

11 - 07 - 2019

Productiviteitsverbetering voor een sociaal werkvoorzieningsbedrijf

Bachelor opdracht Technische Bedrijfskunde

Marlinde Vetkamp
Technische bedrijfskunde
Bachelor jaar 3
Universiteit Twente

**UNIVERSITY
OF TWENTE.**



Productiviteitsverbetering voor een sociaal werkvoorzieningsbedrijf

Bachelor Opdracht Technische Bedrijfskunde

Auteur

M. E. (Marlinde) Vetkamp
Studente Technische Bedrijfskunde

Universiteit Twente

Drienerlolaan 5
7522 NB, Enschede
Nederland

Larcom B.V.

Vermeerstraat 1
7731 SM, Ommen
Nederland

Supervisors

1^e supervisor: Prof. dr. J. van Hillegersberg
2^e supervisor: M. Koot Msc

Supervisor

N. Nijland, Accountmanager

Voorwoord

Het verslag wat nu voor u ligt is het resultaat van mijn bachelor opdracht vanuit de opleiding Technische Bedrijfskunde te Universiteit Twente. Ik heb mijn bachelor opdracht uitgevoerd bij Larcom. Voor Larcom heb ik een productielijn geoptimaliseerd, waardoor de productiviteit omhoog kan gaan.

Alleen had ik deze opdracht niet kunnen voltooien, daarom wil ik verschillende mensen bedanken voor hun hulp tijdens mijn bachelor opdracht. Allereerst wil ik Larcom bedanken, voor de mogelijkheid om bij hen af te studeren en voor de leuke tijd die ik er heb gehad. In het bijzonder wil ik mijn supervisor vanuit Larcom bedanken, Nynke Nijland. Daarnaast wil ik ook het productie management team en de werknemers van de productielijn bedanken voor hun inzet en medewerking.

Verder wil ik mijn supervisors van de Universiteit Twente bedanken voor hun begeleiding. Jos van Hillegersberg, bedankt voor de kritische feedback en de nieuwe inzichten die mij verder hielpen tijdens mijn bachelor opdracht. Martijn Koot, bedankt voor de hulp bij simulatie en voor de feedback op mijn bachelor opdracht.

Als laatste wil ik mijn familie bedanken voor hun support en steun tijdens mijn afstudeerperiode. In het bijzonder wil ik Ruben Zwiers bedanken, voor je kritische feedback en voor de verdere support, ook buiten het afstuderen om.

Marlinde Vetkamp, 2019

Management samenvatting

Larcom is een sociaal werkvoorzieningsbedrijf met 4 vestigingen en ongeveer 1.200 werknemers. Larcom produceert voor Marel Poultry een ketting met trolleys erop. Vanuit Larcom ligt de vraag: *“Hoe kan de productiviteit omhoog, zonder dat de terugverdientijd van eventuele investeringen langer is dan drie jaar?”*. Het kernprobleem dat wordt onderzocht is hoe stap 1, de bottleneck, geminimaliseerd kan worden. In de huidige situatie zijn gemiddeld 14 werknemers werkzaam die ongeveer 2.000 meter ketting per week produceren. De KPI's die voor de huidige en nieuwe situaties worden gemeten zijn: Kosten per Meter, Productie, Bezettingsgraad, Arbeidsproductiviteit, Arbeidskosten en Terugverdientijd. De huidige situatie wordt gesimuleerd in de software 'Plant Simulation' van Siemens. Het simulatie model is accuraat genoeg om de realiteit weer te geven, omdat het voldoet aan de eisen van Larcom.

Allereerst is er gekeken welke van de drie modellen die onder de Theory of Constraints (TOC) vallen, de Optimized Production Technology, de Drum-Buffer-Rope methode en de “Five Focusing Steps” van de TOC, wordt toegepast. Het laatst genoemde model wordt toegepast, omdat de regels van dit model toepasbaar zijn op de huidige situatie. Uit dit model zijn drie veranderingen voortgekomen. De eerste verandering (model 1) is dat de maximale capaciteit van de bottleneck wordt benut. De tweede verandering (model 2) is het gebruik van productdragers. De derde verandering (model 3) is het implementeren van een slagboommachine met automatische bouttoevoer en productdragers. Met de huidige en nieuwe simulatie modellen zijn experimenten uitgevoerd om de optimale personeelsbezettingsgraad te vinden. Uit de experimenten blijkt dat model 3 de beste outputs genereert, maar wanneer het maximale aantal werkplekken dat benut kan worden wordt meegenomen, model 2 de beste outputs genereert.

Conclusies, aanbevelingen, beperkingen en discussie

Het model dat aan de vraag: *“Hoe kan de productiviteit omhoog, zonder dat de terugverdientijd van eventuele investeringen langer is dan drie jaar?”* voldoet is model 2, zolang er gemiddeld 12 werknemers per dag worden ingezet. Wanneer dit het geval is, is de investering in 0,40 jaar terug te verdienen. Daarnaast zijn zowel model 2 als model 3 een oplossing voor het kernprobleem, beide modellen minimaliseren de bottleneck, omdat door de veranderingen er meer output gegenereerd kan worden. Wanneer Larcom de terugverdientijd van model 2 wil verkorten of model 3 wil kunnen implementeren, moet Marel Poultry eerst meer willen afnemen per week.

Het advies voor Larcom is dat er eerst begonnen wordt met de implementatie van enkele proef productdragers. Met deze productdragers kan het effect op de productielijn gemeten worden. Wanneer dit positief is, kan Larcom productdragers aan schaffen. Daarna kan Larcom bepalen om te investeren in model 3. De beperkingen van dit onderzoek zijn het te kort aan specifieke data, waardoor er minder variabiliteit gesimuleerd is, dan dat de realiteit bevat. Hierdoor had achteraf gezien simulatie niet gebruikt hoeven worden. Daarnaast kunnen de observaties en de nieuwe simulatie modellen niet accuraat genoeg bevonden worden. De laatste beperking is dat de externe validiteit van het onderzoek. De discussiepunten van dit onderzoek zijn dat het moeilijk was om te bepalen of de Theory of Constraints juist is toegepast op deze omgeving, er geen onderzoek is gedaan of de werknemers in staat zijn om daadwerkelijk met de productdragers te werken en dat er geen KPI is die de productiviteit meet. Voor vervolgonderzoek kan er worden gekeken naar de implementatie van een cobot of een productieplanning. Daarnaast kan er worden onderzocht hoe de productielijn nog verder geoptimaliseerd kan worden, zoals een andere opstelling, slimmere manieren van transport en het aanpakken van de volgende bottleneck.

Management summary

Larcom is a social employment company with 4 locations, which are all located in the Netherlands, and has around 1,200 employees. Larcom produces a chain with trolleys attached to it for Marel Poultry. Larcom questions: *“How can the productivity be increased without having a payback period of any investments that is longer than three years?”*. The core problem being answered is how step 1, the bottleneck, can be minimized. In the current situation, an average of 14 employees are working on the production line, who produce around 2,000 meters of chain a week. The KPI's that are measured for the current and new situations are: Costs per Meter, Production, Capacity utilization, Labour productivity, Labour costs and the payback period. The current situation is simulated in the software “Plant Simulation” from Siemens. The simulation model is found accurate enough to represent the reality, because it meets Larcom's requirements.

First of all, it is examined which of the three models that belong to the Theory of Constraints (TOC), the Optimized Production Technology, the Drum-Buffer-Rope method and the “Five Focusing Steps” of the TOC is used. The last-named model is used, because the rules of this model are applicable to the current situation. With this model, three changes are purposed to solve the problem. The first change (model 1) is that the maximum capacity of the bottleneck is used. The second change (model 2) is the use of product carriers. The third change (model 3) is the implementation of an impact drill with automatic bolt feed and product carriers. Experiments have been carried out with the current and new simulation models to find the optimal combinations of the number of employees per step. The experiments show that model 3 generates the best outputs, but when the maximum number of workplaces that can be used is considered, model 2 generates the best outputs.

Conclusions, recommendations, limitations and discussion

The model that is the solution for the question: *“How can the productivity be increased without having a payback period of any investments that is longer than three years?”* is model 2, as long as an average of 12 employees are deployed per day. When this is the case, the payback period is 0.40 years. In addition, both model 2 and model 3 are a solution for the core problem, because due to the changes, more output can be generated. When Larcom want to reduce the payback period of model 2 or wants to be able to implement model 3, Marel Poultry must first be able to purchase more finished products a week.

I recommend Larcom to start with implementing some sample product carriers. The effect on the production line can be measured and if this is positive, Larcom can invest in product carriers. After this Larcom can also decide to implement model 3. The limitations of this research are the shortage of specific data, which means that less variability is simulated than the reality has. As a result of this, it was not necessary to use simulation. Furthermore, the observations and the new simulation models can be found inaccurate. The last limitation is the external validity of this research. The points of discussion of this study are: it was difficult to determine whether the Theory of Constraints was implemented correctly in this environment, it is not investigated if the employees are able to actually work with the product carriers and there is no KPI that measures productivity itself. For follow-up research, it can be examined if a cobot or a production planning can be implemented. Next to that, research can also be done on how the production line can be optimized more, such as a different set-up, smarter ways of transport and tackling the next bottleneck.

Inhoudsopgave

Voorwoord	4
Management samenvatting	5
Management summary	6
Lezershandleiding.....	9
Definities.....	10
Hoofdstuk 1: Introductie	11
1.1 Introductie bedrijf	11
1.2 Uitleg opdracht en probleemstelling.....	11
1.3 Kernprobleem.....	11
1.4 Aanleiding onderzoek.....	12
1.5 Introductie probleemaanpak.....	12
1.6 Probleemaanpak en onderzoeksopzet.....	12
1.7 Samenvatting.....	16
Hoofdstuk 2: Informatie huidige productielijn.....	17
2.1 Uitleg huidige productielijn	17
2.2 Observaties.....	17
2.3 Doorlooptijden huidige productielijn	18
2.4 Huidige arbeidsproductiviteit en productie	18
2.5 Bottleneck en productiecapaciteit	18
2.6 KPI's	18
2.7 Samenvatting.....	19
Hoofdstuk 3: Simulatie model van de huidige situatie	20
3.1 Simplificaties en aannames	20
3.2 Randvoorwaarden	21
3.3 Inputs van het model.....	22
3.4 Outputs van het model.....	23
3.5 Conceptuele modellen	23
3.6 Simulatie model huidige productielijn	23
3.7 Uitkomsten KPI's huidige productielijn	25
3.8 Modellen voor valideren en verifiëren van een simulatie model	25
3.9 Samenvatting.....	26
Hoofdstuk 4: Modellen om een bottleneck te minimaliseren	27
4.1 Manieren om een bottleneck te minimaliseren.....	27
4.2 Modellen om een bottleneck te minimaliseren	27

4.3 Model keuze	28
4.4 Implementatie van de “Five Focusing Steps”	29
4.5 Samenvatting.....	32
Hoofdstuk 5 Simulatie modellen van de nieuwe situaties	33
5.1 Simplificaties en aannames nieuwe situaties.....	33
5.2 Inputs nieuwe simulatie modellen	34
5.3 Conceptuele modellen nieuwe situaties	34
5.4 Uitkomsten KPI’s modellen nieuwe situaties	35
5.5 Valideren en verifiëren van de nieuwe simulatie modellen	36
5.6 Samenvatting.....	36
Hoofdstuk 6: Experimenten in de simulatie modellen.....	37
6.1 Karakteristieken simulatie modellen.....	37
6.2 Instellingen experimenten	38
6.3 Resultaten experimenten	39
6.4 Vergelijking huidige situatie met nieuwe situaties	41
6.5 Samenvatting.....	43
Hoofdstuk 7 Conclusies, aanbevelingen, beperkingen en discussie	44
7.1 Conclusies.....	44
7.2 Aanbevelingen	45
7.3 Beperkingen.....	45
7.4 Discussie	47
7.5 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek.....	47
Bronvermelding	48
Appendix A: Uitleggen van de stappen in de huidige productielijn	49
Appendix B: Resultaten observaties.....	50
Appendix C: Grafieken kansverdelingen	53
Appendix D: Conceptuele modellen van de huidige productielijn.....	57
Appendix E: Deterministisch model huidige situatie	59
Appendix F: Systematisch literatuuronderzoek protocol.....	60
Appendix G: Tekening productdrager	64
Appendix H: Belangrijkste codes simulatie modellen	65
Appendix I: Deterministische modellen nieuwe situaties.....	68
Appendix J: Resultaten alle experimenten.....	71

Lezershandleiding

Hoofdstuk 1: Introductie

In dit hoofdstuk licht ik mijn bachelor opdracht toe en introduceer ik mijn afstudeerbedrijf. Daarnaast ga ik op het kernprobleem in en leg ik mijn probleemaanpak en onderzoeksopzet uit.

Hoofdstuk 2: Informatie huidige productielijn

In dit hoofdstuk worden verschillende aspecten van de huidige productielijn besproken. Ik leg de stappen van de huidige productielijn uit en geef de doorlooptijden per stap. Daarnaast licht ik toe welke stap in de huidige productielijn de bottleneck is en welke KPI's gemeten worden.

Hoofdstuk 3: Simulatie model van de huidige situatie

In dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe het simulatie model van de huidige situatie tot stand is gekomen. Ik benoem de simplificaties, aannames en randvoorwaardes waarop het model gebaseerd is. Daarnaast geef ik de inputs en outputs die het model gebruikt. Verder worden de conceptuele modellen en het simulatie model toegelicht en weergegeven. Als laatste wordt uitgelegd hoe het simulatie model gevalideerd en geverifieerd is.

Hoofdstuk 4: Modellen om een bottleneck te minimaliseren

In dit hoofdstuk worden modellen besproken die de bottleneck van de huidige productielijn kunnen minimaliseren. Er worden drie modellen gegeven, hieruit is er één gekozen die wordt toegepast, de "Five Focusing Steps" van de Theory of Constraints. De toepassing van dit model wordt toegelicht en er wordt uitgelegd welke veranderingen er plaats moeten vinden in de huidige productielijn.

Hoofdstuk 5: Simulatie modellen nieuwe situaties

In dit hoofdstuk worden de veranderingen die voortkomen uit hoofdstuk 4 gesimuleerd. Ik geef de nieuwe simplificaties, aannames, inputs en outputs voor de nieuwe simulatie modellen. Daarna licht ik de nieuwe conceptuele en simulatie modellen toe en worden deze weergegeven. Als laatste leg ik uit hoe de simulatie modellen gevalideerd en geverifieerd zijn.

Hoofdstuk 6: Experimenten in simulatie modellen

In dit hoofdstuk worden er experimenten uitgevoerd met de huidige en nieuwe simulatie modellen. Hiervoor leg ik eerst een aantal karakteristieken van de simulatie modellen uit. Daarna worden de instellingen voor de experimenten gegeven. Als laatste worden de resultaten van de experimenten gegeven en worden de modellen met elkaar vergeleken op basis van de personeelsbezettingsgraad.

Hoofdstuk 7: Conclusies, aanbevelingen en discussie

In dit hoofdstuk wordt er per model een conclusie gegeven op basis het uitgevoerde onderzoek. Daarna geef ik advies aan Larcom welke veranderingen ze kunnen doorvoeren en suggestie voor vervolgonderzoeken. Als laatste bespreek ik de beperkingen van mijn onderzoek.

Elk hoofdstuk is op dezelfde manier opgebouwd, om zo de leesbaarheid te vergroten. Allereerst wordt er een korte introductie van het hoofdstuk gegeven en daarna wordt de structuur van het hoofdstuk toegelicht. Elk hoofdstuk wordt afgesloten met een samenvatting.

Ik wens u veel leesplezier,

Marlinde Vetkamp, 2019

Definities

Hieronder worden de definities van veelgebruikte begrippen gegeven. De definitie die wordt gegeven is specifiek voor mijn onderzoek. De definities zijn om gegeven om de veelgebruikte begrippen te verduidelijken.

Arbeidsproductiviteit	De arbeidsproductiviteit is een maatstaaf om te kijken of de productie per werknemer ook is toegenomen. De arbeidsproductiviteit wordt gegeven in het aantal meter ketting dat geproduceerd wordt per werknemer, per dag.
Bezettingsgraad	De bezettingsgraad geeft weer welk deel van de volledige capaciteit benut wordt. De bezettingsgraad wordt meestal uitgedrukt voor een specifieke stap in een productielijn.
Bottleneck	De bottleneck is de stap in de productielijn die de minste producten per tijdseenheid kan produceren.
Doorlooptijd	De doorlooptijd is de tijd dat één stap nodig heeft om één of meerdere producten te maken. De doorlooptijd wordt hier gegeven in het aantal seconden om één of meerdere trolleyhelften te produceren.
KPI	KPI is de afkorting van Key Performance Indicator, oftewel een indicator die bepaalde prestaties van de productielijn meet. Met behulp van KPI's kunnen modellen op hun prestaties vergeleken worden. Hiermee kan worden gezien welk model op een bepaalde KPI beter presteert dan een ander model.
Productie	De productie is het aantal meter ketting dat per dag wordt geproduceerd.
Productielijn	In deze context wordt met productielijn de vier stappen van het ketting montage proces bedoeld. Deze vier stappen vormen samen één productielijn.
Productiviteit	Productiviteit is een maatstaaf voor de efficiëntie van de productielijn. Met productiviteit verhogen wordt bedoeld dat er meer output gegenereerd wordt.

Hoofdstuk 1: Introductie

In dit hoofdstuk licht ik mijn bachelor opdracht toe en introduceer ik mijn afstudeerbedrijf. De structuur in dit hoofdstuk is als volgt:

- Paragraaf 1.1 introduceert het bedrijf
- Paragraaf 1.2 legt de opdracht en de probleemstelling uit
- Paragraaf 1.3 motiveert de aanleiding voor mijn onderzoek
- Paragraaf 1.4 presenteert het kernprobleem
- Paragraaf 1.5 introduceert de probleemaanpak
- Paragraaf 1.6 gaat verder in op de probleemaanpak en de onderzoeksopzet
- Paragraaf 1.7 geeft een samenvatting van dit hoofdstuk

1.1 Introductie bedrijf

Larcom is een sociaal werkvoorzieningsbedrijf dat werk biedt aan mensen met een achterstand op de arbeidsmarkt. Larcom heeft vier vestigingen, in Ommen, Hardenberg, Brummen en Oldenzaal. Verspreidt over deze vestigingen zijn ongeveer 1.200 werknemers in dienst. Larcom heeft drie verschillende afdelingen: productie, groentechniek en detachering. Op de afdeling productie produceert Larcom producten voor verschillende bedrijven. Dit gaat meestal om arbeidsintensieve werkzaamheden. Voorbeelden van de werkzaamheden zijn: het vouwen van doekjes, pakketjes in/om pakken, grasmatten snijden en rollen en onderdelen (de)monteren.

1.2 Uitleg opdracht en probleemstelling

Mijn opdracht focust zich op een van de productielijnen van de afdeling productie. De productielijn bestaat uit vier stappen. Hier produceert Larcom een product in opdracht van Marel Poultry. Marel Poultry is een bedrijf dat verschillende onderdelen maakt en ontwikkelt op het gebied van pluimverwerkingssystemen en -diensten, die helpen bij de verwerking van pluimvee. Het product dat Larcom voor Marel Poultry produceert, is een ketting waar vervolgens handmatig trolleyhelften op worden gemonteerd. Deze kettingen worden gebruikt in verschillende kipslachterijen om het pluimvee mee te verplaatsen. Aangezien Marel Poultry groeit, hebben zij gevraagd of Larcom zestig procent meer ketting kan gaan produceren. Larcom heeft vervolgens extra werkplekken gecreëerd, zodat zij meer kunnen produceren. Dit heeft er toe geleid dat er meer mensen nodig zijn om aan de vraag van Marel Poultry te voldoen. Aangezien Larcom niet het enige bedrijf is dat deze ketting produceert, wil Larcom graag goedkoper kunnen produceren. Dit betekent dat de productiviteit van de huidige productielijn omhoog moet. Larcom heeft de volgende vraag aan mij voorgelegd:

“Hoe kan de productiviteit omhoog, zonder dat de terugverdientijd van eventuele investeringen langer is dan drie jaar?”

1.3 Kernprobleem

Er zijn meerdere redenen te bedenken waarom de productiviteit niet optimaal is. Deze redenen zijn: er is sprake van een bottleneck, er is onvoldoende materiaal ter beschikking of de setup van de productielijn is verkeerd. Na overleg met Larcom over deze redenen is het kernprobleem vastgesteld. Larcom is van mening dat de meeste productiviteitswinst te behalen valt door het minimaliseren van de bottleneck in de huidige productielijn. Het kernprobleem dat ik ga oplossen is hoe de bottleneck geminimaliseerd moet worden, zodat de productiviteit omhoog gaat en de terugverdientijd van investeringen korter is dan 3 jaar.

1.4 Aanleiding onderzoek

Mijn primaire doel is om de bottleneck te minimaliseren, zodat de productiviteit omhoog gaat. Ik moet hierbij wel rekening houden met de loonkosten en eventuele investeringen. In deze context is productiviteit de output die de productielijn, per tijdseenheid, genereert. De eisen die aan het doel verbonden zitten, is dat er aan de vraag moet worden voldaan en er werk is en blijft van hetzelfde niveau. De oplossingen die ik bedenken, moeten binnen een redelijke tijd, maximaal drie jaar, terug te verdienen zijn en moeten aan het gestelde doel voldoen.

Voordat Larcom extra ging produceren, produceerden zij 1.600 meter ketting per week. De productie moet met minimaal zestig procent omhoog, dit betekent dat de nieuwe productie 2.560 meter ketting per week moet zijn. Aan deze norm moet worden voldaan. Met de inzet van een extra tafel kan er in theorie 3.000 meter ketting per week geproduceerd worden. De realiteit is dat er 2.000 meter ketting per week wordt geproduceerd, met twee tafels. Met de inzet van één extra tafel kan aan de vraag van Marel Poultry worden voldaan, alleen gaat de productiviteit niet omhoog. Het verschil tussen de norm en de realiteit is dat Larcom wel meer kan produceren, alleen dat de productiviteit niet omhoog gaat. Om dit verschil tussen de norm en de realiteit op te lossen wordt er gekeken hoe de bottleneck geminimaliseerd kan worden, om zo de productiviteit te verhogen.

1.5 Introductie probleemaanpak

Om een oplossing te vinden voor het kernprobleem, heb ik een probleemaanpak geformuleerd. Eerst leg ik uit waarom ik heb gekozen voor een simulatie studie uit. Daarna licht ik de stappen, om tot een oplossing te komen, toe. Deze stappen zijn geformuleerd in zes fases.

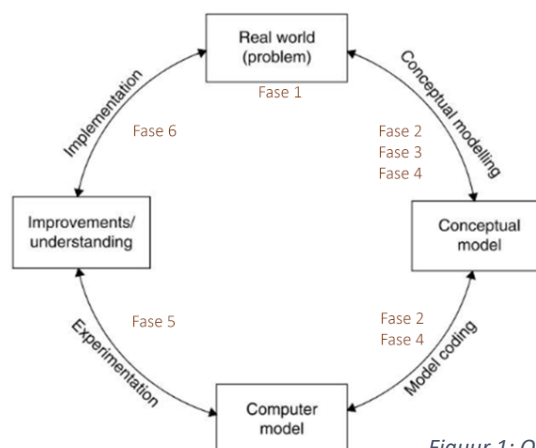
1.5.1 Motivatie voor het uitvoeren van een simulatie studie

Om het probleem dat Larcom aan mij heeft voorgelegd op te lossen, maak ik gebruik van de simulatie software 'Plant Simulation' van Siemens. De verschillende redenen dat ik hiervoor heb gekozen zijn:

- 1) Met behulp van simulatie kan ik de nieuwe situaties simuleren, dit geeft ook direct een visuele en gedetailleerde weergave van de nieuwe situatie weer (Robinson, 2014, pp. 14-16).
- 2) Met behulp van simulatie kan ik onderzoeken en experimenteren of een oplossing werkt, voordat deze wordt geïmplementeerd in de productielijn.
- 3) Met behulp van simulatie kan ik experimenten uitvoeren die in de realiteit meer tijd en geld kosten en ook op sociaal gebied niet haalbaar zijn (Robinson, 2014, pp. 14-16).
- 4) Voor de veranderingen die er gaan plaatsvinden is er geen realiteit om mee te experimenteren, maar dit kan wel in simulatie (Robinson, 2014, pp. 14-16).

1.6 Probleemaanpak en onderzoeksopzet

Om een duidelijke structuur aan te brengen in mijn oplossingsproces, is de onderzoeksopzet opgedeeld in zes fases. De fases zijn gebaseerd op de volgende onderzoeksopzet (Robinson, 2014, p. 65):



Figuur 1: Onderzoeksopzet cirkel

De onderzoeksopzet zoals in paragraaf 1.6.1 tot en met 1.6.6 verder wordt uitgelegd, begint bij de 'real world', namelijk onderzoek doen naar de huidige situatie. Vervolgens wordt in fase 2 de huidige situatie in kaart gebracht door het maken van conceptuele modellen en een computer model. Daarna wordt er in fase 3 onderzocht wat er veranderd kan worden om het kernprobleem op te lossen. Met behulp van de informatie uit de voorgaande fases, worden er in fase 4 drie simulatie modellen ontwikkelt, die gebaseerd zijn op conceptuele modellen. Met de ontwikkelde simulatie modellen wordt geëxperimenteerd, om zo de werking van de veranderingen beter te begrijpen en om in te zien waar de 'real world' verbeterd kan worden. Dit gebeurt in fase 5. Fase 6 sluit af met conclusies en aanbevelingen, waarin wordt benoemd welke verandering het beste geïmplementeerd kan worden. In figuur 1 wordt aangegeven op welk punt in de onderzoeksopzet cirkel een fase plaatsvindt. Hierin kan worden gezien dat de hele cirkel wordt doorlopen tijdens dit onderzoek.

Elke fase heeft zijn eigen hoofdvraag en deelvragen, die per fase worden gegeven en toegelicht. De fases zijn als volgt:

- Fase 1: Informatie huidige productielijn
- Fase 2: Simulatie model van de huidige productielijn
- Fase 3: Modellen om een bottleneck te minimaliseren
- Fase 4: Simulatie modellen van de nieuwe situaties
- Fase 5: Experimenten in de simulatie modellen
- Fase 6: Conclusies, aanbevelingen, beperkingen en discussie

1.6.1 Fase 1: Informatie huidige productielijn

Tijdens deze fase wordt de informatie over de huidige productielijn verzameld. Deze informatie is nodig om een simulatiemodel te construeren en om de stappen toe te lichten. Om deze informatie te verzamelen heb ik één hoofdvraag opgesteld en vier deelvragen. Deze vragen worden beantwoord in hoofdstuk 2.

- 1) Hoe ziet de huidige productielijn eruit?
 - a. Wat zijn de doorlooptijden voor elke stap in de productielijn?
 - b. Wat is de huidige arbeidsproductiviteit en productie van de productielijn?
 - c. Waar zit de bottleneck en waarom is dit de bottleneck?
 - d. Welke KPI's moeten worden gemeten?

Door deze vragen te beantwoorden wil ik beter begrijpen hoe de huidige productielijn functioneert. De eerste drie deelvragen worden beantwoord met het uitvoeren van observaties. De observaties worden meerdere keren uitgevoerd, zodat de informatie die wordt verkregen valide en betrouwbaar is. De laatste deelvraag wordt beantwoord doormiddel van een interview met het management van Larcom en mijn supervisor. Met behulp van de antwoorden op deze vragen kan er in fase 2 worden gekeken hoe deze informatie een simulatie model kan vormen.

1.6.2 Fase 2: Simulatie model van de huidige productielijn

Tijdens deze fase werk ik aan het in kaart brengen van de huidige situatie met behulp van een simulatie model. Om het simulatie model te kunnen construeren, heb ik één hoofdvraag opgesteld en zes deelvragen. Deze vragen worden beantwoord in hoofdstuk 3.

- 2) Wat zijn de eisen voor het simulatie model van de huidige situatie?
 - a. Welke simplificaties en aannames kunnen worden toegepast?
 - b. Welke randvoorwaarden moeten worden meegenomen?
 - c. Wat zijn de inputs en outputs voor het simulatie model?
 - d. Welke kansverdeling is toepasbaar per stap?

- e. Welk simulatie model is het resultaat van de voorgaande vragen?
- f. Welke modellen kan ik gebruiken om mijn simulatie model te valideren en verifiëren?

De eerste twee deelvragen worden beantwoord doormiddel van interviews met het management en het productie management team van Larcom. De derde deelvraag wordt beantwoord met behulp van de antwoorden die in fase 1 gevonden zijn. De vierde deelvraag wordt beantwoord met behulp van het programma EasyFit en het boek "Simulation, the practice of model development and use" geschreven door Stewart Robinson. Het programma EasyFit kan op basis van de verzamelde data een kansverdeling bepalen die het beste past. Met behulp van de antwoorden op deze vragen construeer ik eerst conceptuele modellen. Wanneer deze conceptuele modellen voldoende overeenkomen met de realiteit wordt het simulatie model op basis van de conceptuele modellen geconstrueerd.

Wanneer het simulatie model is geconstrueerd, is het belangrijk dat het model valide en betrouwbaar is. Allereerst wordt de vijfde deelvraag beantwoord om duidelijk te maken wat het resultaat van de eerste vier vragen is. De vijfde deelvraag wordt beantwoord door de conceptuele modellen te implementeren in de simulatie software en uit te leggen hoe dit model eruit ziet en werkt. Daarnaast worden de KPI's in de huidige situatie gegeven. De laatste deelvraag wordt beantwoord doormiddel van een literatuur onderzoek. Uit dit literatuur onderzoek volgen de modellen die ik gebruik om mijn simulatie model te valideren en verifiëren.

1.6.3 Fase 3: Modellen om een bottleneck te minimaliseren

Tijdens deze fase verzamel ik informatie over modellen die kunnen worden gebruikt om een bottleneck te minimaliseren. Daarnaast worden de veranderingen die het proces moet ondergaan om een model te kunnen toepassen onderzocht. Hiervoor heb ik één hoofdvraag en drie deelvragen opgesteld. Deze vragen worden beantwoord in hoofdstuk 4.

- 3) Welke modellen kunnen worden gebruikt om een bottleneck te minimaliseren?
 - a. Welke modellen bestaan er om een bottleneck te minimaliseren in een productielijn?
 - b. Welke model kan het beste worden toegepast op de huidige situatie en waarom?
 - c. Welke veranderingen in de productielijn zijn nodig om het model toe te passen?

Voordat ik ga werken aan een nieuwe situatie, is het handig om te weten welke modellen er kunnen worden toegepast om een bottleneck te minimaliseren. Gebaseerd op de antwoorden die volgen uit deze fase worden er oplossingen gecreëerd. De eerste deelvraag wordt beantwoord met een systematisch literatuuronderzoek. De tweede deelvraag wordt beantwoord door het model te selecteren dat het beste past bij het onderzoeksdoel en uit te leggen waarom dit model toegepast wordt. Om het model te kunnen toepassen, moeten er in de huidige productielijn veranderingen plaatsvinden. De veranderingen die plaatsvinden moeten er toe leiden dat de werknemers meer kunnen produceren. De veranderingen waarnaar wordt gekeken zijn gefocust op het ondersteunen van werknemers in hun werk. Om deelvraag drie te beantwoorden, ga ik het productie management team van Larcom interviewen. Zij weten wat de werknemers kunnen presteren en wat hier mogelijk bij kan helpen. Met de antwoorden die uit het interview volgen, ga ik onderzoek doen naar de kosten en berekenen welke invloed de veranderingen hebben op de productielijn. Om dit te kunnen berekenen vraag ik hulp aan mijn supervisor, zij heeft contact met bedrijven die mogelijke gereedschappen en/of machines kunnen maken.

1.6.4 Fase 4: Simulatie modellen van de nieuwe situaties

Tijdens deze fase worden de veranderingen die volgen uit fase 3 geïmplementeerd in een simulatie model. Elke verandering wordt afzonderlijk gesimuleerd. Voor elk model wordt één hoofdvraag beantwoord en vier deelvragen. Deze vragen worden beantwoord in hoofdstuk 5.

- 4) Wat zijn de eisen voor de simulatie modellen van de nieuwe situaties?
 - a. Welke simplificaties en aannames kunnen worden toegepast?
 - b. Wat zijn de nieuwe inputs en outputs voor de simulatie modellen?
 - c. Welke simulatie modellen zijn het resultaat van de voorgaande vragen?
 - d. Welke modellen kan ik gebruiken om de nieuwe simulatie modellen te valideren en verifiëren?

Voor de veranderingen ten opzichte van de huidige productielijn wordt gekeken of er simplificaties en aannames toegepast kunnen worden, om zo het simuleren makkelijker te maken. Deze vraag wordt beantwoord doormiddel van interviews met het management en de productie management team. De twee deelvraag wordt beantwoord met behulp van de antwoorden die in fase 3 gevonden zijn. Op basis van de antwoorden op vraag één en twee worden de nieuwe conceptuele modellen geconstrueerd. Voor vraag drie en vier worden eerst de conceptuele modellen geïmplementeerd in het simulatie model dat volgt uit fase 2. Daarna worden de vragen beantwoord op dezelfde manier als zij zijn beantwoord in fase 2.

1.6.5 Fase 5: Experimenten in de simulatie modellen

Om te onderzoeken of de veranderingen effect hebben en wat voor effect deze hebben, ga ik verschillende experimenten in het huidige simulatie model en de nieuwe simulatie modellen uitvoeren. Daarnaast worden de experimenten uitgevoerd om zo tot de optimale personeelsbezettingsgraad te komen. Om deze experimenten vorm te geven heb ik één hoofdvraag en twee deelvragen opgesteld. Deze worden beantwoord in hoofdstuk 6.

- 5) Welke experimenten worden uitgevoerd in de huidige en nieuwe simulatie modellen?
 - a. Welke instellingen, met betrekking tot de personeelsbezettingsgraad, kunnen worden aangepast?
 - b. Wat zijn de resultaten van deze experimenten?

In alle simulatie modellen wordt gekeken welke experimenten kunnen worden uitgevoerd. Deelvraag één wordt beantwoord door te onderzoeken welke instellingen, per simulatie model, aangepast kunnen worden. Met behulp van verschillende combinaties van instellingen, worden experimenten uitgevoerd. Het doel van de experimenten is om Larcom advies te kunnen geven welke verandering het beste geïmplementeerd kan worden. Daarnaast kan met de resultaten van de experimenten worden bepaald, welke personeelsbezettingsgraad per stap optimaal is wanneer er een bepaald aantal werknemers aanwezig is. De tweede deelvraag wordt beantwoord doormiddel van het weergeven van de resultaten van de experimenten. Deze resultaten zijn gefocust op de verandering van de KPI's ten opzichte van fase 2. De uitkomst van deze fase is de optimale combinatie van medewerkers, per model.

