogelijk uitgesteld of afgesteld worden of kan een interventie tot een reductie van de kosten leiden. Hierbij zullen de volgende interventies getest worden.

- Produceren op zaterdag. (5.4.1)
- Producten van dezelfde klassering kunnen alleen op een plaat of rackkar met de dezelfde soort producten geplaatst worden. Een waterbak of debindoven wordt enkel gevuld als er genoeg producten van dezelfde klassering zijn. Zo geniet elke klassering van zijn eigen productietijd voor het waterdebinden en het thermisch debinden. Deze interventies wordt vorm gegeven door de cell lay-out zoals deze in hoofdstuk 3 beschreven is.. (5.4.2)
- Het afstapelen gebeurt op de productielocatie in Oldenzaal op dezelfde plek als het overstapelen. Door het afstapelen te verplaatsen naar een plek dichtbij de gereed opslag hoeven werknemers minder afstand af te leggen en scheelt dit mogelijk hectiek in de productie. (5.4.3)
- Voor het nabewerken bij het spuitgieten wordt geëxperimenteerd met een robot. Deze robot moet ervoor zorgen dat minder operators meer spuitgietmachines kunnen bedienen. (5.4.4)

5.4.1 Zaterdagproductie

In het weekend wordt er niet geproduceerd. Door de productie een extra dag te laten draaien kan dit ervoor zorgen dat bepaalde investeringen in een later stadium kunnen worden aangeschaft. Met de huidige apparatuur kan er in dezelfde tijd meer geproduceerd worden. De extra kosten hierbij zijn de personeelskosten van de operators. Mocht de verwachte vraag toch tegenvallen dan zijn er in een eerder stadium minder grote bedragen uitgegeven.

5.4.1.1 Volledige zaterdagproductie

Als er op zaterdag wordt gewerkt met evenveel operators en in twee shifts zoals doordeweekse dagen dan stijgt de productie met gemiddeld 20%. De capaciteitstoevoegingen in machines veranderen hierbij niet. De waterbakken worden door de zaterdagproductie extra belast. De capaciteit van de waterbakken is daarbij dusdanig groot dat dit op deze schaal geen problemen oplevert. De zaterdagproductie houdt in dat er meer operators kunnen werken zonder dat de andere apparatuur als bottleneck optreedt. Als er op zaterdag geproduceerd wordt, worden er wel operators aan het proces toegevoegd.

In tabel 34 wordt het aantal operators uitgedrukt in fulltime-equivalent (FTE). Dit is een rekeneenheid waarmee de omvang van de personeelssterkte kan worden uitgedrukt. 1 FTE is hierbij een werkweek. Een fulltime werkweek is 37,5 uur.

Inrichting proces			Normale productie		Met zaterdagproductie	
Operators per shift	Spuitsietmachines	Sinterovens	productie per jaar	FTE	Productie per jaar	FTE
6	6	2	1.582.328	12	1.898.793	14,4
7	6	2	1.798.241	14	2.157.890	16,8
8	6	2	2.043.775	16	2.452.530	19,2
9	6	2	2.254.232	18	2.705.079	21,6
9	7	2	2.360.240	18	2.832.288	21,6
10	7	2	2.629.938	20	3.155.925	24
11	8	2	2.804.468	22	3.365.361	26,4
12	8	2	3.015.891	24	3.619.069	28,8
12	9	2	3.052.938	24	3.663.526	28,8
13	9	3	3.385.723	26	4.062.868	31,2
14	10	3	3.528.668	28	4.234.402	33,6
15	10	3	3.756.274	30	4.507.529	36

Tabel 34 – Productie per jaar van verschillende capaciteitsvergrotingen met en zonder zaterdagproductie. (groene getallen = de vraag van 2021 behaald)

In tabel 34 is te zien dat met 12 operators per shift, 8 spuitgietmachines en 2 sinterovens de verwachte vraag voor 2021 behaald is. Met de zaterdagproductie houdt dit in dat 4,8 FTE aan extra operators zijn toegevoegd aan het proces. Met de zaterdagproductie is de aankoop van een nieuwe sinteroven tot in ieder geval 2021 niet nodig. Als de planning goed uitkomt kan de sinteroven aan het eind van de zaterdag aangezet worden en staat de sinteroven ook een groot deel van de zondag aan. Dan wordt vrijwel de volledige capaciteit van de sinterovens gebruikt.

5.4.1.2 Zaterdagproductie op kleine schaal

Ook is het mogelijk om minder operators in te plannen op zaterdag. Dit kan ervoor zorgen dat de machines met lange productietijden, zoals de sinteroven, per week vaker een run kunnen doen. Dit zal niet tot veel meer productie leiden, maar kan de capaciteit van de sinteroven wel vergroten. Er wordt met minder operators getest omdat het in praktijk niet altijd even makkelijk is om operators te vinden die bereid zijn om op zaterdag te werken,

Dit idee wordt getest op het punt in de capaciteitsvergrotingen van hoofdstuk 5.3 dat de sinteroven de bottleneck wordt. Bij een inrichting van 12 operators, 9 spuitgietmachines en 2 sinterovens worden er 2 operators op zaterdag ingepland. Deze operators houden zich

Inrichting proces			Normale productie		
Operators per shift	Spuitsietmachines	Sinterovens	Productie per jaar	FTE	% bezetting sinterovens
12	9	2	3.052.938	24	96%
13	9	3	3.385.723	26	70%
14	10	3	3.528.668	28	73%
15	10	3	3.756.274	30	77%

Inrichting proces			Productie met 2 operators op zaterdag		
Operators per shift	Spuitsietmachines	Sinterovens	Productie per jaar	FTE	% bezetting sinterovens
12	9	2	3.132.188	24,4	81%
13	9	2	3.385.457	26,4	88%
14	10	2	3.531.780	28,4	92%
15	10	2	3.760.986	30,4	97%

Tabel 35 - Productie per jaar met en zonder 2 operators op zaterdag

alleen maar bezig met het over- en afstapelen en het in- en uitladen van machines. Deze

taken zijn goed uit te voeren zonder het management, aangezien deze op zaterdag over het algemeen niet aanwezig zijn. Omdat er niet wordt spuitgegoten heeft het weinig effect om meer dan 2 operators in te plannen op zaterdag.

Met het inplannen van 2 operators wordt er een dag extra gebruik gemaakt van de sinteroven. Door het werken op zaterdag kunnen 2 sinterovens meer producten verwerken. Hierdoor wordt de sinteroven pas de bottleneck op het moment dat er 15 operators per shift werken en 10 spuitgietsmachines in gebruik zijn. Zonder extra sinteroven kan er op deze manier aan de verwachte vraag van 2021 voldaan worden. Een bijkomend nadeel is dat de buffer bij de sinteroven doordeweeks iets oploopt waardoor er gemiddeld meer sinterplaten in gebruik zijn.

Inrichting		Gemiddelde aantal sinterplaten		Verschil
Operators per shift	Spuitsgietsmachines	Normale productie	Zaterdagproductie	
12	9	105	90	15
13	9	78	106	-28
14	10	77	120	-43
15	10	82	149	-67

Tabel 36 - Sinterplaten in gebruik

Op het moment dat er een nieuwe sinteroven in het proces komt is er vrijwel geen buffer meer bij de sinteroven en neemt het aantal sinterplaten in gebruik af. Door met de zaterdagproductie de capaciteit van de sinteroven te vergroten neemt het gemiddelde aantal in gebruik toe (tabel 36).

Aangezien de sinterplaten duur zijn in de aankoop is er voor de situatie met 15 operators per shift en 10 spuitgietsmachines in gebruik getest hoeveel sinterplaten in dit scenario aangeschaft moeten worden zodat er in 95% van de tijd genoeg platen zijn. Dit is gedaan voor het scenario met 3 sinterovens (gemiddeld 82 sinterplaten in gebruik) en zonder zaterdagproductie en voor het scenario's met 2 sinterovens en met zaterdagproductie (gemiddeld 149 sinterplaten in gebruik). Om te bepalen hoeveel sinterplaten er daadwerkelijk aangeschaft moeten worden, wordt er in het model elk uur bijgehouden hoeveel platen er in gebruik zijn. Van deze gegevens is een histogram gemaakt (Bijlage J). Hoeveel platen er aangeschaft moeten worden om in tenminste 95% van de gevallen niet zonder sinterplaten te komen, kan uit de histogrammen gehaald worden. Hier komt uit dat er met de zaterdagproductie 80 extra sinterplaten aangeschaft moeten worden. Als er met hetzelfde aantal platen wordt doorgewerkt is er in 70% van de gevallen een platentekort.

