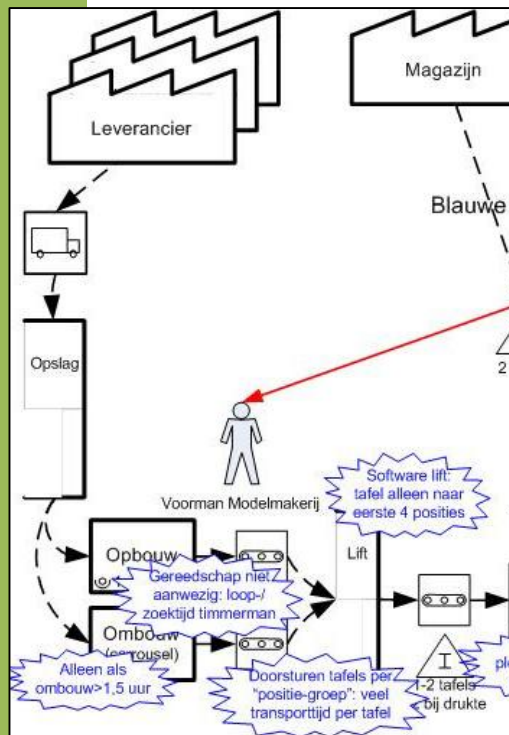




DE CONCURRENTIE VOORBIJ? : ONDERZOEK NAAR OPERATIONELE VERBETERINGEN VOOR OUTPUTVERHOOGING IN HET PRODUCTIEPROCES VAN GEPREFABRICEEERDE ELEMENTEN



DE CONCURRENTIE VOORBIJ? : ONDERZOEK NAAR OPERATIONELE VERBETERINGEN VOOR OUTPUTVERHOOGING IN HET PRODUCTIEPROCES VAN GEPREFABRICEERDE ELEMENTEN

ENSCHDEDE, SEPTEMBER 2008

FACULTEIT MANAGEMENT EN BESTUUR

VAKGROEP OPERATIONELE METHODEN VOOR PRODUCTIE EN LOGISTIEK (OMPL)

VAKGROEP OPERATIONS, ORGANISATION AND HUMAN RESOURCES (OOHR)

SASKIA H.J.M. KUIPERS, 0071900

AFSTUDEERCOMMISSIE

DHR. DR. IR. J.M.J. SCHUTTEN (OMPL)

DHR. IR. W. BANDSMA (OOHR)

DHR. L. PLEKKENPOL MSc. (VOORBIJ PREFAB BETON)

DHR. D. WAGENSVELD MBA (VOORBIJ PREFAB BETON)

Managementsamenvatting

Aanleiding

Dit afstudeeronderzoek richt zich op een deel van het productieproces van geprefabriceerde elementen van Voorbij Prefab Beton. Het management van Voorbij Prefab Beton vraagt zich af hoe de productie per dag verhoogd kan worden om enerzijds de kosten per product te verlagen en daarmee het rendement te verhogen en anderzijds aan de groeiende vraag te beantwoorden. Het management vermoedt dat niet alle beschikbare capaciteit efficiënt gebruikt wordt en dat er ruimte is om meer te produceren per dag.

Voor het onderzoek is de volgende probleemstelling geformuleerd: “Hoe dient het productieproces van Voorbij Prefab Beton ingericht te worden om een hogere output te realiseren en daarbij efficiënter gebruik te maken van de beschikbare middelen?”

Na uitvoering van het onderzoek is gebleken dat er operationele veranderingen mogelijk zijn die kunnen leiden tot minder doorlooptijd per product, beter gebruik van huidige middelen en extra omzet.

Opbrengsten

- Door het veranderen van de configuratie van de carrousel wordt de capaciteit beter benut (minder overuren nodig) en verlaagt de doorlooptijd per product. De personeelskosten verlagen met bijna €7000 doordat gemiddeld 0,95 overuren per dag minder gemaakt worden (dat is 35% minder dan in de huidige situatie en een significant verschil). In plaats van 4 gereedmaakplekken en 7 inbindplekken moeten 11 universele posities gecreëerd worden waar zowel gereedmaken als inbinden wordt uitgevoerd.
- De lage bezettingsgraad van de carrousel impliceert dat er ruimte is voor extra capaciteit. In een universele configuratie kunnen per dag ongeveer 4,6 tafels extra geproduceerd worden. Op jaarbasis kan hierdoor 1,5 miljoen extra omzet behaald worden.

Kosten en risico's

- Het doorvoeren van bovengenoemde aanbevelingen kosten ongeveer €9000 aan materiaal- en consultancykosten. Het is niet bekend wat de kosten zijn voor het opleiden, trainen en aannemen van personeel. Wanneer gebruik wordt gemaakt van interne opleidingen zullen trainingskosten aanzienlijk lager blijven dan bij het inschakelen van externe bureaus.
- Het veranderen van de configuratie van de carrousel impliceert verandering voor werknemers in hun dagelijkse gang van zaken. Dit kan tot problemen leiden wanneer werknemers niet openstaan voor verandering.

Hieronder staan kort de aanbevelingen opgesomd die nodig zijn om bovenstaande opbrengsten te realiseren en de risico's tot een minimum te beperken.

Aanbevolen wordt

- de configuratie van de carrousel te veranderen naar 11 universele posities waar het gereedmaken en inbinden achter elkaar op één positie wordt uitgevoerd;
- om de huidige prioriteitsregel te blijven gebruiken waarbij eerst een paar tafels met korte bewerkingstijden het proces in worden gestuurd zodat werknemers om 7:00 uur kunnen starten met productie, gevolgd door tafels met lange bewerkingstijden en uiteindelijk volgen de laatste tafels met korte bewerkingstijden om de productie uit te vlakken;
- om alle gevonden verspillingen te elimineren. In overleg met de productie leider wordt gekozen welke verspillingen het beste opgepakt kunnen worden omdat hij inzicht heeft in de drukte en kwaliteiten van medewerkers op een bepaalde afdeling;

- kwaliteit van werknemers te verbeteren door training en werkinstructies in te voeren;
- werknemers te betrekken bij het veranderproces zodat hun houding ten opzichte van de veranderingen positief beïnvloedt;
- om verder onderzoek te doen naar de mogelijkheden voor het verbeteren van de planning op tactisch niveau, dat is de planning die door de afdeling Werkvoorbereiding wordt gegenereerd.

Oplosmethode

De aanbevelingen zijn voortgekomen uit een uitgebreid onderzoek naar de werking van het productieproces. Met behulp van een value stream map is het productieproces in kaart gebracht. Naast een beschrijving van de bewerkingsschappen zijn ook opvallendheden en verspillingen genoteerd. Na het uitvoeren van de value stream map zijn 30 verspillingen gevonden die voornamelijk gerelateerd zijn aan wachttijd, extra bewerkingstijd door herbewerking en onnodige handelingen. Vervolgens zijn metingen uitgevoerd waarbij de bewerkingstijd, wachttijd, tijd voor pauze en transport in kaart zijn gebracht. De metingen ondersteunen de uitkomsten van de value stream map omdat blijkt dat wachttijd aanzienlijk is, van 33% tot 50% in de carrousel en 53% tot 78% in de kantelhal.