1.6.6 Fase 6: Conclusies, aanbevelingen, beperkingen en discussie van het onderzoek

Als laatste presenteer ik mijn resultaten aan Larcom. Dit wordt gedaan doormiddel van het geven van weloverwogen aanbevelingen over de implementatie en voor vervolgonderzoek, het geven van de conclusies en beperkingen en een discussie. Tijdens deze fase beantwoord ik één hoofdvraag en drie deelvragen. Deze worden beantwoord in hoofdstuk 7.

- 6) Wat zijn de aanbevelingen, beperkingen, conclusies en discussie van het onderzoek?
- a. Welke conclusies kunnen worden geformuleerd op basis van fase 5?
 - b. Welke aanbevelingen kunnen worden gedaan?
 - c. Wat zijn de beperkingen van dit onderzoek?

Om mijn onderzoek af te ronden breng ik een advies uit aan Larcom, hoe zij de huidige productielijn kunnen veranderen, om de productiviteit te verhogen. In dit hoofdstuk beantwoord ik de vraag hoe de bottleneck het beste geminimaliseerd kan worden, zodat de productiviteit omhoog gaat en de terugverdientijd korter is dan 3 jaar. Alle deelvragen worden beantwoord op basis van de resultaten van eerdere fases. Om mijn bachelor opdracht af te sluiten, bereid ik een presentatie voor die ik ga presenteren aan Larcom en tijdens mijn colloquium.

1.7 Samenvatting

In dit hoofdstuk is mijn afstudeerbedrijf, Larcom, geïntroduceerd en heb ik uitgelegd wat de opdracht is die ik ga uitvoeren. Het kernprobleem dat ik ga aanpakken is het verhogen van de productiviteit doormiddel van het minimaliseren van de bottleneck. Mijn onderzoek begint met het in kaart brengen van de huidige situatie en daarna worden er nieuwe situaties opgesteld. De huidige en nieuwe situaties worden beiden gesimuleerd. De opzet van mijn onderzoek bestaat uit zes fases, die in de volgende hoofdstukken verder uitgewerkt worden.

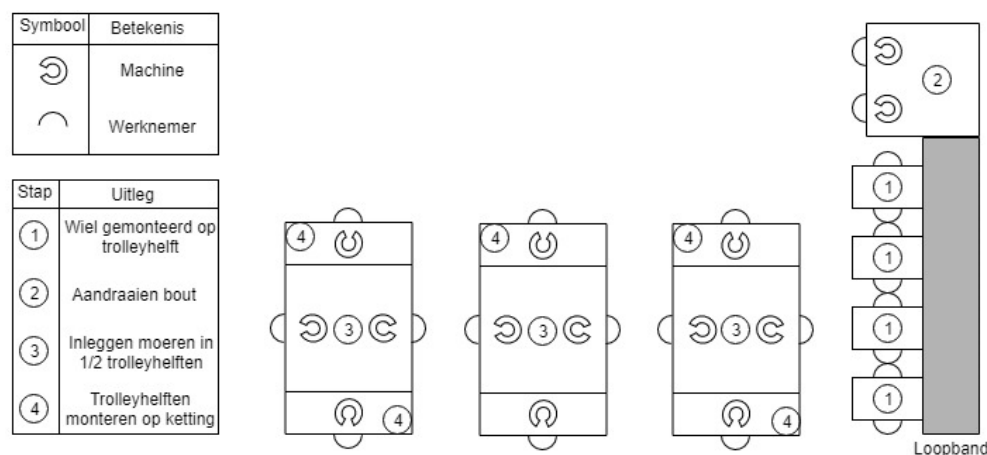
Hoofdstuk 2: Informatie huidige productielijn

In dit hoofdstuk leg ik uit hoe de huidige productielijn eruit ziet en functioneert. Dit hoofdstuk geeft antwoord op de hoofdvraag: “Hoe ziet de huidige productielijn eruit?”. Om deze vraag te beantwoorden licht ik de stappen van de huidige productielijn toe, geef en meet ik de doorlooptijden, leg ik uit wat de bottleneck is en welke KPI's ik ga meten. De structuur in dit hoofdstuk is als volgt:

- Paragraaf 2.1 legt de huidige productielijn, in stappen, uit
- Paragraaf 2.2 legt uit hoe de doorlooptijden zijn geobserveerd
- Paragraaf 2.3 presenteert de doorlooptijden van de huidige productielijn
- Paragraaf 2.4 presenteert de huidige arbeidsproductiviteit en productie
- Paragraaf 2.5 legt uit wat de bottleneck en de productiecapaciteit zijn
- Paragraaf 2.6 geeft toelichting over de KPI's die worden gemeten
- Paragraaf 2.7 geeft een samenvatting van dit hoofdstuk

2.1 Uitleg huidige productielijn

De huidige productielijn bestaat uit vier stappen, deze worden kort weergegeven in figuur 2 en verder toegelicht in Appendix A. Voordat de productie kan beginnen worden alle materialen voor de ketting aan het begin van de productielijn geplaatst. De ketting wordt in batches van vijftig meter geproduceerd. Als vijftig meter ketting af is, wordt deze in een doos gedaan en tijdelijke opgeslagen in het magazijn, voordat de ketting wordt geleverd aan Marel Poultry. Marel Poultry verwacht een minimale productie van 2.000 meter ketting per week en kan maximaal 3.000 meter ketting per week afnemen. De huidige productielijn biedt plaats voor 22 werknemers.



Figuur 2: Opstelling huidige productielijn

2.2 Observaties

Samen met het productie management team van Larcom hebben ik besloten hoe ik de verschillende stappen kan observeren. Het doel van deze observaties is om informatie te vergaren om deelvragen 2a tot en met 2c te kunnen beantwoorden. Aangezien in stap 1 de mensen werken die specifieke uitleg nodig hebben, heb ik deze metingen samen met het productie management team uitgevoerd. Om stap 1 te meten heeft de productiemanager de loopband voor 15 minuten stil gelegd en de werknemers gevraagd of zij de trolleyhelften die zij maakten elk in een eigen kratje wilden doen. Na dit kwartier heb ik van elk persoon apart het kratje geteld. De stappen 2, 3 en 4 heb ik gefilmd. Daarna heb ik de video's bekeken en zo de tijd per trolleyhelft bepaald. De resultaten van de observaties zijn te vinden in Appendix B. Om te valideren of de observaties niet beïnvloed zijn door mijn aanwezigheid, heb ik de resultaten besproken met mijn supervisor van Larcom. Wij zijn tot de conclusie gekomen dat de resultaten van de observaties de realiteit met voldoende accuraatheid weergeeft.

2.3 Doorlooptijden huidige productielijn

Stap	Gemiddelde (seconden)	Aantal werknemers	Aantal producten per minuut
1	21,5	6	17
2	4,5	2	27
3	10,1	2	24
4	7,81	4	31

Tabel 1: Doorlooptijden per stap

De gemiddelde doorlooptijden zijn bepaald om een indicatie te geven hoelang een stap ongeveer duurt. De data in Appendix B wordt in paragraaf 3.3 gebruikt om de kansverdeling van een stap te bepalen. Met behulp van een kansverdeling kan de variabiliteit in de doorlooptijden per stap accurater worden weergegeven.

2.4 Huidige arbeidsproductiviteit en productie

Deze paragraaf beantwoordt de deelvraag: “Wat is de huidige arbeidsproductiviteit en productie van de productielijn?”. De huidige productie is gemiddeld 2.000 meter ketting per week. De huidige productie is afgestemd op de orders die Larcom ontvangt van Marel Poultry. In de huidige productielijn zijn gemiddeld 14 werknemers werkzaam, dit geeft een arbeidsproductiviteit van 28 meter ketting per werknemer, per dag.

2.5 Bottleneck en productiecapaciteit

Deze paragraaf beantwoordt de deelvraag: “Waar zit de bottleneck en waarom is dit de bottleneck?”. Volgens Slack, Brandon-Jones & Johnston (2013, p. 729) is een bottleneck de “capaciteitsbeperkende stap in een proces, het regelt de output van het hele proces”. In andere woorden, de bottleneck is de stap die de rest van het proces remt. Dit is de stap die de minste producten per tijdseenheid kan produceren. In tabel 1 kan worden gezien dat stap 1 de minste producten per minuut kan produceren, daarom is stap 1 de bottleneck van de productielijn. In de huidige productielijn bepaalt de bottleneck, zelfs wanneer de maximale capaciteit wordt benut, de maximale productiecapaciteit die behaald kan worden. Met de maximale inzet van de capaciteit van de bottleneck kan stap 1, 22 producten per minuut produceren. De productiecapaciteit per dag is dan 754 meter ketting.

2.6 KPI's

Om meetbaar te maken of de veranderingen in de productielijn een verbetering zijn ten opzichte van de huidige situatie, worden er KPI's gekozen om de productiviteit te meten. De KPI's worden berekend voor de huidige en de nieuwe situaties om het verschil te kunnen zien. De deelvraag die wordt beantwoord is: “Welke KPI's moeten worden gemeten?”. De gekozen KPI's worden in de paragrafen 2.6.1 tot en met 2.6.6 uitgelegd.

2.6.1 Productie

Voor verschillende KPI's die hier benoemd worden, is het handig om te weten wat de productie per dag is. De productie wordt gemeten in het aantal meter ketting dat per dag wordt geproduceerd. Hiervoor wordt gekeken hoeveel trolleyhelften er per dag worden geproduceerd. In de huidige situatie wordt er 7,5 uur op één dag geproduceerd en werken er 14 werknemers aan de huidige productielijn.

2.6.2 Kosten per Meter

De kosten per meter worden uitgedrukt als het geheel aan kosten dat relevant is, per meter ketting. De kosten die worden meegenomen in de berekening, zijn de arbeidskosten en de kosten van de machines. De kosten per meter worden per runlengte berekend. Dit geeft de volgende formule:

$$Kosten\ per\ Meter = \frac{(arbeidskosten \times runlengte) + kosten\ machines}{(productie\ (formule\ 2.6.1) \times runlengte)}$$

2.6.3 Bezettingsgraad

De bezettingsgraad wordt berekend om te laten zien hoe efficiënt Larcom de machines en werkplekken die zij tot hun beschikking hebben inzet. Om dit te berekenen moet de huidige productie en huidige productiecapaciteit worden bepaald. De huidige productiecapaciteit wordt bepaald door de volledige bezetting te laten werken en kijken hoeveel er dan geproduceerd kan worden. Dit geeft de volgende formule:

$$Bezettingsgraad = \frac{productie\ (formule\ 2.6.1)}{productiecapaciteit}$$

2.6.4 Arbeidsproductiviteit

Om te kijken of een verandering werkt bereken ik de arbeidsproductiviteit van de productielijn met de verandering geïmplementeerd. Door deze te vergelijken met de huidige arbeidsproductiviteit is het makkelijk te bepalen of een oplossing zijn doel heeft bereikt. De arbeidsproductiviteit wordt gemeten in het aantal meter ketting dat wordt geproduceerd, per dag, per werknemer (Slack, Brandon-Jones, & Johnston, 2013, p. 57). Dit geeft de volgende formule:

$$Arbeidsproductiviteit = \frac{productie\ (formule\ 2.6.1)}{aantal\ werknemers}$$

2.6.5 Arbeidskosten

Er kan met deze KPI worden gezien hoe hoog de arbeidskosten per verandering zijn. De arbeidskosten worden berekend doormiddel van de volgende formule:

$$Arbeidskosten\ per\ meter = aantal\ werknemers \times 5 \times 7,5$$

Het loon per werknemer is ongeveer vijf euro per uur. De arbeidskosten zullen per dag worden berekend. Op één dag wordt 7,5 uur gewerkt, dit is exclusief pauzes.

2.6.6 Terugverdientijd investeringen

Om de productiviteit te verhogen kan het zijn dat er investeringen worden gedaan. Op basis van de terugverdientijd kan worden bepaald of een investering haalbaar is. De terugverdientijd wordt berekend op basis van de opbrengsten in de huidige en de nieuwe situatie. Het verschil hier tussen kan worden besteed aan een investering. De opbrengsten worden berekend door de productie x €2,56 te doen. Bij de berekening voor de terugverdientijd wordt ervan uit gegaan dat de opbrengsten in de huidige situatie alle kosten voor de productie dekken. Deze kosten zijn onder andere de arbeidskosten en overhead kosten. De volgende formule berekend de terugverdientijd:

$$Terugverdientijd = \frac{kosten\ van\ de\ investering}{(gemiddelde\ opbrengsten\ nieuw - gemiddelde\ opbrengsten\ huidig)}$$

2.7 Samenvatting

In dit hoofdstuk wordt de huidige productielijn uitgelegd, de opstelling en de doorlooptijden benoemd en worden de KPI's die gemeten worden gegeven. Daarnaast worden de huidige productie, arbeidsproductiviteit en de bottleneck gegeven. Met deze informatie kan er in hoofdstuk 3 een simulatie model worden geconstrueerd.

Hoofdstuk 3: Simulatie model van de huidige situatie

Dit hoofdstuk geeft toelichting over hoe het simulatie model van de huidige situatie tot stand is gekomen. Voordat het simulatie model is geconstrueerd, zijn er conceptuele modellen gemaakt. De informatie die nodig is voor de conceptuele modellen en voor het simulatie model wordt verder toegelicht. De structuur in dit hoofdstuk is als volgt:

- Paragraaf 3.1 benoemt de simplificaties en aannames en legt deze uit
- Paragraaf 3.2 benoemt en legt de randvoorwaarden uit
- Paragraaf 3.3 geeft de inputs van het model
- Paragraaf 3.4 geeft de outputs van het model
- Paragraaf 3.5 legt de conceptuele modellen uit
- Paragraaf 3.6 presenteert het simulatie model van de huidige productielijn en licht deze toe
- Paragraaf 3.7 laat de uitkomsten van de KPI's van de huidige productielijn zien
- Paragraaf 3.8 benoemt modellen voor het valideren en verifiëren van een simulatie model
- Paragraaf 3.9 geeft een samenvatting van dit hoofdstuk

3.1 Simplificaties en aannames

De simplificaties en aannames die worden meegenomen in het model zijn in de paragrafen 3.1.1 tot en met 3.1.7 benoemd en de belangrijkste worden uitgelegd. De vraag die deze paragraaf beantwoordt is: "Welke simplificaties en aannames kunnen worden toegepast?".

3.1.1 Inkoop

Ik heb aan de medewerkers van inkoop en het productie management team gevraagd of er momenten zijn dat er onvoldoende voorraad is om te kunnen produceren. Zij gaven aan dat dit bijna nooit voorkomt en dat de productie ook bijna nooit stil staat. Dit komt ook doordat Larcom zelf voldoende back-up voorraad heeft om eventuele manco's te voorkomen. Hierdoor heb ik de inkoop niet meegenomen in mijn model, omdat ervan uit kan worden gegaan dat er altijd voldoende voorraad is om te produceren.

3.1.2 Afhandeling van de productie

Aan het einde van de productielijn wordt de ketting per vijftig meter verpakt en opgeslagen in het magazijn. Als er een ketting gereed is, wordt deze door iemand van stap 2 of stap 4 naar het magazijn verplaatst. Aangezien stap 2 en stap 4 niet de bottlenecks zijn van dit proces, hebben zij tijd over om een ketting naar het magazijn te verplaatsen. Wanneer de werknemers van stap 2 en stap 4 geen tijd hebben, vangt de productiemanager dit op. Hierdoor zijn er altijd werknemers beschikbaar die dit werk kunnen verrichten. Aangezien dit verder geen invloed heeft op de productielijn, wordt dit niet meegenomen in het model.

3.1.3 Geen onderscheid tussen magneettrolleys en normale trolleys

Om de honderd trolleys moet er een trolley met magneet erin op de ketting worden gemonteerd. De magneettrolleys worden apart in elkaar gezet, dit gebeurt niet in de huidige productielijn zelf. Aangezien ervoor gezorgd wordt dat de werknemers in stap 4 altijd magneettrolleys voorhanden hebben, wordt hier geen rekening mee gehouden in het model. Dit komt ook omdat de productie van deze magneettrolleys niet meer tijd kost en het een losstaand proces is.

3.1.4 Producten worden niet afgekeurd

De materialen worden aangeleverd bij Larcom met de eisen die Marel Poultry aan de producten stelt. Aangezien Marel Poultry duidelijke eisen stelt aan de leveranciers, komt het zelden voor dat de producten niet aan de eisen voldoen. Verder is hier ook geen data over beschikbaar.

3.1.5 De bezettingsgraad van het personeel is per dag hetzelfde

De bezettingsgraad van het personeel verschilt per dag en week, maar er is geen duidelijk patroon in te ontdekken. Het productie management team kan zelf besluiten waar zij wel en niet mensen nodig hebben. De bezettingsgraad wordt mee geëxperimenteerd om zo aan Larcom te laten zien dat met een constante bezetting een bepaalde productiviteit behaald kan worden. Het is belangrijk dat er gemiddeld per dag een bepaald aantal werknemers aan de productielijn werken om zo aan de vraag te kunnen voldoen. In de huidige situatie wordt er uitgegaan van de bezettingsgraad die het meest gebruikelijk is.

3.1.6 Materialen worden per dag klaargezet

Tijdens de dag worden er materialen uit het magazijn gehaald om zo de hele dag door te kunnen produceren. Er kan vanuit worden gegaan dat deze producten op tijd er neer worden gezet, zodat de productlijn niet stil hoeft te staan. De simplificatie die hieruit volgt is dat alle producten aan het begin van de dag, aan het begin van de productielijn worden gezet.

3.1.7 Verdere simplificaties/ aannames

- Mensen zijn nooit ziek
- Mensen werken, zonder pauze, 7,5 uur op één dag
- Geen tijd wordt toegekend aan het verplaatsen van producten
- Er wordt van het FIFO principe uitgegaan bij de aankomsten en buffers, het product dat als eerste aankomt of in de buffer werd gezet, wordt als eerste geproduceerd
- Het magazijn heeft een oneindige opslag capaciteit
- De machines die worden gebruikt werken altijd
- De machines hebben alleen vaste kosten, geen variabele kosten zoals stroomverbruik

3.2 Randvoorwaarden

Deze paragraaf beantwoordt de volgende vraag: “Welke randvoorwaarden moeten worden meegenomen?”. De randvoorwaarden waaraan het model ten minste moet voldoen, worden hieronder uitgelegd.

3.2.1 Zelfde mensen moeten aan de productielijn kunnen werken

Larcom wil graag dat de werknemers die nu aan de productielijn werken, ook in de nieuwe situatie kunnen blijven werken. De randvoorwaarde is dat er werk is en blijft van hetzelfde niveau. Dit betekent dat er ongeveer vijf repeterende handelingen kunnen worden verricht. Het aantal werkplekken kan wel minder zijn, maar het werk dat verricht wordt moet door dezelfde mensen kunnen worden gedaan.

3.2.2 Minimale productie van 2.000 meter ketting per week

De minimale productie waar Larcom aan moet voldoen is 2.000 meter ketting in de week. Dit is de minimale ordergrootte die Marel Poultry per week afneemt bij Larcom. De randvoorwaarde is dat in de nieuwe situatie ook minstens 2.000 meter ketting per week geproduceerd kan worden.

3.3 Inputs van het model

Om het model te kunnen construeren zijn er verschillende inputs nodig. De inputs zijn opgesplitst in product informatie, informatie per stap en kosten van de machines/tools. De vraag die deze paragraaf en paragraaf 3.4 beantwoorden is: “Wat zijn de inputs en outputs voor het model?”.

3.3.1. Product informatie

Op de productielijn wordt een ketting van vijftig meter geproduceerd waar 656 trolleyhelften op gemonteerd worden. De onderdelen die hiervoor nodig zijn, zijn te zien in tabel 2. De winst die wordt gemaakt per meter ketting is €2,56.

Onderdelen	Aantallen	Notitie
Ketting 8x25	50 meters	
Trolleyhelft flens	649,4	Wordt 656
Wiel	656	
Trolleyhelft nul flens	6,6	Wordt niet meegenomen
Magneet bm35	6,6	Wordt niet meegenomen
M6 bout	656	
M8 bout	656	
M6x30 moer	656	
M8x30 moer	656	

Tabel 2: Onderdelen per vijftig meter ketting

3.3.2 Informatie per stap

Zoals in paragraaf 2.3 uitgelegd is, heeft elke stap zijn eigen doorlooptijd. Voor elke stap is een kansverdeling bepaald die zo goed mogelijk de doorlooptijd per stap uitdrukt. Dit is gedaan op basis van de observaties in Appendix B. Er is gekozen om een kansverdeling per stap te hanteren om zo de variabiliteit van de werknemers weer te geven en om het model niet onnodig moeilijk te maken. De gekozen kansverdeling en hun parameters zijn weergegeven in tabel 3. De vraag die wordt beantwoord is “Welke kansverdeling is toepasbaar per stap?”. Verder wordt er een bepaalde personeelsbezettingsgraad per stap gehanteerd, deze is ook te zien in tabel 3.

Stap	Kansverdeling	Parameters	Bezettingsgraad
1	Gamma	$\alpha = 5.3336, \beta = 4.0287 (9,40)$	6
2	Uniform	$\sim U(2,8)$	2
3	Uniform	$\sim U(6, 14)$	2
4	Uniform	$\sim U(10, 22)$	4

Tabel 3: Informatie per stap

Voor stap 1 is een gamma verdeling gekozen, omdat de gamma verdeling qua vorm het best past bij de data die uit de metingen voort kwam. Dit komt omdat de gamma verdeling wel rekening houdt met eventuele uitschieters, maar het grootste gedeelte van de gekozen tijden zit meer in het midden. Dit is te zien in de grafieken in Appendix C.

Voor stap 2, 3 en 4 is een uniforme verdeling gekozen. Allereerst, komt dit doordat de uniforme verdeling als een van de beste uit de ranking kwam in EasyFit. Daarnaast is volgens Robinson de uniforme verdeling “bruikbaar als een schatting wanneer er niets anders bekend is dan het waarschijnlijke bereik van de waarden” (2014, p. 352). De metingen die ik heb uitgevoerd, geven een range weer waartussen de medewerkers kunnen produceren. Om de rest van de data te verkrijgen, is een uniforme verdeling toepasbaar om de productie over langere tijd te bepalen. De grafieken in Appendix C laten de toepassing van een uniforme verdeling op de data zien.

3.3.3 Kosten machines en tools in de huidige productielijn

Zoals in Appendix A kan worden gezien, wordt er in de huidige productielijn gebruik gemaakt van verschillende machines en tools. Om bepaalde outputs van het model te berekenen zijn de kosten van deze machines en tools een input van het model. De kosten zijn te zien in tabel 4.

Machine/ tool	Kosten per unit
Stap 1	€0
Slagboormachine stap 2	€10.000
Drukpers stap 3	€300
Slagboormachine stap 4	€10.000

Tabel 4: Kosten machines/tools

3.4 Outputs van het model

De outputs die het model moet geven zijn de KPI's die zijn uitgelegd in paragraaf 2.6. De KPI's worden gemeten om te zien of de veranderingen een verbetering zijn ten opzichte van de huidige situatie. De KPI's worden berekend voor de huidige en de nieuwe situaties om het verschil te kunnen zien. Deze KPI's zijn:

- Kosten per meter: De arbeidskosten en kosten van machines per meter ketting dat wordt geproduceerd, per runlengte.
- Bezettingsgraad: De productie per dag ten opzichte van de maximale productiecapaciteit per dag.
- Arbeidsproductiviteit: het aantal meter ketting dat wordt geproduceerd, per dag, per werknemer.
- Productie: het aantal meter ketting dat per dag wordt geproduceerd.
- Arbeidskosten: de loonkosten van de werknemers per dag
- Terugverdientijd investeringen: de tijd dat er nodig is om een investering terug te verdienen met de opbrengsten de nieuwe situatie extra genereerd ten opzichte van de huidige situatie.

3.5 Conceptuele modellen

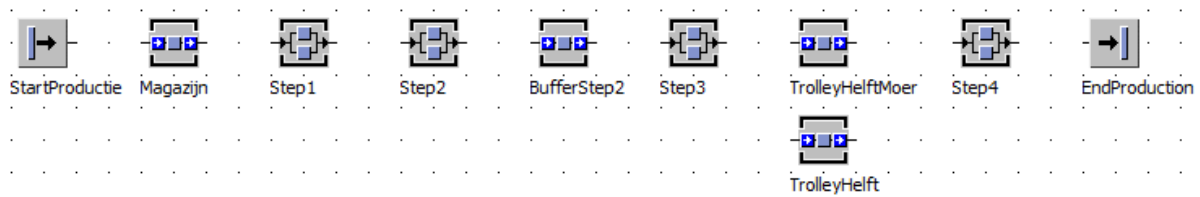
Een conceptueel model is een “non-software specifieke beschrijving van het simulatie model dat nog geconstrueerd moet worden” (Robinson, 2014, p. 77). De conceptuele modellen in Appendix D beschrijven de proces flow en de logic flow van de huidige productielijn. Een proces flow laat het hele proces zien en geeft weer welke stappen een product doorloopt. Een logic flow is een versimpelde weergave van de code die achter een simulatie model zit. Deze conceptuele modellen zijn gebruikt om de huidige productielijn te simuleren. Paragraaf 3.6 laat zien hoe deze conceptuele modellen een simulatie model maken.

3.6 Simulatie model huidige productielijn

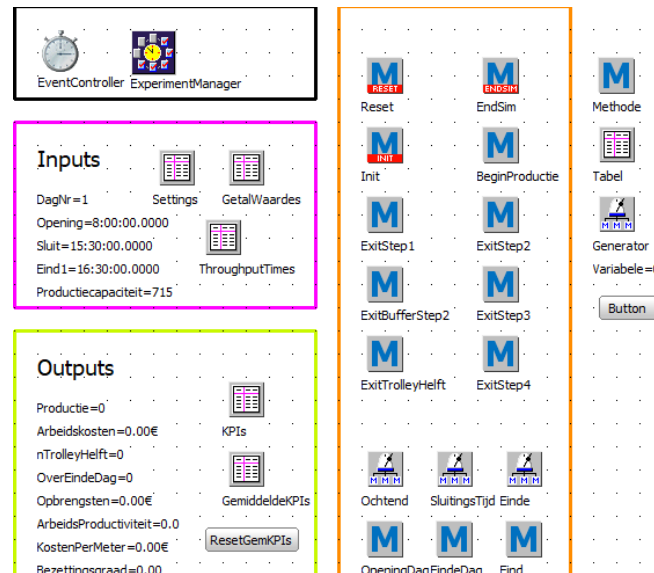
Het simulatie model van de huidige productielijn is gebaseerd op de conceptuele modellen die in Appendix D zijn gegeven. Deze paragraaf beantwoordt de vraag: “Welk simulatie model is het resultaat van de voorgaande vragen?”.

3.6.1 Presentatie simulatie model

Deze paragraaf laat zien hoe het simulatie model eruit ziet. Figuur 3 laat de opstelling van de huidige productielijn zien. Wanneer het simulatie model runt, kan er per stap worden gezien waar de trolleyhelften zich bevinden. De opstelling van de productielijn is dezelfde als het conceptuele proces model, die te zien is in Appendix D. In figuur 4 zijn de methodes, inputs en outputs te zien die gebruikt zijn om dit model te construeren. De belangrijkste codes die de methodes uitvoeren, zijn weergegeven in Appendix H.



Figuur 3: Opstelling in simulatie



Figuur 4: Layout simulatie model

3.6.2 Algemene werking van het model

In deze paragraaf licht ik de algemene werking van het model toe. Dit gebeurt in chronologische volgorde, dit is de volgorde die het simulatie model volgt als er op start wordt gedrukt.

Initialisatie

Tijdens de initialisatie fase worden alle input variabelen in het simulatie model gezet. Dit houdt in dat er bijvoorbeeld een kansverdeling aan stap 1 wordt gekoppeld, met de juiste parameters. Daarnaast zorgt deze fase ervoor dat er tot acht uur 's ochtends niets geproduceerd wordt. Wanneer het acht uur is, wordt het magazijn vol gezet zodat er voldoende producten zijn om die dag te produceren.

Productie fase

Van acht uur 's ochtends tot half vier 's middags loopt de productiefase. Tijdens deze fase worden de kettingen geproduceerd. Verschillende output variabelen, zoals de arbeidsproductiviteit, worden tijdens deze fase berekend en bijgehouden.

Eind van de dag

Aan het eind van elke dag worden verschillende output variabelen berekend en weggeschreven in de tabel KPI's. Daarna worden de meeste variabelen weer op nul gezet om zo deze weer voor een nieuwe dag te kunnen berekenen. Als laatste wordt ervoor gezorgd dat er na half vier geen nieuwe producten meer in het systeem komen.

Eind van de simulatie run

Aan het eind van een simulatie run worden alle berekende output variabelen op nul gezet. Daarnaast worden alle mogelijk aanwezige producten verwijderd zodat het model klaar is voor een nieuwe simulatie run.

3.7 Uitkomsten KPI's huidige productielijn

Om de nieuwe situaties te kunnen vergelijken met de huidige situatie zijn de KPI's berekend. De KPI's zijn gemiddeldes per dag, die zijn bepaald met een runlengte van vijfhonderd dagen. Daarnaast zijn de KPI's die berekend zijn in het deterministisch model, dat uitgewerkt is in Appendix E, en het verschil ten opzichte van het simulatie model, gegeven. De uitkomsten van de KPI's zijn te zien in tabel 5.

KPI	Gemiddelde huidige situatie	Deterministisch model	Vershil
Productie	558 meter	583 meter	4%
Arbeidsproductiviteit	39,84 meter/werknemer	41,64 meter/werknemer	4%
Arbeidskosten	€525,00	€525,00	0%
Kosten per meter	€1,16	Kan niet berekend worden	-
Bezettingsgraad	0,78	0,77	1%

Tabel 5: Uitkomsten KPI's

3.8 Modellen voor valideren en verifiëren van een simulatie model

In deze paragraaf wordt de vraag: "Welke modellen kan ik toepassen om mijn simulatie model te valideren en verifiëren?" beantwoord. Allereerst worden de begrippen white-box validatie, black-box validatie en verificatie uitgelegd. Daarna licht ik toe hoe ik validatie en verificatie heb toegepast in mijn simulatie model.

3.8.1 White-box validatie en verificatie uitleg

Met white-box validatie wordt elk onderdeel in het simulatie model inhoudelijk vergeleken met het onderdeel in de realiteit. Hierbij wordt gekeken of de inhoud van het simulatie model de realiteit met voldoende accuraatheid weergeeft. Het simulatie model is accuraat genoeg, wanneer het aan de voorwaarden van het onderzoek voldoet (Robinson, 2014, p. 254). Met verificatie wordt er gekeken of de conceptuele modellen op de juiste manier in de simulatie zijn geïmplementeerd. De overeenkomst tussen verificatie en white-box validatie is dat zij beiden tijdens het gehele simulatie proces worden uitgevoerd (Robinson, 2014, p. 255).

Robinson (2014, p. 259) noemt drie manieren voor verificatie en white-box validatie. De eerste manier is door de code te bekijken samen met iemand anders of de logica achter de code aan iemand anders uitleggen en zo te onderzoeken of de code klopt. De tweede manier is door het uitvoeren van visuele controles. Deze controles worden gedaan door stap voor stap het model te laten runnen en zo te bepalen of de stappen kloppen. De laatste manier is het inspecteren van de outputs van het simulatie model.

3.8.2 Black-box validatie uitleg

Bij black-box validatie wordt er gekeken of het gehele model, de outputs en gedrag dat het vertoont, de realiteit accuraat genoeg weergeeft (Robinson, 2014, p. 260). Black-box validatie kan op twee manieren worden uitgevoerd: door het model met de realiteit te vergelijken en door het model te vergelijken met een ander model (Robinson, 2014, p. 260). De outputs van het model worden vergeleken met de metingen die zijn uitgevoerd voor de huidige situatie en met een deterministisch model. Daarnaast worden de outputs en de productflow aan mijn supervisor van Larcom voorgelegd.

3.8.3 White-box validatie en verificatie van het simulatie model

Om mijn simulatie model te valideren en verifiëren heb ik de drie manieren die Robinson noemt toegepast tijdens het simulatie proces en daarna. De eerste manier heb ik uitgevoerd door een medestudent en mijn tweede begeleider de code te laten controleren en uit te leggen wat deze code doet. Wij hebben de code in chronologische volgorde gecontroleerd om zo te kijken of de stappen in de juiste volgorde worden uitgevoerd. De tweede manier heb ik tijdens en na het simuleren

uitgevoerd, doormiddel van het stoppen van het simulatie model en dan stap voor stap door het model lopen en kijken of de trolleyhelften de juiste weg volgen. Als laatste heb ik gekeken of met de inputs van het simulatie model de outputs die gegenereerd werden, haalbaar zijn. De conclusie van de white-box validatie en verificatie is dat het model op de juiste manier de trolleyhelften door het systeem laat lopen en er verder geen fouten in zitten.

3.8.4 Black-box validatie van het simulatie model

Ik heb black-box validatie toegepast op twee manieren. Allereerst heb ik de outputs die het simulatie model genereert besproken met mijn supervisor van Larcom om te weten of dit accuraat genoeg is. Ten tweede, heb ik aan haar de productflow uitgelegd om zo te valideren dat dit overeenkomt met de realiteit. Mijn supervisor vond de productie wel optimistisch, maar doordat deze is berekend op basis van de gemeten doorlooptijden was de uitkomst accuraat genoeg. Zij gaf aan dat deze productie wel haalbaar kan zijn als de bezettingsgraad van de productielijn altijd hetzelfde is als in het simulatie model. De tweede manier heb ik toegepast door een deterministisch model voor de huidige situatie op te stellen. Het deterministische model heb ik vergeleken met de outputs van het simulatie model. Het deterministische model is uitgewerkt in Appendix E. Zoals te zien is in tabel 5, is het verschil tussen het simulatie model en het deterministische model maximaal 4%. Het verschil tussen het simulatie model en de gegeven productie en arbeidsproductiviteit in paragraaf 2.4 is maximaal 28%. De conclusie die hieruit voortvloeit, is dat de productie van het simulatie model accuraat genoeg is, omdat het aan de eisen vanuit Larcom voldoet.