5.4.1.3 Conclusie

Met het produceren op zaterdag wordt de productie zonder grote uitgaven verhoogd. Het kan de aankoop van een nieuwe sinteroven daarbij een paar jaar uitstellen. Als er op korte termijn meer geproduceerd moet worden is het een goede oplossing om op zaterdag te produceren.

Op het moment dat de groei structureel is dan kan het op tijd aanschaffen van een sinteroven een grote aankoop van nieuwe sinterplaten voorkomen. Het op tijd aanschaffen zal een grote buffer voor de sinterovens voorkomen, waardoor de doorloop van platen sneller is en er in totaal minder platen nodig zijn om de productie draaiende te houden.

5.4.2 Interventie: Cell Lay-out

Voor deze interventie wordt de in hoofdstuk 3 beschreven cell lay-out gebruikt. De verschillende klasseringen hebben voor het spuitgieten, waterdebinden en thermisch debinden andere productietijden. Bij de kleinere producten zijn de productietijden korter en kan het gunstig uitpakken om deze klasseringen te scheiden in verschillende cellen in het proces.

5.4.2.1 Implementatie model

Deze cell lay-out is geïmplementeerd in het model zoals deze is gebruikt bij de nulmeting. Dit is op de volgende manier gedaan:

- Een spuitgietmachine produceert 1 klassering. Hierdoor worden platen enkel gevuld met producten van dezelfde klassering.
- Een waterbak of thermisch debindoven worden pas aangezet als er genoeg platen aanwezig zijn van een bepaalde klassering zodat de bijhorende productietijd gehanteerd kan worden.
- Na het thermisch debinden wordt er geen onderscheid meer gemaakt in de klasseringen en kunnen de producten gemixt in de sinteroven. Deze productietijd is voor elke klassering gelijk.

Hierbij wordt niet meer de verhouding van producten aangehouden zoals deze bij hoofdstuk 2.4 besproken is. De cellen produceren zoveel mogelijk producten van de desbetreffende klassering. Dit zorgt ervoor dat er een iets andere verhouding door het proces loopt. Deze verhouding kan verschillen door een klassering op meer of minder spuitgietmachines te laten produceren. Om een goede vergelijking te kunnen maken met de nulmeting worden hierbij twee scenario's getest zodat de verwachte verhouding in ieder geval tussen de verschillende scenario's zit (tabel 37).

5.4.2.2 Resultaat

Zoals in tabel 37 ligt de verhouding van producten van nulmeting tussen de twee experimenten met de cell lay-out.

	Nulmeting	Cell lay-out 1	Cell lay-out 2
Spuitgegoten	1.809.385	1.903.225	1.670.773
Gereed	1.582.328	1.671.187	1.460.730
Gereed klein	696.408	880.657	273.284
Gereed gemiddeld	554.200	497.235	881.909
Gereed groot	331.720	293.295	305.537
Aandeel klein	44%	53%	19%
Aandeel gemiddeld	35%	30%	60%
Aandeel groot	21%	18%	21%
Spuitgietmachines klein	n.v.t.	2	1
Spuitgietmachines gemiddeld	n.v.t.	2	3
Spuitgietmachines groot	n.v.t.	2	2

Tabel 37 -Geproduceerde producten met verhoudingen en aantal spuitgietmachines

Deze verdeling van de spuitgietmachines zorgt voor de volgende bezettingsgraden van de productieonderdelen (tabel 38 & 39).

Bezetting cell lay-out 1			
Productieonderdeel	Cell Lay-Out	Nulmeting	Vershil
Operators	98%	98%	0%
Spuitsieten	68%	69%	-1%
Waterbakken	22%	30%	-8%
Debindovens	28%	34%	-6%
Overstapelen	40%	39%	1%
Sinterovens	47%	50%	-3%
Afstapelen	37%	36%	1%
Debindplaten in gebruik (gemiddeld)	184,00	145,00	39,00
Sinterplaten in gebruik (gemiddeld)	46,00	45,00	1,00

Tabel 38 - Bezettingsgraden cell lay-out 1

Bezetting cell lay-out 2			
Productieonderdeel	Cell Lay-Out	Nulmeting	Vershil
Operators	98%	98%	0%
Spuitsieten	70%	69%	1%
Waterbakken	25%	30%	-5%
Debindovens	31%	34%	-3%
Overstapelen	36%	39%	-3%
Sinterovens	55%	50%	5%
Afstapelen	34%	36%	-2%
Debindplaten in gebruik (gemiddeld)	192,00	145,00	47,00
Sinterplaten in gebruik (gemiddeld)	53,00	45,00	8,00

Tabel 39 - Bezettingsgraden cell lay-out 2

In tabel 38 en 39 is te zien dat de bezettingsgraden van de waterbakken en debindovens in beide gevallen lager worden. De overige bezettingsgraden veranderen ook door de verschillende verhoudingen van producten. De sinteroven heeft bij cell lay-out 2 bijvoorbeeld een hogere bezettingsgraad omdat er relatief veel grotere producten door het proces lopen. Het aantal platen dat de sinteroven moet verwerken wordt daarom ook hoger.

De bezetting van de waterbakken zal met een normale verhouding van producten door de cell lay-out tussen de 5 en 8 procent afnemen. Voor de debindovens is dit tussen de 3 en 6 procent. Doordat de waterbakken en debindovens pas aan gaan als er genoeg platen van een bepaalde klassering zijn, zijn er meer debindplaten op hetzelfde moment nodig in het systeem.

5.4.2.3 Conclusie

Door de cell lay-out te hanteren in het proces zullen de bezetting van de waterbakken en de debindovens afnemen. Dit zorgt niet direct voor extra productie omdat de waterbakken en de debindovens niet de bottleneck van het proces zijn. Dat kan bij een grotere productie wel het geval zijn. Wel hebben deze machines minder tijd nodig om hetzelfde aantal producten te verwerken. De machines staan minder lang aan en besparen bijvoorbeeld elektriciteitskosten en waterkosten. Hier staat wel tegenover dat er extra debindplaten moeten worden aangeschaft. De kosten voor de debindplaten zijn niet hoog en kan veel besparen.

5.4.3 Interventie: Afstapelen

Het afstapelen gebeurt in de huidige situatie op dezelfde plek als het overstapelen. Dit is niet nodig en de producten kunnen beter afgestapeld worden bij de gereed opslag. Zo hoeven de operators iets minder afstand af te leggen en zorgt het voor een duidelijke logische stroom van producten door het proces. Hoever de producten in de productiehal zijn geeft ook direct aan hoever ze in het proces zijn. Het afstapelen wordt in het model verplaatst naar het einde van het proces, net voordat de producten het proces verlaten.

5.4.3.1 Resultaat

In het model levert dit vrijwel geen tijdswinst op voor de operators. Het gaat om een kleine afstand die niet meer hoeft worden afgelegd. De afstapelbakken zijn daarbij dusdanig groot dat er niet vaak gelopen hoeft te worden.

5.4.3.2 Conclusie

Het verplaatsen van de plek van het afstapelen levert niet veel tijdswinst op. Toch kan het verstandig zijn om deze plek van het overstapelen te scheiden. Zo is er een duidelijke scheiding van verschillende stadia in het proces en zijn de producten voor het management makkelijker te monitoren.

5.4.4 Interventie: Robot nabewerking

Producten moeten na het spuitgieten nabewerkt worden. Als de producten uit de matrijs komen zitten er vaak nog vliesjes op het product en is het aanspuitpunt nog zichtbaar. Om dit te verwijderen moeten de producten kort nabewerkt worden. Dit is een repeterend proces en kan voor sommige producten door een robot worden gedaan. Deze robot zou ervoor kunnen zorgen dat een operator twee spuitgietmachines draaiende kan houden. De kosten voor het aanschaffen en installeren van zo'n robot worden door het management geschat op €50.000. In de ideale situatie zou er achter elke spuitgietmachine een cell met een robot staan en zijn er bij de spuitgietmachines minder operators nodig. Door de grote diversiteit aan producten en de complexiteit om voor elk product een goed nabewerkingsprogramma te maken, is de ideale situatie lastig te realiseren.

5.4.4.1 Opbrengsten

Doordat de robot de nabewerkingstijd van een spuitgietmachine wegneemt is er een operator minder nodig om hetzelfde aantal producten te produceren.

Uurloon Operator	Werkweek (uur)	Besparing per week
€ 23,00	37,5	€ 862,50

Tabel 40 - Besparing robot

Als de geschatte kosten gedeeld worden door de besparing die dit per week oplevert heeft de robot zichzelf in 58 weken terugverdiend. Hierbij moet de robot naar behoren werken en 58 weken de plek innemen van een operator. In praktijk zal de terugverdiëntijd langer zijn. Echter is er nog weinig bekend over de betrouwbaarheid van deze robots.