Met behulp van een Ishikawa diagram is getracht de problemen te rangschikken. Dit is niet gelukt omdat problemen niet onderling onafhankelijk zijn. Tijdens een workshop waarbij een deel van het managementteam aanwezig was zijn de problemen besproken en teruggebracht tot 10 probleemgebieden. Na doorvragen bleek dat deze 10 probleemgebieden te herleiden zijn naar 4 hoofdproblemen. Twee van deze hoofdproblemen zijn gerelateerd aan menselijke factoren, kwaliteit van aansturend en uitvoerend personeel. Voor de overige twee hoofdproblemen, de configuratie van de carrousel en de prioriteitsregel, is een simulatie gemaakt. In de simulatie is getest wat de impact is van verschillende configuraties en prioriteitsregels op de doorlooptijd van het product en het aantal te maken overuren per dag. Hieruit volgde dat de universele positie significant voordelen oplevert in termen van doorlooptijd vermindering en vermindering van aantal overuren per dag. De doorlooptijd vermindert doordat de wachttijd vermindert. Dit komt vooral doordat de variabiliteit in het aankomstproces en in de bewerkingstijd vermindert.

En dan nu...

Het is belangrijk dat de organisatie een voorsprong heeft op haar concurrentie om een hogere winst te halen. Voorsprong op de concurrentie wordt bepaald door de mate waarin de organisatie waarde creëert voor haar klanten. Value stream mapping is de juiste methode om de waardeestroom in kaart te brengen te zorgen dat alleen activiteiten plaatsvinden waarvoor de klant betaalt.

Omdat interne operationele wijzigingen niet zichtbaar zijn voor concurrenten (vergeleken met het aanbieden van een ander product) zullen de aanbevelingen niet snel overgenomen worden door concurrenten. Met bovengenoemde aanbevelingen is Voorbij Prefab Beton in staat een concurrentievoordeel te behalen door de kwaliteit van haar producten te verbeteren, de kosten te verlagen en de snelheid van levering te waarborgen. Dit komt overeen met de interne prestatie doelen van de organisatie. Deze volgen uit de 'order winning' en 'qualifier' factoren. Flexibiliteit is een 'qualifier' omdat dit door meerdere klanten wordt aangeboden. Juist de combinatie van prijs, leverbetrouwbaarheid en kwaliteit in combinatie met de consultancy rol om alternatieven aan te dragen en mee te denken zijn de 'order winners'.

Door de aanbevelingen uit het rapport op te volgen zal het rendement op geprefabriceerde elementen vergroten zodat kan worden voldaan aan de strategische doelen van het management. Tevens worden de interne prestatie doelen nagestreefd, daarmee is het tijd om de concurrentie *Voorbij* te gaan.

English summary

The goal of this graduation project is to provide recommendations about how Voorbij Prefab Beton should improve its production process in order to increase their daily output. The corresponding research question is formulated as follows: "How should Voorbij Prefab Beton's production process be organized to increase its daily output and make better use of the available resources? At the moment, the annual turnover is mainly determined by prefab construction walls. However, the yield of this product does not comply with the strategic directives. Besides, it is expected that the demand for prefab walls will grow in the next few years. The management is wondering how more prefab elements can be produced per day. First because this reduces costs and therefore increases yield, second, to meet increasing demand.

To answer the research question four stages are defined. During the first stage a literature research is performed. Different ways of how production processes can be mapped and analysed are looked into. Furthermore literature about improving production processes and literature about change in organizations is collected. A useful method to map a production process and identify and measure wastes is value stream mapping (VSM). This method is commonly used by organisations that want to introduce lean production techniques; Voorbij Prefab Beton is such an organisation.

In the second stage the current production process is mapped using VSM. To be able to make this map it must be understood how the process proceeds. By observing the process several days and talking to workers this map is made. Every prefab element goes through 7 processing steps: (1) making the mould, (2) cleaning and oiling the mould, (3) tying up the mesh, (4) approval for pouring, (5) pouring, (6) finishing and (7) removing the element from its mould. The mould is oiled to prevent concrete from getting stuck to it. A mesh is used to strengthen the element. PVC-pipes are tied in so that electric wires can later be put in the element. But also iron cramps are tied in to be able to remove the element from its mould. All tying is performed manually. The fourth step is to check whether the product is made according to the specifications so that the concrete can be poured in the fifth step. If requested by the customer the element is finished smoothly or rugged. Steps 2 until 6 are performed at the production department called carrousel, step 7 at the kantelhal. Because the cleaning station consists of 4 parallel positions and the tying station of 7, transport between these stations is done by special train. The remaining stations are linked in series.

Eventually 30 wastes and problems are found. Within lean production, seven types of waste are well known to deteriorate the system's performance: overproduction, waiting, transportation, inappropriate processing, unnecessary inventory, unnecessary motion and defects. Problems and wastes found are coupled to one or more of these types of waste. The majority of the wastes found are related to waiting, inappropriate processing and rework due to defects of semi-finished products like meshes or rework because previous processing was carried out wrongly. To gain more insight in the severity of these wastes further information is needed about the processing times, cycle times and waiting times of products.

Because these times were not known until April 2008 time studies are used to obtain this information. To make sure that sufficient measurements are taken, 90% confidence intervals are determined. Based on this level of confidence quite some processes require more than 50 measurements. Because of time limitations it was not possible to perform this amount of measurements. So, in accordance with management, the decision is made to perform fewer measurements and to choose the products to be measured such that it represents the product mix.

Cycle time consists of four elements: processing time, waiting time, transportation time and time for breaks. The measurements reveal that a major part of cycle time is absorbed by waiting time. At the carrousel this can mainly be allocated to the variance in processing times. Variance arises because each element is unique. Although products go through the same processing steps, the execution of each step differs per element. Next to that, almost half of the employees are temporary workers. Since they are less experienced with the products in place, processing times tend to differ more. Practice shows that experienced workers are able to perform certain operations up to 30% faster compared to

inexperienced workers. At the kantelhal different removal techniques cause variance. Because of the weight of each element a crane is needed to remove it from its mould. Some elements are pulled by their iron clamps, for others a vacuum lifting beam is used. To reduce setup times of the crane it is preferred to batch products that need the same removal technique. A disadvantage of batching is that waiting times occur; wait for the batch to be complete and wait in the batch before being processed.