3.9 Samenvatting

In dit hoofdstuk worden de aannames, simplificaties en randvoorwaarden die nodig zijn om een simulatie model te creëren uitgelegd. Samen met de inputs en outputs zijn de conceptuele modellen opgesteld. Deze conceptuele modellen zijn daarna geïmplementeerd in het simulatie model voor de huidige situatie. De werking en presentatie van het simulatie model zijn weergegeven en ook is er gemeten hoe het simulatie model presteert op de KPI's. Als laatste is het simulatie model geverifieerd en gevalideerd, om zo zeker te zijn dat het simulatie model de realiteit accuraat genoeg weergeeft. De meeste informatie die in dit hoofdstuk is besproken en weergegeven, is nodig om de nieuwe situaties te creëren. Met behulp van de informatie uit dit hoofdstuk, kan in hoofdstuk 4 en 5 verder worden ingegaan op de nieuwe situaties.

Hoofdstuk 4: Modellen om een bottleneck te minimaliseren

Dit hoofdstuk beantwoordt de hoofdvraag: “Welke modellen kunnen worden gebruikt om een bottleneck te minimaliseren?”. Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden is de structuur in dit hoofdstuk als volgt:

- Paragraaf 4.1 ligt toe welke manier om een bottleneck te minimaliseren wordt gebruikt
- Paragraaf 4.2 zet uiteen welke modellen een bottleneck kunnen minimaliseren
- Paragraaf 4.3 licht toe welk model is gekozen om toe te passen
- Paragraaf 4.4 legt uit hoe het model kan worden toegepast op de huidige productielijn
- Paragraaf 4.5 geeft een samenvatting van de veranderingen

4.1 Manieren om een bottleneck te minimaliseren

In de literatuur heb ik twee manieren gevonden die het beste passen bij mijn kernprobleem. Deze manieren zijn LEAN synchronisatie en de Theory of Constraints (Marin, 2015) (Slack, Brandon-Jones, & Johnston, 2013, p. 488). Volgens Slack, Brandon-Jones & Johnston kan LEAN synchronisatie worden toegepast wanneer het doel is om “de winst te vergroten door waarde toe te voegen vanuit het perspectief van de klant” (2013, p. 488). Daarentegen kan de Theory of Constraints worden toegepast wanneer het doel is om “de winst te vergroten door de doorvoer van een proces te verhogen”. Bij de Theory of Constraints wordt de verbetering behaald “door te focussen op de beperkingen in het proces” (2013, p. 488). Met deze beperkingen worden de bottlenecks in een proces bedoeld. Het doel van mijn opdracht is om oplossingen te vinden die de productiviteit verhogen. Om dit te bereiken worden er naar oplossingen gezocht die de bottleneck minimaliseren. Zoals in paragraaf 2.5 is uitgelegd, is stap 1 de bottleneck van de huidige productielijn. Het doel van mijn opdracht komt beter overeen met de Theory of Constraints. Dit is de reden dat ik ervoor heb gekozen om de modellen die onder de Theory of Constraints vallen te onderzoeken en hieruit te kiezen.

4.2 Modellen om een bottleneck te minimaliseren

Slack, Brandon-Jones & Johnston noemen drie modellen die onder de Theory of Constraints vallen, deze zijn (2013, pp. 312, 486-487):

- De Optimized Production Technology (OPT)
- De Drum-Buffer-Rope (DBR) methode
- De vijf stappen van de Theory of Constraints (TOC)

Om te onderzoeken hoe deze modellen werken, heb ik een systematisch literatuuronderzoek uitgevoerd. De precieze uitwerking van dit systematisch literatuur onderzoek is te vinden in Appendix F. De resultaten van het systematisch literatuur onderzoek worden hieronder besproken.

4.2.1 De ‘Five Focusing Steps’

Het eerste model dat kan worden toegepast is het theoretisch kader van de TOC, de ‘Five Focusing Steps’. Dit model focust op de capaciteit van de bottleneck in een proces. Het model bestaat uit vijf stappen die achter elkaar uitgevoerd moeten worden. Deze stappen zijn (Marin, 2015) (Gundogar, Sari, & Kokcam, 2016, p. 7):

1. Identificeer de bottleneck van het proces
2. Bepaal hoe de bottleneck ingezet kan worden, bijvoorbeeld door de volledige capaciteit van de bottleneck te benutten
3. Pas alle andere stappen in het proces aan op de bottleneck, zodat de bottleneck optimaal gebruikt wordt
4. Evalueer de bottleneck, of er verbeteringen zijn geboekt en of er meer verbeteringen plaats kunnen vinden

5. Als in een van de voorgaande stappen de bottleneck is verbroken, begin dan opnieuw bij stap 1. Deze stap maakt het een continu proces

4.2.2 De drum-buffer-rope methode

Het tweede model dat kan worden toegepast is de drum-buffer-rope methode. De DBR methode komt voort uit de TOC en de OPT. Het is een methode die helpt bij het kiezen waar in een proces controle uitgevoerd moet worden (Slack, Brandon-Jones, & Johnston, 2013, p. 312). Waarschijnlijk is er een onderdeel in het proces dat zich gedraagt als bottleneck ten opzichte van de rest van het proces. Volgens Slack, Brandon-Jones & Johnston (2013, p. 312) moet de bottleneck het controle punt zijn van het proces. Dit wordt de *drum* genoemd, omdat het de 'beat' voor de rest van het proces bepaald. Volgens Slack, Brandon-Jones & Johnston moet de bottleneck altijd aan het werk zijn. Daarom is het logisch om voor de bottleneck een *buffer* te creëren, zodat deze altijd aan het werk kan zijn. De *rope* staat voor de communicatie tussen de bottleneck en de aanvoer van het proces (2013, pp. 312-313). De communicatie hiertussen moet ervoor zorgen dat de stappen voor de bottleneck niet te veel gaan produceren. Bij de DBR methode is het handig om met een productie planning te werken (Schragenheim & Ronen, 1990).

4.2.3 Optimized Production Technology

Het laatste model dat kan worden toegepast is de Optimized Production Technology. Het OPT model gebruikt het idee van de TOC en de terminologie van de DBR (Slack, Brandon-Jones, & Johnston, 2013, p. 487). Het model bestaat uit negen regels waaraan voldoen moet worden. Deze negen regels zijn (Rahman, 1998, p. 339):

1. Zorg voor balans in de product flow, niet in capaciteit
2. De bezettingsgraad van een niet-bottleneck wordt bepaald door de potentie van de bottleneck
3. Bezettingsgraad en activatie van een resource zijn geen synoniemen
4. Wanneer een uur aan productie is verloren bij de bottleneck, is er een uur verloren in de totale productie
5. Wanneer er bij een niet-bottleneck een uur productie wordt bespaard heeft dit geen zin, dus het haalt niets uit om de bezettingsgraad van de niet-bottlenecks te minimaliseren
6. De bottleneck bepaalt de doorvoer en de voorraadniveau's
7. De procesbatch en de transferbatch mogen niet, en zijn meestal niet, gelijk moeten zijn
8. De procesbatch moet variabel zijn
9. Productie- en afgifteschema's moeten worden opgesteld door tegelijkertijd naar alle bottlenecks in een proces te kijken. De doorlooptijden van een proces kunnen niet van tevoren worden bepaald, maar zijn het resultaat van het schema

4.3 Model keuze

In deze paragraaf licht ik toe welk model het beste kan worden toegepast op de huidige productielijn. De modellen in paragraaf 4.1 volgen bepaalde stappen en/of regels. Voor de toepassing van een model is het belangrijk dat deze stappen en/of regels ook kunnen worden toegepast op de huidige productielijn.

Het idee achter de toepassing van de DBR methode is dat er een buffer voor de bottleneck wordt gecreëerd (Slack, Brandon-Jones, & Johnston, 2013, p. 313). In de huidige productielijn is stap 1 de bottleneck, met als buffer het magazijn. In paragraaf 3.1 is uitgelegd dat er altijd voldoende materialen aanwezig zijn om te produceren. Deze materialen zijn de toevoer van stap 1. Doordat er in de huidige situatie al een buffer, in de vorm van het magazijn, aanwezig is voor de bottleneck, kan ik de DBR methode niet toepassen.

De OPT is gebaseerd op een algoritme die negen regels, gegeven in paragraaf 4.1.3, toepast op een situatie. Allereerst is het algoritme om de negen regels toe te passen niet te vinden in de literatuur (Rahman, 1998, p. 339) en daarnaast gaat regel 7 in de huidige situatie niet op. Regel 7 stelt dat de “procesbatch en de transferbatch mogen niet, en zijn meestal niet, gelijk moeten zijn” (Rahman, 1998, p. 339). De huidige productielijn produceert maar één product en dit verandert in de toekomst niet. In de huidige productielijn is er geen sprake van een transferbatch. Mede door regel 7, maar vooral doordat het algoritme niet bekend is, kan ik de OPT niet toepassen op de huidige productielijn.

De “Five Focusing Steps” kan ik wel toepassen op de huidige productielijn. Dit komt doordat deze stappen zich focussen op de capaciteit van de bottleneck, welke in de huidige productielijn kan worden aangepast. Vooral stap 2 en 4 van de “Five Focusing Steps”, bieden ruimte om te kijken op welke manieren een bottleneck ingezet/gebruikt kan worden en of deze manier werkt of niet. De manier waarop de stappen kunnen worden toegepast, komt overeen met de onderzoeksopzet van mijn bachelor opdracht. Dit komt doordat ik focus op het verhogen van de productiviteit door de bottleneck aan te pakken. Daarnaast bekijk ik ook op welke manier de inzet/ het gebruik van de bottleneck zin heeft. Gundogar, Sari & Kokcam stellen dat de TOC prima kan worden toegepast in een productie systeem (2016, p. 14). Daarom is de “Five Focusing Steps” het beste model dat kan worden toegepast op de huidige productielijn.

4.4 Implementatie van de “Five Focusing Steps”

Paragraaf 4.2 eindigde met de conclusie dat de “Five Focusing Steps” kunnen worden toegepast op de huidige productielijn, omdat deze stappen zich focussen op de bottleneck. Eerst bespreek ik hoe de verschillende stappen kunnen worden toegepast, daarna leg ik uit hoe de bottleneck kan worden ingezet/ worden verbeterd.

4.4.1 Stap 1

De eerste stap van de “Five Focusing Steps” is het identificeren van de bottleneck. Met behulp van de observaties die ik heb uitgevoerd voor de huidige productielijn, heb ik de bottleneck kunnen identificeren. In paragraaf 2.5 heb ik uitgelegd dat de huidige bottleneck stap 1 is, doordat deze stap de minste producten per minuut produceert en hierdoor het verdere proces remt.

4.4.2 Stap 2 en 3

Stap 2 en 3 focussen zich op de inzet van de bottleneck en hoe deze verbeterd kan worden. Volgens Gundogar, Sari & Kokcam zijn er meerdere manieren om een bottleneck in te zetten/ te verbeteren (2016, p. 8). De makkelijkste manier is om de capaciteit van de bottleneck te vergroten (Gundogar, Sari, & Kokcam, 2016, p. 8). De andere manieren zijn om de “pauze tijden te reguleren, effectieve productieplanningen voor de resources te maken, buffervoorraden te gebruiken en het productieproces verbeteren” (Gundogar, Sari, & Kokcam, 2016, p. 8). De toepassing van deze manieren is mogelijk op de huidige productielijn. In deze paragraaf leg ik uit welke manieren wel of niet mogelijk zijn.

Volgens Gundogar, Sari & Kokcam is de makkelijkste manier om een bottleneck in te zetten, door de capaciteit van de bottleneck te vergroten (2016, p. 8). In de huidige productielijn is er plaats voor acht werknemers in stap 1. In paragraaf 3.3.2 is gesteld dat de gemiddelde personeelsbezettingsgraad zes is. Volgens Slack, Brandon-Jones & Johnston moet “de bottleneck altijd aan het werk zijn” (2013, p. 313), om zo de rest van de productie niet te remmen. In de huidige productielijn wordt de capaciteit meestal niet volledig ingezet. Dit is de eerste verandering die wordt toegepast op de huidige productielijn.

De tweede manier die Gundogar, Sari & Kokcam geven, is om de “pauze tijden te reguleren” (2016, p. 8). Dit betekent dat de pauzes op vaste momenten moeten plaatsvinden en altijd even lang zijn. Op de productie afdeling van Larcom wordt al gewerkt met vaste pauze tijden. De werknemers hebben pauze van kwart voor tien tot tien uur, lunchpauze van twaalf uur tot half één en ’s middags hebben zij pauze van kwart voor drie tot drie uur. In totaal hebben de werknemers één uur pauze op een werk dag van 8,5 uur. Deze vaste pauze momenten biedt de werknemers een duidelijke structuur. De conclusie is dat de manier om pauzetijden te reguleren al wordt toegepast binnen de productie afdeling.

De derde manier die Gundogar, Sari & Kokcam aandragen, is om een effectieve productieplanning voor de resources te maken (2016, p. 8). Of een productieplanning binnen Larcom werkt, kunnen wij niet met zekerheid stellen. Door het productie management is gesteld dat de werknemers waarschijnlijk minder presteren als ze onder druk worden gezet. Daarnaast is het voor Larcom belangrijk dat er een goede sfeer is op de werkvloer en dat werknemers tevreden zijn over het werk dat ze doen. Tijdens de gesprekken die ik heb gevoerd met het productie management team en het management van Larcom, kwam naar voren dat een push-systeem, zoals een planning, negatief effect op de tevredenheid en daardoor ook op de productiviteit heeft. Hierdoor is ervoor gekozen om deze manier niet te gaan toepassen.

De vierde manier die Gundogar, Sari & Kokcam aandragen, is het gebruik van buffervoorraden (2016, p. 8). In de huidige productielijn wordt met drie buffervoorraden gewerkt. Deze bevinden zich voor stap 1, na stap 2 en 3. De enige plek waar nog een buffer toegevoegd kan worden is na stap 1. Maar doordat de doorlooptijd van stap 2 korter is dan die van stap 1, komt het bijna nooit voor dat hier een buffer ontstaat en dit is ook niet nodig is. Van de buffers die zich in de huidige productielijn bevinden, is de capaciteit groot genoeg. De capaciteit van de buffers is groot genoeg omdat de buffers in principe geen limiet hebben, er is namelijk genoeg plaats voor het opslaan van producten. Daarnaast bevindt de bottleneck zich aan het begin van de productielijn, waardoor er bijna geen openthoud is de rest van de productielijn, dus er vormen zich ook geen grote buffers. De vierde manier wordt dus al toegepast in de huidige productielijn.

De laatste manier die Gundogar, Sari & Kokcam geven, is het verbeteren van het productieproces (2016, p. 8). Daarnaast stelt Rahman dat “een geleidelijke verhoging van de bottleneck in het systeem, zal de prestatie verbeteren” (1998, p. 337). Dit betekent dat de output van de bottleneck omhoog moet. De vraag van Larcom aan mij was om de productiviteit te verhogen, in plaats van het aantal werkplekken te verhogen. Om de laatste manier van Gundogar, Sari & Kokcam toe te passen een aan de vraag van Larcom te voldoen, moeten er bepaalde veranderingen binnen de productielijn plaatsvinden. De veranderingen moeten wel aan de randvoorwaarde voldoen dat het werk van hetzelfde niveau moet blijven, namelijk dat het bestaat uit maximaal vijf repeterende handelingen. Na overleg met verschillende medewerkers binnen Larcom zijn er twee veranderingen, naast het vergroten van de capaciteit van de bottleneck, die wij als mogelijke oplossing zien en die voldoen aan de gestelde randvoorwaarde. Voor de veranderingen wordt gekeken wat de nieuwe doorlooptijd per trolleyhelft per stap wordt. Het doel van de veranderingen is om de doorlooptijd van stap 1 te verkorten, zodat de productiviteit hoger wordt. De huidige doorlooptijd van stap 1 is gemiddeld 21,5 seconde per trolleyhelft. Deze veranderingen worden in paragraaf 4.3.3 en 4.3.4 verder uitgelegd.

4.4.3 Verandering 2

De tweede mogelijke verandering is een productdrager waar de werknemers producten in kunnen leggen. Dit is een soort plank die helpt bij het assembleren van de trolleyhelft. De productdrager wordt ook gebruikt bij een ander sociaal werkvoorzieningsbedrijf. Hier ben ik geweest om te kijken hoe een productdrager werkt en wat voor effect deze op de productie kan hebben. Bij deze verandering gaan wij uit van een productdrager die plek biedt aan zes trolleyhelften. Hiervoor is gekozen omdat de plekken voor de trolleyhelften horizontaal naast elkaar moeten liggen, anders kan de productdrager

niet worden gebruikt bij de slagboormachines. Daarnaast hoeven de werknemers dan niet onnodig te rekken en is er ruimte op de werkplek voor andere materialen. De uitwerking van het gebruik van een productdrager is als volgt:

1. Er worden moeren in de speciale uitsparingen in de productdrager gelegd
2. De trolleyhelften worden over de moeren gelegd
3. De wielen worden op de trolleyhelften gelegd, in een speciale uitsparing voor de wielen
4. De bout wordt geplaatst en iets aangedraaid
5. De productdrager met trolleyhelften wordt op de lopende band gelegd

Een tekening van de productdrager, met uitleg, is gegeven in Appendix G. Bij stap 2 in de productielijn worden de bouten verder aangedraaid. Hier verandert verder niets, behalve dat zij nu direct zes trolleyhelften achter elkaar kunnen vastschroeven, zonder elke keer een nieuw product te moeten pakken. Nadat de bouten verder zijn aangedraaid worden de trolleyhelften in een kratje gelegd. De werknemers van stap 2 zorgen er voor dat de lege productdragers weer bij stap 1 komen. De doorlooptijd van stap 1, met de productdragers, wordt geschat op 18 seconden per trolleyhelft. Dit is een verlaging van 16% ten opzichte van de huidige situatie. Volgens het productie management is dit haalbaar, mede doordat er nu in batches van zes wordt geproduceerd. De investering bedraagt ongeveer tachtig euro per drager. Om ervoor te zorgen dat er niet te veel tijd verloren gaat aan het verplaatsen van de productdragers van stap 2 naar stap 1 worden er minstens veertig productdragers aangeschaft, zodat elke werknemer minstens vijf productdragers ter beschikking heeft. Dit geeft een totale investering van 3.200 euro.

4.4.4 Verandering 3

De derde verandering die geïmplementeerd kan worden, is een slagboormachine met automatische bouttoevoer. Door de implementatie van deze machine veranderen zowel de werkzaamheden in stap 1 als in stap 2. De grootste verandering van werkzaamheden vindt plaats in stap 1, hier zou dan gebruik moeten worden gemaakt van een productdrager. De productdrager is hetzelfde als hierboven, maar er wordt een handeling minder uitgevoerd. Deze productdrager biedt ook plaats aan zes producten, een tekening is te vinden in Appendix G. De uitwerking voor stap 1 is als volgt:

1. Er worden moeren in de speciale uitsparingen in de productdrager gelegd
2. De trolleyhelften worden over de moeren gelegd
3. De wielen worden op de trolleyhelften gelegd, in een speciale uitsparing voor de wielen
4. De productdrager met trolleyhelften wordt op de lopende band gelegd

Bij stap 2 worden de productdragers met trolleyhelften van de band gepakt en onder de slagboormachine gelegd. Deze voert automatisch een bout aan en schroeft deze vast. De zes trolleyhelften op de productdrager worden na elkaar vastgeschroefd en daarna wordt de productdrager geleegd in een kratje. De doorlooptijd voor stap 2 is ongeveer twee seconden¹ per trolleyhelft. Stap 1 bestaat nu uit een handeling minder, namelijk de moer hoeft niet meer aangedraaid te worden. Door deze handeling uit stap 1 te halen, wordt de nieuwe doorlooptijd van stap 1 geschat op 12 seconden. Deze schatting is gedaan door het productie management team. De totale doorlooptijd van stap 1 en 2 is dan 14 seconden per trolleyhelft. Dit is een verlaging van 46% ten opzichte van de huidige situatie. De investering voor een slagboormachine met automatische bouttoevoer bedraagt minstens 22.500 euro².

¹ De doorlooptijd en de investering zijn gebaseerd op een offerte die wij hebben gekregen van een bedrijf dat een slagboormachine met automatische bouttoevoer kan leveren.

4.4.5 Stap 4

In paragraaf 4.3.1 en 4.3.2 is uitgelegd hoe de eerste 3 stappen van de “Five Focusing Steps” kunnen worden toegepast. Na het toepassen van deze stappen is het belangrijk dat er wordt gekeken of er verbeteringen zijn geboekt en of er meer verbeteringen plaats kunnen vinden. Om te kijken of er verbeteringen hebben plaatsgevonden worden de KPI’s per veranderingen opnieuw berekend. Dit zijn de KPI’s die ook in de huidige situatie zijn berekend, zoals uitgelegd in paragraaf 2.6. De verschillende veranderingen worden in verschillende simulatie modellen gezet om zo te bepalen welke de beste oplossing is. Daarnaast wordt er bepaald welke personeelsbezettingsgraad er nodig is om de bottleneck zo optimaal mogelijk te benutten. In hoofdstuk 6 wordt hier verder op in gegaan.

4.4.6 Stap 5

De laatste stap van de “Five Focusing Steps” is dat “als in een van de voorgaande stappen de bottleneck is verbroken, begin dan opnieuw bij stap 1.” Deze stap zorgt ervoor dat er moet worden verbeterd totdat het hele systeem werkt. Deze stap dient voor mij als check, of de veranderingen die zijn gedaan er niet toe leiden dat de productielijn ergens vastloopt of niet functioneert. De implementatie van de “Five Focusing Steps” is voltooid, wanneer de huidige productielijn productiever is geworden en er verder geen problemen in het model optreden. Deze stap wordt ook verder toegepast in hoofdstuk 6.

4.5 Samenvatting

Uit de bovenstaande paragrafen blijkt dat er verschillende manieren zijn, die toegepast kunnen worden om de huidige productielijn productiever te maken. De veranderingen die voortkomen uit deze manieren zijn:

- 1) Het inzetten van de volledige capaciteit van de bottleneck
- 2) Het implementeren van een productdrager in stap 1
- 3) Het implementeren van een slagboormachine met automatische bouttoevoer in stap 2 en een productdrager in stap 1

De drie veranderingen die ik in dit hoofdstuk heb benoemd, worden in hoofdstuk 5 toegepast op de huidige productielijn.

Hoofdstuk 5 Simulatie modellen van de nieuwe situaties

In dit hoofdstuk worden de drie veranderingen die besproken zijn uit hoofdstuk 4 elk afzonderlijk in kaart gebracht. Dit resulteert ook in drie verschillende simulatie modellen. Deze drie modellen zijn:

- Model 1: De volledige capaciteit van stap 1 wordt ingezet
- Model 2: De implementatie van een productdrager in stap 1
- Model 3: De implementatie van een slagboormachine met automatische bouttoevoer in stap 2 en een productdrager in stap 1

De hoofdvraag die in dit hoofdstuk wordt beantwoord is: “Wat zijn de eisen voor de simulatie modellen van de nieuwe situaties?”. De deelvragen die bij deze hoofdvraag horen worden voor elk model afzonderlijk beantwoord. De structuur in dit hoofdstuk is als volgt:

- Paragraaf 5.1 benoemt de simplificaties en aannames die zijn toegepast
- Paragraaf 5.2 geeft de nieuwe inputs van de simulatie modellen
- Paragraaf 5.3 licht de nieuwe conceptuele modellen toe
- Paragraaf 5.4 presenteert de uitkomsten van de KPI's in de nieuwe situaties
- Paragraaf 5.5 legt uit hoe de nieuwe modellen zijn gevalideerd en geverifieerd
- Paragraaf 5.6 geeft een samenvatting van dit hoofdstuk

5.1 Simplificaties en aannames nieuwe situaties

In deze paragraaf worden per model de simplificaties en aannames die zijn toegepast gegeven. Deze simplificaties en aannames zijn een aanvulling op de simplificaties en aannames van de huidige situatie, die zijn behandeld in paragraaf 3.1.

5.1.1 Simplificaties en aannames voor model 1

Voor dit model zijn geen nieuwe simplificaties of aannames gedaan. Op dit model zijn dezelfde simplificaties en aannames van toepassing als op het simulatie model van de huidige situatie.

5.1.2 Simplificaties en aannames voor model 2

Naast de simplificaties en aannames van de huidige situaties zijn er nieuwe simplificaties en aannames die toegepast worden op model 2. Deze zijn:

- Er wordt geen tijd toegekend aan het verplaatsen van productdragers van stap 2 naar stap 1
- Er zijn altijd productdragers beschikbaar

Deze simplificaties zijn gedaan omdat er veertig productdragers beschikbaar zijn in dit model en de werknemers van stap 2 tijd hebben om de productdragers naar stap 1 te brengen. Daarnaast kan ervan uit worden gegaan dat in de realiteit een handige manier wordt gevonden om de productdragers terug te brengen naar stap 1 of dat er meer productdragers worden aangeschaft.

5.1.3 Simplificaties en aannames voor model 3

Naast de simplificaties en aannames van de huidige situatie zijn er nieuwe simplificaties en aannames die toegepast worden op model 3. De simplificaties en aannames van model 2 worden ook toegepast op model 3. Verdere nieuwe simplificaties en aannames zijn:

- De slagboormachine met automatische bouttoevoer werkt altijd. Doordat dit een nieuwe machine is, is er nog geen data bekend over de storingsfactor van deze machine
- De slagboormachine beschikt altijd over voldoende bouten

5.2 Inputs nieuwe simulatie modellen

In deze paragraaf worden de veranderde inputs ten opzichte van de huidige situatie gegeven. Voor geen van de modellen zijn er nieuwe outputs gebruikt.

5.2.1 Input model 1

De enige input die in model 1 is veranderd, is de personeelsbezettingsgraad van stap 1. De personeelsbezettingsgraad is in dit model acht, in plaats van zes in de huidige situatie.

5.2.2 Inputs model 2

In model 2 is de doorlooptijd van stap 1 veranderd doordat er gebruik wordt gemaakt van een productdrager. Daarnaast zijn de doorlooptijden van stap 1 en 2 per zes trolleyhelften, dit is de capaciteit per productdrager en de werknemers produceren één productdrager per tijdseenheid. Stap 3 en 4 produceren per keer nog steeds 1 trolleyhelft per tijdseenheid. Daarnaast zijn de kosten van de productdragers meegenomen in het model. De laatste nieuwe input is de gemiddelde opbrengst per dag van de huidige productielijn. De opbrengst van de huidige productielijn is nodig om de terugverdientijd te bepalen. De veranderingen zijn in tabel 6 te zien.

Verandering	Nieuwe input
Doorlooptijd stap 1	18 seconden, voor zes trolleyhelften 108 seconden
Kansverdeling stap 1	Constant
Doorlooptijd stap 2	Uniform met $\sim U(12,48)$
Kosten productdragers	€3.200
Gemiddelde winst per dag huidige productielijn	€1427,76

Tabel 6: Nieuwe inputs model 2

5.2.3 Inputs model 3

In model 3 zijn de doorlooptijden van stap 1 en 2 veranderd doordat er gebruik wordt gemaakt van een productdrager in stap 1. Hierdoor zijn de doorlooptijden, net zoals bij verandering 2, gegeven per zes trolleyhelften. Daarnaast worden er andere kansverdelingen gehanteerd en is de personeelsbezettingsgraad van stap 2 veranderd. De kosten voor de productdragers en de slagboommachine met automatische bouttoevoer zijn ook toegevoegd. De laatste nieuwe input is de gemiddelde opbrengst per dag van de huidige productielijn. De verandering zijn te zien in tabel 7.

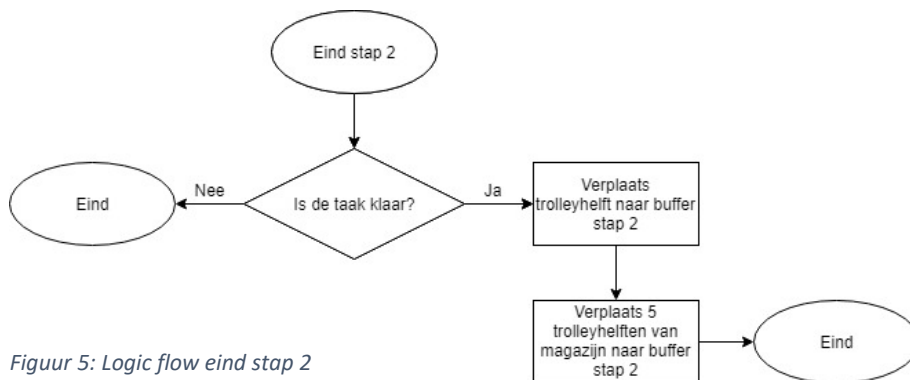
Verandering	Nieuwe input
Doorlooptijd stap 1	12 seconden, per zes trolleyhelften 72 seconden
Kansverdeling stap 1	Constant
Doorlooptijd stap 2	2 seconden, per zes trolleyhelften 12 seconden
Kansverdeling stap 2	Deterministisch
Werknemers stap 2	1
Kosten productdragers	€3.200
Kosten slagboommachine met automatische bouttoevoer	€22.500
Gemiddelde winst per dag huidige productielijn	€1427,76

Tabel 7: Nieuwe inputs model 3

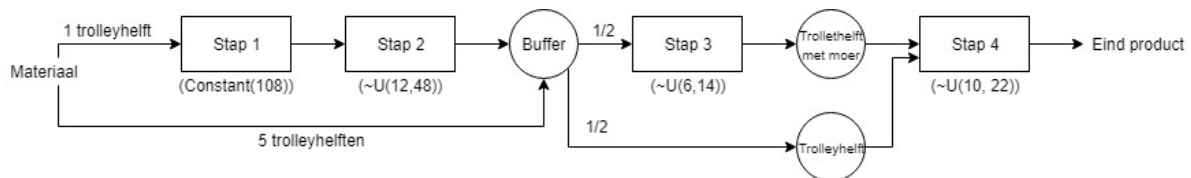
5.3 Conceptuele modellen nieuwe situaties

Voor model 1 is er niets in het simulatie model veranderd, dus de conceptuele modellen van de huidige situatie zijn van toepassing, die te vinden zijn in Appendix D. Voor model 2 en 3 is de proces flow veranderd en de logic flow voor het einde van stap 2. Wat een proces flow en logic flow zijn, is uitgelegd in paragraaf 3.5 en de betekenis van de symbolen is uitgelegd in Appendix D. De rest van de conceptuele modellen zijn dezelfde als die zijn weergegeven in Appendix D. Voor het einde van stap 2

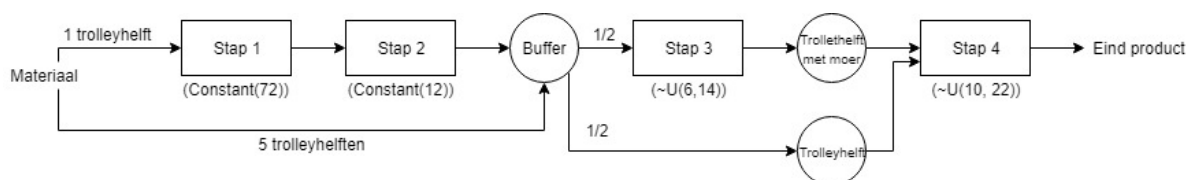
is een nieuw logic flow gemaakt, deze is te zien in figuur 5. Deze logic flow zorgt ervoor dat er vanaf stap 3 niet meer in batches van zes wordt geproduceerd, maar per trolleyhelft. Daarnaast is er voor model 2 en model 3 afzonderlijk een nieuwe proces flow gemaakt. De proces flows in figuur 6 en 7 geven vooral weer waar de doorlooptijden zijn veranderd. De nieuwe codes die alleen voor model 2 en 3 uitgevoerd worden, zijn weergegeven in Appendix H. Hier is ook de code te zien die gebaseerd is op de logic flow in figuur 5.



Figuur 5: Logic flow eind stap 2



Figuur 6: Proces flow model 2



Figuur 7: Proces flow model 3

5.4 Uitkomsten KPI's modellen nieuwe situaties

In tabel 8 zijn de uitkomsten van de KPI's per model gegeven. De weergegeven KPI's zijn bepaald over een runlengte van vijfhonderd dagen, waarmee een gemiddelde per dag is berekend. Hierbij is de personeelsbezettingsgraad van de huidige situatie gehanteerd, behalve als hierboven is aangegeven dat deze is veranderd. De runlengte is bepaald op vijfhonderd dagen om zo een reële output te genereren voor de KPI kosten per meter. Daarnaast wordt ook het verschil ten opzichte van de huidige situatie gegeven.

KPI	Huidige situatie	Model 1	Model 2	Model 3
Productie (meter)	558	703 (+26%)	666 (+19%)	823 (+47%)
Arbeidsproductiviteit (meter/werknemer)	39,84	43,93 (+10%)	47,57 (+19%)	63,28 (+59%)
Arbeidskosten	€525,00	€600 (+14%)	€525,00	€487,50 (-7%)
Kosten per meter	€1,16	€1,03 (-11%)	€1,03 (-11%)	€0,79 (-32%)
Bezettingsgraad	0,78	0,98 (+26%)	0,83 (+6%)	0,80 (3%)
Terugverdiëntijd (jaar)	-	-	0,03	0,10

Tabel 8: Uitkomsten KPI's

5.5 Valideren en verifiëren van de nieuwe simulatie modellen

In deze paragraaf wordt de vraag “Welke modellen kan ik gebruiken om de nieuwe simulatie modellen te valideren en verifiëren?” beantwoord. De modellen die worden toegepast om de simulatie modellen te valideren en verifiëren, zijn te vinden in paragraaf 3.8.1 en 3.8.2. De toepassing van deze modellen op de nieuwe simulatie modellen wordt hieronder uitgelegd.

5.5.1 White-box validatie en verificatie

In paragraaf 3.8.1 zijn drie verschillende manieren gegeven hoe white-box validatie en verificatie toegepast kunnen worden op een simulatie model (Robinson, 2014, p. 259). Dezelfde drie manieren zijn toegepast op drie nieuwe simulatie modellen. De eerste manier die is toegepast is het bekijken van de code, samen met iemand anders, om zo te onderzoeken of de code klopt. In model 1 is de code niet veranderd, dus voor dit model kan dezelfde conclusie worden getrokken als voor het simulatie model van de huidige situatie. Voor model 2 en 3 is de code voor de exit van stap 2 veranderd. Deze code heb ik samen met mijn tweede begeleider stap voor stap doorgelopen om te kijken of deze code doet wat het zou moeten doen. De rest van de code in model 2 en 3 is hetzelfde gebleven. Na het controleren van de nieuwe code kwamen wij tot de conclusie dat de code op de juiste manier wordt uitgevoerd en de code overeenkomt met hoe er in de realiteit geproduceerd gaat worden. Tijdens de uitvoering van de eerste manier is ook direct de tweede manier toegepast. Hieruit volgde dezelfde conclusie als uit de eerste manier.