5.4.4.2 Conclusie

Er is nog weinig informatie over hoeveel werk de robots daadwerkelijk over kunnen nemen van de operators. Als de robots er voor kunnen zorgen dat 1 operator 2 spuitgietmachines kan bedienen wordt dit relatief snel terugverdiend. De levensduur van deze robots zijn aanzienlijk langer dan deze 58 weken. Mochten de robots in praktijk ook daadwerkelijk

tijdbesparend zijn, zijn ze de moeite waard om in te investeren. Het proces is arbeidsintensief en de operators zijn een grote kostenpost. Robots zouden dit met een relatief kleine investeringen weg kunnen nemen.

5.5 BIJZONDER SCENARIO: GROOT PRODUCT

Het management is in overleg met een klant over een (voor dit proces) extreem groot product. Zo'n product is nog nooit eerder gemaakt en is het ook niet duidelijk hoe het proces er precies uit zou komen te zien. Om de impact op het proces te testen wordt er in het model met een extreem groot product getest.

5.5.1 Het product

In tabel 41 zijn de gegevens die voor dit in product in het model gebruikt worden.

Gewicht	Spuittgiettijd	Plaatfactor debindplaten	Plaatfactor sinterplaten
150 gram	Norm. Dist. $\mu = 120,07$, $\sigma = 0,735$	25	20

Tabel 41 - Gegevens grote product

De spuitgiettijd is met de formule bepaald, zoals de in hoofdstuk 2.4 besproken is. Hoe zwaar het product is, is nog een schatting omdat het nog niet in productie genomen is. Ditzelfde geldt voor de plaatfactoren.

5.5.2 Resultaat

Dit product is in het model ingevoerd, waarbij alleen dit grote product door het model loopt. Het resultaat en de vergelijking is in tabel 42 te zien.

Bezetting bijzondere scenario		Bezetting groot nulmeting	
Operators	98%	Operators	98%
Spuittgieten	89%	Spuittgieten	76%
Waterbakken	41%	Waterbakken	56%
Debindovens	45%	Debindovens	61%
Overstapelen	10%	Overstapelen	24%
Sinterovens	85%	Sinterovens	53%
Afstapelen	12%	Afstapelen	22%
Producten per jaar	317.245	Producten per jaar	979.016

Tabel 42 - Resultaat en vergelijking bijzondere scenario

Door dit grote product wordt de bezettingsgraad van de spuitgietsmachines een stuk hoger. Dit kost veel tijd en het over- en afstapelen kost operators daarnaast weinig tijd. Zo blijft er veel over voor het spuitgieten. Dit product neemt veel capaciteit in beslag en kan het proces zwaar belasten. Dit product neemt 25 keer de plek in van een klein en er wordt meer feedstock gebruikt. De prijs zal dus aanzienlijk hoger moeten zijn dan bij de kleinere producten. In bijlage L is de gemiddelde omzet per product te zien.

Hierbij lijkt er een lineair verband te zijn. Per gram feedstock komt er 5 cent bij de prijs. Dit is relatief gezien weinig aangezien de grotere producten niet alleen meer feedstock gebruiken, maar ook meer plek in de machines innemen. Met enkel kleine producten is de omzet dan ook een stuk hoger dan bij enkel grote producten produceren.

5.5.3 Conclusie

Dit proces heeft een grote impact op de capaciteit van de spuitgietmachines. Voor een dergelijke product moet dan ook een goede prijs staan om het rendabel te maken. Omdat het product nog niet in productie is genomen is het lastig om te bepalen wat de daadwerkelijk productietijden voor dit proces zijn. Op het moment dat hier meer zekerheid over is, kan dit gemakkelijk in het model worden ingevoerd om accuratere simulatie te kunnen uitvoeren. De verwachting is wel dat kleinere producten in dezelfde tijd meer omzet zullen opleveren.

6 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk zal er besproken worden wat de conclusies en aanbevelingen zijn die aan de hand van dit onderzoek tot stand zijn gekomen. Hierbij zal er onder andere antwoord worden gegeven op de hoofdvraag: “*Welke problemen ontstaan er in het MIM-proces naarmate de productie (sterk) stijgt en hoe moeten deze problemen opgelost worden?*”

6.1 CONCLUSIE

Voordat de hoofdvraag beantwoord kon worden zijn er in dit onderzoek eerst andere deelvragen beantwoord. Hiervoor is geanalyseerd hoe het MIM-proces er in de toekomst uit moet zien. Hierbij was er al een simulatie aanwezig voor een oudere situatie. Om de bruikbare onderdelen uit dit model te kunnen halen, is dit model aandachtig bestudeerd.

Uit de literatuur is gebleken dat de bottleneck in het MIM-proces het beste bepaald kan worden met de benutte capaciteit per productiestap. Ook is de nieuwe productiehuis aan de hand van proces design met een product lay-out ingedeeld.

Het conceptuele model is met de kennis van het oude model, kennis van het management en metingen uit de werkelijkheid opgesteld.

In het simulatiemodel zijn vele capaciteitstoevoegingen getest om erachter te komen wat er nodig is om aan een grote vraag te kunnen voldoen. Hieruit blijkt dat de investeringen in de waterbakken en een nieuwe thermisch debindoven voor de komende jaren groot genoeg zijn om een tijd mee te gaan. Om aan de vraag van de toekomstige jaren (tabel 43) te kunnen voldoen zijn verschillende vergrotingen van de bottlenecks nodig (tabel 44).

Jaar	Vraag
2019	1.464.750
2020	2.563.313
2021	3.460.472

Tabel 44 - Vraag komende 3 jaar

Capaciteitsvergroting (totaal)	Totale productie
+1 operator (7)	1.798.241
+2 operators (8)	2.043.775
+3 operators (9)	2.254.232
+3 operators (9), +1 Smitgietmachine (7)	2.360.240
+4 operators (10), +1 smitgietmachine (7)	2.629.938
+5 operators (11), +2 smitgietmachine (8)	2.804.468
+6 operators (12), +2 smitgietmachine (8)	3.015.891
+6 operators (12), +3 smitgietmachine (9)	3.052.938
+7 operators (13), +3 smitgietmachine (9), +1 sinteroven (3)	3.385.723
+8 operators (14), +4 smitgietmachine (10), +1 sinteroven (3)	3.528.668
+9 operators (15), +4 smitgietmachine (10), +1 sinteroven (3)	3.756.274

Tabel 43 - Capaciteitsvergrotingen en productie

Hieruit blijkt dat op korte termijn de grootste bottleneck de operators zijn. Dit blijft tot het moment dat er genoeg operators in het proces aanwezig zijn om de smitgietmachines constant te laten produceren. Hierbij worden de smitgietmachines en operators optimaal gebruikt als de smitgietmachines met de operatorplanning zoveel mogelijk draaien. Als er genoeg capaciteit is in de andere productiestappen levert een extra operator of smitgietmachine ongeveer 200.000 extra producten op. Voor de komende 2 jaar is het toevoegen van extra operators en smitgietmachines genoeg om aan de vraag te kunnen voldoen. Op het moment dat er meer dan 3 miljoen producten geproduceerd worden zal er

een nieuwe sinteroven moeten worden aangeschaft. Door ook op zaterdag te produceren kan de aankoop van deze oven uitgesteld worden. Een nadeel hiervan is dat er meer sinterplaten aangeschaft moeten worden.

Met de grote capaciteit van de waterbakken en de thermisch debindovens kan het proces het zich permitteren om dezelfde klassering aan producten bij deze productiestappen samen te nemen. Zo kunnen er verschillende productietijden gehanteerd worden en kunnen de totale uren die deze machines daadwerkelijk aanstaan met 5% afnemen. In dit geval zijn er extra debindplaten nodig.

Voor de robotnabewerking moet er goed gekeken worden naar de haalbaarheid om deze robot constant te laten draaien. In dat geval kan het een volledige operator uit het proces nemen en kan dat voor minder variabele kosten zorgen. In dit geval kan het ook gunstig zijn om meerdere robots voor de nabewerking te gebruiken. Zolang dit niet het geval is, levert de nabewerkingsrobot weinig winst op.

Het simulatiemodel zelf leent zich uitstekend om in de toekomst nog gebruikt te worden voor meer experimenten als er meer zekerheid is. Als nieuwe investeringen concreter worden kunnen ze alvast in het model getest worden. Hierbij kan het management dan alvast anticiperen op de impact van een verandering. Hierbij kan gedacht worden aan hoeveel platen er in het proces nodig zijn, of hoeveel operators nodig zijn om het maximale uit de machines te halen. Als de verhouding aan producten sterk veranderd, kan dit ook gemakkelijk getest worden door een aantal waarden te veranderen. Het simulatiemodel kan in de nabije toekomst dus nog voor verschillende doeleinden gebruikt worden.