Based on the results of the VSM and the time studies, several problems are identified. For all problems the corresponding causes and effects are determined using an Ishikawa-diagram to visualise these relations. It appears that many problems reinforce each other, making it hard to define mutually independent problems. Eventually 10 problem areas are identified. After two workshops, where the production manager and part of the management team were present, these problem areas are compressed to four main problems. To define these main problems the 5-why technique is used. Once the question why an issue is a problem is answered the counter-question "But why?" is asked. With the idea of failure modes and effect analysis in mind the four main problems are rated along three factors. Multiplying these factors results in a critical value; the larger the critical value the more serious the problem. The four main problems are briefly described below:

1. *Quality of staff carrying out the work is unsatisfactory.* Because a worker makes mistakes in carrying out his task this needs to be corrected at the next step. Consequently, processing time increases due to rework.
2. *Quality of managerial staff is unsatisfactory at the operational level.* Team leaders are not capable of managing the production process. They cannot divide the workers according to the workload at the positions. Four people can work at one product whereas another product is not being worked on and has to wait. Besides, they should correct and steer workers who make mistakes to prevent that these mistakes are not made again so (unnecessary) rework reduces.
3. *Planning of production process is based on production manager's feeling.* Firstly, planning of the operations is based on a method that is developed by the production manager over the years. His experience tells him that more complex elements need to alternate with simpler elements such that workers can keep working. Secondly he aims at keeping the same type of products together so the workers can do the same operations after each other. Despite his experience he lacks knowledge about priority rules to plan production. He is not aware of the impact his method has on the system's performance and daily output.
4. *Organization and use of carrousel are not optimal.* The carrousel is built with the underlying idea of producing 20 products per day. Based on this the automatic supply system for meshes is built. After some time this system did not work correspondingly, providing the wrong mesh or no mesh at all. Management decided to switch to the current system where meshes are no longer supplied just-in-time. However, the current situation does not seem to be univocal either, workers are inclined to push products into the system without considering the system's status. This results in waiting times and congestion of the system.

To find a solution for the main problems, problems related to worker issues are separately dealt with. For problems related to the organization and control of the production process a simulation is built. Two experimental factors are determined, which are assessed on the improvements they set on both the average cycle time of the product and the amount of hours in overtime needed.

First, three alternative configurations of the carrousel are tested:

- *Current situation without priority rules for transport.* The special train that transports products in the carrousel gives a lower priority to products that want to enter the carrousel as opposed to products that leave the cleaning or tying station. By giving all stations the same priority it is expected that the average waiting time, and thus cycle time, of products decreases.
- *Identical positions.* Instead of the current situation with 4 cleaning positions and 7 tying positions it seems to be a good idea, from the perspective to reduce transport time, to make 11 identical

positions where cleaning and tying is performed by one person. Due to vertical integration of tasks the variance in processing time will reduce reducing the cycle time of a product.

- *Separate positions to put in the mesh.* This situation is the initial situation for which the carrousel was built. Two tying positions are used to put in the net just-in-time. Because both processing and transport time increase it is not expected that this configuration gives good results.

Second, four priority rules are tested. These priority rules are related to parallel machines cases because the bottleneck, the tying process, has seven parallel workstations:

- *Shortest processing time for tying first (SPT).* This priority rule aims at minimizing the completion time of products by releasing the products with the lowest expected processing time for tying first. Difficult products with longer processing times are scheduled later in the day. Therefore it is expected that overtime increases as not all products can be finished on time.
- *Longest processing time for tying first.* As opposed to SPT this rule aims at minimizing the time it takes to finish all products (minimizing the maximum makespan). By scheduling the fast products at the end the capacity is smoothed reducing overtime and increasing the utilization of the system.
- *Longest processing time for mould building first.* Because the time to build the mould and the time to tie a mesh are correlated it is also tested what the impact of this rule is on the cycle time and utilization.
- *“Combi” rule.* Finally a combination rule is tested which corresponds with the experience of the production manager. Products with short processing times are released first to keep the workers working. Then products that need longer processing are scheduled. To smooth production the remaining short products are scheduled at the end of the day. Both cycle time reduction and utilization increase are aimed for.

The results of the simulations indicate that most can be gained by changing the configuration of the carrousel to 11 identical positions. Both the throughput time as well as the amount of hours in overtime reduces significantly. Because the same amount of work can be carried out in less time the utilization of the positions in the carrousel reduces. This results from the cycle time reduction since products need to wait less for transport and variance in processing time reduces due to the pooling effect. Priority rules deviate less from each other, though significant on the amount of overtime and throughput time per product, the best results are however achieved by using the longest processing time for mould building first rule.

Based on the outcomes of the VSM, the measurements and the simulation it can be concluded that there are multiple ways to improve the production process. First of all, it is recommended to change the organization of the carrousel to 11 identical positions. This results in significant improvements in both the amount of overtime hours per day and the throughput time per product per day. Second, although the difference between priority rules is significant when 11 identical positions are used it is recommended to remain the current priority rule when changing to identical positions. Even in the new situation the utilization of positions is relatively low with approximately 28%. A sensitivity analysis revealed that there is room to produce 4.6 extra elements per day resulting in 1,5 million Euros extra yield per year.

Second, less waste results in less cycle time; products can be delivered sooner and more capacity is freed to produce other products. It is also recommended to use a structured approach when eliminating identified wastes (with help of the VSM). A start is made by setting up the Voorbij Lean System. This document contains implementation plans, strategic plans and audit forms to guide and measure the status of “lean production” in the organisation.

In the third place, a reduction of the processing time per product also leads to reduction of cycle time per product. Both work instructions and training contribute to making fewer mistakes which reduces rework time and as a consequence cycle time.

Finally, it is important that there are team leaders with the right qualifications; therefore a vacancy is set out. A process that is organized optimally will not perform if there is no one to manage it accordingly.

The costs of implementing these recommendations are approximately €8000 for consultancy to change the software, €1050 to buy new sealant guns on battery and an unknown amount of Euros for training.

Besides the operational recommendations it is also recommended to investigate resource capacity planning at the tactical level. Somehow there is sufficient capacity to perform all tasks (only 28% utilization) but it is also needed to work in overtime (1.73 hours per day on average). This does not comply with each other. Even if Voorbij's production process is organized optimally, without changes at the tactical planning the major problem is not solved. Furthermore, it is difficult to plan three weeks in advance without changing this planning. As a consequence, the production manager experiences problems hiring the right amount of workers. The robustness of order acceptance and due date determination can also be looked at.

Implementing the recommendations will increase the yield of prefab elements such that these products comply with the strategic directions of the organization, and perhaps outperform these. Now it is time to beat the competitors.