De laatste manier die is toegepast op alle drie de modellen, is het inspecteren van de outputs. De uitkomsten van de KPI's zijn in paragraaf 5.4 weergegeven. Voor elke verandering ten opzichte van de huidige situatie heb ik gekeken hoe deze verandering tot stand is gekomen en of dit logisch is. Een voorbeeld hiervan is:

In de uitkomsten van model 1 kan worden gezien dat de arbeidskosten met 14% zijn gestegen. Dit is logisch omdat er twee extra werknemers werkzaam zijn in de productielijn, namelijk in stap 1. Dit geeft dat er 2 x 7,5 x 5 euro extra loon betaald moet worden. Hierdoor zijn de arbeidskosten met 75 euro gestegen. Daarnaast zijn de meeste KPI's met 26% gestegen, maar de arbeidsproductiviteit is maar met tien procent gestegen. Dit verschil kan worden verklaard doordat er meer wordt geproduceerd met meer werknemers, dus de productie wordt verdeeld over meer personen. Aangezien het aantal werknemers van 14 naar 16 is gegaan, stijgt de arbeidsproductiviteit minder dan bijvoorbeeld de productie.

5.5.2 Black-box validatie

In paragraaf 3.8.2 zijn twee manieren gegeven hoe black-box validatie toegepast kan worden op een simulatie model (Robinson, 2014, p. 260). Aangezien er voor deze drie modellen geen realiteit is om deze mee te kunnen vergelijken, valt de eerste manier af. De tweede manier heb ik toegepast door de uitkomsten van de simulatie modellen met mijn supervisor van Larcom te bespreken en doormiddel van het opstellen van deterministisch modellen. Mijn supervisor heeft de uitkomsten bekeken en vond deze uitkomsten realistisch. De deterministische modellen zijn te vinden in Appendix I, hierin is te zien dat model 1 en het deterministische model maximaal 7% verschillen, model 2 en het deterministische model maximaal 11% verschillen en model 3 en het deterministische model niet verschillen. De conclusie die hieruit volgt is dat de simulatie modellen accuraat genoeg zijn om de nieuwe situaties weer te geven.

5.6 Samenvatting

In dit hoofdstuk is te zien welk effect de drie modellen hebben op de huidige productielijn. Allereerst zijn alle nieuwe aannames, simplificaties en inputs gegeven. Met de nieuwe inputs wordt in hoofdstuk 6 geëxperimenteerd. Verder is te zien hoe de nieuwe modellen presteren. De resultaten van de nieuwe modellen zijn accuraat genoeg om de realiteit weer te geven.

Hoofdstuk 6: Experimenten in de simulatie modellen

In dit hoofdstuk licht ik de experimenten die in de huidige en nieuwe simulatie modellen zijn uitgevoerd toe. Uit deze experimenten volgt welke personeelsbezettingsgraad per stap optimaal is, wanneer er een bepaald aantal werknemers aanwezig is. Daarnaast kan op basis van de experimenten een betere aanbeveling worden gedaan aan Larcom. Voordat er verder in wordt gegaan op de experimenten, leg ik eerst een aantal karakteristieken van de simulatie modellen uit. De hoofdvraag die in dit hoofdstuk wordt beantwoord is: “Welke experimenten moeten worden uitgevoerd in de huidige en nieuwe simulatie modellen?”. De structuur in dit hoofdstuk is als volgt:

- Paragraaf 6.1 beschrijft de karakteristieken van de simulatie modellen
- Paragraaf 6.2 geeft de instellingen van de experimenten weer
- Paragraaf 6.3 presenteert de resultaten van de experimenten
- Paragraaf 6.4 vergelijkt de huidige situatie met de nieuwe situaties
- Paragraaf 6.5 vat de belangrijkste bevindingen van dit hoofdstuk samen

6.1 Karakteristieken simulatie modellen

Voordat er begonnen kan worden met het uitvoeren van experimenten, moet er worden bepaald over welk tijdsbestek een experiment wordt uitgevoerd, zodat deze de realiteit met voldoende accuraatheid weergeeft. Op basis van bepaalde karakteristieken van de simulatie modellen kan worden bepaald welk tijdsbestek gehanteerd moet worden. Deze karakteristieken worden in paragraaf 6.1.1 tot en met paragraaf 6.1.4 besproken.

6.1.1 Aard van de simulatie modellen

Een simulatie model kan eindig of niet-eindig van aard zijn. Een eindig simulatie model heeft een “natuurlijk eindpunt dat de runlengte bepaald” (Robinson, 2014, p. 168) en een niet-eindig simulatie model heeft dit niet. Mijn simulatie modellen zijn eindig, omdat ze een natuurlijk eindpunt hebben. Het natuurlijke eindpunt is de sluiting van de productieafdeling van Larcom aan het einde van elke werkdag, om half vijf ‘s middags. Doordat mijn simulatie modellen eindig zijn, is een runlengte van één dag voldoende. Elke dag kan ook als losstaande replicatie worden gezien.

6.1.2 Aard van de simulatie output

Meestal is de simulatie output van een eindig simulatie model transient (Robinson, 2014, p. 168). Transient betekent dat de verdeling van de output telkens verandert. Dit is bijvoorbeeld te zien aan de hoeveelheid productie per dag. Wanneer er gekeken wordt over een periode van enkele dagen, is te zien dat de productie per dag varieert. De kansverdelingen in de simulatie modellen zorgen voor deze variatie in de output van het model. Daarnaast is de productie afhankelijk van de tijd, zo wordt er ‘s middags wel geproduceerd, maar ‘s nachts niet. Hierdoor zijn mijn simulatie modellen transient en is er geen sprake van een warm-up periode.

6.1.3 Initialisatiebias

Een initialisatiebias kan ontstaan wanneer het niet realistisch is dat een nieuwe dag begint zonder dat er ergens in de productielijn nog trolleyhelften aanwezig zijn. In mijn simulatie modellen worden de trolleyhelften, die nog niet het systeem hebben verlaten, verwijderd aan het einde van de dag of verplaatst naar het magazijn om de volgende dag te gebruiken. Dit betekent dat de modellen een initialisatiebias hebben. In de realiteit wordt namelijk de productie aan het einde van de dag stil gelegd en blijven de trolleyhelften op de plek in het systeem waar ze op dat moment waren. Ondanks dat het niet correct is dat elke dag wordt begonnen met een leeg systeem, zegt Robinson dat “tenzij de doorlooptijden relatief lang zijn ten opzichte van de runlengte, is de benadering dat alle activiteiten leeg beginnen redelijk” (2014, p. 173). De doorlooptijd per trolleyheft is ongeveer één minuut ten

opzichte van een runlengte van minstens één dag. Hierdoor is de benadering dat elke dag begint met een leeg systeem redelijk voor mijn simulatie modellen.

6.1.4 Replicaties

Voor een eindig simulatie model is het gebruikelijk om meerdere replicaties uit te voeren en hierover een gemiddelde te bepalen. Elke replicatie maakt gebruik van een specifieke stroom van willekeurige getallen (Robinson, 2014, p. 173). Hierdoor veranderen de outputs per replicatie. Het aantal replicaties is bepaald met behulp van de “Confidence Interval Method” (Robinson, 2014, p. 184). De formule hiervoor is als volgt:

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

met:

$\bar{X}$ = gemiddelde van de outputs van de replicaties

S = standaard afwijking van de outputs van de replicaties (zie formule hieronder)

n = aantal replicaties

$t_{n-1, \alpha/2}$ = waarde uit de Student t-verdeling met n-1 vrijheidsgraden en een significantie level van $\alpha/2$

De formule voor de standaardafwijking is:

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

met:

X_i = het resultaat van de replicatie i

Deze formule van de “Confidence Interval Method” is geïmplementeerd in Excel met een significantie level van α = vijf procent. De formule wordt ingevuld voor n = 1 tot en met n = 500. Wanneer met een bepaald aantal replicaties (n) de berekende CI voor het eerst kleiner is dan α , is dit het aantal replicaties dat minimaal gehanteerd moet worden. Doordat in mijn simulatie modellen een runlengte van één dag voldoende is, is met behulp van een dataset van vijfhonderd dagen het aantal replicaties bepaald op twee. Vanuit een theoretisch perspectief zou voor elk experiment afzonderlijk het aantal replicaties moeten worden bepaald. In de praktijk wordt het aantal replicaties bepaald met het basis model en wordt dit daarna toegepast op de experimenten (Robinson, 2014, p. 187). Hierdoor is het overschatten van het aantal replicaties beter, om zo een veiligheidsmarge te hebben. Ik heb gekozen voor een veiligheidsmarge van driemaal het aantal replicaties. Dit geeft dat er zes replicaties worden uitgevoerd. Door de runlengte van de simulatie modellen op twee dagen te zetten, worden er met drie replicaties in totaal zes replicaties uitgevoerd.

6.2 Instellingen experimenten

Voor alle vier de simulatie modellen heb ik gekeken welke personeelsbezettingsgraad haalbaar is. Er is in de huidige productielijn plek voor 22 werknemers, voor meer informatie zie Appendix A. Per stap is bepaald wat het minimum aantal werknemers moet zijn en het maximum. Het minimum is bepaald op basis van de randvoorwaarde van 2.000 meter ketting productie per week, dus vierhonderd meter ketting per dag. Het maximum is bepaald door te kijken of een extra werknemers meer productie kan veroorzaken. Met de maximale inzet van werknemers kan de productie hoger zijn dan 3.000 meter ketting per week, het maximale wat Marel Poultry bij Larcom kan afnemen. Om achterstanden, ziekte, verlof of vakantiedagen op te vangen wordt er ook geëxperimenteerd met combinaties van personeel die niet als standaard gehanteerd kunnen worden. Deze experimenten zijn gemarkeerd met een ². De minimum en maximum instellingen zijn weergegeven in tabel 9. De outputs van de experimenten zijn

de volgende KPI's: productie, arbeidsproductiviteit, arbeidskosten, bezettingsgraad en terugverdiëntijd. De KPI kosten per meter wordt niet weergegeven, omdat deze over een korte runlengte geen representatieve resultaten geeft. De verschillende combinaties van de personeelsbezettingsgraden met de bijbehorende outputs zijn te vinden in Appendix J.

Stap	Huidige situatie Min.	Max.	Model 1 Min.	Max.	Model 2 Min.	Max.	Model 3 Min.	Max.
1	5	8	8	8	4	8	3	8
2	1	2	1	2	1	2	1	1
3	1	2	1	2	1	2	1	3
4	2	4	2	4	2	4	2	4
Totaal	9	16	12	16	8	16	7	16

Tabel 9: Minimum en maximum instellingen experimenten

6.3 Resultaten experimenten

Voor de huidige situatie zijn er 48 experimenten uitgevoerd, voor model 1: 12 experimenten, voor model 2: 60 experimenten en voor model 3: 54 experimenten. De resultaten per experiment en de bijbehorende betrouwbaarheidsintervallen zijn weergegeven in Appendix J. In Appendix J is ook te zien dat veel combinaties van personeelsbezettingsgraden overbodig zijn. Deze overbodige combinaties zijn eruit gehaald op basis van het feit dat ze de productiviteit niet verhogen. Zo is bijvoorbeeld te zien dat bij experimenten 10, 11 en 12 van model 2 evenveel meter ketting wordt geproduceerd, alleen worden er op stap 4: twee, drie of vier werknemers ingezet. Experimenten 11 en 12 verhogen dus niet de productiviteit, omdat de bottleneck in deze situatie ergens anders zit. Hierdoor zijn experiment 11 en 12 overbodig, dezelfde redenatie is toegepast om de andere optimale combinaties te selecteren. In paragraaf 6.3.1 tot en met paragraaf 6.3.4 geef ik de resultaten van de experimenten, die voor het minimum tot het maximum aantal werknemers, de optimale combinaties zijn. Daarnaast laten deze experimenten zien hoe de bottleneck het beste benut kan worden. De experimenten voldoen aan de voorwaarde in paragraaf 4.3.6, de combinaties geven geen problemen in het simulatie model.

6.3.1 Optimale combinaties huidige situatie

Voor de huidige situatie geeft tabel 10 de personeelsbezettingsgraad per stap weer. Tabel 11 presenteert de resultaten van deze experimenten. De experimenten met een ² kunnen niet als vaste personeelsbezettingsgraad worden gebruikt, de productie is meer dan 3.000 meter ketting per week.

Stap	Exp.7	Exp.10	Exp.22	Exp.23	Exp.35	Exp.47
1	5	5	6	6	7	8
2	2	2	2	2	2	2
3	1	2	2	2	2	2
4	2	2	2	3	3	3
Totaal	10	11	12	13	14	15

Tabel 10: Personeelsbezettingsgraad huidige situatie

KPI	Exp.7	Exp.10	Exp.22	Exp.23	Exp.35 ²	Exp.47 ²
Productie (meter)	415	472	517	556	634	701
Arbeidsproductiviteit (meter/werknemer)	41,47	42,85	43,08	42,79	45,26	46,71
Arbeidskosten	€375	€413	€450	€488	€525	€563
Bezettingsgraad	0,58	0,66	0,72	0,78	0,89	0,98

Tabel 11: Resultaten experimenten huidige situatie

6.3.2 Optimale combinaties model 1

In model 1 zijn alleen experimenten uitgevoerd waarbij de capaciteit van de bottleneck maximaal benut wordt. In tabel 12 wordt de personeelsbezettingsgraad per stap weergegeven. Tabel 13 presenteert de resultaten van deze experimenten.

Stap	Exp.1	Exp.7	Exp.10	Exp.11
1	8	8	8	8
2	1	2	2	2
3	1	1	2	2
4	2	2	2	3
Totaal	12	13	14	15

Tabel 12: Personeelsbezettingsgraad model 1

KPI	Exp.1	Exp.7	Exp.10	Exp.11 ²
Productie (meter)	409	415	517	701
Arbeidsproductiviteit (meter/werknemer)	34,08	31,90	36,95	46,71
Arbeidskosten	€450	€488	€525	€563
Bezettingsgraad	0,57	0,58	0,72	0,98

Tabel 13: Resultaten experimenten model 1

6.3.3 Optimale combinaties model 2

Voor model 2 geeft tabel 14 de personeelsbezettingsgraad per stap weer. Tabel 15 presenteert de resultaten van deze experimenten.

Stap	Exp.7	Exp.10	Exp.22	Exp.23	Exp.35	Exp.47	Exp.59	Exp.60
1	4	4	5	5	6	7	8	8
2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	3	3	3	3	4
Totaal	9	10	11	12	13	14	15	16

Tabel 14: Personeelsbezettingsgraad model 2

KPI	Exp.7	Exp.10	Exp.22	Exp.23	Exp.35 ²	Exp.47 ²	Exp.59 ²	Exp.60 ²
Productie (meter)	414	455	515	566	667	746	771	794
Arbeidsproductiviteit (meter/werknemer)	45,96	45,50	46,85	47,19	51,28	53,26	51,38	49,63
Arbeidskosten	€338	€375	€413	€450	€488	€525	€563	€600
Bezettingsgraad	0,51	0,57	0,64	0,70	0,83	0,93	0,96	0,99
Terugverdientijd (jaar)	-	-	-	0,41	0,03	0,018	0,016	0,014

Tabel 15: Resultaten experimenten model 2

6.3.4 Optimale combinaties model 3

Voor model 3 geeft tabel 16 de personeelsbezettingsgraad per stap weer. Tabel 17 presenteert de resultaten van deze experimenten.

Stap	Exp.1	Exp.4	Exp.13	Exp.14	Exp.23	Exp.24	Exp.27	Exp.36
1	3	3	4	4	5	5	5	6
2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	2	2	2	2	2	3	3
4	2	2	2	3	3	4	4	4
Totaal	7	8	9	10	11	12	13	14

Tabel 16: Personeelsbezettingsgraad model 3

KPI	Exp.1	Exp.4	Exp.13	Exp.14 ²	Exp.23 ²	Exp.24 ²	Exp.27 ²	Exp.36 ²
Productie (meter)	415	512	517	683	774	824	854	1025
Arbeidsproductiviteit (meter/werknemer)	59,24	64,00	57,44	68,30	70,36	68,69	65,69	73,21
Arbeidskosten	€263	€300	€338	€375	€413	€450	€488	€525
Bezettingsgraad	0,40	0,50	0,50	0,67	0,76	0,80	0,83	1,00
Terugverdiëntijd (jaar)	-	-	-	0,22	0,13	0,10	0,09	0,06

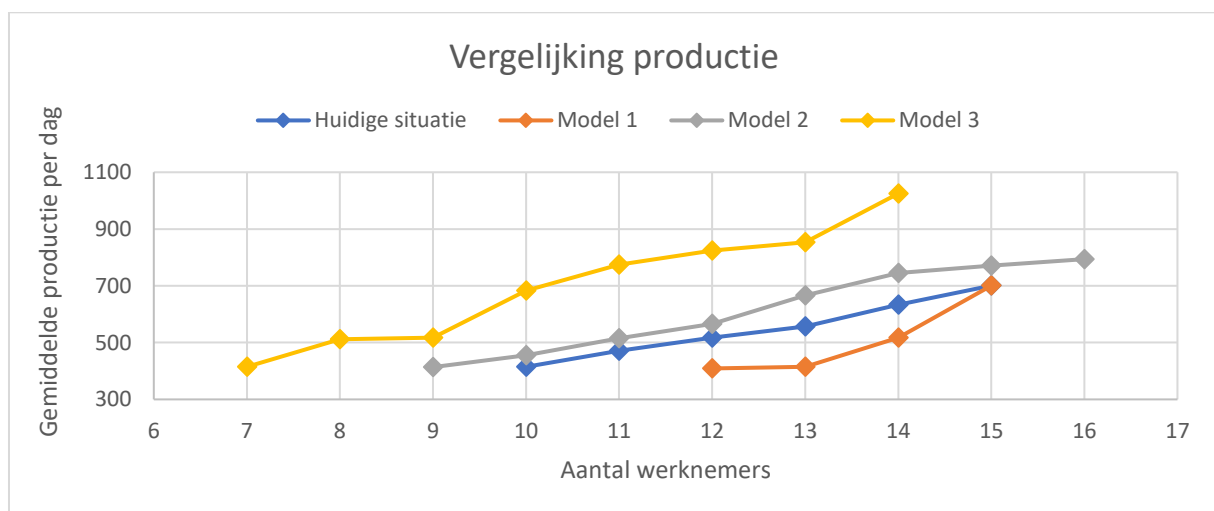
Tabel 17: Resultaten experimenten model 3

6.4 Vergelijking huidige situatie met nieuwe situaties

In de tabellen 10 tot en met 17 is te zien dat het aantal werknemers varieert van 7 tot maximaal 16. Hieronder laten vier grafieken zien wat het effect van de nieuwe situaties ten opzichte van de huidige situatie is, met betrekking tot de personeelsbezettingsgraad.

6.4.1 Vergelijking productie

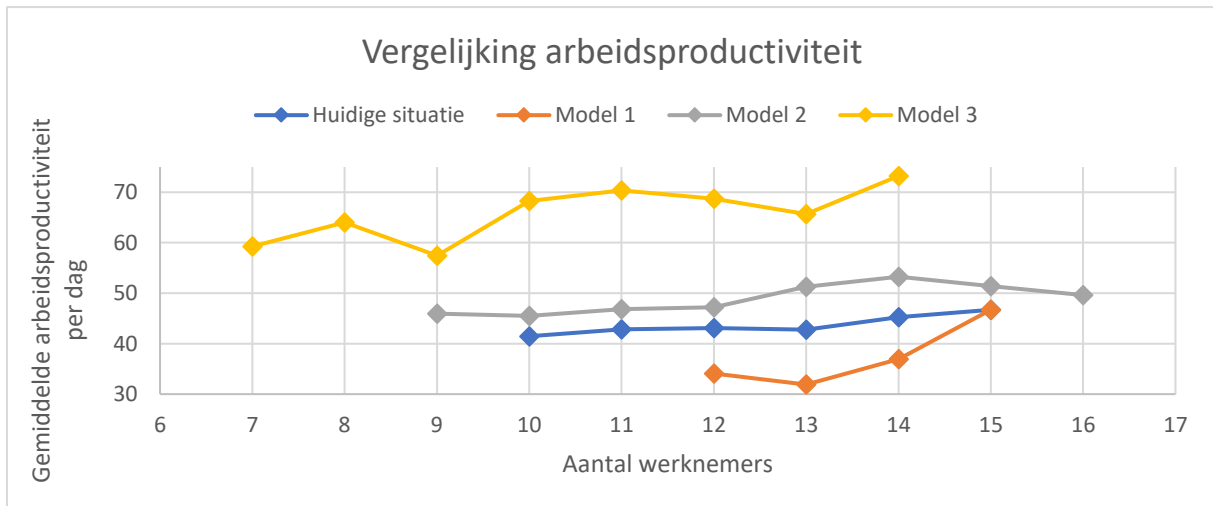
Figuur 8 vergelijkt de verschillende modellen op basis van het aantal meter ketting dat gemiddeld per dag geproduceerd kan worden. Hierin kan worden gezien dat model 2 en de huidige situatie een vrij constante productie genereren, model 1 en model 3 laten meer fluctuaties in de productie zien. Daarnaast is te zien dat model 3 altijd meer productie genereert dan de andere modellen en model 2 altijd meer productie genereert dan model 1 en de huidige situatie. Model 1 genereert de minste productie van alle modellen. Ten slotte, figuur 8 laat ook zien wanneer er gemiddeld meer dan zeshonderd meter ketting per dag wordt geproduceerd. Zoals in paragraaf 5.4 is uitgelegd, kan een combinatie die meer dan zeshonderd meter ketting per dag produceert alleen worden gebruikt om ziekte, verlof, vakanties en achterstanden op te vangen, omdat Marel Poultry maximaal 3.000 meter ketting per week kan afnemen. Voor model 3 betekent dit dat er gemiddeld maximaal 9 werkplekken per dag benut kunnen worden. In model 2 zijn dit gemiddeld 12 werkplekken per dag en in model 1 en de huidige situatie gemiddeld 13 tot 14 werkplekken per dag. Wanneer het maximale aantal werkplekken dat gemiddeld benut kan worden per dag wordt meegenomen, genereert model 2 de meeste productie van de nieuwe situaties. De beste oplossing met betrekking tot de productie is experiment 23 van model 2, waarbij gemiddeld 12 werknemers per dag worden ingezet en er gemiddeld 566 meter ketting per dag wordt geproduceerd.



Figuur 8: Vergelijking productie

6.4.2 Vergelijking arbeidsproductiviteit

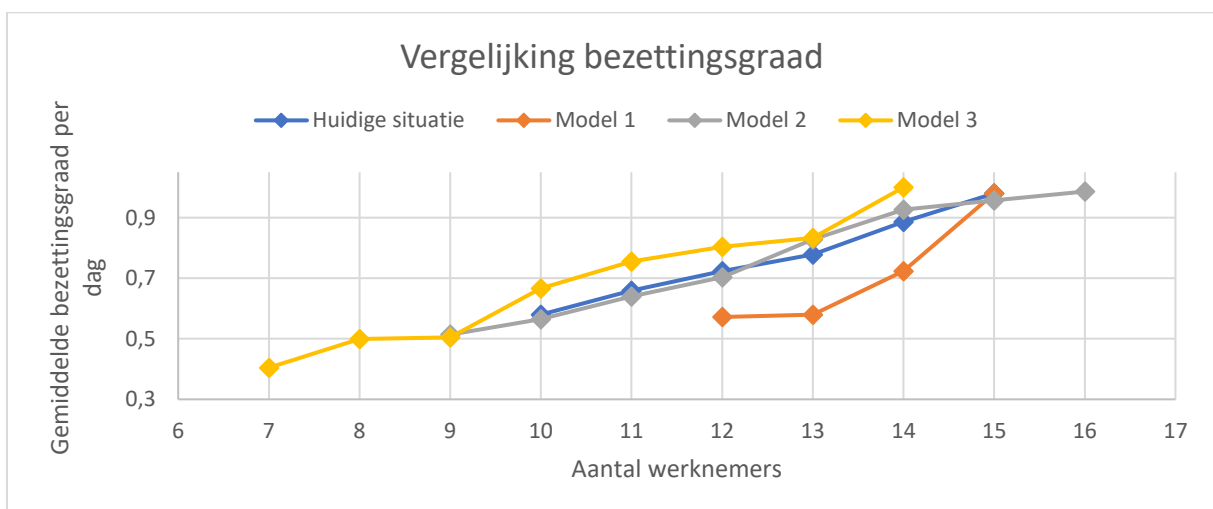
Figuur 9 laat het verschil in arbeidsproductiviteit zien per model. Wat opvalt is dat model 2 en de huidige situatie een constantere arbeidsproductiviteit genereren dan model 1 en model 3. Daarnaast is te zien dat model 2 en 3 beide een hogere arbeidsproductiviteit genereren dan de huidige situatie. Aangezien model 3 veruit de hoogste productiviteit genereert, biedt dit model de beste oplossing met betrekking tot de arbeidsproductiviteit. In paragraaf 6.4.1 is uitgelegd hoeveel werkplekken er gemiddeld per dag benut kunnen worden. Wanneer dit wordt meegenomen, is experiment 4 van model 3, met gemiddeld 8 werknemers per dag en een arbeidsproductiviteit van 64,00 meter/werknemer per dag, de beste oplossing.



Figuur 9: Vergelijking arbeidsproductiviteit

6.4.3 Vergelijking bezettingsgraad

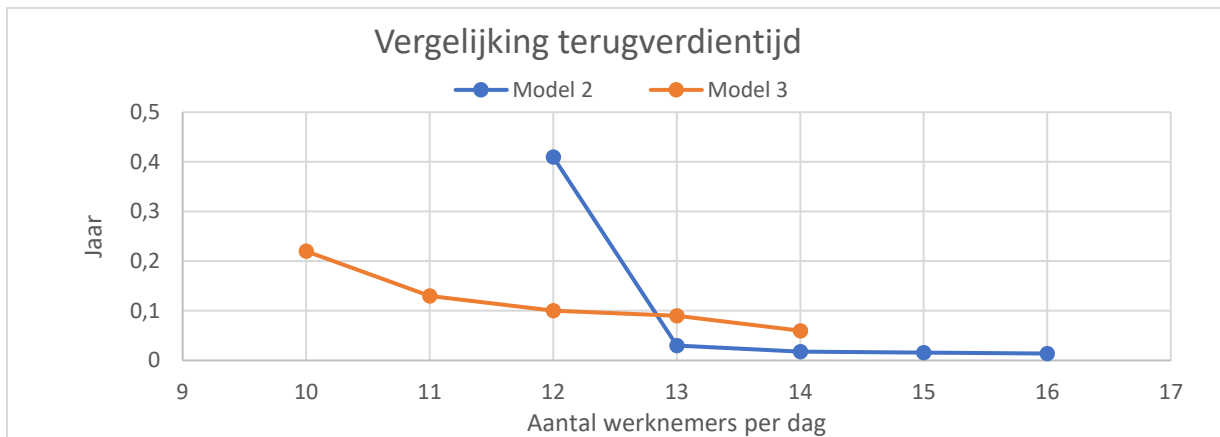
In figuur 10 is de bezettingsgraad per model weergegeven ten opzichte van het aantal werknemers dat aanwezig is. De lijnen naderen of zijn, bij de maximale inzet van werknemers, allemaal 1. Dit komt doordat er dan zoveel geproduceerd kan worden dat de productiecapaciteit bijna volledig benut wordt. Daarnaast laat figuur 10 ook zien dat de productiecapaciteit al volledig benut wordt zonder dat het maximale aantal werkplekken bezet is, dat zijn er namelijk 22. Wanneer het maximale aantal werkplekken dat gemiddeld benut kan worden wordt meegenomen, is te zien dat de bezettingsgraad bij model 2 hoger is dan bij model 3.



Figuur 10: Vergelijking bezettingsgraad

6.4.4 Vergelijking terugverdiëntijd

Figuur 11 laat de terugverdiëntijd van model 2 ten opzichte van model 3 zien. De terugverdiëntijden zijn pas weergegeven van het moment dat ze positief zijn. In figuur 11 is te zien dat wanneer er per dag meer werknemers in worden gezet, dit de terugverdiëntijd verkort. Dit komt doordat er met meer werknemers meer geproduceerd kan worden, wat voor hogere opbrengsten zorgt. Daarnaast is te zien dat vanaf 13 werknemers per dag de terugverdiëntijd van model 2 korter is dan die van model 3. Dit komt mede doordat de investering voor model 2 €22.500 lager is dan voor model 3. Dit figuur gaat ervan uit dat de opbrengsten in de huidige situatie constant zijn. Wanneer er rekening wordt gehouden met het gegeven dat model 3 maximaal 9 werkplekken gemiddeld kan benutten, is de terugverdiëntijd negatief. Voor model 2 is de terugverdiëntijd positief wanneer er met 12 werknemers gewerkt wordt.



Figuur 11: Vergelijking terugverdiëntijd

6.5 Samenvatting

Uit alle experimenten die zijn uitgevoerd is gebleken dat een groot deel van de experimenten overbodig is. Voor de experimenten die een optimale combinatie van het aantal werknemers op leverde zijn de resultaten weergegeven. Hieruit blijkt dat model 2 en 3 betere resultaten genereren dan de huidige situatie. Model 1 genereert meestal slechtere resultaten dan de huidige situatie. Daarnaast genereren model 2 en de huidige situatie over het algemeen constantere outputs dan model 1 en model 3. Per KPI leveren de experimenten de volgende conclusies op:

- Productie: de beste oplossing is experiment 23 van model 2, waarbij gemiddeld 12 werknemers per dag worden ingezet en er gemiddeld 566 meter ketting per dag wordt geproduceerd.
- Arbeidsproductiviteit: de beste oplossing is experiment 4 van model 3, met gemiddeld 8 werknemers per dag en een arbeidsproductiviteit van 64,00 meter/werknemer per dag.
- Bezettingsgraad: de lijnen nader allemaal 1, wat betekent dat de productiecapaciteit bijna volledig wordt benut, zelfs wanneer niet het maximale aantal werkplekken, namelijk 22, wordt benut.
- Terugverdiëntijd: Wanneer er rekening wordt gehouden met het gegeven dat model 3 maximaal 9 werkplekken gemiddeld kan benutten, is de terugverdiëntijd negatief. Voor model 2 is de terugverdiëntijd positief wanneer er met 12 werknemers gewerkt wordt.

Met behulp van de resultaten van de experimenten, kan ik in hoofdstuk 7 de conclusies formuleren en de aanbevelingen onderbouwen.

Hoofdstuk 7 Conclusies, aanbevelingen, beperkingen en discussie

In dit hoofdstuk sluit ik af met de conclusies van mijn onderzoek. Daarnaast adviseer ik Larcom welke verandering ze het beste kunnen gaan doorvoeren en hoe dit vorm gegeven kan worden. Als laatste bespreek ik de beperkingen en bediscussieer ik mijn onderzoek. De structuur in dit hoofdstuk is als volgt:

- Paragraaf 7.1 geeft de conclusies van mijn onderzoek
- Paragraaf 7.2 benoemt de aanbevelingen aan Larcom
- Paragraaf 7.3 benoemt de beperkingen van mijn onderzoek
- Paragraaf 7.4 bediscussieert het onderzoek dat is uitgevoerd
- Paragraaf 7.5 sluit af met aanbevelingen voor vervolgonderzoek

7.1 Conclusies

In deze paragraaf geef ik de conclusies die op basis van de experimenten getrokken kunnen worden. De conclusies zijn geformuleerd per model, ten opzichte van de huidige situatie. De conclusies geven antwoord op de vraag hoe de bottleneck, stap 1, het beste geminimaliseerd kan worden, om zo de productiviteit te verhogen, zonder dat de terugverdientijd langer is dan drie jaar.

7.1.1 Conclusie model 1

In paragraaf 6.4 kan worden gezien dat model 1 op de KPI's productie, arbeidsproductiviteit en bezettingsgraad slechter presteert dan de huidige situatie. Wanneer er niets veranderd in de huidige situatie is het wel mogelijk om meer te produceren wanneer de capaciteit van de bottleneck volledig benut wordt. Daarnaast laat model 1 zien dat met de volledige capaciteit benutting van de bottleneck, de arbeidsproductiviteit ten opzichte van de huidige situatie wel omhoog gaat. Model 1 presteert ook slechter dan model 2 en model 3. Hierdoor is model 1 niet de oplossing voor het minimaliseren van de bottleneck.

7.1.2 Conclusie model 2

Op basis van de experimenten kan worden geconcludeerd dat model 2 altijd betere outputs genereert dan de huidige situatie op de KPI's productie en arbeidsproductiviteit. Daarnaast laat model 2 een stabiele output op deze twee KPI's zien. Model 2 genereert minstens tien procent meer output, wanneer in de huidige situatie en in model 2 evenveel werknemers werkzaam zijn. Het verschil tussen de norm en de realiteit is dat de productiviteit niet omhoog ging wanneer Larcom meer wilde produceren. Doordat de meeste outputs van model 2 altijd hoger zijn dan in de huidige situatie, wordt het verschil tussen de norm en de realiteit opgelost. De output arbeidsproductiviteit is in model 2 altijd hoger dan in de huidige situatie, dit betekent dat er per werknemer meer geproduceerd wordt. Hierdoor hoeven er dus niet meer werknemers ingezet te worden om extra productie te genereren. Daarnaast ligt de terugverdientijd voor de investering tussen de 0,40 en 0,014 jaar. Wanneer het maximale aantal werkplekken dat gemiddeld benut kan worden wordt meegenomen, is de terugverdientijd van de investering 0,40 jaar. Dit betekent dat model 2 alleen met de inzet van gemiddeld 12 werknemers per dag terug te verdienen is. Model 2 voldoet aan de vraag vanuit Larcom, dat de productiviteit omhoog moet zonder dat de terugverdientijd langer is dan drie jaar.

7.1.3 Conclusie model 3

Op basis van de experimenten kan worden geconcludeerd dat model 3 altijd betere outputs genereert dan de huidige situatie op de KPI's productie, bezettingsgraad en arbeidsproductiviteit. Naast de betere outputs die model 3 genereert, zijn deze outputs wel minder stabiel dan de outputs in de huidige situatie. Verder zijn er in model 3 minder werkplekken beschikbaar dan in de huidige situatie. Het aantal werkplekken daalt van maximaal 14 in de huidige situatie naar 9 in model 3. In model 3

wordt net zoals bij model 2 het verschil tussen de norm en de realiteit opgelost, doordat de outputs meestal hoger zijn dan de outputs in de huidige situatie. De arbeidsproductiviteit is in model 3 ook altijd hoger dan in de huidige situatie, dus er hoeven niet meer werknemers ingezet te worden om extra productie te genereren. Ten slotte, voor model 3 moet een investering van €25.700 worden gedaan. Wanneer er dan met het maximale aantal werkplekken van model 3 wordt gewerkt, namelijk negen, is de terugverdientijd negatief. Dit betekent dat om model 3 terug te verdienen er met minstens tien werknemers gemiddeld per dag geproduceerd moet worden. Om dit te realiseren moet er eerst worden gekeken of Marel Poultry meer ketting per week kan afnemen. In de huidige situatie is model 3 dus niet terug te verdienen, waardoor er niet aan de vraag vanuit Larcom kan worden voldaan. De productiviteit gaat met de toepassing van model 3 omhoog, maar op dit moment is dat niet mogelijk zonder dat de kosten omhoog gaan.