6.2 AANBEVELINGEN

Dot onderzoek naar het MIM-proces van de toekomst leidt tot de volgende aanbevelingen:

- Plan zoveel mogelijk operators in op de spuitgietmachines, dit zorgt voor meer productie omdat de bottlenecks beter benut worden. In hoofdstuk 5.3 is de indeling van operators gemaakt voor de verschillende capaciteitsvergrotingen. Hierbij worden er zoveel mogelijk operators ingepland bij het spuitgieten en precies genoeg operators voor het in- en uitladen van machines en het over- en afstapelen van producten om de buffers laag te houden. Het belangrijkste hierbij is dat de spuitgietmachines zoveel mogelijk tijd aan het produceren zijn.
- Inventariseer alvast opties om de capaciteit van het sinteren te vergroten. Uit het simulatiemodel blijkt dat het sinteren problemen gaat opleveren als de vraag zoveel groeit. Door hier nu al op te anticiperen kan er op het moment dat het nodig is snel gehandeld worden. Op het moment dat er bijvoorbeeld steeds grotere buffers ontstaan voor het sinteren kan dit ook aanschaf van veel extra sinterplaten betekenen. Door tijdig (rond de 3 miljoen producten) een nieuwe oven aan te schaffen kan deze investering aan sinterplaten voorkomen worden. Als het om slechts een tijdelijke groei zou gaan is het produceren op zaterdag een goede optie, omdat op deze manier de sinterovens beter benut worden.

- Zet de waterbakken en thermisch debindovens alleen aan met producten van dezelfde klassering. Er is in de nieuwe situatie genoeg capaciteit om dit te scheiden. Zo kan er gebruikt gemaakt worden van verschillende programma's voor verschillende producten. Uit het simulatiemodel blijkt dat de waterbakken en de thermisch debindovens hierdoor ongeveer 5% minder bezet zijn.
- Probeer in de productieplanning grote en kleine producten samen te plannen. De grote en kleine producten lopen verschillend door het proces. Zo loopt er een constante stroom aan producten door het proces en zijn er geen onverwachte buffers of tekorten aan operators.
- Probeer te monitoren waar na het spuitgieten veel defecte producten worden weggegooid, zo kan er gekeken worden of dit voorkomen kan worden.
- Haal het afstapelen los van het overstapelen. De operators winnen er niet veel tijd mee, maar het zorgt voor meer overzicht in het proces.
- Kijk nog eens goed naar de prijsverdeling van de producten. De grote producten zijn in verhouding te goedkoop. Een groot product neemt 10 plekken in van kleine producten, maar de prijs is niet 10 keer zo hoog. Met het produceren van kleine producten wordt de omzet dus hoger.

7 LITERATUUR

- Boddy, D. (2011). *Management An Introduction* (5e ed.). Harlow, Groot-Brittannië: Pearson Education.
- Cooper, D., & Schindler, P. (2014). *Business Research Methods* (20e ed.). New York, NY: Mc Graw Hill.
- C. Carl Pegels, Craig Watrous, (2005) "Application of the theory of constraints to a bottleneck operation in a manufacturing plant", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 16 Issue: 3, pp.302-311,
- Goldratt, Eliyahu M., 1947-2011. (2004). *The goal : a process of ongoing improvement*. Great Barrington, MA :North River Press,
- Heerkens, H. (2012). *Geen Probleem*. Nieuwegein, Nederland: Van Winden communicatie.
- Ladyman, J. (2002). *Understanding Philosophy of Science*. Londen, Groot-Brittannië: Routledge.
- Law, A. (2014). *Simulation Modeling and Analysis* (5e ed.). New York, NY: Mcgram-Hill Education.
- Markgraf, B. (2017). *How to identify Bottlenecks in Manufacturing*. Chron. Opgeroepen op 12 januari 2018: <http://smallbusiness.chron.com/identify-bottlenecks-manufacturing-72465.html>
- N. Amit, N. Suhadak, N. Johari and I. Kassim, "Using simulation to solve facility layout for food industry at XYZ Company," 2012 IEEE Symposium on Humanities, Science and Engineering Research, Kuala Lumpur, 2012, pp. 647-652. doi: 10.1109/SHUSER.2012.6268900
- Robinson, S. (2014). *Simulation*. Londen, Groot-Brittannië: Palgrave Macmillan Ltd.
- Schoemaker, P. J. H. (1995). *Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking*. Geraadpleegd van https://www.researchgate.net/profile/Paul_Schoemaker/publication/220042263_Scenario_Planning_A_Tool_for_Strategic_Thinking/links/0deec5325c34174de2000000/Scenario-Planning-A-Tool-for-Strategic-Thinking.pdf
- Shu-Yin Chiang, Chih-Tsung Kuo and S. M. Meerkov, "DT-bottlenecks in serial production lines: theory and application," in *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 16, no. 5, pp. 567-580, Oct. 2000. doi: 10.1109/70.880806
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Jonhston, R. (2013). *Operations Management* (8e ed.). Harlow, Groot-Brittannië: Pearson Education.
- Techniques of forecasting Marketing Management. (2017). Geraadpleegd op 14 december 2018, van (<https://www.wisdomjobs.com/e-university/marketing-management-tutorial-294/techniques-of-forecasting-9591.html>)
- Y. Zhu and F. Wang, "Identify bottleneck and optimal study on logistics in low carbon timber production," 2011 IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Changchun, 2011, pp. 1980-1984.

doi:

10.1109/ICIEEM.2011.6035556

URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy2.utwente.nl/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6035556&isnumber=6035429>