Inhoudsopgave

MANAGEMENTSAMENVATTING	4
ENGLISH SUMMARY	6
VOORWOORD	11
1 ONDERZOEKSONTWERP	13
1.1 INLEIDING	13
1.2 ACHTERGROND	13
1.3 AANLEIDING	14
1.4 DOELSTELLING	14
1.5 ONDERZOEKSVRAGEN	15
1.6 ONDERZOEKSMODEL	15
1.7 AFBAKENING	16
2 LITERATUUR	18
2.1 INLEIDING	18
2.2 BESCHRIJVING VAN HET PRODUCTIEPROCES	18
2.3 ANALYSEREN VAN EEN PRODUCTIEPROCES	20
2.4 AANSTURING VAN EEN PRODUCTIEPROCES	22
2.5 RANGSCHIKKEN VAN PROBLEMEN	24
2.6 ONTWERPEN VAN OPLOSSINGSRICHTINGEN	25
2.7 INTERVIEWTECHNIKEN	27
3 VAN MAL TOT ELEMENT	28
3.1 INLEIDING	28
3.2 ZES AFDELINGEN, ÉÉN PRODUCT	28
3.3 HET PRODUCTIEPROCES VAN GEPREFABRICEEERDE ELEMENTEN	29
3.4 VALUE STREAM MAP	31
3.5 PROBLEMEN	32
4 PRODUCTIEMETINGEN	36
4.1 INLEIDING	36
4.2 VOORBEREIDING	36
4.3 DOORLOOPTIJD	37
4.4 GEMIDDELDE EFFECTIEVE BEWERKINGSTIJD	38
4.5 VARIABILITEIT IN BEWERKINGSTIJD	39
4.6 BEZETTINGSGRAAD	40
4.7 TERRE ARMÉE	42
5 IDENTIFICATIE VAN HOOFDPROBLEMEN	43
5.1 INLEIDING	43
5.2 OORZAKEN EN GEVOLGEN	43
5.3 BESCHRIJVING VAN DE HOOFDPROBLEMEN	44
5.4 KWANTIFICERING VAN HOOFDPROBLEMEN	46
6 SIMULATIE	48
6.1 INLEIDING	48
6.2 OPSTELLEN SIMULATIEMODEL	48
6.3 EXPERIMENTEEL ONTWERP	48
6.4 RESULTATEN	51
7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	54
7.1 INLEIDING	54
7.2 REFLECTIE	54
7.3 BEANTWOORDING ONDERZOEKSVRAAG	54
7.4 AANBEVELINGEN	57
7.5 DISCUSSIE	58
LITERATUURLIJST	59
BIJLAGEN	62

Voorwoord

Dit afstudeeronderzoek is uitgevoerd in het kader van de afronding van de opleiding Industrial Engineering and Management aan de Universiteit Twente. Binnen deze opleiding heb ik gekozen voor de masterspecialisatie Production and Logistics Management (PLM).

Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd bij Voorbij Prefab Beton te Amsterdam. In dit voorwoord wil ik graag van de gelegenheid gebruik maken om verschillende personen te bedanken die mij hebben ondersteund bij het uitvoeren van het afstudeeronderzoek.

Allereerst wil ik graag mijn begeleiders van de Universiteit Twente, Marco Schutten en Waling Bandsma, bedanken. Eén van mijn eerste vakken tijdens mijn opleiding was Productiemanagement gegeven door Waling. Sindsdien heb ik dat interessant gevonden en na nog een paar andere vakken in dezelfde richting, waaronder Productieplanning en Scheduling van Marco, heb ik besloten om mij te specialiseren in deze richting door de master Production and Logistics Management te volgen. Tijdens het afstudeeronderzoek hebben Marco en Waling mijn verslag voorzien van constructieve feedback en mij bij de les gehouden waar nodig. Daarnaast was ook Martijn Mes een belangrijke persoon bij het begeleiden van het simulatiemodel voor het afstuderen. Zijn inzet en tijd waren af en toe erg hard nodig en werden dan ook erg op prijs gesteld. Hopelijk heb ik één en ander kunnen terugdoen door een interessante nieuwe case aan te reiken voor het mastervak Simulation voor het komende studiejaar.

Daarnaast wil ik graag de betrokken personen bij Voorbij Prefab Beton bedanken. Met name Lard Plekkenpol, zijn dagelijkse begeleiding en bereidwilligheid om te allen tijde klaar te staan om te discussiëren of te overleggen werden erg gewaardeerd en waren constructief van aard. Zonder zijn inzet zou het onderzoek een stuk lastiger zijn verlopen. Natuurlijk is mijn dank ook groot voor de andere betrokkenen: Dirk, Wido, Adrie, Edward en Andrew. Ook 'de jongens van de vloer' waren onmisbaar om informatie te verkrijgen van het verloop van het proces en inzicht te krijgen in de werkwijze maar natuurlijk ook voor de gezelligheid: Siep, Rob, Jorn, Mustafa, Richie, John, Joe, Eric, Ibrahim, Marco, Louwrens, Kees en de heren van de Kwaliteit.

Om de lastige periodes door te komen wil ik André bedanken. Hij heeft altijd voor mij klaar gestaan om mijn verhaal aan te horen, mijn ideeën te bediscussiëren maar ook om mij wakker te schudden en weer met beide benen op de grond te zetten op momenten dat ik dacht meer te kunnen dan redelijkerwijs haalbaar is. Natuurlijk kunnen mijn ouders, Herman en Marjo, niet ontbreken in de lijst. Ik wil hen bedanken voor de momenten dat ik even kon uitblazen en een happie kon mee-eten in het ouderlijk huis na een bespreking op de universiteit.

Ook wil ik studiegenoten bedanken voor de tijd die zij met mij hebben doorgebracht om vakinhoudelijke zaken te bespreken. Voor het programmeren in VBA heb ik af en toe de 0900-Erik Raesen hulplijn ingeschakeld. Met dank aan hem en de helpfunctie heb ik mij programmeren in VBA eigen gemaakt. Sebastiaan Plazier, Seth van Straten, Dave Dubbink en Renée te Poele wil ik danken voor de tijd die zij beschikbaar stelden waarin ik hen 'lastigviel' met mijn hersenspinsels over productiemanagement en andere interessante managementdiscussies. Door met hen hierover te praten kon ik mijn gedachten weer structureren.

Voor de aanvang van het afstudeeronderzoek heb ik mijzelf een aantal doelen gesteld. Eén hiervan was het ontwikkelen van managementvaardigheden. Tijdens het onderzoek ben ik erachter gekomen dat operationeel leidinggeven in combinatie met het nastreven van strategische doelen iets is waar ik mij in mijn toekomstige baan verder in wil ontplooien. De ruimte die ik bij Voorbij Prefab Beton kreeg om ideeën te toetsen in de productie maar ook om met het managementteam mee te denken over

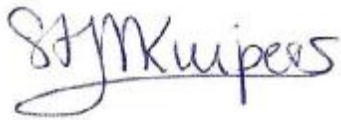
zaken vond ik erg fijn. Hierdoor heb ik de mogelijkheid gekregen af en toe als een semi-teamleider op de werkvloer te staan en goed leren kennen wat er in de hoofden van 'de jongens' speelt. Maar ook van de productie leider heb ik veel geleerd doordat hij zijn ervaring en ideeën met mij wilde delen. Waar hij in het begin nog in de verdediging schoot om zijn jongens te verdedigen begon hij na een tijdje in te zien dat ik toch niet zo'n betweter was en juist van hem wilde leren.