Uit de conclusies die gegeven zijn een paragraaf 7.1.1 tot en met 7.1.3 blijkt dat er maar één model is dat aan de vraag: *“Hoe kan de productiviteit omhoog, zonder dat de terugverdientijd van eventuele investeringen langer is dan drie jaar?”* voldoet. Dit model is model 2, zolang er gemiddeld 12 werknemers per dag worden ingezet. Wanneer dit het geval is, is de investering in 0,40 jaar terug te verdienen. Daarnaast zijn zowel model 2 als model 3 een oplossing voor het kernprobleem, beide modellen minimaliseren de bottleneck, omdat door de veranderingen er meer output gegenereerd kan worden. Wanneer Larcom de terugverdientijd van model 2 wil verkorten of model 3 wil kunnen implementeren, moet Marel Poultry eerst meer willen en kunnen afnemen per week.

7.2 Aanbevelingen

In deze paragraaf geef ik advies aan Larcom hoe ze het beste model 2 en model 3 kunnen implementeren. Allereerst adviseer ik Larcom om model 2 te implementeren, omdat deze aan de vraag van hen voldoet. Daarnaast zijn de productdragers voor model 2 en 3 hetzelfde, dus de implementatie van model 2 sluit de implementatie van model 3 niet uit. Om de implementatie een succes te laten zijn, heb ik een stappenplan opgesteld die Larcom kan gaan uitvoeren. De stappen zijn als volgt:

1. Creëer een proef productdrager (Zie Appendix G)
2. Leg aan de werknemers uit hoe ze de productdrager het beste kunnen gebruiken (de uitleg per stap in Appendix G kan hierbij helpen)
3. Laat verschillende werknemers de productdrager gebruiken en meet de doorlooptijd
4. Bereken het deterministische model of het simulatie model opnieuw, om te zien welk effect een productdrager daadwerkelijk heeft
5. Wanneer blijkt uit stap 4 dat het effect positief is, kunnen er productdragers worden aangeschaft.

Het stappenplan kan nog verder worden uitgebreid met een implementatie van model 3. Voordat model 3 geïmplementeerd kan worden, adviseer ik Larcom om met Marel Poultry in overleg te gaan over de maximale afname hoeveelheid per week. Wanneer de afname van Marel Poultry per week hoger kan worden, wordt het interessanter om een slagboormachine met automatische bouttoevoer aan te schaffen. Dit komt doordat de terugverdientijd voor een slagboormachine met automatische bouttoevoer pas positief is wanneer er gemiddeld meer dan 600 meter ketting per dag geproduceerd kan worden. Wanneer deze machine wordt aangeschaft, adviseer ik om deze machine eerst voor een proefperiode te laten werken. Tijdens deze proefperiode kan gemeten worden wat de storingsfactor is en hoe dit de productielijn verder beïnvloed, voordat de machine definitief wordt aangeschaft.

7.3 Beperkingen

De eerste beperking van mijn onderzoek is dat mijn simulatie modellen weinig variabiliteit bevatten in vergelijking met de realiteit. Hierdoor is het simulatie model van de huidige situatie ook enthousiaster dan de realiteit. Dat er weinig variabiliteit in simulatie is gemodelleerd, is voornamelijk te wijten aan

het feit dat er onvoldoende data beschikbaar was en aan de tijdsperiode van tien weken. Zoals aan de simplificaties in paragraaf 3.1 is te zien, was er geen data beschikbaar met betrekking tot de storingsfactor. Daarnaast is tien weken te kort om deze in kaart te brengen. De personeelsbezettingsgraad is in de realiteit ook variabeler dan in mijn simulatie modellen. Om de data te verkrijgen over de personeelsbezettingsgraad moeten er over een langere periode, elke dag metingen uitgevoerd worden. Ik heb wel gekeken of dit mee te nemen was in mijn simulatie modellen, maar hier is een periode van tien weken ook te kort voor.

De tweede beperking is dat, achteraf gezien, ik niet gebruik had hoeven maken van simulatie. Door de beperking die hierboven is beschreven, had ik op basis van deterministische modellen ook de outputs kunnen berekenen. Voordat ik begon met mijn onderzoek en meerdere observaties heb uitgevoerd, was dit nog niet bekend. Daarnaast, er is wel voldoende variabiliteit aanwezig in de huidige situatie, alleen is niet alle variabiliteit uiteindelijk gemodelleerd. Doordat er wel bekend was dat er variabiliteit aanwezig was, was het toepassen van een deterministisch model niet logisch. Een voordeel aan mijn keuze voor simulatie, is dat in de toekomst eventuele verdere veranderingen makkelijker door te voeren en te berekenen zijn, dan met een deterministisch model.

De derde beperking van mijn onderzoek is dat ik gebruik heb gemaakt van observaties. Doordat ik de werknemers zelf heb geobserveerd, kan het zijn dat de observaties beïnvloed zijn door mijn aanwezigheid. Om de kans dat de observaties beïnvloed zijn te verkleinen, heb ik mij tijdens de observaties zoveel mogelijk afzijdig gehouden. Tijdens het observatiemoment van stap 1 was ik niet aanwezig. De stappen 2 tot en met 4 zijn geobserveerd doormiddel van een filmopname. Ik was hier alleen aanwezig om de camera te bedienen. Aangezien er geen data beschikbaar was, was het noodzakelijk om observaties uit te voeren, anders kon ik mijn onderzoek niet uitvoeren. De resultaten van de observaties heb ik voorgelegd aan mijn supervisor, om deze te valideren. Wij zijn samen tot de conclusie gekomen dat de resultaten van de observaties de realiteit met voldoende accuraatheid weergeeft en dat de kans dat de observaties beïnvloed zijn klein is.

De vierde beperking heeft betrekking op de externe validiteit van mijn onderzoek en de vergelijking van mijn onderzoek met andere onderzoeken. Ik heb mijn onderzoek uitgevoerd in een unieke omgeving met een unieke populatie. De theorie die ik toepas in mijn onderzoek wordt over het algemeen meer toegepast op commerciële bedrijven. Hierdoor is mijn onderzoek moeilijk te vergelijken met andere onderzoeken, omdat er geen vergelijkingsmateriaal is. Daarnaast kan de unieke omgeving en populatie een belemmering vormen om dezelfde onderzoeksopzet toe te passen in andere omgevingen. Aan de andere kant, dezelfde onderzoeksopzet kan op andere sociale werkvoorzieningsbedrijven en bedrijven waar mensen met een achterstand op de arbeidsmarkt werkzaam zijn, wel van toepassing zijn. Verder kan mijn onderzoek wel als bron worden gebruikt om kennis op te doen over de TOC en de toepassing van de "Five Focusing Steps".

De laatste beperking van mijn onderzoek is dat er voor de nieuwe situaties geen realiteit was om mee te vergelijken. Dit betekent dat het valideren en verifiëren van de nieuwe simulatie modellen moeilijker was. Door het opstellen van een deterministisch model en het bespreken van de resultaten met mijn supervisor vanuit Larcom, heb ik geprobeerd de nieuwe situaties zo goed als mogelijk te valideren en verifiëren. De outputs van het deterministische model waren vergelijkbaar met de outputs van de simulatie modellen. Daarnaast was mijn supervisor vanuit Larcom het eens met de outputs die werden gegenereerd. Mijn tweede supervisor en ik hebben ook geen fouten in de code kunnen ontdekken. Op basis hiervan vinden wij mijn simulatie model voldoende gevalideerd en geverifieerd.

7.4 Discussie

Naar aanleiding van mijn onderzoek zijn er verschillende discussiepunten naar voren gekomen. Het eerste discussiepunt is dat er geen eerdere wetenschappelijke studies zijn uitgevoerd die de Theory of Constraints toepassen in een sociaal werkvoorzieningsbedrijf. Hierdoor was het moeilijk te bepalen of ik de Theory of Constraints juist heb toegepast op deze omgeving. Wanneer er wordt gekeken naar een productie omgeving, zijn er wel wetenschappelijke studies uitgevoerd. Deze zijn deels toepasbaar en heb ik ook toegepast, maar door de specifieke omgeving van dit onderzoek zijn deze niet volkomen toepasbaar.

Het volgende discussiepunt is dat ik geen onderzoek heb kunnen doen of de werknemers in staat zijn om daadwerkelijk met de productdragers te werken. Omdat deze toepassing zo specifiek is, is hier geen eerder onderzoek naar gedaan. Daarnaast is tien weken te kort geweest om dit zelf te kunnen onderzoeken.

Het laatste discussiepunt dat ik wil benoemen is dat er geen KPI is die de productiviteit meet. Dit komt mede door het feit dat productiviteit een breed begrip is, die per situatie anders gemeten kan worden. In dit onderzoek heb ik ervoor gekozen om meerdere KPI's te meten die samen een uitspraak kunnen doen over de productiviteit.

7.5 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

De eerste aanbeveling voor vervolgonderzoek is dat er kan worden gekeken naar de implementatie van een cobot. Het is interessant om te onderzoeken of een cobot past binnen de cultuur van Larcom en welk effect dit heeft op de productie. Daarnaast is het goed om na te denken wat voor ethisch effect deze verandering ter wege brengt.

De tweede aanbeveling voor een vervolgonderzoek is het implementeren van een productieplanning. Hiervoor is het noodzakelijk dat er eerst duidelijk in kaart wordt gebracht wanneer er een bepaald aantal werknemers aanwezig is. In dit onderzoek kan worden onderzocht of een productieplanning van toepassing kan zijn, hoe deze toegepast kan worden en wat het effect hiervan is.

De laatste aanbeveling voor vervolgonderzoek is het optimaliseren van de gehele productielijn. Hierbij kan worden gedacht aan een andere opstelling, slimmere manieren van transport binnen de productielijn en het aanpakken van de volgende bottleneck. Om te kijken wat toegepast kan worden adviseer ik om te kijken bij andere sociale werkvoorzieningsbedrijven, hoe zij deze problemen aanpakken. Daarnaast kan er een overleg met de medewerkers, de arbeidsondersteuning en het productiemanagement plaatsvinden. Hierin kan worden besproken welke veranderingen zij graag zien. Met behulp van deze informatie kan er worden nagedacht over een nieuwe inrichting van de productielijn.

Bronvermelding

- FLLteam. (2019). Opgehaald van Gambier giga flops:
<https://gambiergigaflops.wordpress.com/2015/09/16/flowcharts-state-diagrams-uml-and-diagramming-thinking-and-work-flow/>
- Gundogar, E., Sari, M., & Kokcam, A. (2016). Dynamic bottleneck elimination in mattress manufacturing line using theory of constraints. *Springerplus*, 1-15.
- Marin, E. G. (2015). GTBM: An alternative theoretical model to Drum. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, (pp. 1-5). Dubai.
- Rahman, S. (1998). Theory of constraints: A review of the philosophy and its applications. *International journal of operations & production management*, 336-355.
- Robinson, S. (2014). *Simulation: The Practice of Model Development and Use* (2de ed.). Basingstoke, Hampshire, United Kingdom: Palgrave Macmillan.
- Schrageheim, E., & Ronen, B. (1990). Drum-Buffer-Rope shop floor control. *Production and inventory management journal*, 18-22.
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2013). *Operations Management* (7de ed.). Harlow: Pearson Education Limited.

Appendix A: Uitleggen van de stappen in de huidige productielijn

A.1 Stap 1

Deze stap biedt plaats voor acht werknemers. Gemiddeld zijn er 6 werknemers per dag werkzaam in stap 1. De werknemers die deze stap uitvoeren zijn de werknemers met de laagste productiviteit binnen Larcom. Stap 1 is samen met stap 2 en 3 een onderdeel van de voormontage. In stap 1 wordt er een wiel op een trolleyhelft bevestigd doormiddel van een bout en een moer. De werknemers moeten de moer iets vastdraaien zodat het wiel en de trolleyhelft op elkaar bevestigd zijn. Als dit is gebeurd leggen zij de trolleyhelft op de loopband.

A.2 Stap 2

Vanaf de loopband komen de trolleyhelften met wiel binnen. Bij stap 2 wordt de moer met een slagboormachine vastgedraaid. Dit moet gebeuren met specifiek aandraaimoment, zodat elke moer even vast zit. Nadat de moer is vastgedraaid wordt de trolleyhelft in een krat gelegd. Stap 2 biedt plaats voor twee werknemers, gemiddeld genomen zijn deze twee plaatsen bezet.

A.3 Stap 3

De trolleyhelften worden, vanaf stap 2, aangeleverd in kratten. In stap 3 worden deze uit de kratten gehaald, zodat er in een trolleyhelft twee moeren kunnen worden ingelegd. Deze moeren zijn nodig om in stap 4 de trolleyhelften te kunnen bevestigen op de ketting. In de helft van alle trolleyhelften wordt een moer ingelegd. De moer wordt door een werknemer ingelegd en vervolgens aangedrukt met een pers. Deze trolleyhelften worden op de tafel gelegd. Er zijn zes plaatsen in de productielijn waar stap 3 kan worden uitgevoerd. Gemiddeld zijn er twee van de zes plaatsen bezet.

A.4 Stap 4

In stap 4 wordt de ketting van vijftig meter geassembleerd. Per keer worden er tien trolleyhelften op bevestigd, daarna wordt de ketting doorgeschoven en worden de volgende tien trolleyhelften er op bevestigd. Dit gaat door totdat de ketting vol is. Twee trolleyhelften maken samen één trolley. De trolley die in stap 3 wordt geproduceerd is de ene helft en de andere helft is een trolleyhelft zonder ingelegde moeren. Deze worden met twee bouten op elkaar bevestigd, met de ketting er tussen in. De bout wordt aangedraaid met een specifiek aandraaimoment. Er zijn zes plaatsen in de productielijn waar stap 4 uitgevoerd kan worden. Gemiddeld zijn er vier van de zes plaatsen bezet.

Appendix B: Resultaten observaties

B.1 Doorlooptijden stap 1

Zoals uitgelegd in paragraaf 2.2 zijn de doorlooptijden in stap 1 bepaald door ongeveer 15 minuten de loopband stil te zetten. De werknemers legden de producten nu elk in een eigen kratje, zodat ik kon bepalen hoeveel trolleyhelften er in 15 minuten geproduceerd worden. Tijdens dit observatiemoment was ik niet aanwezig in de productiehal.

Werknemer	Aantal trolleyhelften	Doorlooptijd (seconden)
1	25	39,2
2	106	9,2
3	37	26,5
4	42	23,3
5	74	13,2
6	39	25,1
7	59	16,6
8	52	18,8

Tabel 18: Doorlooptijden stap 1

B.2 Doorlooptijden stap 2

De doorlooptijden van stap 2, 3 en 4 zijn gemeten door de werkzaamheden te filmen en aan de hand van de video de doorlooptijden te bepalen. Tijdens deze observatiemoment was ik alleen aanwezig om de camera te bedienen.

Werknemer 1 # metingen	Doorlooptijden (seconden)	Werknemer 2 # metingen	Doorlooptijden (seconden)
1	3	1	5
2	3	2	7
3	2	3	4
4	3	4	5
5	6	5	6
6	3	6	7
7	2	7	7
8	3	8	6
9	4	9	4
10	2	10	5
11	3	11	7
12	3	12	7

Tabel 19: Doorlooptijden stap 2

B.3 Doorlooptijden stap 3

Werknemer 1 # metingen	Doorlooptijden (seconden)	Werknemer 2 # metingen	Doorlooptijden (seconden)
1	8	1	12
2	7	2	12
3	8	3	13
4	8	4	12
5	9	5	12
6	7	6	13
7	9	7	12
8	10	8	12
9	13	9	13
10	9	10	12
11	8	11	12
12	8	12	13
13	9	13	9
14	7	14	13
15	8	15	9
16	7	16	11

Tabel 20: Doorlooptijden stap 3

B.4 Doorlooptijden stap 4

Stap 4 bestaat uit verschillende repeterende handelingen, deze zijn opgesplitst in vijf handelingen die apart zijn gemeten. Per metingen gaat het om tien trolleyhelften die op de ketting worden gemonteerd. Voor het simulatie model zijn de doorlooptijden per trolleyhelft gebruikt.

Handeling 1: ketting op de tafel leggen

Werknemer 1 # metingen	Doorlooptijden (seconden)	Werknemer 2 # metingen	Doorlooptijden (seconden)
1	5	1	6
2	4	2	6
3	1	3	3
4	1	4	3
5	2	5	1
Gemiddelde	2,6	Gemiddelde	3,8

Tabel 21: Doorlooptijden handeling 1

Handeling 2: Onderste trolleyhelft in leggen

Werknemer 1 # metingen	Doorlooptijden (seconden)	Werknemer 2 # metingen	Doorlooptijden (seconden)
1	11	1	18
2	10	2	19
3	9	3	19
4	9	4	15
5	11	5	18
Gemiddelde	10	Gemiddelde	17,8

Tabel 22: Doorlooptijden handeling 2

Handeling 3: Bovenste trolleyhelft inleggen met bouten erdoor heen

Werknemer 1 # metingen	Doorlooptijden (seconden)	Werknemer 2 # metingen	Doorlooptijden (seconden)
1	28	1	42
2	29	2	43
3	28	3	40
4	28	4	39
5	30	5	41
Gemiddelde	28,6	Gemiddelde	41

Tabel 23: Doorlooptijden handeling 3

Handeling 4: Bouten vastdraaien

Werknemer 1 # metingen	Doorlooptijden (seconden)	Werknemer 2 # metingen	Doorlooptijden (seconden)
1	19	1	22
2	18	2	21
3	19	3	22
4	18	4	22
5	19	5	22
Gemiddelde	18,6	Gemiddelde	21,8

Tabel 24: Doorlooptijden handeling 4

Handeling 5: Ketting loshalen en doortrekken

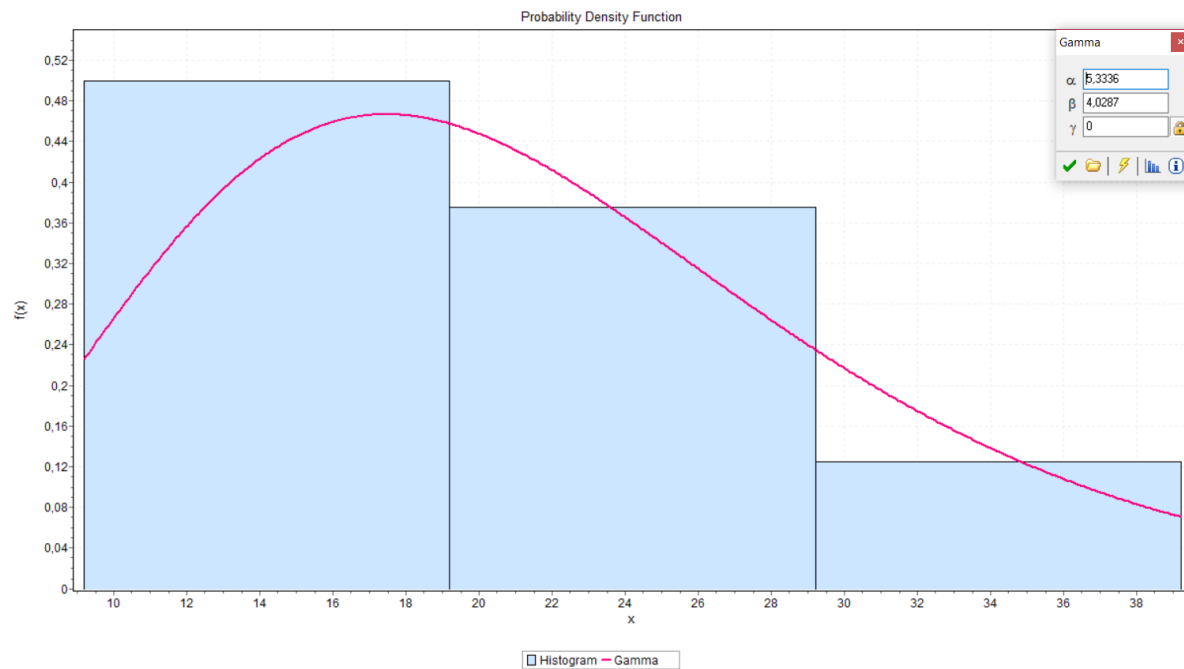
Werknemer 1 # metingen	Doorlooptijden (seconden)	Werknemer 2 # metingen	Doorlooptijden (seconden)
1	5	1	6
2	4	2	14
3	5	3	6
4	5	4	6
5	5	5	6
Gemiddelde	4,8	Gemiddelde	7,6

Tabel 25: Doorlooptijden handeling 5

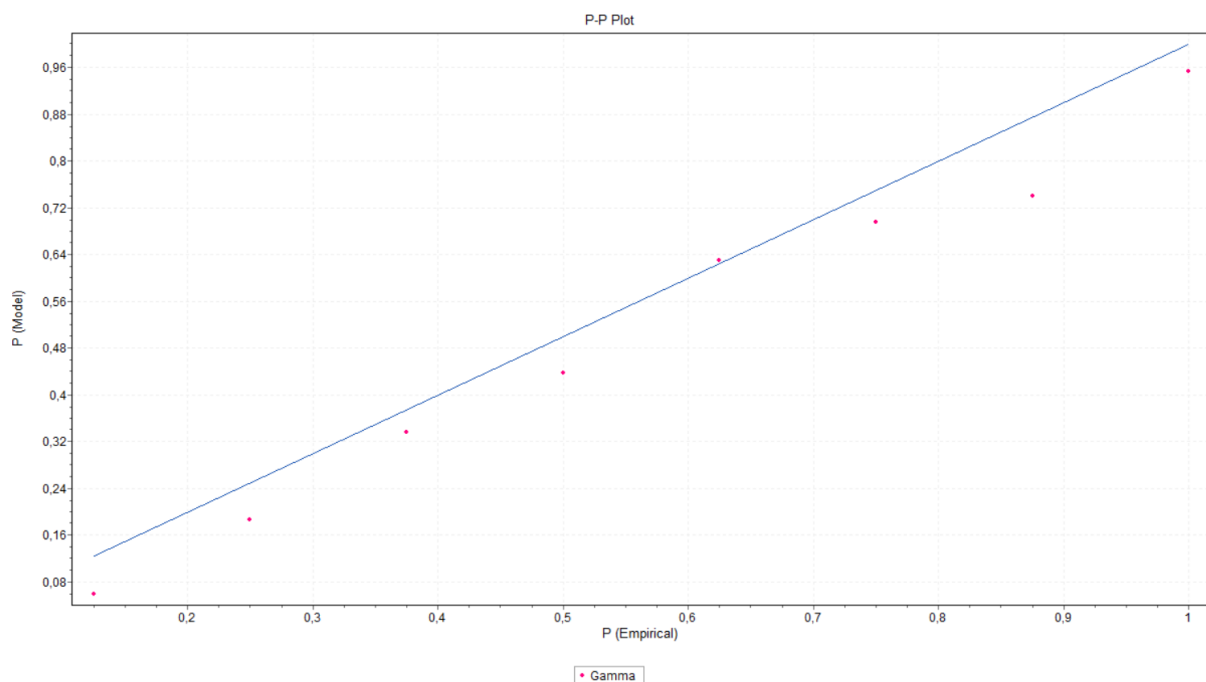
Gemiddelde totale doorlooptijd stap 4: 78,1 seconden per tien trolleyhelften