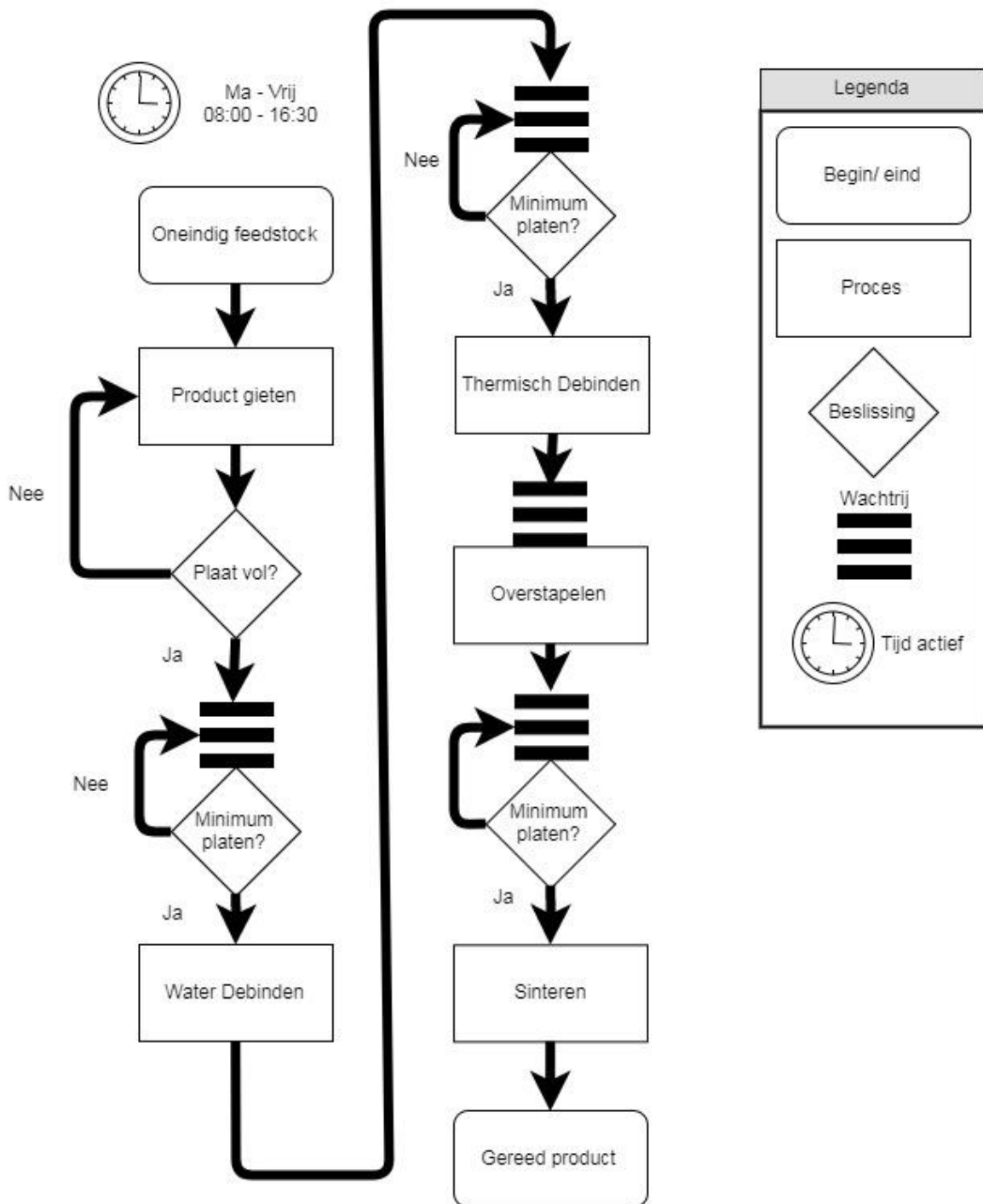
BIJLAGE A – BEREIK OUDE MODEL

Onderdeel	Wel/ niet meenemen	Argumentatie
<i>Productiestappen:</i> Mengen	Niet	Deze stap wordt binnenkort uitbesteed aan een externe partij
Spuitsieten	Wel	Essentiële stap in de doorloop
Rangschikken	Wel	Essentiële stap in de doorloop
Water ontbinden	Wel	Essentiële stap in de doorloop
Temperatuur ontbinden	Wel	Essentiële stap in de doorloop
Sinteren	Wel	Essentiële stap in de doorloop
Testen	Niet	Uitgevoerd door een externe partij
Verzenden	Niet	Gebeurd door het management
<i>Arbeid:</i> Productiepersoneel	Wel	Nodig voor de productiestappen en hebben een werkrooster
Matrijs vervangen	Niet	Gebeurd door management buiten werktijden
Onderhoud	Niet	Gebeurd door management buiten werktijden
<i>Transportbatch:</i> Per productiestap	Wel	De grootte van de batch die per keer wordt verplaatst heeft invloed op de benodigde tijd
Type product:	Wel	Gewicht en vorm hebben invloed op de productie, het gewogen gemiddelde product wordt gebruikt.

BIJLAGE B – BEREIK OUDE MODEL IN DETAIL

Onderdeel	Detail	Wel/ niet meenemen	Opmerking
Productiestappen Spuitsieten	Productietijd	Wel	Machine: normaalverdeling Werknemer: korter dan machinetijd
	Opstart tijd	Niet	Vereenvoudiging 4
	Fractie mislukt	Wel	Aanname 3
	Machine stuk	Wel	Aanname 3
	Schoonmaken	Wel	Aanname 3
	Bijvullen	Wel	Normaalverdeling
Water Debinden	Productietijd	Wel	Constant
	Opstart tijd	Wel	Normaalverdeling
	Fractie mislukt	Niet	Aanname 1
	Machine stuk	Niet	Aanname 1
	Schoonmaken	Niet	Aanname 1
Thermisch Debinden	Productietijd	Wel	Constant
	Opstart tijd	Wel	Normaalverdeling
	Fractie mislukt	Niet	Vereenvoudiging 2
	Machine stuk	Niet	Vereenvoudiging 2
	Schoonmaken	Niet	Vereenvoudiging 2
Overstapelen	Productietijd	Wel	Normaalverdeling
	Fractie mislukt	Niet	Laag percentage en weinig over bekend
Sinteroven	Productietijd	Wel	Constant
	Opstart tijd	Wel	Normaalverdeling
	Fractie mislukt	Niet	Vereenvoudiging 3
	Machine stuk	Niet	Vereenvoudiging 2
	Schoonmaken	Niet	Vereenvoudiging 2
Productiepersoneel	Aantal	Wel	Vereenvoudiging 5
	Shifttijden	Wel	Standaard inclusief pauzes
	Effectiviteit	Wel	Aanname 1
	Ervaring	Niet	Aangenomen dat bij de handelingen de effectiviteit snel constant wordt
	Snelheid	Wel	Aanname 4
Transportbatch	Aantal green	Niet	Vereenvoudiging 1
	Aantal brown	Wel	Dure platen met een maximaal aantal
	Oppervlakte plaat	Wel	Verschilt tussen green en brown
Type product	Gewicht	Wel	Vast gewicht per product
	Aantal	Wel	Aantal te produceren per type

BIJLAGE C – FLOWDIAGRAM OUDE MODEL



BIJLAGE D – PRODUCTIESTAPPEN EN IN-EN OUTPUT OUDE MODEL

Spuitsieten	
Aantal machines	6
Productietijd	Norm. Dist. $\mu = 15.18$ sec, $\sigma = 0.735$ sec
Bijvultijd	Norm. Dist. $\mu = 5$ min, $\sigma = 1$ min

Water debinden	
Aantal machines	4
Productietijd	3 dagen
Platen per machine	12
Producten per plaat	494
In- en uitlaad tijd	Norm. Dist. $\mu = 15$ min, $\sigma = 5$ min [min: 10, max: 20]

Thermisch debinden	
Aantal machines	1
Productietijd	15 uur
Platen per machine	24
Producten per plaat	494
In- en uitlaad tijd	Norm. Dist. $\mu = 15$ min, $\sigma = 5$ min [min: 10, max: 20]

Overstapelen	
Aantal machines	4 plekken
Productietijd	Norm. Dist. $\mu = 5.18$ sec, $\sigma = 0.1$ sec

Sinteren	
Aantal machines	2
Productietijd	24 uur
Platen per machine	30
Producten per plaat	265
Inlaad tijd	Norm. Dist. $\mu = 30$ min, $\sigma = 5$ min [min: 25, max: 35]
Uitlaad tijd	Norm. Dist. $\mu = 20$ min, $\sigma = 5$ min [min: 15, max: 25]

Input – Experimentele factoren	Output – Uitkomsten
Grootte transportbatch	Benutting productiecapaciteit per onderdeel (%)
In- en uitlaad tijden	Aantal kilo spuitgegoten per week
Shifftijden	Aantal kilo verzonden per week
Volgorde van processtappen	Aantal uren gewerkt per week
Prioriteiten van processtappen	Aantal minuten arbeidstijd per kilo

BIJLAGE E – AANNAMES EN VEREENVOUDIGINGEN OUDE MODEL

Aannames

1. De werknemers hebben een effectiviteit van 80% en deze is bij alle werknemers gelijk. De werknemers zijn tijdens hun werkzaamheden niet 100% van hun tijd effectief aan het werk. Buiten de pauzes om moet er wel eens iemand naar het toilet, wordt er even een praatje gemaakt of is er een andere afleiding. In overleg met het management is de effectiviteit gesteld op 80 procent.
2. De water toevoer bij de waterbakken wordt niet onderbroken en de bakken gaan niet kapot. Er wordt aangenomen dat de waterbakken altijd beschikbaar zijn. Dat wil zeggen dat er altijd water is en de metalen bakken niet vervangen hoeven worden.
3. De spuitgietmachines hebben een beschikbaarheid van 60%. De spuitgietmachines zijn niet 100% van hun tijd effectief aan het gieten. Na een wisselend aantal producten te hebben gegoten moet de machine worden schoongemaakt. Ook een factor is dat, afhankelijk van de kwaliteit van de matrijs, de spuitgietmachine kan vastlopen. Door de logboeken met de werkelijk gemeten tijden te vergelijken is de beschikbaarheid gesteld op 60 procent. Tijdens de 40% downtime is er een werknemer nodig om de machine te 'repareren', net zoals in de werkelijkheid.
4. De werknemers lopen met een constante snelheid van 1.5 m/s. De werknemers moeten een aantal keer per dag de productiehal doorlopen. Er wordt aangenomen dat elke werknemer altijd met een constante snelheid van 1.5 m/s loopt. Dit is omgerekend 5 km per uur, wat de vuistregel voor wandelen is.
5. Er is altijd feedstock aanwezig. Er wordt aangenomen dat er altijd feedstock aanwezig is. In de werkelijkheid is ook nooit een probleem ervaren dat er niet geproduceerd kan worden door gebrek aan feedstock.