Al met al vond ik het een bijzonder om als universitair opgeleide student een operationele opdracht uit te voeren bij een no-nonsense bedrijf met een hands-on mentaliteit. Theorie uit boeken blijken toch anders uit te pakken in de praktijk. De complimenten die ik heb ontvangen (mede door een fantastisch aanbod om te blijven werken als Lean Coördinator) maar ook de complimenten van de productie leider en jongens op de vloer zijn voor mij een dikke tien waard. Het is dat ik naar Hong Kong ga voor een fantastische uitdaging maar anders was ik graag gebleven om in ieder geval het mede door mij opgestelde Voorbij Lean Systeem (VLS) in werking te zetten.

Betonnoverend dus concurrerend!?! Of toch de concurrentie *Voorbij*?

Met vriendelijke groet,

Saskia H.J.M. Kuipers

A handwritten signature in blue ink, reading 'SJM Kuipers'. The signature is stylized, with the first letters of the first and last names being capitalized and prominent.

1 Onderzoeksontwerp

1.1 Inleiding

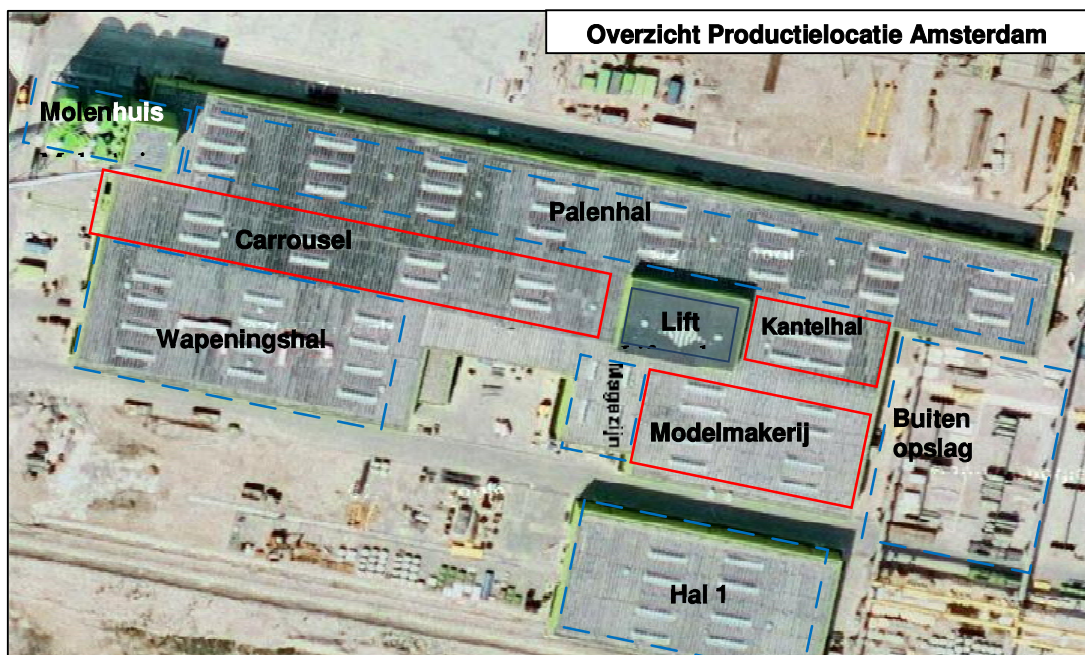
Dit hoofdstuk zet de opbouw van het afstudeeronderzoek bij Voorbij Prefab Beton uiteen. Paragraaf 1.2 beschrijft de achtergrond van de organisatie zodat het duidelijker wordt hoe de organisatie eruit ziet en wat zij doet. De aanleiding van het project is beschreven in paragraaf 1.3. Vervolgens is de doelstelling van het onderzoek dat hieruit volgt toegelicht in paragraaf 1.4. Om het doel te bereiken is een aantal vragen geformuleerd, deze zijn beschreven in paragraaf 1.5. Het bijbehorende onderzoeksmodel waar een visualisering van de te ondernemen stappen is gepresenteerd is beschreven in paragraaf 1.5. Tot slot is de afbakening van het onderzoek uitgewerkt in paragraaf 1.7.

1.2 Achtergrond

Voorbij Prefab Beton is gespecialiseerd in het vervaardigen van kant-en-klare op maat gemaakte betonnen elementen voor de utiliteitsbouw (geprefabriceerde elementen). In 2007 zijn ongeveer 3400 geprefabriceerde elementen geproduceerd.

De organisatie is onderdeel van vastgoed-, bouw- en techniekconcern TBI Holding B.V. Sinds 2003 is een nieuwe productielocatie in het westelijk havengebied in Amsterdam in gebruik genomen, een groot deel hiervan is weergegeven in figuur 1.1.

Geprefabriceerde elementen worden in drie opeenvolgende stappen vervaardigd: (1) het opbouwen van de bekisting (mal) in de *modelmakerij*, (2) het vullen van de mal met wapening en beton in de *carrousel* en (3) het ontkisten van het element in de *kantelhal*. Een prefab element wordt op een tafel gemaakt. De tafel met het element doorkruist de drie bovengenoemde afdelingen, in figuur 1.1 zijn dit de rood omlijnde afdelingen (met doorgetrokken streep). Omdat de drie afdelingen fysiek gescheiden zijn worden elementen tussen de afdelingen uitgewisseld door een lift. Voor het fabriceren van het element worden grondstoffen en halffabricaten aangeleverd door interne leveranciers. Hoofdstuk 3 beschrijft in meer detail hoe het productieproces in elkaar steekt en welke rollen de afdelingen en leveranciers hebben.



Figuur 1.1 Productielocatie Amsterdam (Bron: <http://maps.google.com> dd. 11-02-2008)

1.3 Aanleiding

Het afstudeeronderzoek richt zich op het productieproces waar diverse geprefabriceerde elementen worden geproduceerd. Op dit moment worden vier typen producten gemaakt: wanden, balken, Terre Armée elementen en daken voor transformatorhuisjes.

Wanden en balken worden niet apart gerapporteerd in de financiële administratie. Samen vormen zij voor 81% de omzet waarvan ongeveer 70% wordt bepaald door productie van wanden. Het dak en het kastdeel van transformatorhuisjes worden niet in dezelfde productiehal gemaakt. Alleen het dak behoort tot het productieproces dat onderzocht wordt. In de financiële administratie zijn ook deze cijfers niet opgesplitst; productie van daken draagt voor 12% bij aan de omzet. Productie van Terre Armée elementen is goed voor 7% van de omzet (Jaarcijfers 2007).

Het grootste deel van de omzet wordt behaald door productie van prefab wanden. Uit de financiële gegevens blijkt echter dat het rendement op wanden niet voldoet aan de strategische doelen die door het management zijn bepaald. In de visie van Voorbij Prefab Beton staat ondermeer dat ze een winstgevende organisatie wil zijn en dat wanden de core business moet zijn; juist wanden leveren niet het gewenste rendement, maar dit probleem speelt ook bij andere producten.