Appendix C: Grafieken kansverdelingen

C.1 Grafieken kansverdeling stap 1

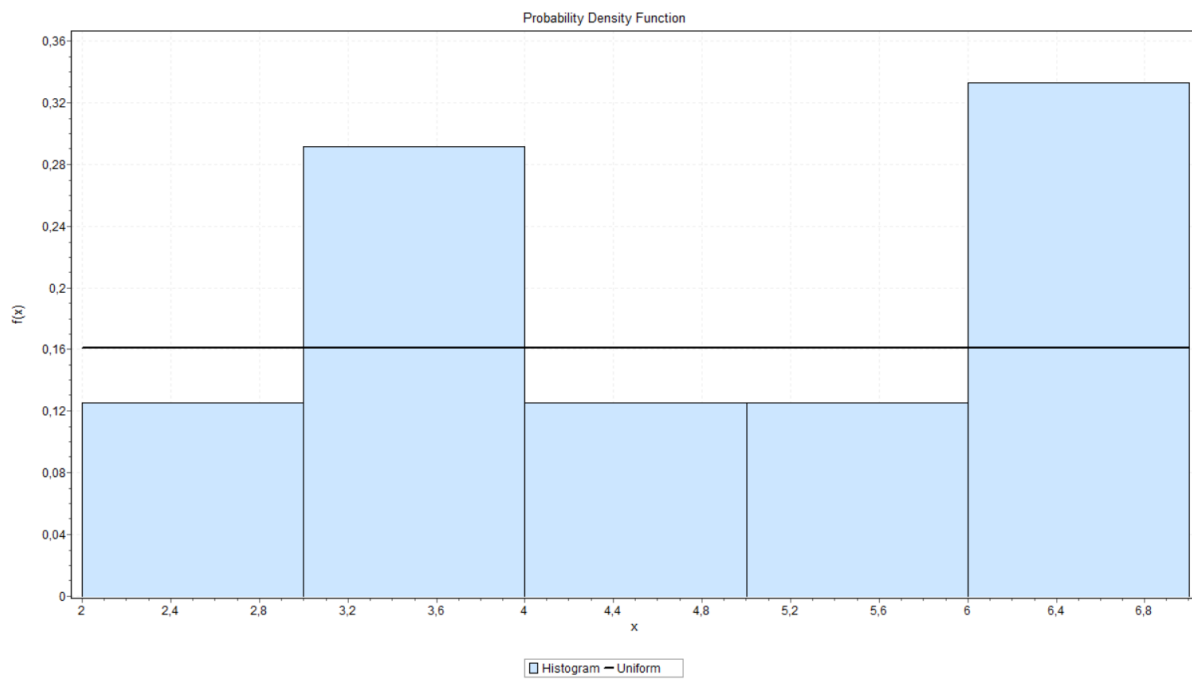


Figuur 12: Kansverdeling stap 1

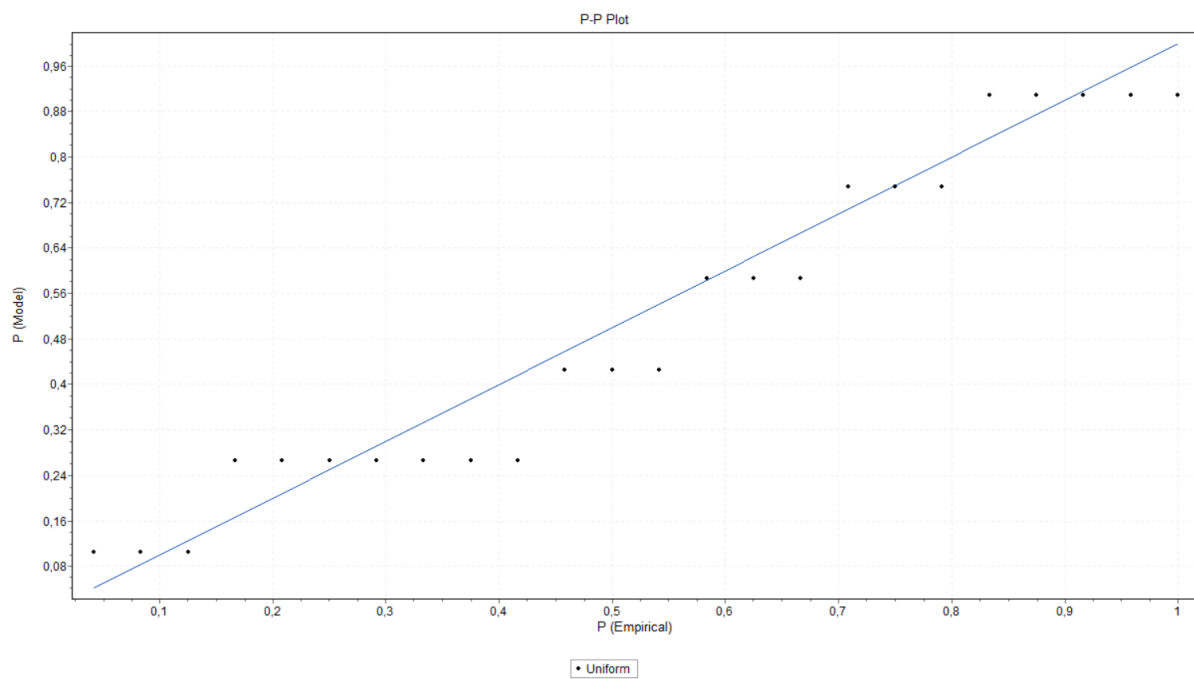


Figuur 13: P-P plot stap 1

C.2 Grafieken kansverdeling stap 2

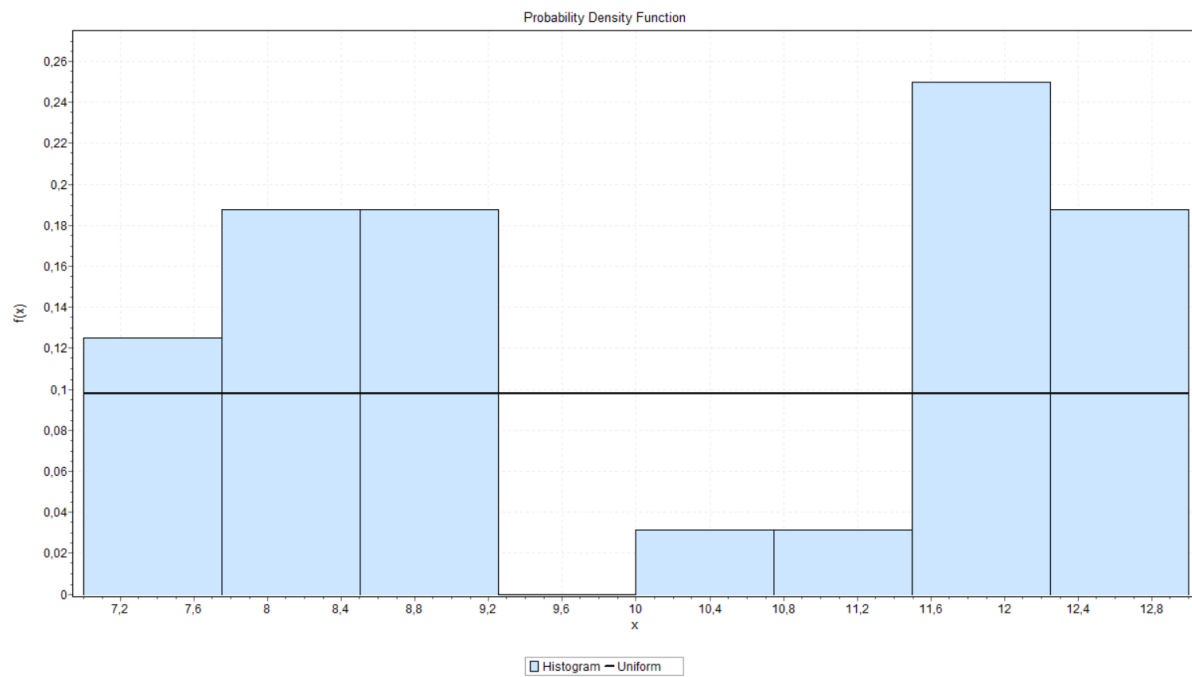


Figuur 14: Kansverdeling stap 2

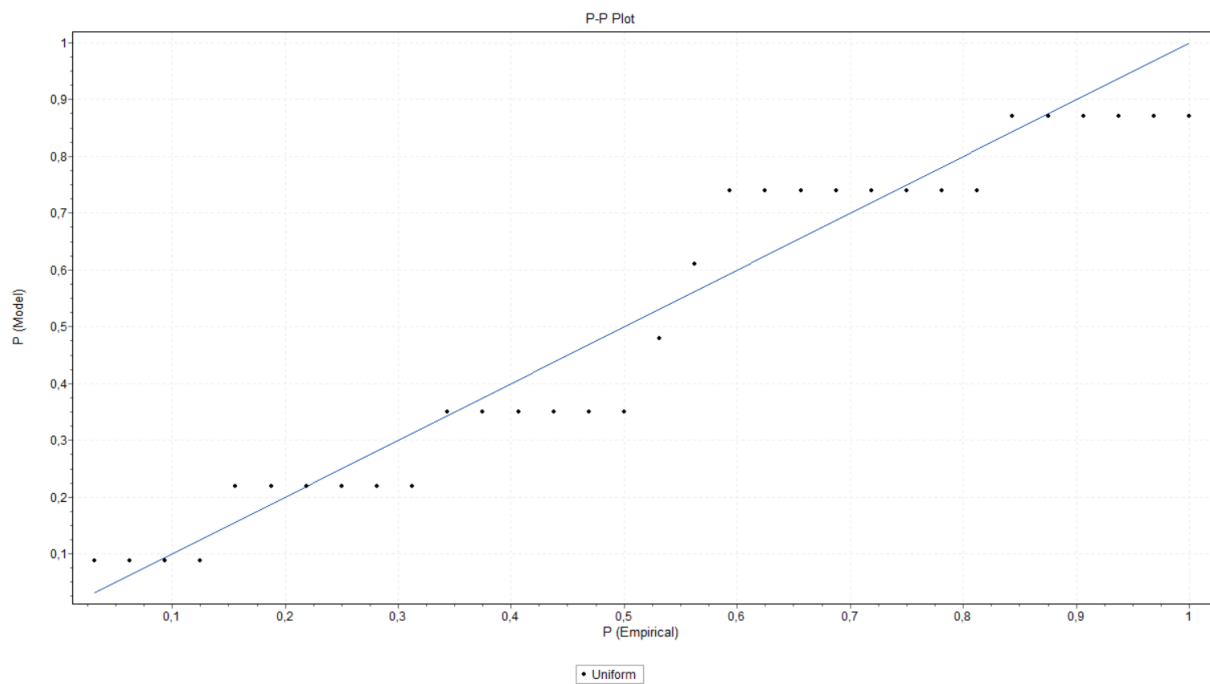


Figuur 15: P-P plot stap 2

C.3 Grafieken kansverdeling stap 3

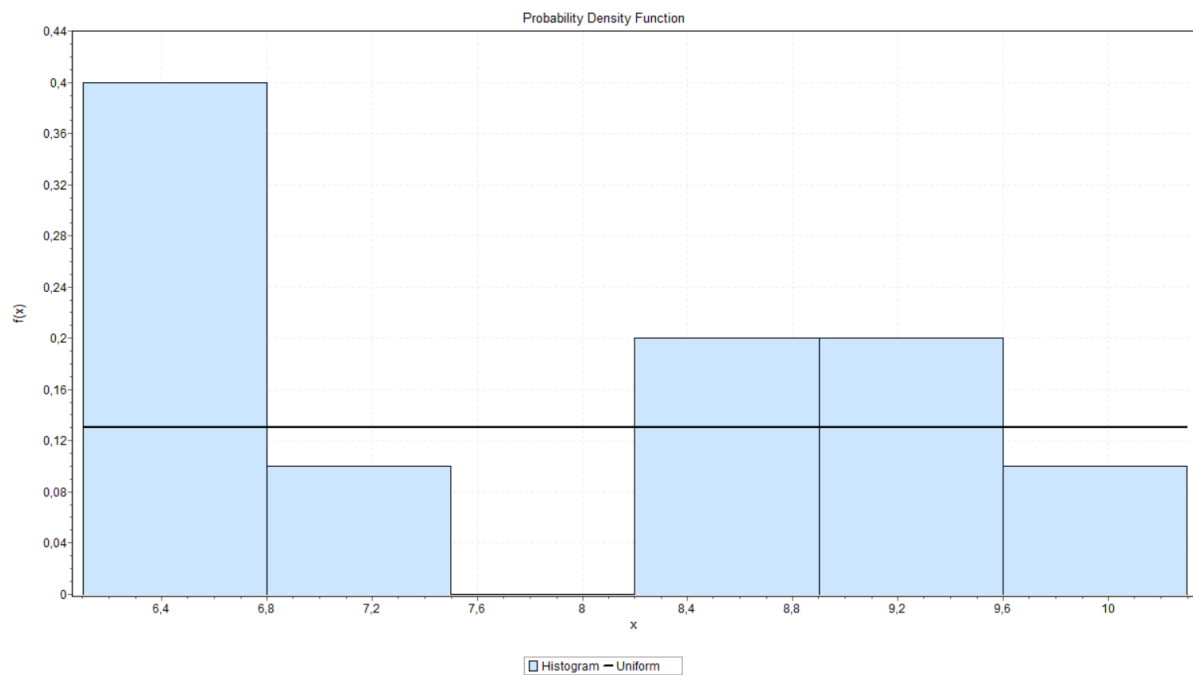


Figuur 16: Kansverdeling stap 3

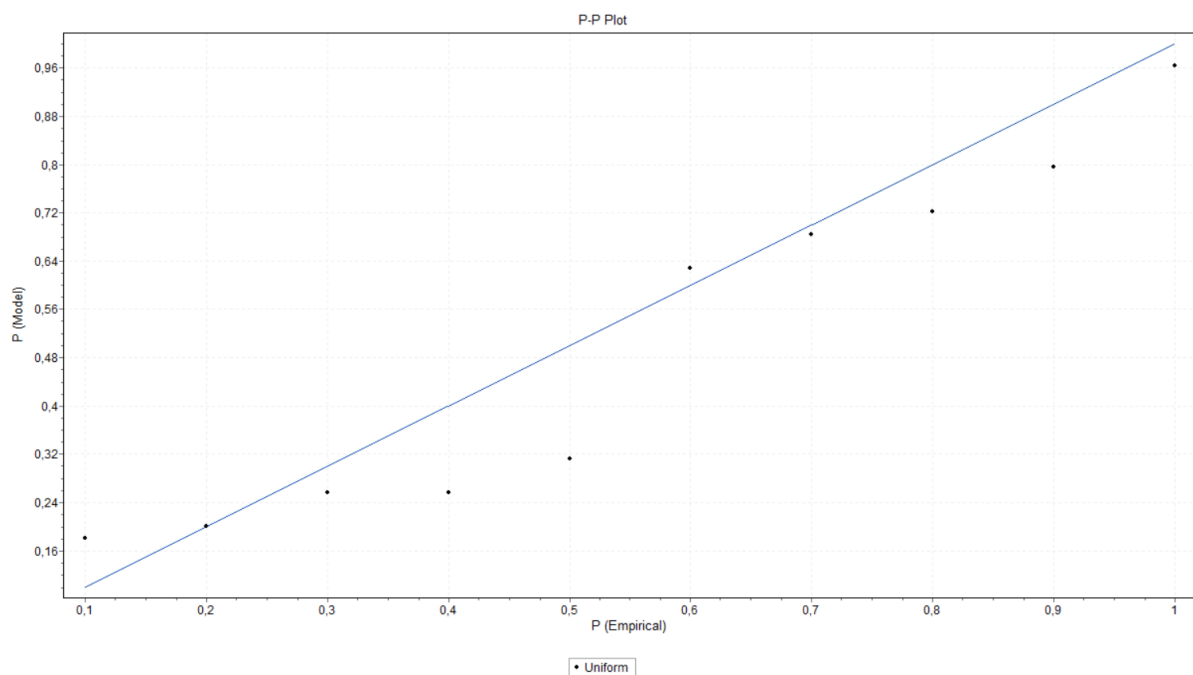


Figuur 17: P-P plot stap 3

C.4 Grafieken kansverdeling stap 4



Figuur 18: Kansverdeling stap 4



Figuur 19: P-P plot stap 4

Appendix D: Conceptuele modellen van de huidige productielijn

In figuur 20 is het conceptuele proces model te zien dat is opgesteld. Dit model laat de flow van het begin tot het eind zien, dus welke stappen er worden doorlopen. Daarnaast geven de figuren 21 tot 24 de logic flow weer van taken die moeten worden uitgevoerd. Tabellen 26 en 27 geven uitleg over wat de vormen in de modellen betekenen.

D.1 Logic flow (FLLteam, 2019)

Symbool	Functie
Ovaal	Geeft een start of eind punt weer
Pijl	Geeft een relatie weer tussen de vormen
Rechthoek	Geeft een proces weer
Ruit	Staat voor een beslissing

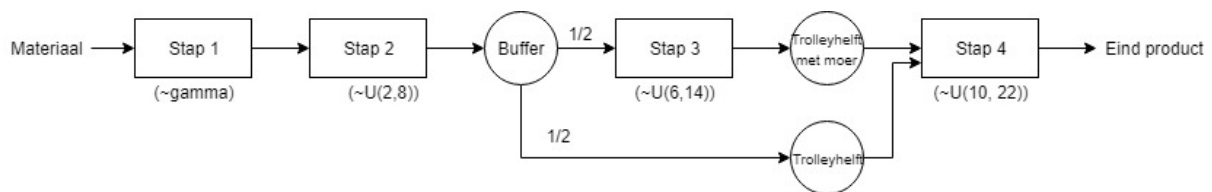
Tabel 26: Uitleg logic flow

D.2 Proces flow

Symbool	Functie
Rechthoek	Geeft een activiteit weer
Cirkel	Geeft een buffer of wachtrij weer

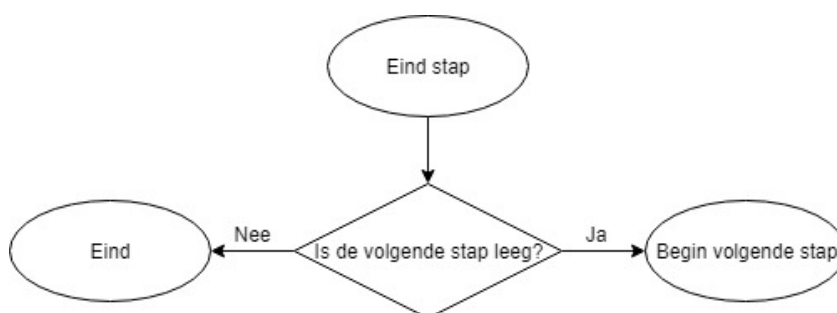
Tabel 27: Uitleg proces flow

D.3 Proces flow huidige productielijn

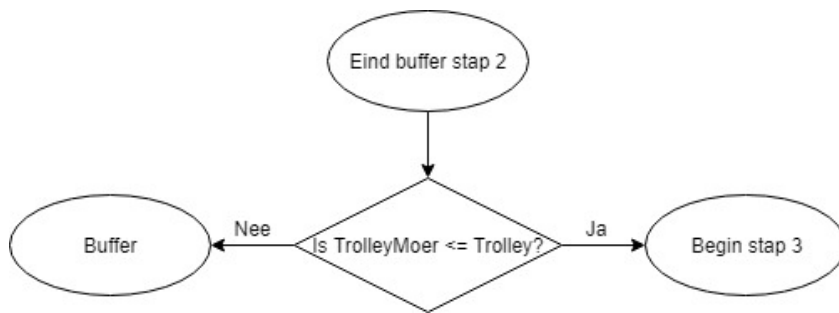


Figuur 20: Proces flow

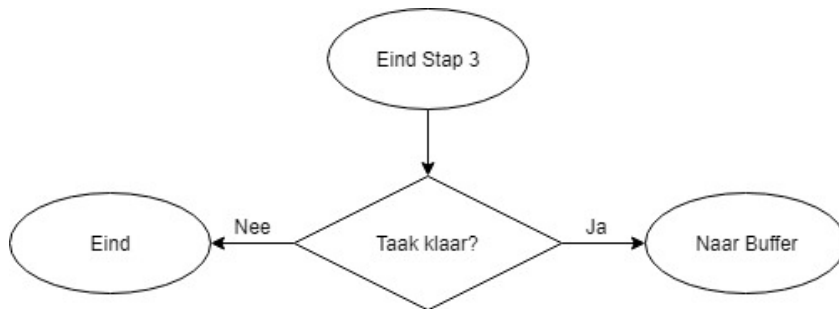
D.4 Logic flows huidige productielijn



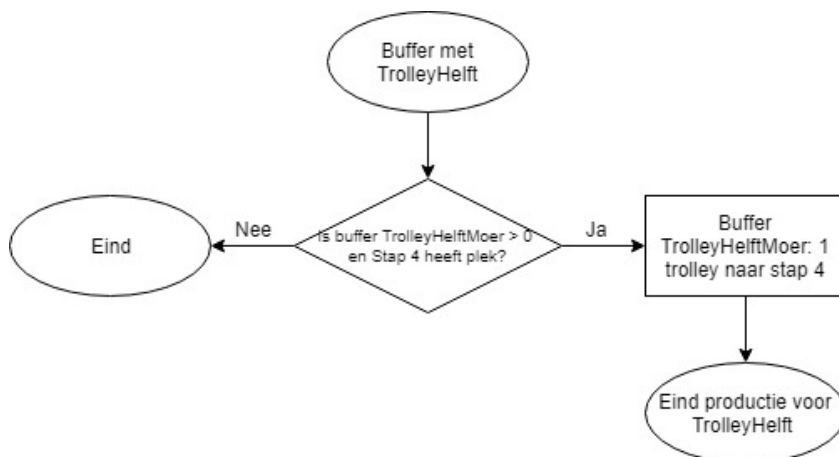
Figuur 21: Eind stap StartProductie, 1, 2 en 4



Figuur 22: Eind buffer stap 2/ begin stap 3



Figuur 23: Eind stap 3



Figuur 24: Begin stap 4

Appendix E: Deterministisch model huidige situatie

Er worden gemiddeld 17 trolleyhelften per minuut geproduceerd en er wordt 7,5 uur op een dag gewerkt. Dit is namelijk het maximale wat de langzaamste stap in de productielijn kan produceren, namelijk stap 1.

$$7,5 \text{ uur} = 450 \text{ minuten}$$

Dit geeft dat er op één dag

$$450 \times 17 = 7.650 \text{ trolleyhelften}$$

worden geproduceerd.

Er zitten 656 trolleyhelften op vijftig meter ketting.

$$7.650 \div 656 = 11,66$$

$$11,66 \times 50 = 583 \text{ meter ketting}$$

per dag.

Dit geeft een arbeidsproductiviteit van

$$583 \div 14 = 41,64$$

meter ketting per werknemer, per dag.

De arbeidskosten zijn hetzelfde als in het simulatie model. De bezettingsgraad wordt berekend doormiddel van de productie/ de maximale productiecapaciteit te doen. Eerst wordt de maximale productiecapaciteit bepaald:

Met 8 werknemers in stap 1 kunnen er gemiddeld 22 trolleyhelften per minuut geproduceerd worden.

Dit geeft dat er op één dag:

$$450 \times 22 = 9.900 \text{ trolleyhelften}$$

worden geproduceerd.

Dit geeft:

$$9.900 \div 656 = 15,09$$

$$15,09 \times 50 = 754 \text{ meter ketting}$$

De bezettingsgraad is dan:

$$\frac{583 \text{ meter ketting}}{754 \text{ meter ketting}} = 0,77$$

In tabel 28 zijn de resultaten van hierboven en het simulatie model weergegeven.

KPI	Gemiddelde huidige situatie	Deterministisch model	Vershil
Productie	558 meter	583 meter	4%
Arbeidsproductiviteit	39,84 meter/werknemer	41,64 meter/werknemer	4%
Arbeidskosten	€525,00	€525,00	0%
Kosten per meter	€1,16	Kan niet berekend worden	-
Bezettingsgraad	0,78	0,77	1%

Tabel 28: Uitkomsten simulatie model en deterministisch model

De afwijking van het simulatie model ten opzichte van het deterministische model bedraagt niet meer dan 4%. De huidige productie werd op vierhonderd meter ketting per dag geschat. Het simulatie model heeft ten opzichte van deze schatting een afwijking van 28%. Dit kan veroorzaakt zijn doordat de personeelsbezettingsgraad in simulatie altijd constant is. Daarnaast veroorzaken de simplificaties en aannames ervoor dat er variabiliteit uit het model is gehaald. Hierdoor is het simulatie model optimistischer dan de realiteit. De productie en arbeidsproductiviteit in het simulatie model zit dus tussen de geschatte en de berekende productie en arbeidsproductiviteit in.

Appendix F: Systematisch literatuuronderzoek protocol

De onderzoeksvraag die beantwoord wordt doormiddel van een systematisch literatuuronderzoek is:

“Welke modellen bestaan er om een bottleneck te minimaliseren in een productielijn?”

De belangrijkste begrippen uit de vraag zijn “bottleneck”, “modellen” en “productie”. Een ander belangrijk begrip is simulatie, omdat ik bronnen wil selecteren die simulatie gebruiken, of die uitleggen hoe een model werkt zodat deze in simulatie kan worden toegepast. Dit wordt ook gebruikt als een inclusiecriteria, zoals in tabel 29 gezien kan worden. De drie begrippen “bottleneck”, “production” en “simulation” zijn onderdeel van mijn vaste zoekreeks. Er wordt gezocht in het Engels, daarom zijn de begrippen in het Engels genoemd. Hieronder wordt uitgelegd waarom deze drie begrippen gekozen zijn:

- Bottleneck: ik wil informatie vinden hoe een bottleneck geminimaliseerd kan worden. Door dit begrip te gebruiken vind ik modellen die zich focussen op bottlenecks.
- Production: de gekozen theorie moet opereren in een productieomgeving, omdat dit ook de context is waarbinnen mijn bottleneck zich bevindt.
- Simulation: Ik wil bronnen vinden die gebruik maken van simulatie of informatie geven over hoe de modellen in simulatie gebruikt kunnen worden. Op deze manier weet ik hoe ik een model in simulatie kan toepassen.

Het begrip “modellen” wordt gebruikt als variabele zoekreeks. Tijdens eerder literatuur onderzoek naar bottlenecks, kwam ik erachter dat er voor het minimaliseren van bottlenecks twee modellen zijn die veelal worden toegepast. Deze modellen zijn de Theory of Constraints (TOC) en LEAN. Volgens Slack, Brandon-Jones & Johnston, moet de TOC worden gebruikt wanneer het doel is om de “winst te verhogen, doormiddel van het verhogen van de doorvoer van een proces” (pg. 488). Zoals in paragraaf 4.1 gezien kan worden, sluit dit doel aan op wat ik wil bereiken. Er zijn drie modellen waarmee de TOC kan worden toegepast, namelijk:

- Theory of Constraints of TOC
- Optimized Production Technology of OPT
- Drum, buffer, rope of DBR

Deze modellen zijn onderdeel van mijn variabele zoekreeks.

F.1 Databases die worden gebruikt

Mijn systematisch literatuuronderzoek wordt uitgevoerd in twee databases: Web of Science en Scopus. Een ander selectiecriteria dat wordt toegepast is dat ik de dubbele verwijder. Ik heb voor Scopus en Web of Science gekozen omdat deze databases het meest gebruiksvriendelijk zijn en de zoekreeksen voldoende aangepast kunnen worden om de bronnen te vinden die het beste aansluiten bij de onderzoeksvraag.

F.2 Inclusie criteria

De inclusiecriteria die ik heb gebruikt om de geschikte bronnen te vinden, zijn te vinden in tabel 29. The inclusie wordt toegepast door de titel en het abstract te lezen.

Nummer	Inclusie criterium	Reden
1	Bronnen die het model in simulatie toepassen en uitleggen hoe het model kan worden toegepast	Ik gebruik simulatie om oplossingen voor Larcom te vinden, dus het is handig om te weten hoe een model in simulatie toegepast kan worden
2	Bronnen die de theorie achter een model uitleggen	Ik wil de modellen kunnen toepassen, dus ik moet weten wat de theorie erachter is, zodat ik die theorie kan gebruiken om het model toe te passen

Tabel 29: overzicht van inclusie criteria

F.3 Exclusie criteria

De exclusie criteria die ik heb toegepast, om de bronnen die niet aan mijn eisen voldeden eruit te filteren, zijn te zien in tabel 30.

Nummer	Exclusie criterium	Reden
1	Bronnen die niet in het Engels of Nederlands geschreven zijn	Andere talen zijn niet of moeilijk te lezen voor mij
2	Bronnen die niet toegankelijk zijn voor mij	Als ik geen toegang hebben tot de volledige tekst, wordt deze uit de 'te lezen' lijst gehaald

Tabel 30: Overzicht van exclusie criteria

F.4 De onderzoeksproces stappen

De resultaten van de zoekreeksen zijn weergegeven in tabel 31. Daarnaast heb ik de referenties van de bronnen gekeken, nadat ik de dubbele bronnen had verwijderd, om te zien of er nog andere gerelateerde bronnen waren die ook interessant voor mij konden zijn. Het systematisch literatuuronderzoek is uitgevoerd in het Engels, omdat er meer bronnen in het Engels te vinden zijn.

Zoekreeks	Scope	Datum	Aantal bronnen
Zoek protocol voor Scopus			
bottleneck AND production AND simulat* and (TOC or "theory of constraints" or OPT or "optimized production technology" or DBR or "drum buffer rope")	Title article, Abstract, Keywords	15-4-2019	59
Zoek protocol voor Web of Science			
bottleneck AND production AND simulat* and (TOC or "theory of constraints" or OPT or "optimized production technology" or DBR or "drum buffer rope")	Topic	15-4-2019	39
Totaal aantal bronnen			98
Selecteren op basis van de exclusie criteria			-57
Dubbelen verwijderen			-8
Selecteren op basis van inclusie criteria			-25
Verwijderd na lezen van gehele tekst			-5
Inclusief boeken			+1
Inclusief gerelateerde bronnen uit referenties			+3
Totaal aantal bronnen			7

Tabel 31: Zoekreeks resultaten

F.5 Conceptuele matrix

In tabel 32 worden de belangrijkste elementen die elke bron behandelt weergegeven. De matrix laat zien welk model wordt behandeld en wat voor type informatie in de bron te vinden is. De uitleg kolom betekent dat de theorie achter de modellen wordt uitgelegd en wanneer de modellen kunnen worden toegepast. De implementatie kolom betekent dat een artikel manieren geeft waarop de modellen toegepast kunnen worden. De laatste kolom betekent dat de modellen worden toegepast in simulatie en er wordt uitgelegd hoe ze in simulatie toegepast zijn.

Bron	TOC	OPT	DBR	Uitleg	Implementatie	Simulatie
1	X			X	X	X
2	X		X	X		X
3			X	X	X	X
4		X	X	X	X	
5			X	X	X	
6	X	X	X	X		
7	X	X	X	X		

Tabel 32: Conceptuele matrix

F.6 Bronnenlijst

Bron 1

Type bron: Artikel

Titel artikel: Dynamic bottleneck elimination in mattress manufacturing line using theory of constraints

Journal: Springerplus

Auteurs: Gundogar, E., Sari, M., Kokcam, A.

Belangrijkste bevindingen: Ideeën om TOC toe te passen in simulatie, KPI's die gebruikt kunnen worden op verbetering te meten, resultaten van toepassing

Bron 2

Type bron: Conference proceedings

Titel artikel: GTBM: An alternative theoretical model to Drum Buffer Rope system evaluation

Conferentie: IEOM 2015 - 5th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Proceeding

Auteur: Marin, E.

Belangrijkste bevindingen: Uitleg over de variabelen die TOC meeneemt, 5 stappen van de TOC en vergelijking TOC met andere productie principes

Bron 3

Type bron: Artikel

Titel artikel: Drum-buffer-rope and workload control in High-variety flow and job shops with bottlenecks: An assessment by simulation

Journal: International journal of production economics

Auteurs: Thürer, M., Stevenson, M., Silva, C., Qu, T.

Belangrijkste bevindingen: Uitleg over onderdelen DBR, methodes om DBR toe te passen, experimentele factoren en KPI's om verbeteringen te meten

Bron 4

Type bron: Artikel

Titel artikel: Drum-Buffer-Rope shop floor control

Journal: Production and inventory management journal

Auteurs: Schragenheim, E., Ronen, B.

Belangrijkste bevindingen: Korte OPT uitleg, planning met DBR, exploitatie van DBR in een proces, buffer grootte bepalen

Bron 5

Type bron: Artikel

Titel artikel: Implementing Drum-Buffer-Rope to control manufacturing lead time

Journal: The international journal of logistics management

Auteurs: Fry, T.D., Karwan, K.R., Steele, D.C.

Belangrijkste bevindingen: Uitgebreide uitleg Drum, buffer, rope, hoe DBR kan helpen met het managen van doorlooptijden, implementatie procedure en illustratie

Bron 6

Type bron: Artikel

Titel artikel: Theory of constraints: A review of the philosophy and its applications

Journal: International journal of operations & production management

Auteurs: Rahman, S.

Belangrijkste bevindingen: Begrip en filosofie TOC uitgelegd, negen regels Opt, buffer types, andere bronnen die relevant zijn beoordeeld

Bron 7

Type bron: Boek

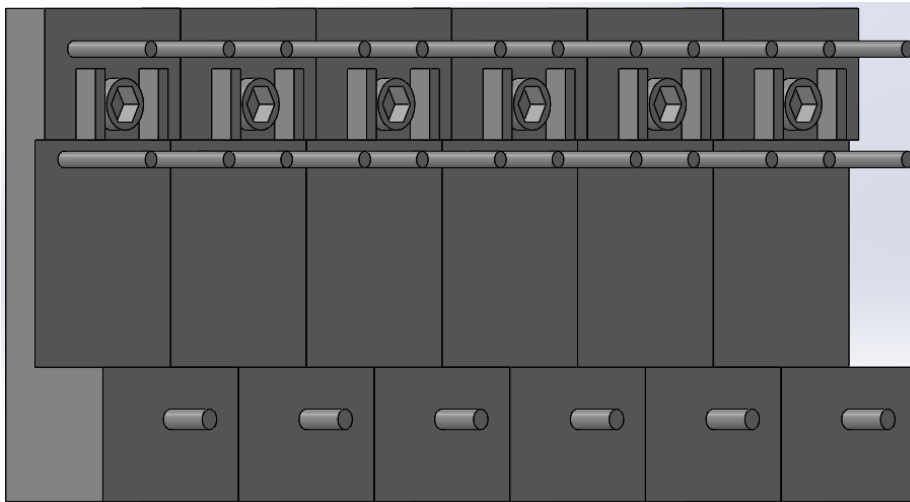
Boek titel: Operations management 7th edition (pg. 312-313, 486-488)

Auteurs: Slack, N., Brandon-Jones, A., Johnston, R.

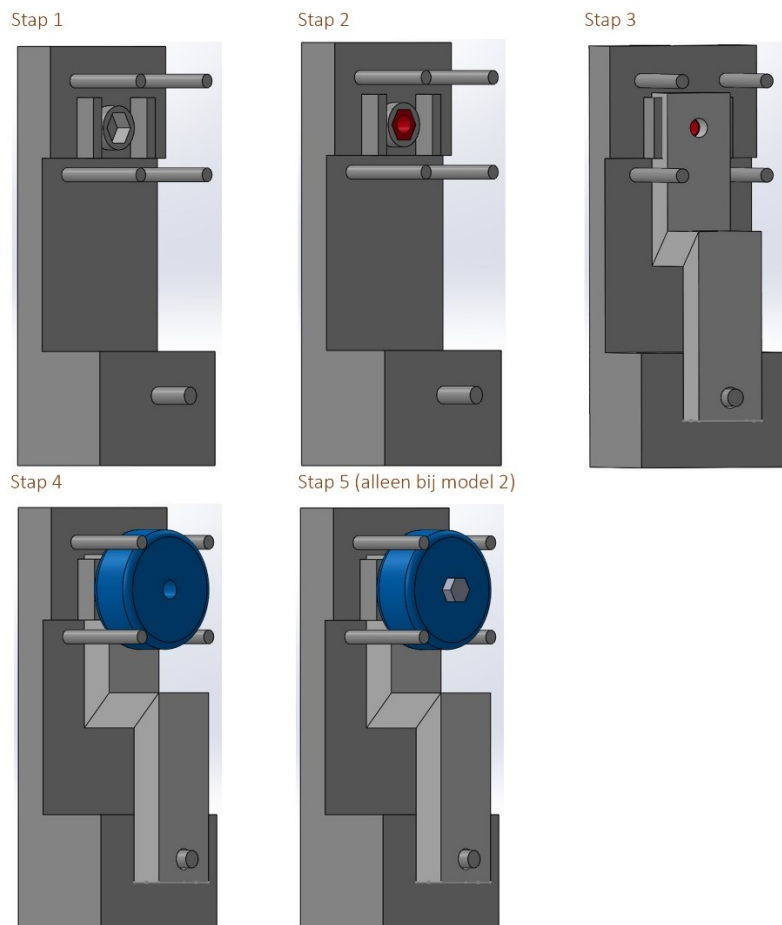
Belangrijkste bevindingen: Verschil tussen TOC en Lean, wanneer TOC of LEAN toepassen

Appendix G: Tekening productdrager

In figuur 25 is de productdrager te zien die bij model 2 en 3 geïmplementeerd wordt. Figuur 26 geeft uitleg hoe de materialen geplaatst moeten worden op de productdrager.



Figuur 25: Productdrager



Figuur 26: Uitleg productdrager

Appendix H: Belangrijkste codes simulatie modellen

De codes die weergegeven zijn van G.1 tot en met G.4 worden uitgevoerd in alle vier de simulatie modellen. De codes die weergegeven zijn van G.5 tot en met G.6 worden alleen uitgevoerd in model 2 en 3.

H.1 Parameters aan het begin van elke run instellen

De code, die te zien is in figuur 27, is geldig in alle vier de simulatie modellen. Deze code zorgt ervoor dat een kansverdeling aan een stap gekoppeld worden, de grootte van de buffers wordt ingesteld en dat het aantal werknemers per stap klopt.

```
-- Functie: Doorlooptijden en aantal servers instellen voor een nieuwe run
-- Runlengte instellen
-- Called by: EventController
-- Auteur: M.E.Vetkamp
-- Datum: 15-5-2019

var i : integer

DagNr := 1 -- run begint op dag 1

-- Runlengte
root.EventController.End:=(Settings["WarmupLengte",1]+Settings["RunLengte",1])*86400

-- Arrival and throughputtimes instellen
StartProductie.Number := 0 -- amount 0
for i:=1 to ThroughputTimes.yDim
  if ThroughputTimes["DistrType",i]="Deterministic"
    ThroughputTimes["Process",i].proctime.setTypeAndAttr("Const", sprint(ThroughputTimes["Param1",i]))
  elseif ThroughputTimes["DistrType",i]="Uniform"
    ThroughputTimes["Process",i].proctime.setTypeAndAttr("Uniform", sprint(ThroughputTimes["Param1",i])+", "+sprint(ThroughputTimes["Param2",i]))
  elseif ThroughputTimes["DistrType",i]="Normal"
    ThroughputTimes["Process",i].proctime.setTypeAndAttr("Normal", sprint(ThroughputTimes["Param1",i])+", "+sprint(ThroughputTimes["Param2",i])+", 0"+", 7200")
  elseif ThroughputTimes["DistrType",i]="Gamma"
    ThroughputTimes["Process",i].proctime.setTypeAndAttr("Gamma", sprint(ThroughputTimes["Param1",i])+", "+sprint(ThroughputTimes["Param2",i])+", "+sprint(ThroughputTimes["Param3",i])+", "+sprint(ThroughputTimes["Param4",i]))
  else
    debug
  end
end
next

-- Set dimensions
Magazijn.capacity := Settings["CapMagazijn",1]
BufferStep2.capacity := Settings["CapBufferStep2",1]
TrolleyHelftMoer.capacity := Settings["CapTrolleyHelftMoer",1]
TrolleyHelft.capacity := Settings["CapTrolleyHelft",1]
Step1.xDim := 1
Step1.yDim := EmStep1
Step2.xDim := 1
Step2.yDim := EmStep2
Step3.xDim := 1
Step3.yDim := EmStep3
Step4.xDim := 1
Step4.yDim := EmStep4
```

Figuur 27: Code begin elke run

H.2 Wel of niet door naar stap 3

De helft van alle trolleyhelften moet naar stap 3 zodat er moeren in gedrukt kunnen worden. Stap 3 wordt uitgevoerd wanneer het aantal trolleyhelften met moer kleiner is dan het aantal trolleyhelften zonder moer. De code die dit uitvoert is in figuur 28 omringt met een oranje rand.

```
-- Functie: De trolleys doorgeven aan stap3 of niet
-- Called by: BufferStep2
-- Auteur: M.E.Vetkamp
-- Datum: 15-5-2019

-- exit voor BufferStep2
-- het product moet wel of niet naar stap3, dit komt omdat de helft van de producten wel langs stap 3 moet en de helft niet
-- de code zorgt ervoor dat er altijd producten van stap 3 klaar zijn, omdat dit tijd kost

if ? = BufferStep2 and TrolleyHelftMoer.NumMu <= TrolleyHelft.NumMu
  @.move(Step3)

elseif ? = BufferStep2
  @.move(TrolleyHelft)

end
```

Figuur 28: Code wel of niet naar stap 3

H.3 Begin stap 4

De code aan het begin van stap 4 zorgt ervoor dat stap 4 pas begint wanneer er één trolleyhelft met moeren is en één zonder. De beide trolleyhelften zijn nodig om samen één trolley te maken. Daarnaast kan stap 4 pas beginnen als er plek is. De code die hiervoor zorgt is in figuur 29 met een oranje rand omringd.

```
-- Functie: De trolleys doorgeven aan stap4 en einde wanneer er plaats is in Stap4
-- Called by: TrolleyHelft
-- Auteur: M.E.Vetkamp
-- Datum: 15-5-2019

-- exit TrolleyHelft als deze en TrolleyhelftMoer een trolleyhelft bevat
-- er worden 2 trolleyhelften tegelijkertijd doorgegeven omdat de ene de bovenkant is en de andere de onderkant
-- van een trolley
if ? = TrolleyHelft and TrolleyHelftMoer.NumMu > 0 and Step4.NumMu <= (EmStep4 - 1)
    @.move(EndProduction)
    TrolleyHelftMoer.MU(1).move(Step4)
end
```

Figuur 29: Code begin stap 4

H.4 Eind van de dag

De figuren 30 en 31 laten de code zien die aan het eind van elke dag uitgevoerd wordt. In deze code worden alle KPI's en andere parameters berekend.

```
-- Functie: -- Tellen hoeveel trolleyhelften er over zijn, die moeten naar magazijn voor de volgende dag
-- KPIs berekenen, gemiddelde KPIs berekenen
-- Called by: Generator Einde
-- Auteur: M.E.Vetkamp
-- Datum: 15-5-2019

var i,j,d,k : integer
var n : integer
var NrWerknemer : integer -- aantal werknemers optellen
var prod : integer -- om productie per runlengte te bepalen
var machine : integer -- om kosten van machines te berekenen
var Arbeidskos : real -- om totale kosten over runlengte te bepalen

n := DagNr -- voor wegschrijven in de juiste kolom
StartProductie.Number := 0 -- zorgen dat er na half 5 niets geproduceerd wordt

-- Trolleyhelften die nog in het systeem zitten aan het einde van de dag tellen en naar magazijn verplaatsen
for i:= 1 to TrolleyHelftMoer.NumMu
    TrolleyHelftMoer.MU(1).move(Magazijn)
    OverEindeDag += 1
next

for i:= 1 to TrolleyHelft.NumMu
    TrolleyHelft.MU(1).move(Magazijn)
    OverEindeDag += 1
next

-- KPIs berekenen en opslaan
KPIs["NrTrolleyHelften", n] := nTrolleyHelft
-- Emstep.. zijn altijd werknemers per stap
NrWerknemer := (EmStep1 + EmStep2 + EmStep3 + EmStep4)
Productie := (nTrolleyHelft/656) * 50
KPIs["Productie", n] := Productie
ArbeidsProductiviteit := Productie / NrWerknemer
KPIs["ArbeidsProd", n] := ArbeidsProductiviteit
Arbeidskosten := (NrWerknemer * GetalWaardes["Loon",1] * 7.5) -- want 7,5 uur per dag gewerkt en loon is per uur
KPIs["Arbeidskosten", n] := Arbeidskosten
Opbrengsten := Productie * GetalWaardes["OpbrengstMeter",1]
KPIs["Opbrengsten", n] := Opbrengsten
Bezettingsgraad := Productie / Productiecapaciteit --productiecapaciteit is max van aantal meter ketting dat geproduceerd is
KPIs["Bezettingsgraad", n] := Bezettingsgraad
```

Figuur 30: Code eind van de dag 1

```

-- Productiviteit over totale runlengte bepalen, omdat de machines vaste kosten zijn
Arbeidskos := 0
prod := 0
j := Settings["Runlengte",1] + Settings["Warmuplengte",1]
k := ExperimentManager.CurrExpNo

if j = n -- zodat dit pas op de laatste dag berekend wordt
-- kosten machines berekenen, EmStep.. zijn altijd werknemers per stap
machine := (EmStep1 * GetalWaardes["Machine1",1]) + (EmStep2 * GetalWaardes["Machine2",1]) + (EmStep3 * GetalWaardes["Machine3",1]) + (EmStep4 * GetalWaardes["Machine4",1])

-- Totale arbeidskosten en productie over runlengte bepalen
for i := 1 to DagNr
  Arbeidskos := Arbeidskos + KPIs["Arbeidskosten", i]
  prod := prod + KPIs["Productie", i]
next

-- Productiviteit per runlengte bepalen
KostenPerMeter := (Arbeidskos + machine) / prod
KPIs["KostenPerMeter", n] := KostenPerMeter
GemiddeldeKPIs["KostenPerMeter", k] := KostenPerMeter
end

-- Calculate overall KPIs
for d:=1 to 6
  GemiddeldeKPIs[d+1,k] := KPIs.meanValue({d,1}..{d,*})
  GemiddeldeKPIs[1,k] := k
next

-- volgende dag, zodat ook alle KPIs in de volgende rij worden weggeschreven
DagNr := DagNr + 1

```

Figuur 31: Code einde van de dag 2

H.5 Einde stap 2

In model 2 en 3 wordt gebruik gemaakt van een productdrager met zes plekken. De productdrager wordt in stap 1 en stap 2 gebruikt, daarna gaan de trolleyhelten per stuk door het systeem. Om dit te simuleren wordt er in stap 1 en 2 gedaan alsof één trolleyhelte een hele productdrager voorstelt. Hierdoor zijn de doorlooptijden van stap 1 en 2 ingesteld op zes trolleyhelten. Na stap 2 worden er vijf trolleyhelten bij gezet, zodat de trolleyhelten elk afzonderlijk stap 3 en 4 doorlopen. De code waarin dit gebeurt is in figuur 32 omringt met een oranje rand. Deze code is gebaseerd op de logic flow die is gegeven in paragraaf 5.3.

```

-- Functie: De trolleys doorgeven naar BufferStep2
-- Called by: Step2
-- Auteur: M.E.Vetkamp
-- Datum: 15-5-2019

var i : integer

-- Als stap2 klaar is moeten de trolleyhelte in de buffer worden gezet
if Magazijn.NumMu >= 5

  @.move(BufferStep2) -- trolleyhelte van de productdrager door naar buffer

  for i := 1 to 5
    Magazijn.MU(1).move(BufferStep2) -- zitten in totaal 6 trolleyhelten op een trolleyhelte, dus moeten er nog 5 bij
    -- hierdoor is doorlooptijd stap 1 en 2 per 6 trolleys ingesteld
  next

elseif @.move(Magazijn)

end

```

Figuur 32: Code einde stap 2

H.6 Terugverdiendtijd berekenen

In model 2 en 3 wordt ook de KPI terugverdiendtijd berekend. De code die hiervoor zorgt is in figuur 33 te zien.

```

-- terugverdiendtijd berekenen
if j = n
  inves := GetalWaardes["Machine1",1]
  GemOpbren := GemiddeldeKPIs["Opbrengsten", k]
  Terugverdiendtijd := (inves / (GemOpbren - GetalWaardes["GemOpbrengstHuidig", 1])) / 365
  KPIs["Terugverdiendtijd", n] := Terugverdiendtijd
  GemiddeldeKPIs["Terugverdiendtijd", k] := Terugverdiendtijd
end

```

Figuur 33: Code terugverdiendtijd berekenen

Appendix I: Deterministische modellen nieuwe situaties

I.1 Model 1

In model 1 is de personeelsbezettingsgraad van stap 1 veranderd, er zijn nu acht werknemers werkzaam in plaats van zes. Dit betekent dat er nu gemiddeld 22 trolleyhelften per minuut geproduceerd kunnen worden. Dit is het maximale wat de langzaamste stap in de productielijn kan produceren, namelijk stap 1. Dit geeft dat er op één dag

$$450 \times 22 = 9.900 \text{ trolleyhelften}$$

geproduceerd kunnen worden. Dit geeft

$$9.900 \div 656 = 15,09$$

$$15,09 \times 50 = 754 \text{ meter ketting}$$

per dag. De arbeidsproductiviteit in dit model is dan

$$754 \div 16 = 47,12$$

meter ketting per werknemer, per dag.