Vereenvoudigingen

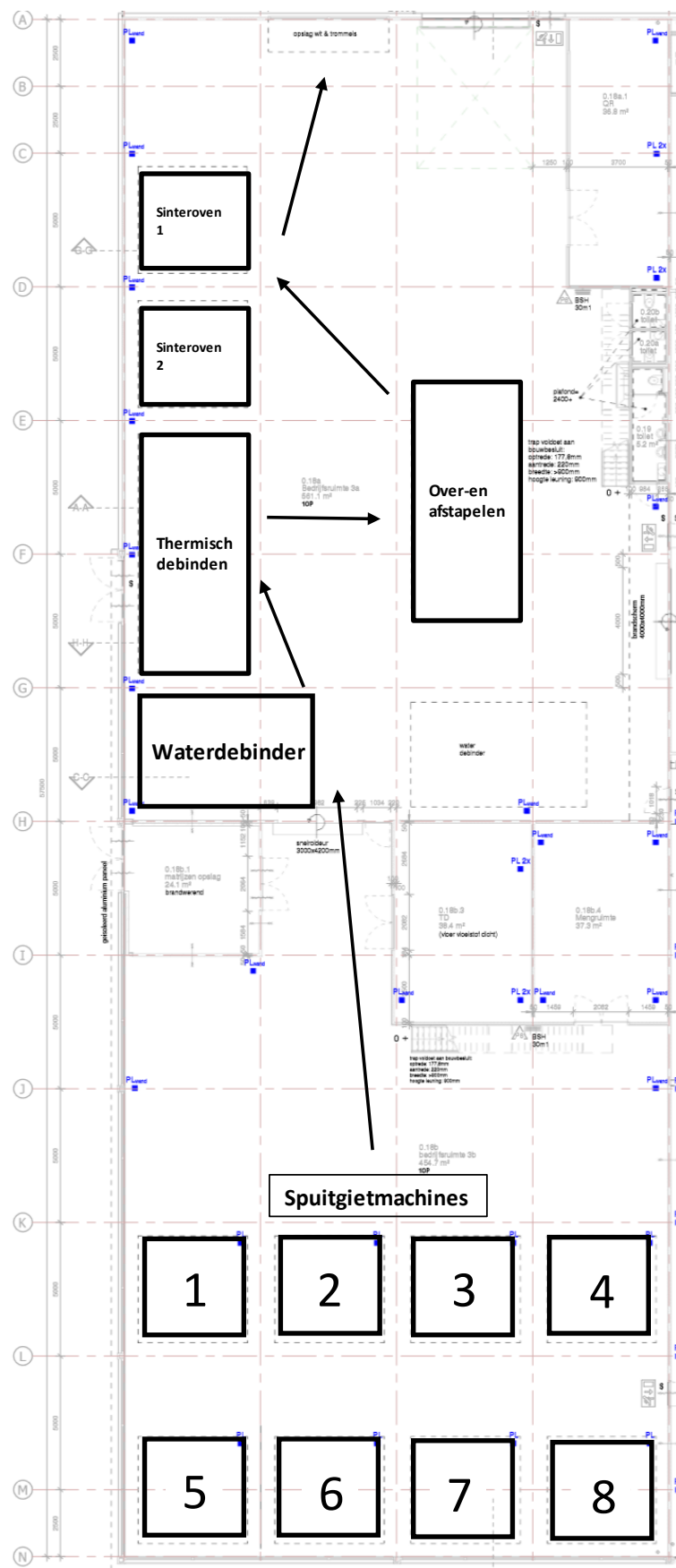
1. Debinderplaten zijn oneindig beschikbaar. Debinderplaten zijn de platen waarop de producten liggen als ze de debinderstappen doorlopen (water en thermisch debinden). In de werkelijkheid zijn er niet oneindig veel debinderplaten, maar volgens een medewerker zou de afwezigheid geen reden zijn om niet meer te produceren. In het geval dat ze niet meer beschikbaar zijn worden de producten tijdelijk in een kartonnen doos gelegd en zijn er de volgende dag nieuwe platen.
2. De ovens zijn altijd beschikbaar. Het komt heel af en toe voor dat de ovens kapot zijn of vervangen moeten worden. Hoe vaak dit gebeurt is lastig te stellen. Om het model werkbaar te houden wordt er gesteld dat de ovens altijd beschikbaar zijn.
3. De producten uit de sinteroven zijn nooit mislukt. In de werkelijkheid is niet elk product uit de sinteroven bruikbaar om te verkopen. Door nog deels onbekende redenen gaat een fractie van de producten in de oven stuk. De kwaliteitstest waar wordt bepaald of de producten verkocht mogen worden valt buiten dit onderzoek, zoals beschreven in paragraaf 2.2. Om deze reden wordt er gesteld dat de fractie mislukt nul is.
4. De matrijzen worden altijd buiten de werktijden (08:00 – 16:30 uur) verwisseld. Elk product wordt geproduceerd met een andere matrijs. Tijdens het vervangen van de matrijzen kan de spuitgietmachine niet worden gebruikt. Meestal worden de matrijzen

buiten de werkshifts verwisseld, maar niet altijd. Voor de vereenvoudiging wordt er gesteld dat dit altijd buiten de shifttijden gebeurt.

5. Er werken altijd zes personen tegelijkertijd. Afhankelijk van de planning van de managers en eventueel uitval van mensen werken er meer of minder mensen tijdens een shift. Meestal is dit aantal zes personen, dus voor de vereenvoudiging wordt dit aangehouden in het model.

6. De prioriteiten van de stappen zijn vastgesteld. Met een prioriteit voor een productiestap wordt bedoeld welke taak er als eerste wordt uitgevoerd als twee taken op hetzelfde moment vrij komen. In een gesprek met de manager bleek dat de prioriteiten voor productiestappen op intuïtie worden bepaald. Een variabele intuïtie is lastig te simuleren, dus er wordt in overleg een vaste volgorde van prioriteiten vastgesteld (1 is hoog): ovens en waterbakken: 1, overstapelen: 2 en spuitgieten 3.

BIJLAGE F – PRODUCTIELOCATIE ENSCHEDE



BIJLAGE G – DEFECTEN NA SPUITGIETEN

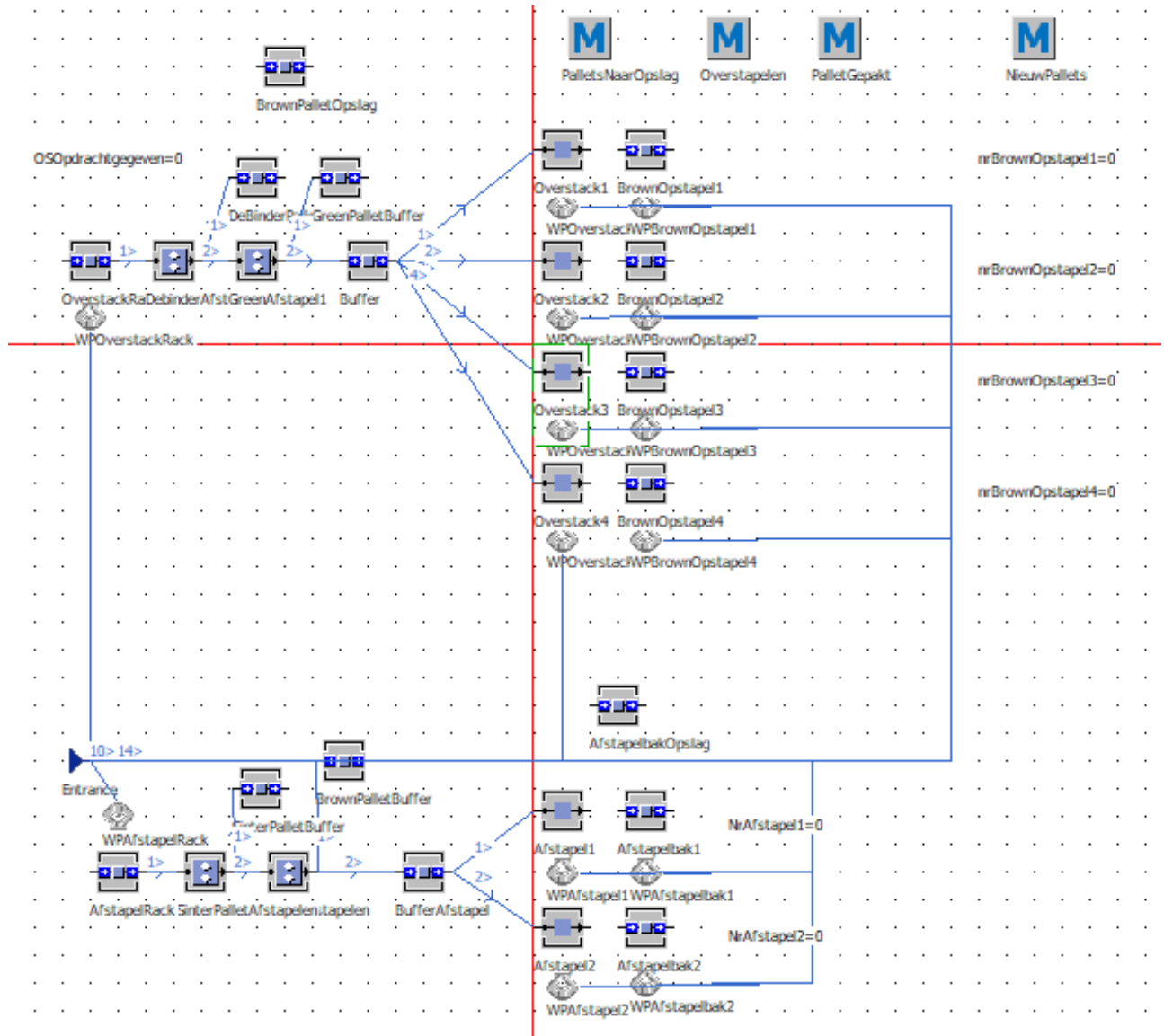
	Spuitgegoten	Gereed	
week 14	13500	16538	
week 15	20563	12735	
week 16	20508	19902	
week 17	19750	37405	
week 18	22644	33620	
week 19	21950	19437	
week 20	23140	10924	
week 21	16992	1791	
week 22	16711	27630	
week 23	15991	23988	
week 24	12482	13855	
week 25	24393	16894	
week 26	37448	9794	
week 27	20427	23716	
week 28	39296	22396	
week 29	23512	52906	
week 37	10860	9323	
week 38	12891	16992	
week 39	25960	7676	
week 40	21255	13439	
week 41	15320	12618	
week 42	16769	21803	
week 43	10140	9323	
week 44	18335	9971	
week 45	18780	11193	
week 46	25617	24455	
week 47	27850	12271	
week 48	25292	17132	
week 49	25876	12363	
Totaal	480837	444676	92,5%