Naast de rendementresultaten wordt de komende jaren groei op de prefabmarkt verwacht (Prefab Cascobouw, BFBN). De vraag naar voorgefabriceerde wanden in de bouwsector neemt toe hetgeen mede te maken heeft met de snelheid waarmee projecten worden gerealiseerd wanneer gebruik gemaakt wordt van geprefabriceerde elementen. Om te profiteren van de groei en de kosten te dekken is het belangrijk om het productieproces zo in te richten dat een hogere output gerealiseerd kan worden. Op dit moment is men niet in staat om meer dan 25 tafels per achturige werkdag te produceren (Jaarcijfers 2007).

Momenteel zijn verschillende projecten gepland en deels gestart die als doel hebben de productie te verbeteren en bijdragen aan het inzichtelijker maken van de processen binnen de organisatie. Zo is op de afdeling Werkvoorbereiding een planningssysteem aangeschaft om de projecten eenvoudiger en overzichtelijker in te kunnen plannen. Daarnaast is in februari 2008 een afstudeeronderzoek gestart door twee hbo-studenten waarbij gekeken is naar alternatieve mogelijkheden om de verschillende afdelingen van beton te voorzien en daarmee de interne logistieke stromen te verbeteren.

1.4 Doelstelling

Het management vraagt zich af hoe er meer tafels per dag geproduceerd kunnen worden om enerzijds de kosten per product te verlagen en daarmee het rendement te verhogen en anderzijds de groeiende vraag te kunnen beantwoorden. In dit onderzoek is output het aantal tafels dat op een dag gekanteld kan worden. Kantelen van tafels is de laatste stap voordat een element dat op een dergelijke tafel ligt naar de buitenopslag wordt verplaatst (hoofdstuk 3 beschrijft het productieproces in meer detail). Om de vragen die bij het management spelen te beantwoorden is de volgende doelstelling geformuleerd:

Het doel van het onderzoek is het doen van aanbevelingen voor verbetering van het productieproces zodat een hogere output gerealiseerd kan worden.

Verbeteringen in het productieproces worden geïdentificeerd op basis van bestudering (a) van de huidige productiestromen, (b) de bewerkingen die per product uitgevoerd worden en (c) de aansturing van het productieproces op operationeel niveau. De aanbevelingen zijn gebaseerd op een vergelijking tussen de analyse van de huidige situatie en de methodieken en principes uit relevante productiemanagement literatuur die nader is beschreven in hoofdstuk 2. Aan de hand van de doelstelling wordt het volgende centrale probleem gedefinieerd:

“Hoe dient het productieproces van Voorbij Prefab Beton ingericht te worden om een hogere output te realiseren en daarbij efficiënter gebruik te maken van de beschikbare middelen?”

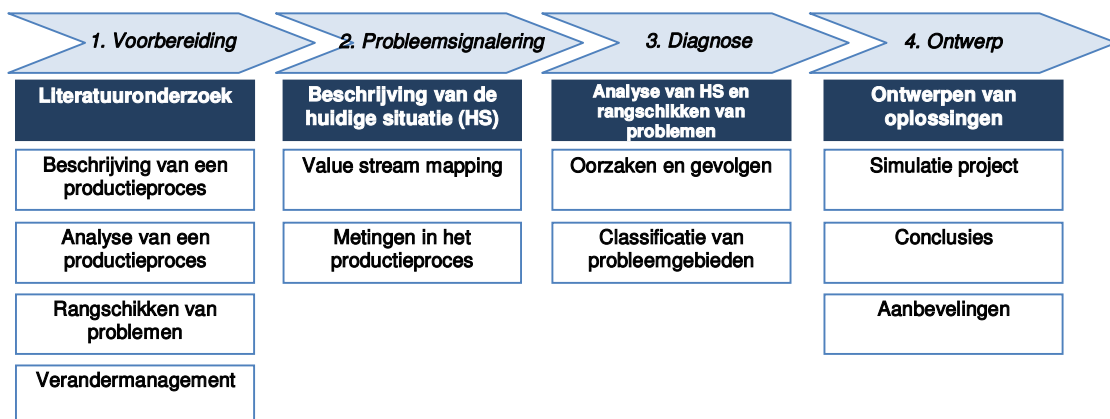
1.5 Onderzoeksvragen

Om de probleemstelling te beantwoorden hebben we vier hoofdvragen geformuleerd; opgedeeld per fase waarin ze van toepassing zijn.

- 1) **Welke theorieën zijn relevant voor het beantwoorden van de centrale probleemstelling? (Voorbereiding)**
 - a) Welke theorieën zijn relevant voor het beschrijven en analyseren van het productieproces?
 - b) Welke instrumenten worden gebruikt voor het rangschikken en classificeren van (hoofd-) problemen?
 - c) Welke factoren zijn belangrijk bij verandermanagement in het kader van het oplossen van problemen op individueel- en organisatorisch gebied, en hoe moet hiermee worden omgegaan?
- 2) **Wat zijn problemen in het huidige productieproces waardoor de gewenste output niet gehaald kan worden? (Probleemsignalering)**
 - a) Hoe verloopt het huidige productieproces van geprefabriceerde elementen in de carroussel?
 - b) Wat zijn problemen in het huidige productieproces volgens “lean production” filosofie?
- 3) **Wat zijn de hoofdproblemen die een verhoging van de output belemmeren? (Diagnose)**
 - a) Welke oorzaken en gevolgen horen bij de gevonden problemen?
 - b) Welke combinatie van oorzaak/gevolg van individuele problemen leidt tot hoofdproblemen?
 - c) Wat is de prioriteitsvolgorde van de hoofdproblemen op basis van de relevante instrumenten voor rangschikken?
- 4) **Welke oplossingsrichtingen zijn het meest relevant voor de hoofdproblemen, en hoe kunnen deze worden toegepast? (Ontwerp)**
 - a) Welke beoordelingscriteria zijn van belang bij het bepalen van oplossingsrichtingen?
 - b) Op welke wijze kunnen oplossingsrichtingen getoetst worden?

1.6 Onderzoeksmodel

Om het doel van het onderzoek te bereiken worden verschillende stappen uitgevoerd. Deze paragraaf beschrijft de te ondernemen stappen, in figuur 1.2 is dit schematisch weergegeven. De kernbegrippen in de doelstelling zijn: output verhoging, efficiënte inrichting en productieproces. Hieruit volgt het theoretisch kader van het onderzoek.

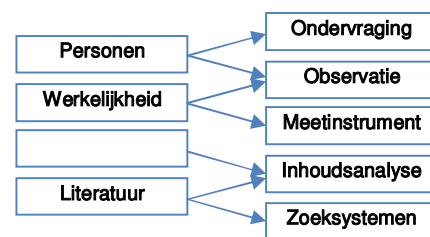


Figuur 1.2 Vier-fasen onderzoeksmodel

Het onderzoeksmodel is opgedeeld in vier fasen. In de eerste fase wordt bepaald welke elementen uit het productieproces beschreven moeten worden en met welke literatuur dit gaat gebeuren. Hierbij wordt de keuze voor value stream mapping als methodiek om het productieproces in kaart te brengen toegelicht. Daarnaast komen ook de onderwerpen uit Factory Physics literatuur aanbod die gebruikt worden bij de kwantitatieve beschrijving en analyse van het productieproces.