De arbeidskosten zijn hetzelfde als in het simulatie model. De bezettingsgraad wordt berekend doormiddel van de productie/ de maximale productiecapaciteit te doen. Aangezien de maximale capaciteit van de bottleneck wordt benut is de berekende productie hierboven ook de productiecapaciteit.

De bezettingsgraad is:

$$\frac{754 \text{ meter ketting}}{754 \text{ meter ketting}} = 1,00$$

In tabel 33 zijn de resultaten van hierboven en het simulatie model weergegeven.

KPI	Gemiddelde model 1	Deterministisch model	Vershil
Productie	703 meter	754 meter	7%
Arbeidsproductiviteit	43,93 meter/werknemer	47,12 meter/werknemer	7%
Arbeidskosten	€600	€600	0%
Kosten per meter	€1,03	Kan niet berekend worden	-
Bezettingsgraad	0,98	1,00	2%

Tabel 33: Uitkomsten simulatie en deterministische model 1

I.2 Model 2

De grootste verandering in dit model is dat de doorlooptijd van stap 1 van een gemiddelde van 21,5 seconden naar 18 seconden is gegaan. Dit betekent dat stap 1 nog wel de langzaamste stap is, maar er nu gemiddeld twintig trolleyhelften per minuut geproduceerd kunnen worden. Dit geeft dat er op één dag

$$450 \times 20 = 9.000 \text{ trolleyhelften}$$

geproduceerd kunnen worden. Dit geeft

$$9.000 \div 656 = 13,72$$

$$13,72 \times 50 = 686 \text{ meter ketting}$$

per dag. De arbeidsproductiviteit in dit model is dan

$$686 \div 14 = 49$$

meter ketting per werknemer, per dag.

De arbeidskosten zijn hetzelfde als in het simulatie model. De bezettingsgraad wordt berekend doormiddel van de productie/ de maximale productiecapaciteit te doen. Eerst wordt de maximale productiecapaciteit bepaald:

Met 8 werknemers in stap 1 kunnen er gemiddeld 27 trolleyhelften per minuut geproduceerd worden. Dit geeft dat er op één dag:

$$450 \times 27 = 12.150 \text{ trolleyhelften}$$

worden geproduceerd.

Dit geeft:

$$12.150 \div 656 = 18,52$$

$$18,52 \times 50 = 926 \text{ meter ketting}$$

De bezettingsgraad is:

$$\frac{686 \text{ meter ketting}}{926 \text{ meter ketting}} = 0,74$$

In tabel 34 zijn de resultaten van hierboven en het simulatie model weergegeven.

KPI	Gemiddelde model 2	Deterministisch model	Verschil
Productie	666 meter	686 meter	3%
Arbeidsproductiviteit	47,57 meter/werknemer	49 meter/werknemer	3%
Arbeidskosten	€525,00	€525,00	0%
Kosten per meter	€1,03	Kan niet berekend worden	-
Bezettingsgraad	0,83	0,74	11%

Tabel 34: Uitkomsten simulatie en deterministische model 2

I.3 Model 3

De grootste verandering in dit model is dat de doorlooptijd van stap van een gemiddelde van 21,5 seconden naar 12 seconden is gegaan. Dit betekent hier dat stap 3 de langzaamste stap is en er gemiddeld 12 trolleyhelften per minuut geproduceerd kunnen worden. Dit aantal moet maal twee worden gedaan, omdat stap 3 maar de helft van het aantal trolleyhelften produceert. Dit maakt dat er gemiddeld 24 producten per minuut geproduceerd kunnen worden. Dit geeft dat er op één dag

$$450 \times 24 = 10.800 \text{ trolleyhelften}$$

geproduceerd kunnen worden. Dit geeft

$$10.800 \div 656 = 16,46$$

$$16,46 \times 50 = 823 \text{ meter ketting}$$

per dag. De arbeidsproductiviteit in dit model is dan

$$823 \div 13 = 63,30$$

meter ketting per werknemer, per dag.

De arbeidskosten zijn hetzelfde als in het simulatie model. De bezettingsgraad wordt berekend doormiddel van de productie/ de maximale productiecapaciteit te doen. Eerst wordt de maximale productiecapaciteit bepaald:

Het simulatie model laat zien dat er maximaal 30 trolleyhelften per minuut geproduceerd kunnen worden. Dit geeft dat er op één dag:

$$450 \times 30 = 13.500 \text{ trolleyhelften}$$

worden geproduceerd.

Dit geeft:

$$13.500 \div 656 = 20,60$$

$$20,60 \times 50 = 1.030 \text{ meter ketting}$$

De bezettingsgraad is:

$$\frac{823 \text{ meter ketting}}{1.030 \text{ meter ketting}} = 0,80$$

In tabel 35 zijn de resultaten van hierboven en het simulatie model weergegeven.

KPI	Gemiddelde model 3	Deterministisch model	Vershil
Productie	823 meter	823 meter	0%
Arbeidsproductiviteit	63,28 meter/werknemer	63,30 meter/werknemer	0%
Arbeidskosten	€487,50	€487,50	0%
Kosten per meter	€0,79	Kan niet berekend worden	-
Bezettingsgraad	0,83	0,80	0%

Tabel 35: Uitkomsten simulatie en deterministische model 3

Appendix J: Resultaten alle experimenten

In deze appendix zijn de resultaten van alle experimenten weergegeven. Per experiment is te zien welke personeelsbezettingsgraad is gehanteerd en wat de outputs zijn voor dit experiment. Daarnaast zijn voor de KPI's productie, arbeidsproductiviteit, bezettingsgraad en terugverdientijd, 95% betrouwbaarheidsintervallen weergegeven.

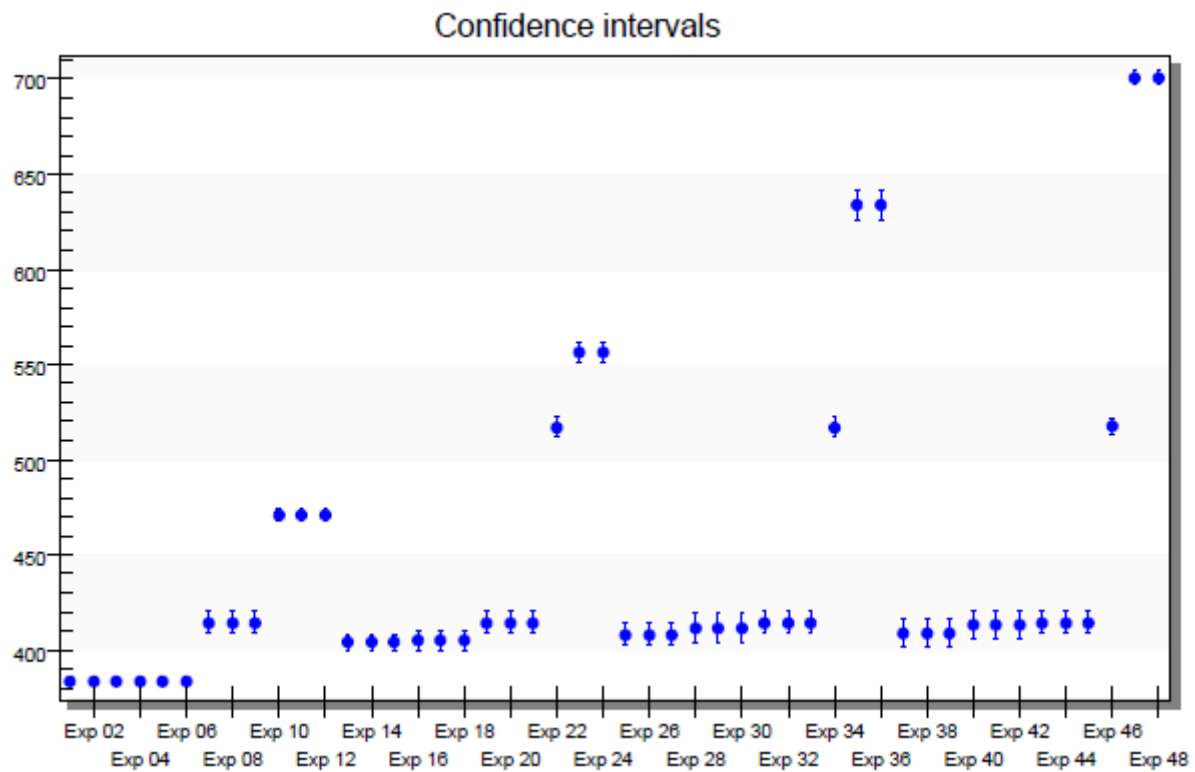
J.1 Resultaten huidige situatie

	root.EmStep1	root.EmStep2	root.EmStep3	root.EmStep4	root.Productie	root.Arbeidskosten	root.ArbeidsProductiviteit	root.Bezettingsgraad
Exp 01	5	1	1	2	383.666666666667	337.5	42.6296296296296	0.536596736596737
Exp 02	5	1	1	3	383.666666666667	375	38.3666666666667	0.536596736596737
Exp 03	5	1	1	4	383.666666666667	412.5	34.8787878787879	0.536596736596737
Exp 04	5	1	2	2	383.666666666667	375	38.3666666666667	0.536596736596737
Exp 05	5	1	2	3	383.666666666667	412.5	34.8787878787879	0.536596736596737
Exp 06	5	1	2	4	383.666666666667	450	31.9722222222222	0.536596736596737
Exp 07	5	2	1	2	414.666666666667	375	41.4666666666667	0.57995337995338
Exp 08	5	2	1	3	414.666666666667	412.5	37.6969696969697	0.57995337995338
Exp 09	5	2	1	4	414.666666666667	450	34.5555555555556	0.57995337995338
Exp 10	5	2	2	2	471.333333333333	412.5	42.8484848484848	0.659207459207459
Exp 11	5	2	2	3	471.333333333333	450	39.2777777777778	0.659207459207459
Exp 12	5	2	2	4	471.333333333333	487.5	36.2564102564103	0.659207459207459
Exp 13	6	1	1	2	404	375	40.4	0.565034965034965
Exp 14	6	1	1	3	404	412.5	36.7272727272727	0.565034965034965
Exp 15	6	1	1	4	404	450	33.6666666666667	0.565034965034965
Exp 16	6	1	2	2	405.333333333333	412.5	36.8484848484848	0.566899766899767
Exp 17	6	1	2	3	405.333333333333	450	33.7777777777778	0.566899766899767
Exp 18	6	1	2	4	405.333333333333	487.5	31.1794871794872	0.566899766899767
Exp 19	6	2	1	2	414.666666666667	412.5	37.6969696969697	0.57995337995338
Exp 20	6	2	1	3	414.666666666667	450	34.5555555555556	0.57995337995338
Exp 21	6	2	1	4	414.666666666667	487.5	31.8974358974359	0.57995337995338
Exp 22	6	2	2	2	517	450	43.0833333333333	0.723076923076923
Exp 23	6	2	2	3	556.333333333333	487.5	42.7948717948718	0.770085700857009
Exp 24	6	2	2	4	556.333333333333	525	39.7360952360952	0.770085700857009
Exp 25	7	1	1	2	408.333333333333	412.5	37.1212121212121	0.571095571095571
Exp 26	7	1	1	3	408.333333333333	450	34.0277777777778	0.571095571095571
Exp 27	7	1	1	4	408.333333333333	487.5	31.4102564102564	0.571095571095571
Exp 28	7	1	2	2	411.666666666667	450	34.3055555555556	0.575757575757576
Exp 29	7	1	2	3	411.666666666667	487.5	31.6666666666667	0.575757575757576
Exp 30	7	1	2	4	411.666666666667	525	29.4047619047619	0.575757575757576
Exp 31	7	2	1	2	414.666666666667	450	34.5555555555556	0.57995337995338
Exp 32	7	2	1	3	414.666666666667	487.5	31.8974358974359	0.57995337995338
Exp 33	7	2	1	4	414.666666666667	525	29.6190476190476	0.57995337995338
Exp 34	7	2	2	2	517	487.5	39.7692307692308	0.723076923076923
Exp 35	7	2	2	3	633.666666666667	525	45.2619047619048	0.886247086247086
Exp 36	7	2	2	4	633.666666666667	562.5	42.2444444444444	0.886247086247086
Exp 37	8	1	1	2	409	450	34.0833333333333	0.572027972027972
Exp 38	8	1	1	3	409	487.5	31.4615384615385	0.572027972027972
Exp 39	8	1	1	4	409	525	29.2142857142857	0.572027972027972
Exp 40	8	1	2	2	413.333333333333	487.5	31.7948717948718	0.570085700857009
Exp 41	8	1	2	3	413.333333333333	525	29.5238095238095	0.570085700857009
Exp 42	8	1	2	4	413.333333333333	562.5	27.5555555555556	0.570085700857009
Exp 43	8	2	1	2	414.666666666667	487.5	31.8974358974359	0.57995337995338
Exp 44	8	2	1	3	414.666666666667	525	29.6190476190476	0.57995337995338
Exp 45	8	2	1	4	414.666666666667	562.5	27.8444444444444	0.57995337995338
Exp 46	8	2	2	2	517.333333333333	525	36.9523809523809	0.723543123543124
Exp 47	8	2	2	3	700.666666666667	562.5	46.7111111111111	0.97995337995338
Exp 48	8	2	2	4	700.666666666667	600	43.7916666666667	0.97995337995338

Figuur 34: Alle resultaten huidige situatie

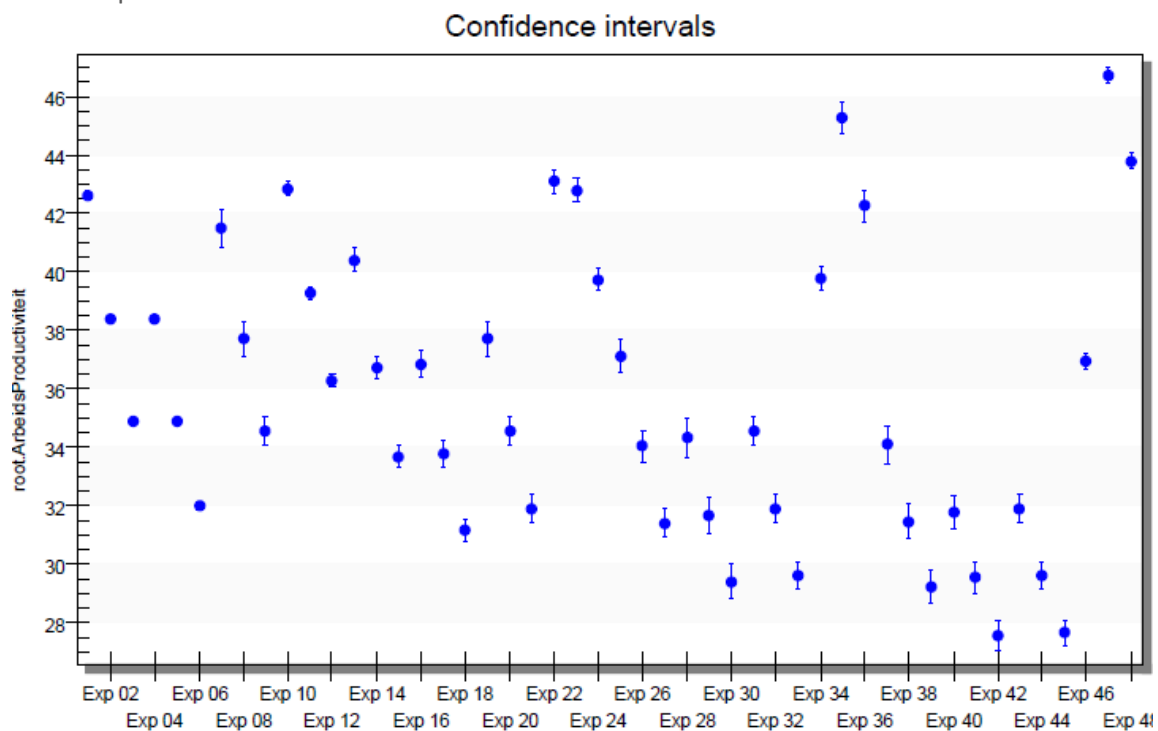
J.2 Betrouwbaarheidsintervallen huidige situatie

Productie



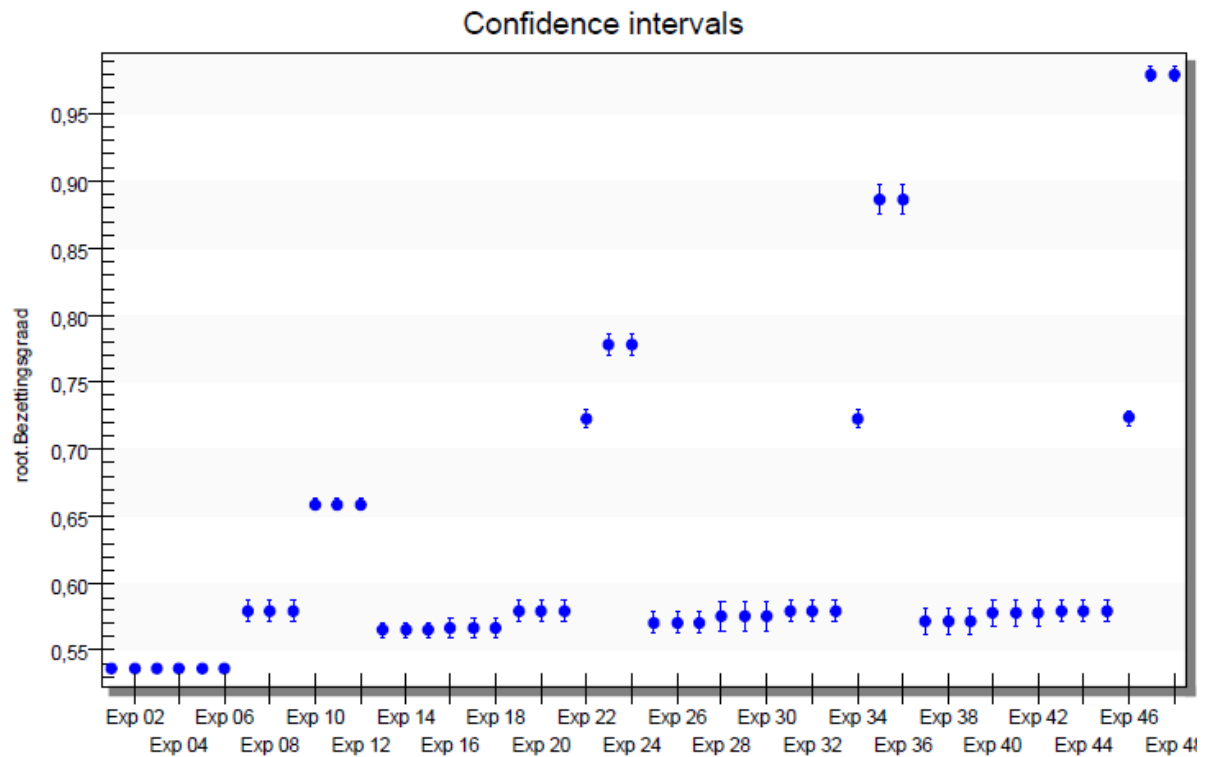
Figuur 35: Betrouwbaarheidsintervallen productie huidige situatie

Arbeidsproductiviteit



Figuur 36: Betrouwbaarheidsintervallen arbeidsproductiviteit huidige situatie

Bezettingsgraad



Figuur 37: Betrouwbaarheidsintervallen bezettingsgraad huidige situatie

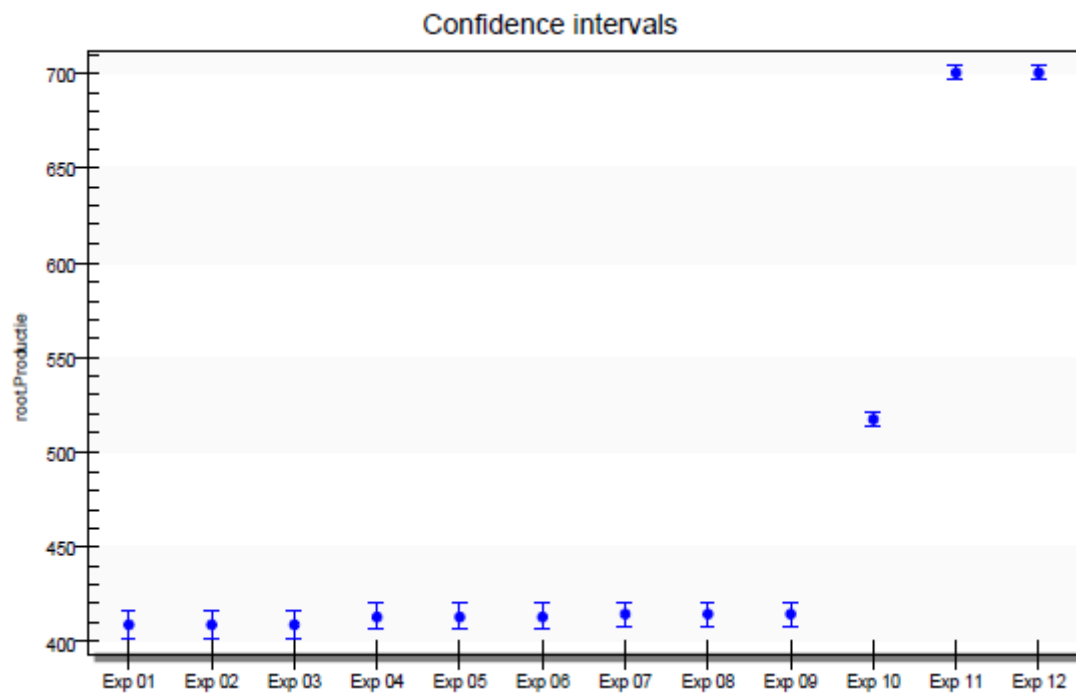
J.3 Resultaten model 1

	root.EmStep1	root.EmStep2	root.EmStep3	root.EmStep4	root.Productie	root.Arbeidskosten	root.ArbeidsProductiviteit	root.Bezettingsgraad
Exp 01	8	1	1	2	409	450	34.0833333333333	0.572027972027972
Exp 02	8	1	1	3	409	487.5	31.4615384615385	0.572027972027972
Exp 03	8	1	1	4	409	525	29.2142857142857	0.572027972027972
Exp 04	8	1	2	2	413.333333333333	487.5	31.7948717948718	0.578088578088578
Exp 05	8	1	2	3	413.333333333333	525	29.5238095238095	0.578088578088578
Exp 06	8	1	2	4	413.333333333333	562.5	27.5555555555556	0.578088578088578
Exp 07	8	2	1	2	414.666666666667	487.5	31.8974358974359	0.57995337995338
Exp 08	8	2	1	3	414.666666666667	525	29.6190476190476	0.57995337995338
Exp 09	8	2	1	4	414.666666666667	562.5	27.6444444444444	0.57995337995338
Exp 10	8	2	2	2	517.333333333333	525	36.9523809523809	0.723543123543124
Exp 11	8	2	2	3	700.666666666667	562.5	46.7111111111111	0.97995337995338
Exp 12	8	2	2	4	700.666666666667	600	43.7916666666667	0.97995337995338

Figuur 38: Alle resultaten model 1

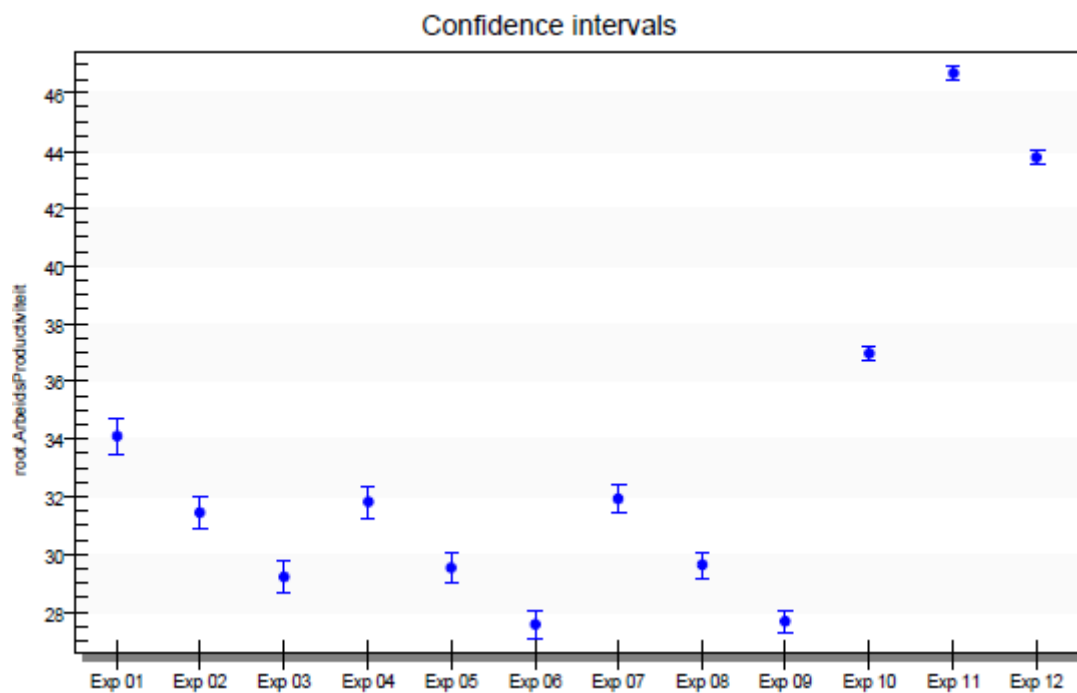
J.4 Betrouwbaarheidsintervallen model 1

Productie



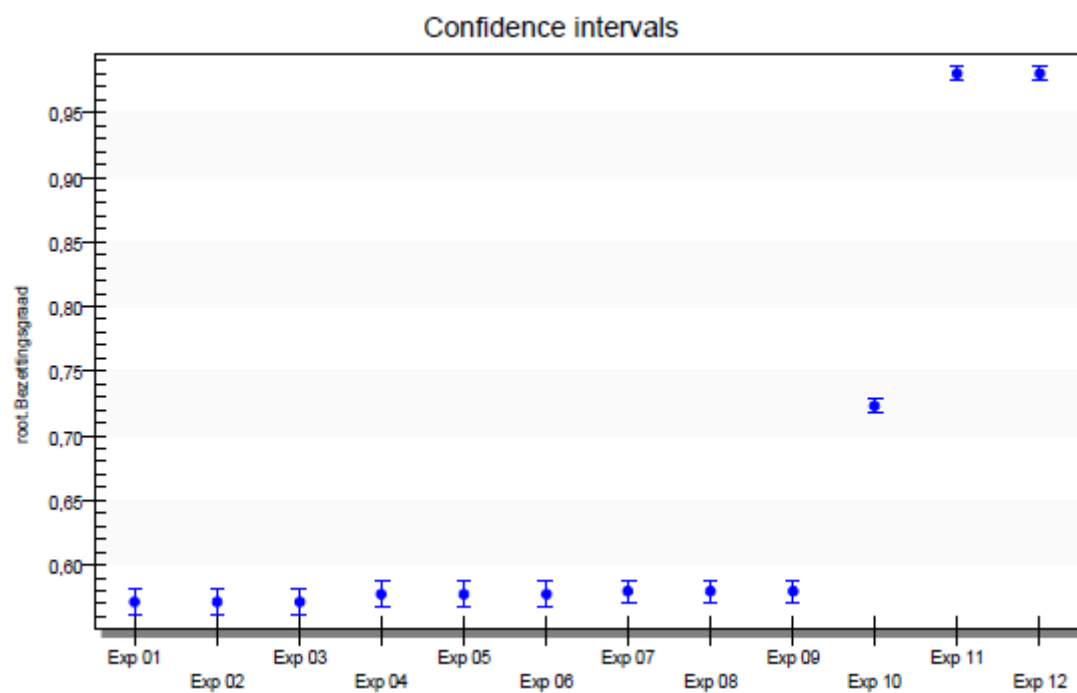
Figuur 39: Betrouwbaarheidsintervallen productie model 1