BIJLAGE H – CODE SPUITGIETEN

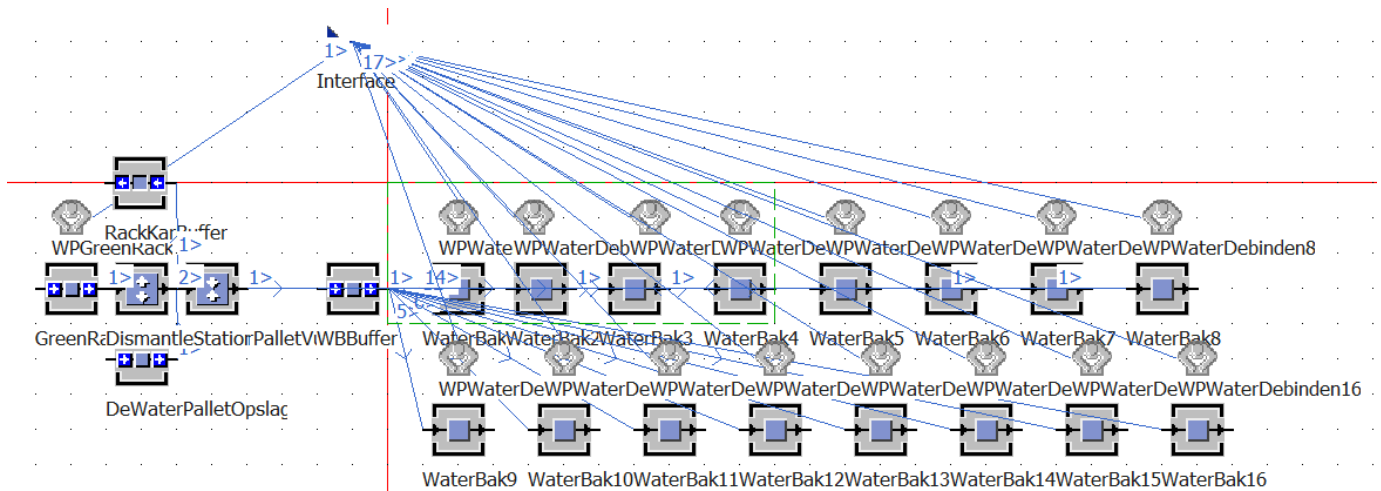
```
-- move part from machine to pallet
if ? = Sputgiet1
  if nrPartsOnSputRack1 < @.maxgreenpallet - @.PalletFactor
    @.move(sputrack1.cont)
    nrPartsOnSputRack1 += (1 * @.PalletFactor)
    if eventController.SimTime > EventController.StartStat
      TotalPartsSputgegoten += 1
      DagSputgiet[DayNr, @.name] += 1
      WeekSputgiet[WeekNr, @.name] += 1
    end
    if PP.item = "Mix Producten" //Check op Dropdownlist.PP welke producten door het model moeten
      Random := z_uniform(1,0,100)
      If Random <= MixProducten[1, "KleinProduct"]
        .Mus.KleinProduct.create(SourceA)
      ElseIf Random > MixProducten[1, "KleinProduct"] and Random <= MixProducten[1, "GGProduct"]
        .Mus.GGProduct.create(SourceA)
      ElseIf Random > MixProducten[1, "GGProduct"]
        .Mus.GrootProduct.create(SourceA)
      End
    Else
      Productkeuze.create(SourceA)
    End
  elseif nrPartsOnSputRack1 >= @.maxgreenpallet - @.PalletFactor
    Sputgiet1.entrancelocked := true
    @.move(sputrack1.cont)
    nrPartsOnSputRack1 += (1 * @.PalletFactor)
    if eventController.SimTime > EventController.StartStat
      TotalPartsSputgegoten += 1
      DagSputgiet[DayNr, @.name] += 1
      WeekSputgiet[WeekNr, @.name] += 1
    end
    sputrack1.cont.move(rackkar1.cont); -- pallet op kar als pallet vol is
    if PP.item = "Mix Producten"
      Random := z_uniform(1,0,100)
      If Random <= MixProducten[1, "KleinProduct"]
        .Mus.KleinProduct.create(SourceA)
      ElseIf Random > MixProducten[1, "KleinProduct"] and Random <= MixProducten[1, "GGProduct"]
        .Mus.GGProduct.create(SourceA)
      ElseIf Random > MixProducten[1, "GGProduct"]
        .Mus.GrootProduct.create(SourceA)
      End
    Else
      Productkeuze.create(SourceA)
    End
  end
end
```