In de tweede fase, de probleemsignalering, wordt inzichtelijk gemaakt wat de verschillende probleemgebieden zijn in het productieproces door de huidige situatie te beschrijven. Vanuit de organisatie is te kennen gegeven dat zij bezig zijn met het implementeren van “lean production” technieken in de organisatie. Het doel van “lean production” is producten met de juiste waarde voor de klant aanbieden door gebruik te maken van een waardecreërend proces dat vrij is van verspillingen (Womack & Jones, 2003). Momenteel krijgen werknemers training in deze methodiek en wordt dit stapsgewijs organisatiebreed ingevoerd. Een veel gebruikte methode, vanuit “lean production”, om het productieproces in kaart te brengen is het maken van een value stream map (VSM) (Abdulmalek & Rajgopal, 2007; Rother & Shook, 2003; Pavaskar *et al.*, 2003; McDonald *et al.*, 2002).

Ter onderbouwing van de VSM en om een beter beeld te krijgen van de werking en prestaties van het productieproces worden metingen uitgevoerd. Hierbij wordt vooral gekeken naar de doorlooptijd van producten en de gebruikte capaciteit van het personeel.



Om de probleemgebieden gestructureerd in kaart te brengen worden diverse bronnen geraadpleegd, zie figuur 1.3. Daarbij is ook de wijze waarop informatie bij de bronnen is verkregen aangegeven.

Figuur 1.3 Geraadpleegde bronnen

In de derde fase, de diagnosefase, worden oorzaken en gevolgen bepaald voor de gevonden problemen. Vervolgens worden deze problemen tijdens een workshop geabstraheerd tot één of meerdere hoofdproblemen. Om te bepalen welk probleem het meest urgent is wordt een classificatiemethode gebruikt.

In de ontwerpfase wordt voor de hoofdproblemen naar passende oplossingen gezocht. Voor de mogelijke oplossingsrichtingen wordt een simulatiemodel gemaakt om te bepalen wat de effecten zijn van de oplossingsrichtingen op twee kritische prestatieindicatoren. Oplossingen worden gezocht in theorie uit productiemanagement waarbij het uiteindelijke doel van het onderzoek, het verhogen van output, centraal staat. De resultaten worden verwerkt tot aanbevelingen voor het verbeteren van de inrichting van het productieproces. Deze aanbevelingen worden gebaseerd op toepassing van eerder genoemde theorie op de bedrijfsspecifieke situatie bij Voorbij Prefab Beton.

1.7 Afbakening

Om ervoor te zorgen dat het onderzoek binnen de gestelde termijn uitgevoerd wordt licht deze paragraaf toe welke gebieden wel en niet tot het onderzoek behoren. Het onderzoek richt zich op het productieproces van geprefabriceerde elementen waarbij de nadruk ligt op de processen die uitgevoerd en aangestuurd worden op operationeel niveau. Dit is de dagelijkse uitvoering en aansturing van productiemedewerkers.

Het inplannen van te produceren elementen wordt gedaan door de afdeling Werkvoorbereiding. Zij geven wekelijks een dagplanning en een drieweekse planning af aan de productie leider. De wijze waarop de planning binnen de afdeling Werkvoorbereiding tot stand komt behoort niet tot het onderzoek omdat dit tot tactische planning behoort.

Met betrekking tot de productmix is door het managementteam de keuze gemaakt voor het bedienen van de utiliteitsbouw. Beslissingen en keuzes gemaakt op dit niveau behoren niet tot het onderzoek en worden als gegeven verondersteld.

Daarnaast zijn er externe factoren waar de organisatie geen grip op heeft maar die wel voor verstoringen zorgen. De twee grootste problemen zijn (1) uitstel van projecten (door bezwarenprocedures van omwonenden) en (2) wijzigingen in vormtekeningen; in mindere mate worden ook wapeningstekeningen gewijzigd. In beide gevallen moet de planning voor het project worden herzien. Reeds ingeplande tafels mogen niet worden geproduceerd wat leidt tot onderbezetting van personeel. Omdat dit problemen zijn die spelen op tactisch en strategisch niveau wordt hier in eerste instantie niet op gefocust, de nadruk ligt op operationele verbeteringen. Doordat tactische beslissingen de operationele gang van zaken beïnvloeden wordt de impact en de gevolgen van deze beslissingen wel meegenomen in de aanbevelingen.

Dit hoofdstuk heeft een overzicht gegeven van het onderzoeksontwerp en de stappen die binnen het onderzoek uitgevoerd moeten worden. Na beschrijving van de aanleiding is het doel van het onderzoek geformuleerd. Kort gezegd is het doel van het onderzoek om aanbevelingen te formuleren die leiden tot een inrichting van het productieproces waarbij meer output per dag gegenereerd kan worden dan momenteel gerealiseerd wordt. Op basis van dit doel is een aantal onderzoeksvragen geformuleerd. Tevens is een onderzoeksstrategie bepaald die bijdraagt aan het uitvoeren van de stappen die nodig zijn om de doelstelling te realiseren. Deze stappen zijn schematisch weergegeven in figuur 1.2.

De indeling van het verslag is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 beschrijft relevante theorieën uit productiemanagement die worden gebruikt voor het beschrijven en analyseren van het productieproces in hoofdstuk 3. Tevens komen theorieën aan bod die gebruikt worden voor het rangschikken van problemen. Resultaten van de analyse uit hoofdstuk 3 en resultaten van uitgevoerde metingen komen in hoofdstuk 4 aan bod.

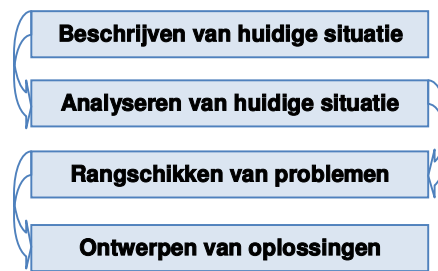
De identificatie van hoofdproblemen is uitgewerkt in hoofdstuk 5. Hier komen de oorzaken voor de gevonden problemen aan bod. Tijdens een workshop zijn deze problemen met behulp van scoringsmethodieken herleid tot vier hoofdproblemen. Met een simulatiemodel zijn de effecten van verschillende oplossingsrichtingen op de output van het productieproces getoetst. De opbouw en resultaten van de simulatie zijn beschreven in hoofdstuk 6.

Uiteindelijk leiden de analyse van de problemen uit hoofdstuk 5 in combinatie met de mogelijke oplossingsrichtingen uit de simulatie van hoofdstuk 6 tot conclusies die beschreven zijn in hoofdstuk 7. Naast het beantwoorden van de onderzoeksvraag zijn ook aanbevelingen gepresenteerd in hoofdstuk 7.