Arbeidsproductiviteit



Figuur 40: Betrouwbaarheidsintervallen arbeidsproductiviteit model 1

Bezettingsgraad



Figuur 41: Betrouwbaarheidsintervallen bezettingsgraad model 1

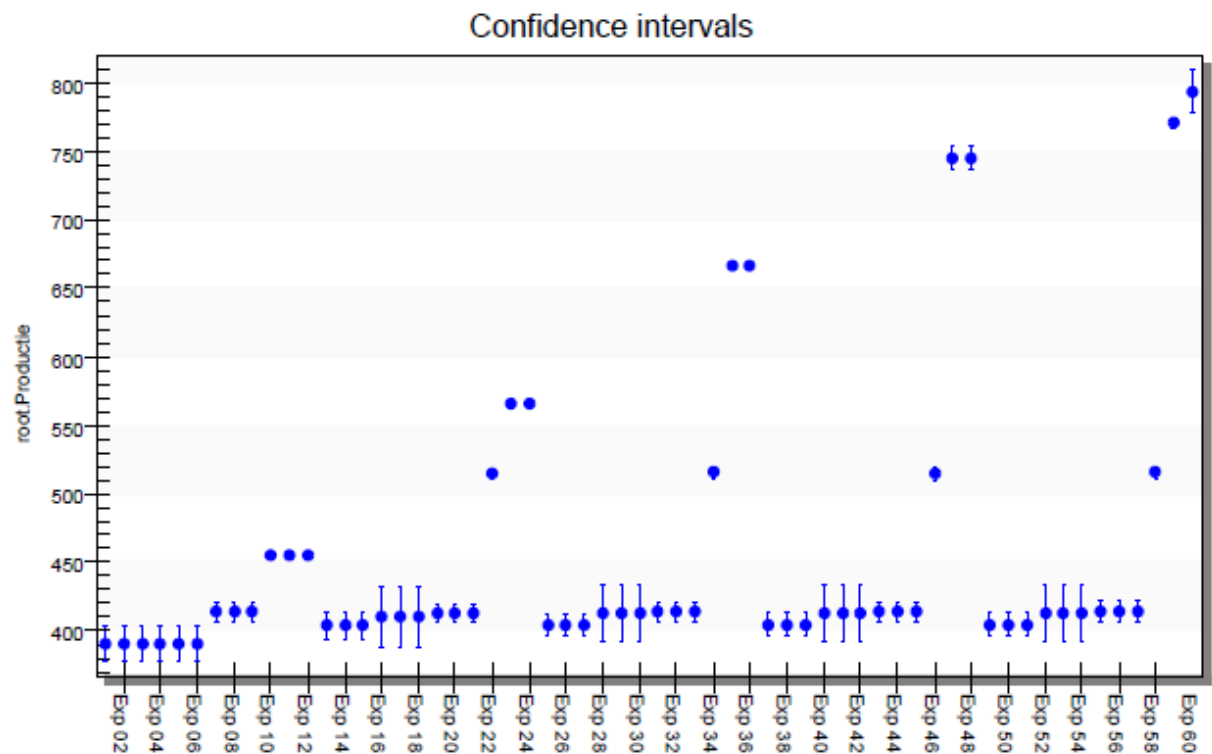
J.5 Resultaten model 2

	root.EmStep1	root.EmStep2	root.EmStep3	root.EmStep4	root.Productie	root.Arbeidskosten	root.ArbeidsProductiviteit	root.Bezettingsgraad	root.Terugverdiëntijd
Exp 01	4	1	1	2	390.666666666667	300	48.8333333333333	0.485300207039337	-0.0203005113704611
Exp 02	4	1	1	3	390.666666666667	337.5	43.4074074074074	0.485300207039337	-0.0203005113704611
Exp 03	4	1	1	4	390.666666666667	375	39.0666666666667	0.485300207039337	-0.0203005113704611
Exp 04	4	1	2	2	390.666666666667	337.5	43.4074074074074	0.485300207039337	-0.0203005113704611
Exp 05	4	1	2	3	390.666666666667	375	39.0666666666667	0.485300207039337	-0.0203005113704611
Exp 06	4	1	2	4	390.666666666667	412.5	35.5151515151515	0.485300207039337	-0.0203005113704611
Exp 07	4	2	1	2	413.666666666667	337.5	45.962962962963	0.513871635610766	-0.0235834959500148
Exp 08	4	2	1	3	413.666666666667	375	41.3666666666667	0.513871635610766	-0.0235834959500148
Exp 09	4	2	1	4	413.666666666667	412.5	37.6060606060606	0.513871635610766	-0.0235834959500148
Exp 10	4	2	2	2	455	375	45.5	0.565217391304348	-0.0333401402786402
Exp 11	4	2	2	3	455	412.5	41.3636363636364	0.565217391304348	-0.0333401402786402
Exp 12	4	2	2	4	455	450	37.9166666666667	0.565217391304348	-0.0333401402786402
Exp 13	5	1	1	2	404	337.5	44.8888888888889	0.501863354037267	-0.0221367233231131
Exp 14	5	1	1	3	404	375	40.4	0.501863354037267	-0.0221367233231131
Exp 15	5	1	1	4	404	412.5	36.7272727272727	0.501863354037267	-0.0221367233231131
Exp 16	5	1	2	2	410	375	41	0.509316770186335	-0.0225595145018118
Exp 17	5	1	2	3	410	412.5	37.2727272727273	0.509316770186335	-0.0225595145018118
Exp 18	5	1	2	4	410	450	34.1666666666667	0.509316770186335	-0.0225595145018118
Exp 19	5	2	1	2	413.333333333333	375	41.3333333333333	0.513457556935818	-0.0235834959500148
Exp 20	5	2	1	3	413.333333333333	412.5	37.5757575757576	0.513457556935818	-0.0235834959500148
Exp 21	5	2	1	4	413.333333333333	450	34.4444444444444	0.513457556935818	-0.0235834959500148
Exp 22	5	2	2	2	515.333333333333	412.5	46.8484848484849	0.640165631469979	-0.008030805699212
Exp 23	5	2	2	3	566.333333333333	450	47.1944444444444	0.70351966873706	0.405694563300117
Exp 24	5	2	2	4	566.333333333333	487.5	43.5641025641026	0.70351966873706	0.405694563300117
Exp 25	6	1	1	2	404.333333333333	375	40.4333333333333	0.502277432712215	-0.0222311920860357
Exp 26	6	1	1	3	404.333333333333	412.5	36.7575757575758	0.502277432712215	-0.0222311920860357
Exp 27	6	1	1	4	404.333333333333	450	33.6944444444444	0.502277432712215	-0.0222311920860357
Exp 28	6	1	2	2	412.666666666667	412.5	37.5151515151515	0.512629399585921	-0.0232193675591025
Exp 29	6	1	2	3	412.666666666667	450	34.3888888888889	0.512629399585921	-0.0232193675591025
Exp 30	6	1	2	4	412.666666666667	487.5	31.7435897435897	0.512629399585921	-0.0232193675591025
Exp 31	6	2	1	2	413.666666666667	412.5	37.6060606060606	0.513871635610766	-0.0236102843881965
Exp 32	6	2	1	3	413.666666666667	450	34.7222222222222	0.513871635610766	-0.0236102843881965
Exp 33	6	2	1	4	413.666666666667	487.5	31.8205128205128	0.513871635610766	-0.0236102843881965
Exp 34	6	2	2	2	515.666666666667	450	42.9722222222222	0.640579710144928	-0.0814564916584802
Exp 35	6	2	2	3	666.666666666667	487.5	51.2820512820513	0.82815734989648	0.0313869103450388
Exp 36	6	2	2	4	666.666666666667	525	47.6190476190476	0.82815734989648	0.0313869103450388
Exp 37	7	1	1	2	404.666666666667	412.5	36.7878787878788	0.502691511387164	-0.0222554261996158
Exp 38	7	1	1	3	404.666666666667	450	33.7222222222222	0.502691511387164	-0.0222554261996158
Exp 39	7	1	1	4	404.666666666667	487.5	31.1282051282051	0.502691511387164	-0.0222554261996158
Exp 40	7	1	2	2	412.666666666667	450	34.3888888888889	0.512629399585921	-0.0232193675591025
Exp 41	7	1	2	3	412.666666666667	487.5	31.7435897435897	0.512629399585921	-0.0232193675591025
Exp 42	7	1	2	4	412.666666666667	525	29.4761904761905	0.512629399585921	-0.0232193675591025
Exp 43	7	2	1	2	413.666666666667	450	34.7222222222222	0.513871635610766	-0.0235834959500148
Exp 44	7	2	1	3	413.666666666667	487.5	31.8205128205128	0.513871635610766	-0.0235834959500148
Exp 45	7	2	1	4	413.666666666667	525	29.547619047619	0.513871635610766	-0.0235834959500148
Exp 46	7	2	2	2	515.333333333333	487.5	39.6410256410256	0.640165631469979	-0.0814564916584802
Exp 47	7	2	2	3	745.666666666667	525	53.2619047619048	0.926293995859213	0.0181898221521168
Exp 48	7	2	2	4	745.666666666667	562.5	49.7111111111111	0.926293995859213	0.0181898221521168
Exp 49	8	1	1	2	404.666666666667	450	33.7222222222222	0.502691511387164	-0.0222554261996158
Exp 50	8	1	1	3	404.666666666667	487.5	31.1282051282051	0.502691511387164	-0.0222554261996158
Exp 51	8	1	1	4	404.666666666667	525	28.9047619047619	0.502691511387164	-0.0222554261996158
Exp 52	8	1	2	2	412.666666666667	487.5	31.7435897435897	0.512629399585921	-0.0232193675591025
Exp 53	8	1	2	3	412.666666666667	525	29.4761904761905	0.512629399585921	-0.0232193675591025
Exp 54	8	1	2	4	412.666666666667	562.5	27.5111111111111	0.512629399585921	-0.0232193675591025
Exp 55	8	2	1	2	414	487.5	31.8461538461539	0.514285714285714	-0.0236378222832114
Exp 56	8	2	1	3	414	525	29.5714285714286	0.514285714285714	-0.0236378222832114
Exp 57	8	2	1	4	414	562.5	27.6	0.514285714285714	-0.0236378222832114
Exp 58	8	2	2	2	515.666666666667	525	36.8333333333333	0.640579710144928	-0.0811400147764477
Exp 59	8	2	2	3	770.666666666667	562.5	51.3777777777778	0.957349896480331	0.0161454583400868
Exp 60	8	2	2	4	794	600	49.625	0.986335403726708	0.0144981503567404

Figuur 42: Alle resultaten model 2

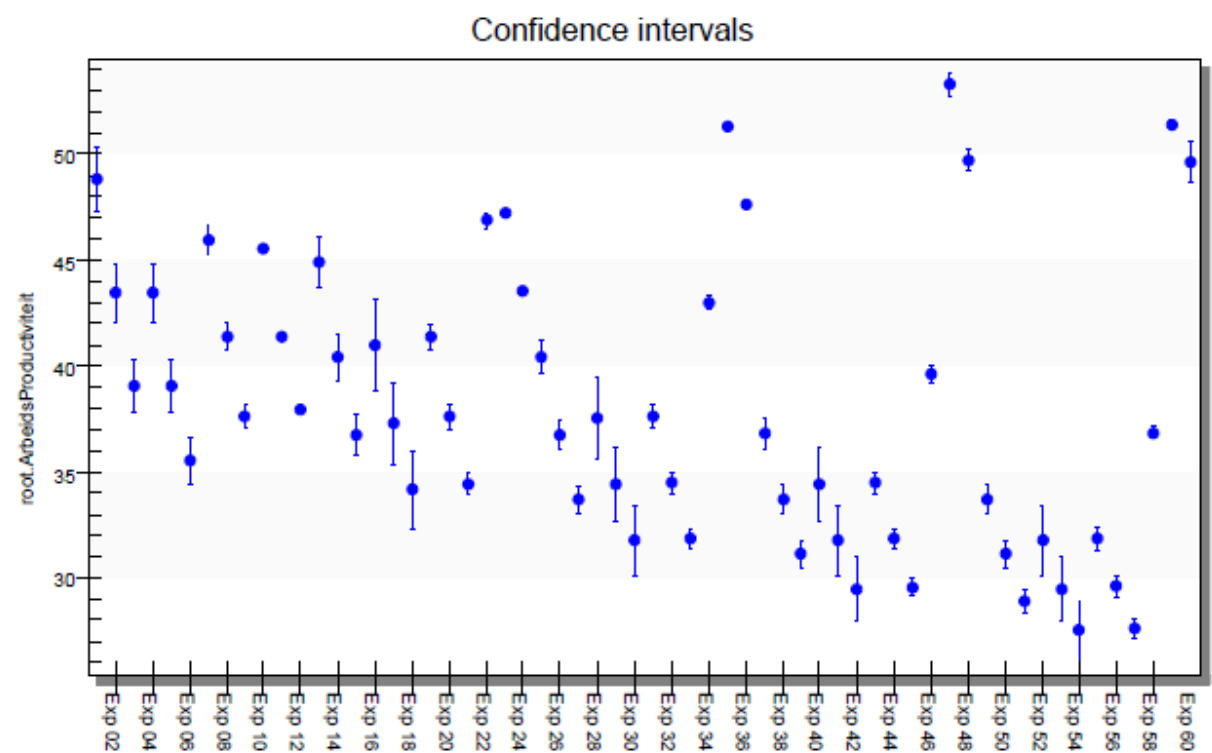
J.6 Betrouwbaarheidsintervallen model 2

Productie



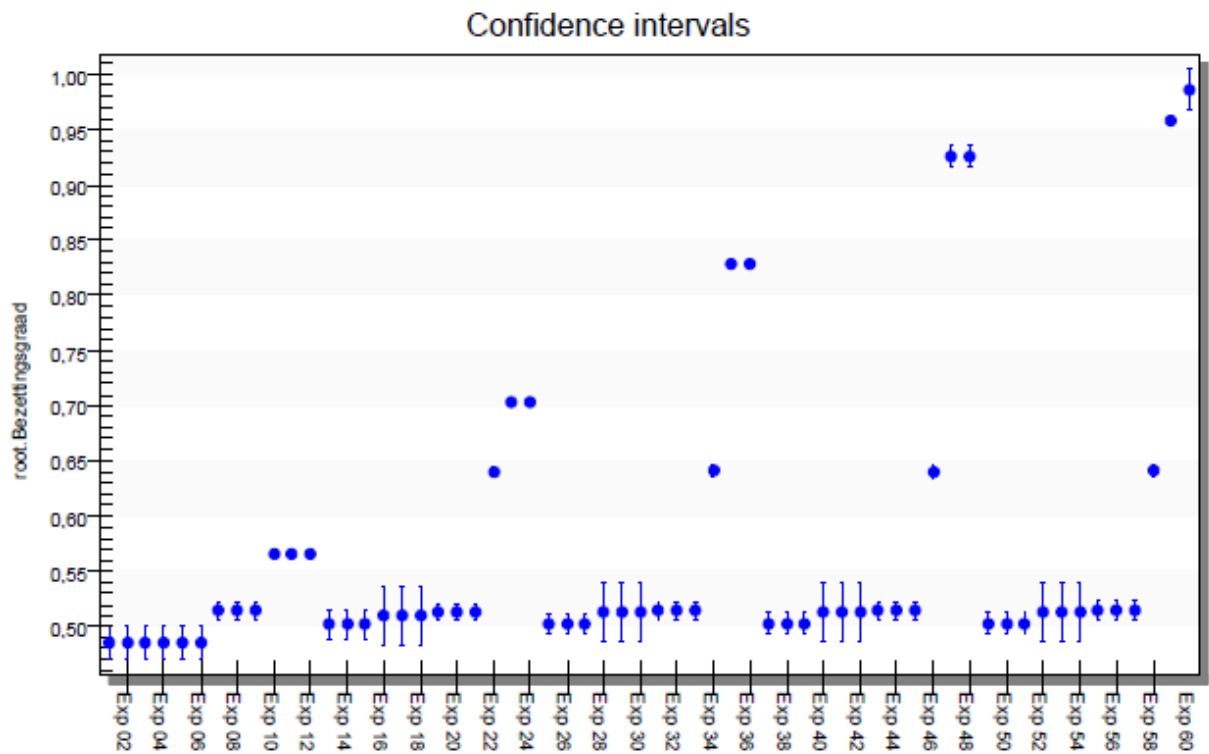
Figuur 43: Betrouwbaarheidsintervallen productie model 2

Arbeidsproductiviteit



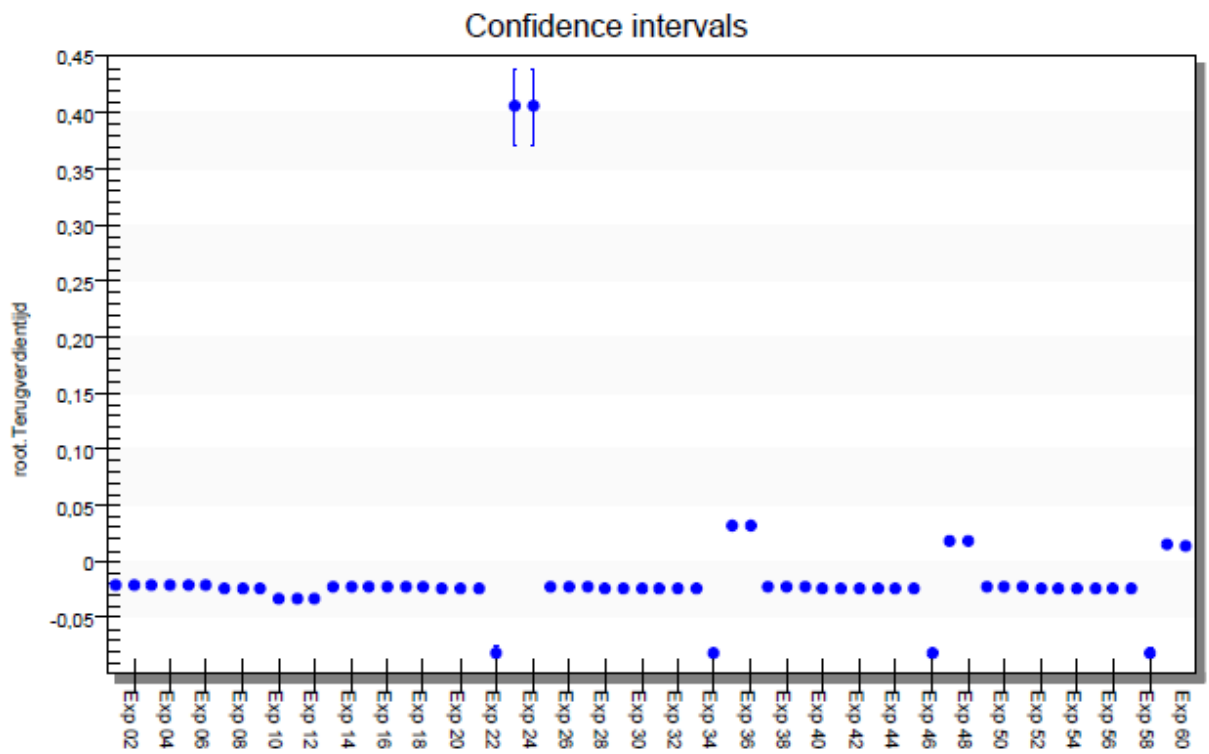
Figuur 44: Betrouwbaarheidsintervallen arbeidsproductiviteit model 2

Bezettingsgraad



Figuur 45: Betrouwbaarheidsintervallen bezettingsgraad model 2

Terugverdiëntijd



Figuur 46: Betrouwbaarheidsintervallen terugverdiëntijd model 2

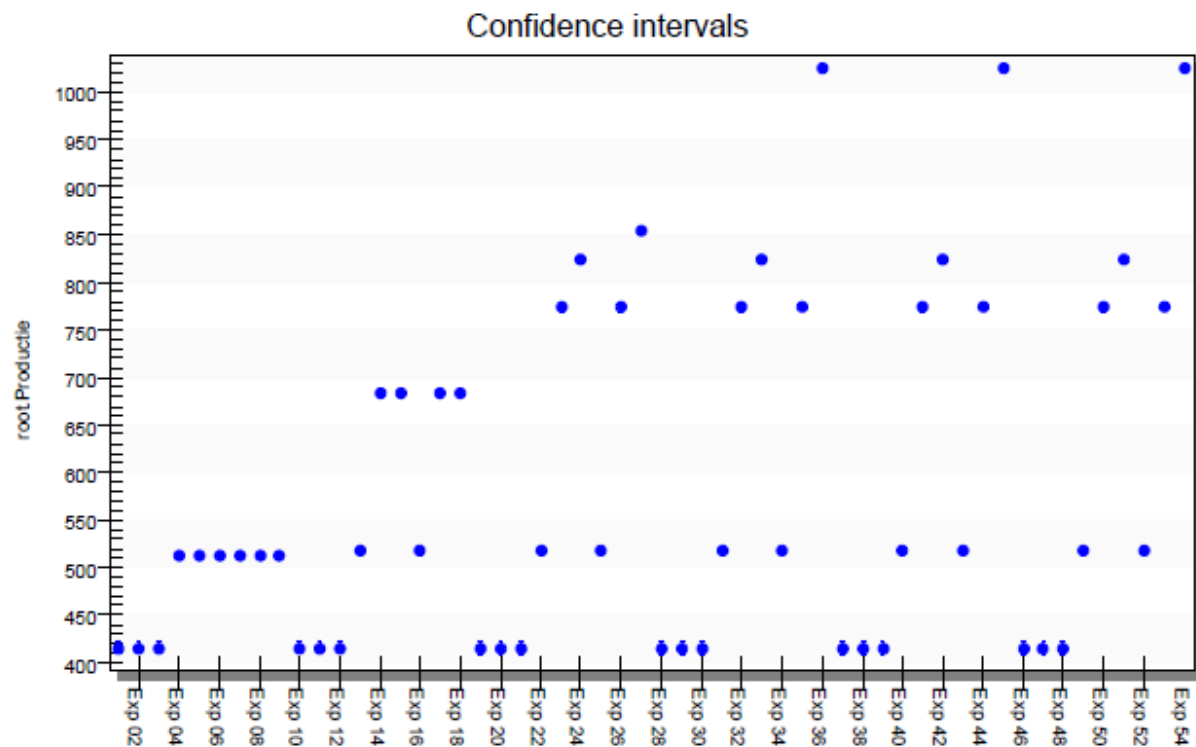
J.7 Resultaten model 3

	root.EmStep1	root.EmStep2	root.EmStep3	root.EmStep4	root.Productie	root.Arbeidskosten	root.ArbeidsProductiviteit	root.Bezettingsgraad	root.Terugverdiertijd
Exp 01	3	1	1	2	414.666666666667	262.5	59.2300952300952	0.404552845528455	-0.190936475906386
Exp 02	3	1	1	3	414.666666666667	300	51.8333333333333	0.404552845528455	-0.190936475906386
Exp 03	3	1	1	4	414.666666666667	337.5	46.0740740740741	0.404552845528455	-0.190936475906386
Exp 04	3	1	2	2	512	300	64	0.499512195121951	-0.601597393234019
Exp 05	3	1	2	3	512	337.5	56.8888888888889	0.499512195121951	-0.601597393234019
Exp 06	3	1	2	4	512	375	51.2	0.499512195121951	-0.601597393234019
Exp 07	3	1	3	2	512	337.5	56.8888888888889	0.499512195121951	-0.601597393234019
Exp 08	3	1	3	3	512	375	51.2	0.499512195121951	-0.601597393234019
Exp 09	3	1	3	4	512	412.5	46.5454545454545	0.499512195121951	-0.601597393234019
Exp 10	4	1	1	2	414.666666666667	300	51.8333333333333	0.404552845528455	-0.190936475906386
Exp 11	4	1	1	3	414.666666666667	337.5	46.0740740740741	0.404552845528455	-0.190936475906386
Exp 12	4	1	1	4	414.666666666667	375	41.4666666666667	0.404552845528455	-0.190936475906386
Exp 13	4	1	2	2	517	337.5	57.4444444444444	0.504390243902439	-0.678618761355477
Exp 14	4	1	2	3	603	375	68.3	0.666341463414634	0.21954028094322
Exp 15	4	1	2	4	603	412.5	62.0909090909091	0.666341463414634	0.21954028094322
Exp 16	4	1	3	2	517	375	51.7	0.504390243902439	-0.678618761355477
Exp 17	4	1	3	3	603	412.5	62.0909090909091	0.666341463414634	0.21954028094322
Exp 18	4	1	3	4	603	450	56.9166666666667	0.666341463414634	0.21954028094322
Exp 19	5	1	1	2	415.333333333333	337.5	46.1461461461462	0.40520325203252	-0.191606225168104
Exp 20	5	1	1	3	415.333333333333	375	41.5333333333333	0.40520325203252	-0.191606225168104
Exp 21	5	1	1	4	415.333333333333	412.5	37.7575757575758	0.40520325203252	-0.191606225168104
Exp 22	5	1	2	2	517	375	51.7	0.504390243902439	-0.678618761355477
Exp 23	5	1	2	3	774	412.5	70.3636363636364	0.755121951219512	0.12707578112412
Exp 24	5	1	2	4	824.333333333333	450	68.6944444444444	0.804227642276423	0.10290557636432
Exp 25	5	1	3	2	517.333333333333	412.5	47.030303030303	0.504715447154472	-0.661350000879676
Exp 26	5	1	3	3	774	450	64.5	0.755121951219512	0.12707578112412
Exp 27	5	1	3	4	854	487.5	65.6923076923077	0.833170731707317	0.0928316618818025
Exp 28	6	1	1	2	415.333333333333	375	41.5333333333333	0.40520325203252	-0.191380379818343
Exp 29	6	1	1	3	415.333333333333	412.5	37.7575757575758	0.40520325203252	-0.191380379818343
Exp 30	6	1	1	4	415.333333333333	450	34.6111111111111	0.40520325203252	-0.191380379818343
Exp 31	6	1	2	2	517.333333333333	412.5	47.030303030303	0.504715447154472	-0.661350000879676
Exp 32	6	1	2	3	774	450	64.5	0.755121951219512	0.12707578112412
Exp 33	6	1	2	4	824.333333333333	487.5	63.4102564102564	0.804227642276423	0.10290557636432
Exp 34	6	1	3	2	517.333333333333	450	43.1111111111111	0.504715447154472	-0.661350000879676
Exp 35	6	1	3	3	774.333333333333	487.5	59.5641025641026	0.755447154471545	0.126977101126089
Exp 36	6	1	3	4	1025	525	73.2142857142857	1	0.058860227800533
Exp 37	7	1	1	2	415.333333333333	412.5	37.7575757575758	0.40520325203252	-0.191380379818343
Exp 38	7	1	1	3	415.333333333333	450	34.6111111111111	0.40520325203252	-0.191380379818343
Exp 39	7	1	1	4	415.333333333333	487.5	31.9467179467179	0.40520325203252	-0.191380379818343
Exp 40	7	1	2	2	517.333333333333	450	43.1111111111111	0.504715447154472	-0.661350000879676
Exp 41	7	1	2	3	774	487.5	59.5384615384615	0.755121951219512	0.12707578112412
Exp 42	7	1	2	4	824.333333333333	525	58.8809523809524	0.804227642276423	0.10290557636432
Exp 43	7	1	3	2	517.333333333333	487.5	39.7948717948718	0.504715447154472	-0.661350000879676
Exp 44	7	1	3	3	774.333333333333	525	55.3095238095238	0.755447154471545	0.126977101126089
Exp 45	7	1	3	4	1025	562.5	68.3333333333333	1	0.058860227800533
Exp 46	8	1	1	2	415.333333333333	450	34.6111111111111	0.40520325203252	-0.191380379818343
Exp 47	8	1	1	3	415.333333333333	487.5	31.9467179467179	0.40520325203252	-0.191380379818343
Exp 48	8	1	1	4	415.333333333333	525	29.6666666666667	0.40520325203252	-0.191380379818343
Exp 49	8	1	2	2	517.333333333333	487.5	39.7948717948718	0.504715447154472	-0.661350000879676
Exp 50	8	1	2	3	774	525	55.2857142857143	0.755121951219512	0.12707578112412
Exp 51	8	1	2	4	824.333333333333	562.5	54.9555555555556	0.804227642276423	0.10290557636432
Exp 52	8	1	3	2	517.333333333333	525	36.9523809523809	0.504715447154472	-0.661350000879676
Exp 53	8	1	3	3	774.333333333333	562.5	51.6222222222222	0.755447154471545	0.126977101126089
Exp 54	8	1	3	4	1025	600	64.0625	1	0.058860227800533

Figuur 47: Alle resultaten model 3

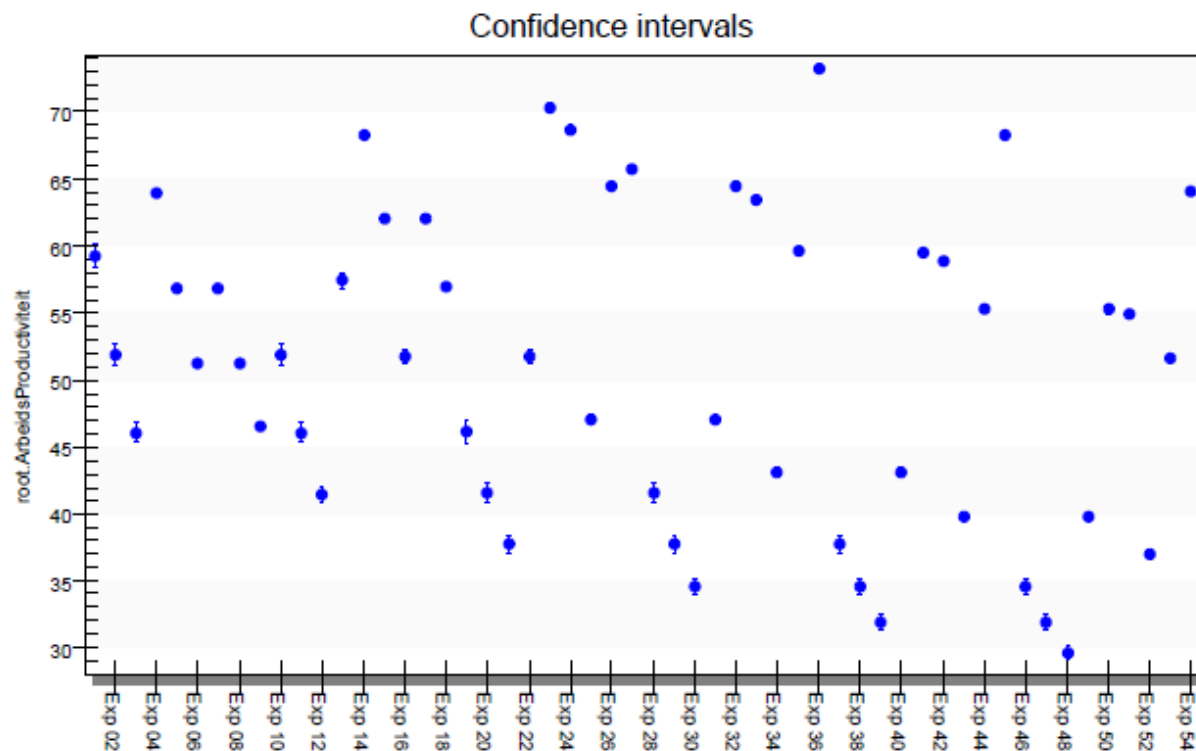
J.8 Betrouwbaarheidsintervallen model 3

Productie



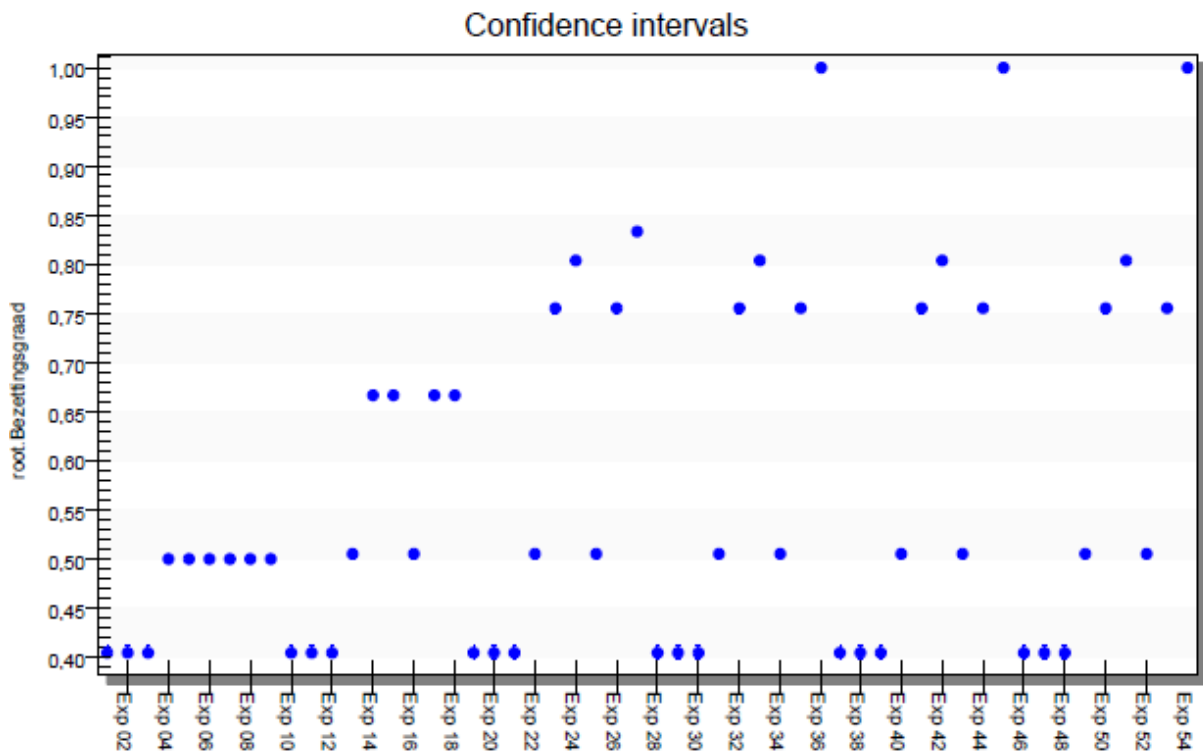
Figuur 48: Betrouwbaarheidsintervallen productie model 3

Arbeidsproductiviteit



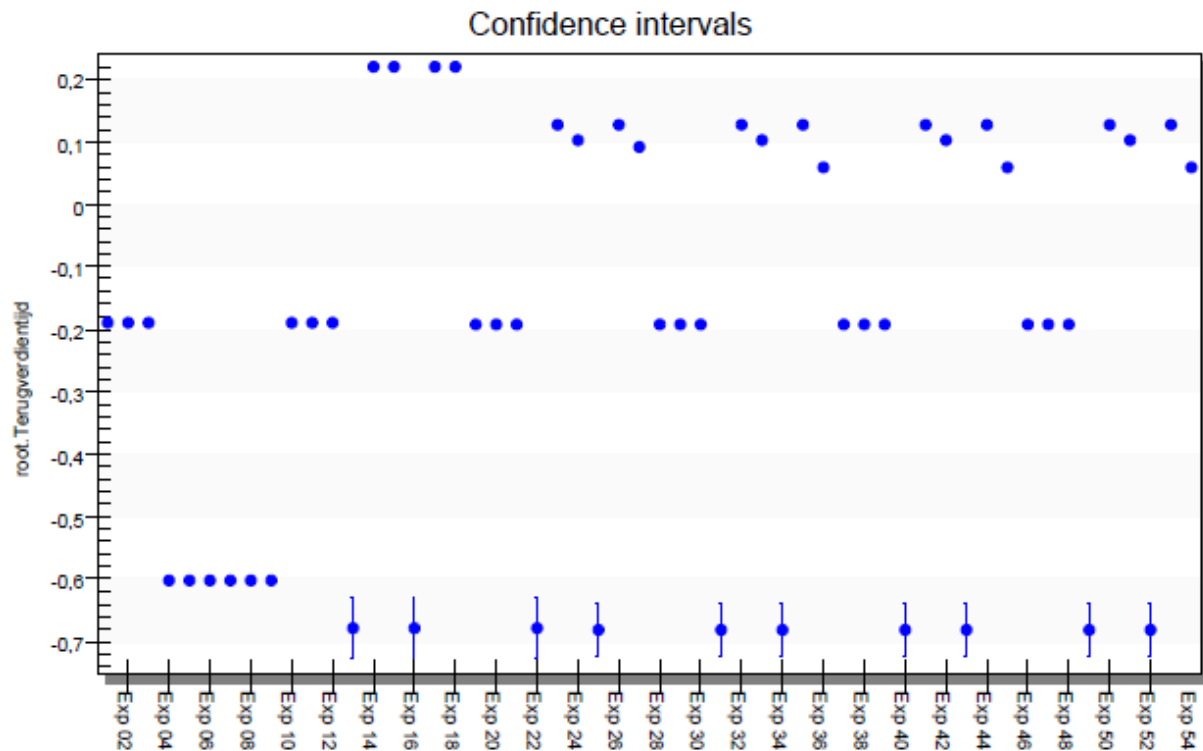
Figuur 49: Betrouwbaarheidsintervallen arbeidsproductiviteit model 3

Bezettingsgraad



Figuur 50: Betrouwbaarheidsintervallen bezettingsgraad model 3

Terugverdientijd



Figuur 51: Betrouwbaarheidsintervallen terugverdientijd model 3