BIJLAGE I – VERSCHILLENDE FRAMES

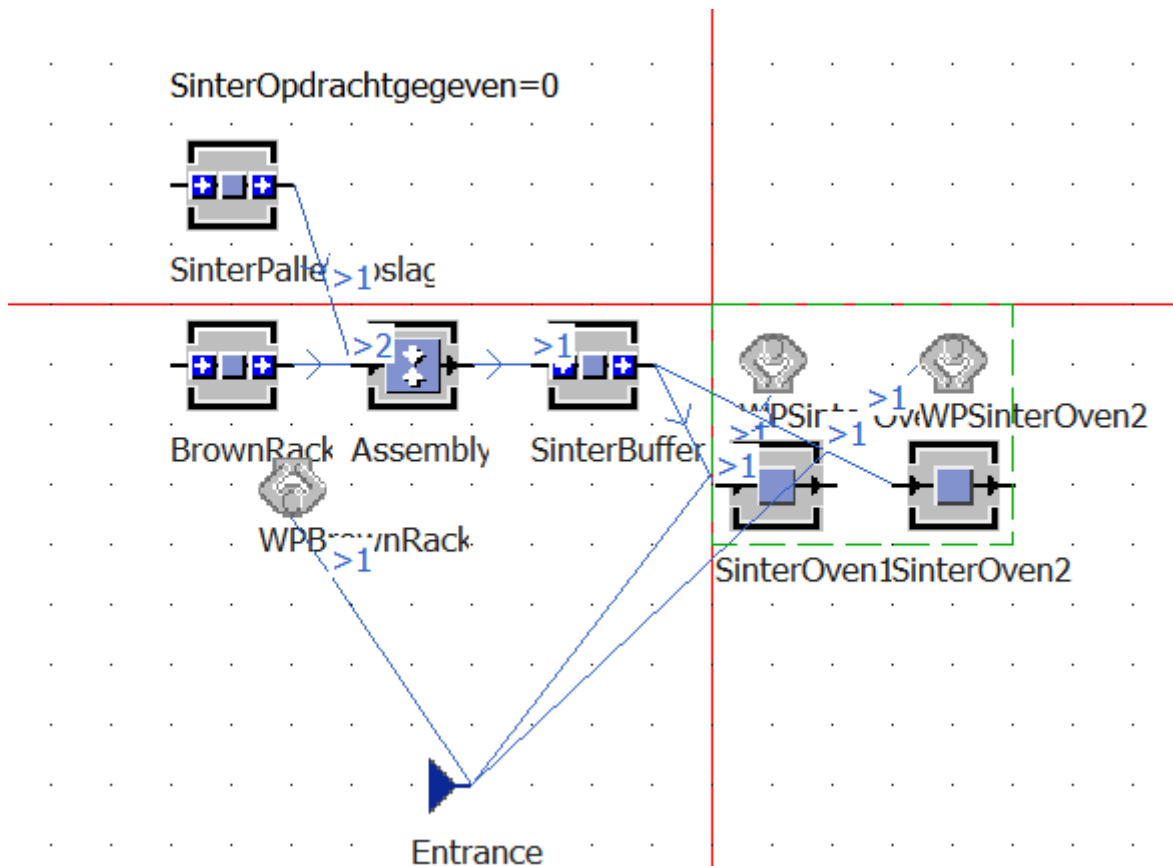
1. Overstapelen/afstapelen



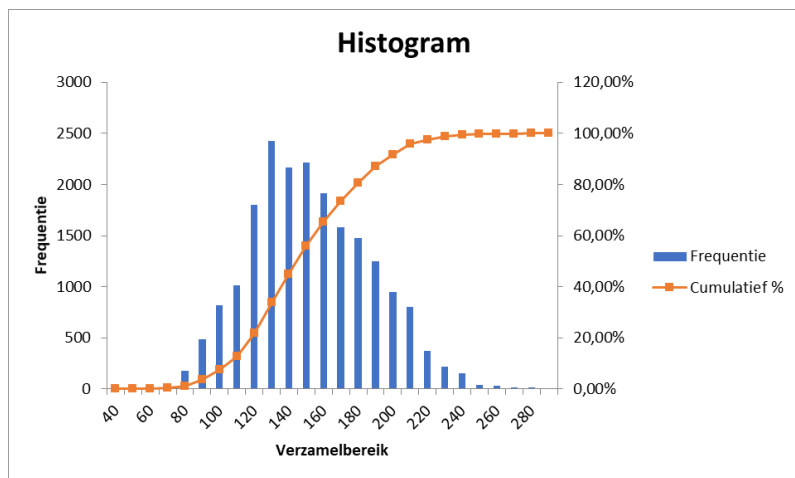
2. Waterbakken



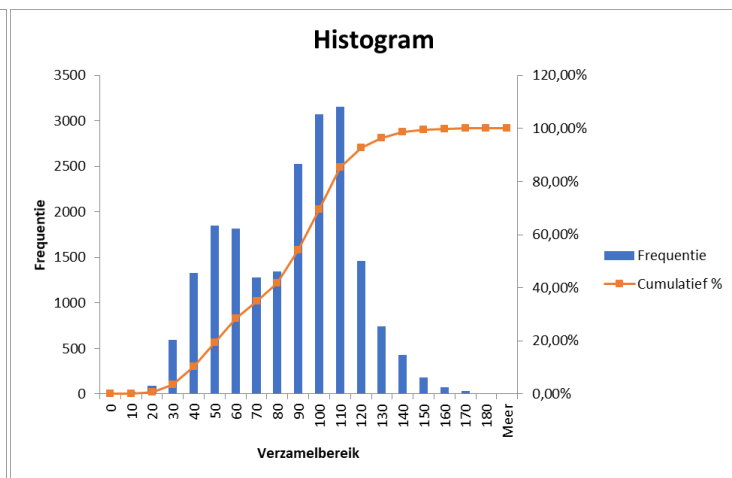
3. Sinterovens



BIJLAGE J – HISTOGRAMMEN AANTAL SINTERPLATEN



Figuur 14 - Histogram aantal sinterplaten met zaterdagproductie



Figuur 13 - Histogram aantal sinterplaten zonder zaterdagproductie

Verzamelbereik	Frequentie	Cumulatief %
40	0	0,00%
50	0	0,00%
60	12	0,06%
70	60	0,36%
80	177	1,25%
90	485	3,67%
100	816	7,75%
110	1015	12,83%
120	1802	21,84%
130	2426	33,97%
140	2168	44,81%
150	2211	55,86%
160	1913	65,43%
170	1584	73,35%
180	1479	80,74%
190	1250	86,99%
200	947	91,73%
210	802	95,74%
220	374	97,61%
230	218	98,70%
240	155	99,47%
250	42	99,68%
260	32	99,84%
270	18	99,93%
280	14	100,00%
Meer	0	100,00%

Tabel 46 - Gegevens histogram met zaterdag productie

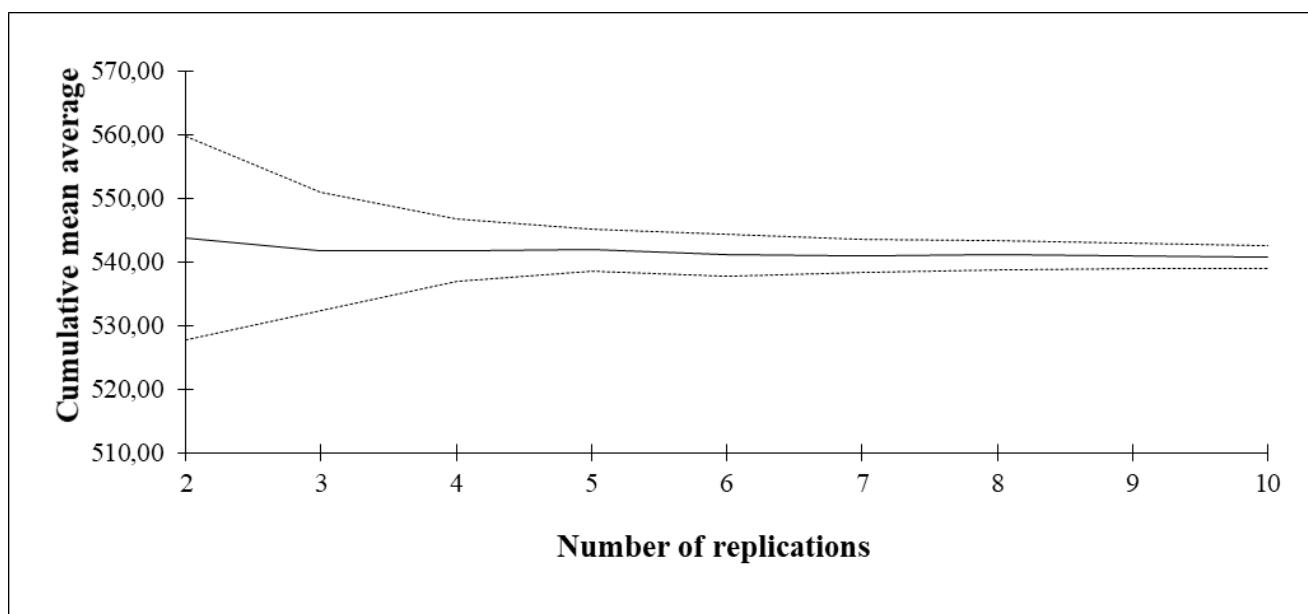
Verzamelbereik	Frequentie	Cumulatief %
0	0	0,00%
10	22	0,11%
20	93	0,58%
30	594	3,55%
40	1331	10,20%
50	1848	19,44%
60	1818	28,53%
70	1276	34,91%
80	1343	41,63%
90	2525	54,25%
100	3073	69,62%
110	3153	85,38%
120	1465	92,71%
130	745	96,43%
140	425	98,56%
150	178	99,45%
160	73	99,81%
170	33	99,98%
180	5	100,00%
Meer	0	100,00%

Tabel 45 - Gegevens histogram zonder zaterdagproductie

BIJLAGE K – AANTAL REPLICATIES

Replicaties	Resultaat	Gemiddeld	Standard deviatie	Lower interval	Upper interval	% deviation
1	545,050438	545,05	n/a	n/a	n/a	n/a
2	542,529733	543,79	1,782	527,78	559,80	2,94%
3	537,676179	541,75	3,748	532,44	551,06	1,72%
4	542,14245	541,85	3,067	536,97	546,73	0,90%
5	542,239746	541,93	2,661	538,62	545,23	0,61%
6	536,861361	541,08	3,153	537,77	544,39	0,61%
7	540,214058	540,96	2,897	538,28	543,64	0,50%
8	542,255969	541,12	2,721	538,85	543,40	0,42%
9	539,692448	540,96	2,590	538,97	542,95	0,37%
10	539,468035	540,81	2,487	539,03	542,59	0,33%

Tabel 47 - Deviatie betrouwbaarheidsinterval



Figuur 15 - Breedte betrouwbaarheidsinterval

BIJLAGE L – OMZET PER PRODUCT