2 Literatuur

2.1 Inleiding

Het doel van het afstudeeronderzoek is het doen van aanbevelingen voor verbetering van het productieproces zodat een hogere output gerealiseerd kan worden. Dit hoofdstuk behandelt onderwerpen en theorieën waarmee de onderzoeksvragen uit paragraaf 1.5 beantwoord zijn. Figuur 2.1 geeft een overzicht van de te beschrijven theoriegebieden. De aangegeven volgorde komt overeen met de volgorde waarop de onderzoeksvragen zijn geformuleerd en wordt als zodanig ook behandeld in dit hoofdstuk.



Figuur 2.1 Opeenvolging van te gebruiken theorieën

Allereerst zijn in paragraaf 2.2 theorieën beschreven die het beschrijven van de huidige situatie ondersteunen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de achterliggende gedachte van “lean production” filosofie. Vervolgens beschrijft paragraaf 2.3 theorieën waarmee de huidige situatie in meer kwantitatieve zin is geanalyseerd. Hierbij spelen formules en principes uit “factory physics” een belangrijke rol. Omdat in het onderzoek aandacht wordt besteed aan de wijze waarop het productieproces wordt aangestuurd door de productieleider ligt paragraaf 2.4 toe welke prioriteitsregels er zijn voor het aansturen van productieprocessen en wat voor soorten configuraties van productieprocessen bestaan. Na een beschrijving en analyse van het productieproces volgen een aantal probleemgebieden. Paragraaf 2.5 beschrijft principes die gebruikt zijn om de problemen te rangschikken om hoofdproblemen te formuleren. Tevens komt een methode aanbod om waarmee elk hoofdprobleem een bepaalde prioriteit toegewezen krijgt. Een beschrijving van oplossingsrichtingen volgt in paragraaf 2.6. Hierin staat beschreven hoe een simulatie opgezet moet worden en wat belangrijke factoren zijn in verandermanagement. Als laatste is in paragraaf 2.7 beschreven hoe interviews afgenomen worden.

2.2 Beschrijving van het productieproces

Voor het in kaart brengen van het productieproces wordt gebruik gemaakt van methoden en technieken uit de “lean production” filosofie. “Lean production” is een bruikbare methode voor het identificeren van probleemgebieden in een productieproces (Womack & Jones, 1996). Het voorziet in het aanreiken van alternatieven om bottlenecks en overige negatieve effecten op het verhogen van output te elimineren. Hiervoor zijn verschillende lean methoden beschikbaar zoals het gebruiken van productiecellen, Just-in-Time leveringen, Kanban kaarten, preventief onderhoud (TPM), omsteltijd reductie, kwaliteitsmanagement (TQM) en 5S (Pavnaskar *et al.*, 2003; Hines & Rich, 1997; Nahmias, 2001; Feld, 2000, H7). Het doel van “lean production” is producten met de juiste waarde aan te bieden aan klanten door gebruik te maken van een waardecreërend proces dat vrij is van *muda*. Muda is de Japanse term voor verspillingen waarbij (menselijke) activiteiten wel resources gebruiken maar geen waarde toevoegen aan het product. Het elimineren van verspillingen om concurrentievoordeel te behalen is gepioneerd door Taiichi Ohno en Shigeo Shingo (Shingo, 1981). In veel organisaties wordt gedacht dat het realiseren van een gewenste omzet bereikt kan worden door zowel de kosten te verlagen als de prijs naar de klanten te verhogen. In een markt waarbij steeds meer concurrentie is wordt het alsnog lastiger een hogere prijs te vragen. Het enige middel dat overblijft, is het verlagen

van kosten. Bedrijven willen daarom weten hoe het proces ingericht moet worden om de kosten te verlagen en competitief te blijven. Shingo (1981, p.191-194) en Hines & Rich (1997) beschrijven zeven verspillingen: Overproductie, wachttijd, transporttijd, verkeerde werkwijze, onnodige voorraad, onnodige handelingen en defecten. Een uitgebreide beschrijving van de zeven verspillingen is gegeven in bijlage B.

Niet alle methoden en principes uit “lean production” kunnen gebruikt worden door Voorbij Prefab Beton. Veel ideeën zijn toepasbaar in omgevingen waar alleen bij de (eind)assemblage klantspecifieke wensen worden doorgevoerd (Shingo, 1981, p.89-91). Voorbij Prefab Beton heeft juist klantspecifieke wensen vanaf het begin van het proces waardoor de inrichting en structuur anders zijn dan in de meeste “lean production” literatuur. Ondanks dat principes exact zijn over te nemen zijn de gedachtegangen wel bruikbaar en worden daarom als zodanig toegepast.

2.2.1 Vijf stappen om een proces te beschrijven

Womack & Jones (1996) hebben een vijfstappenplan voorgesteld voor het invoeren van “lean production”. In de eerste stap wordt gedefinieerd wat waarde is volgens de perceptie van de klant. Hiermee wordt in de tweede stap de VSM gemaakt. Tijdens het maken van de VSM wordt gekeken naar opvallendheden en of deze te herleiden zijn tot één van de zeven eerder genoemde verspillingen. In de derde stap is het belangrijk om “flow” te creëren in het productieproces zodat de stroom van het product niet onderbroken wordt of moet wachten op verspillingen. Vervolgens wordt ook de aansturing van het productieproces bekeken in de vierde stap. Hiervoor zijn twee principes: push en pull. Beide principes verschillen in de wijze waarop producten het proces in worden gestuurd. Een push principe plant producten in op basis van de vraag en duwt een product het proces in zodra een plek vrijkomt. Daarentegen kijkt een pull principe naar de status van het proces en stuurt producten het proces in zodra daar om wordt gevraagd. Een productieproces kan ook door beide principes aangestuurd worden; in dat geval is sprake van een push-pull interface. Hierbij worden de strategische voordelen van pull systemen gecombineerd met het klantgerichte karakter van push systemen (Hopp & Spearman, 2001, p.340, 2001). In de vijfde stap begeeft de organisatie zich in een cirkel van continue verbetering. Door een betere “flow” van producten worden nieuwe verspillingen ontdekt die zorgen voor aanpassingen in het proces, enzovoorts. Bijlage B beschrijft de vijf stappen evenals de voordelen van pull systemen meer gedetailleerd.

2.2.2 Het meten van een productieproces

Werkmeting is een techniek om de tijd vast te stellen die een gekwalificeerde werknemer nodig heeft om een bepaalde bewerking uit te voeren, de zogenaamde basistijd. Om basistijden te bepalen is een tijdsstudie een bruikbare methode (Reid & Sanders, 2002, p.328-331). De tijdsstudie bestaat uit zes stappen. Na het kiezen van de te meten bewerking en de werknemer hierover te informeren wordt in de derde stap de bewerking in meetbare elementen verdeeld. Deze elementen hebben een duidelijk start- en eindpunt. In stap vier wordt het aantal uit te voeren metingen (n) bepaald. Hiervoor is het nodig metingen uit te voeren om een startpositie te hebben. Dit aantal is met de volgende formule te bepalen:

z = benodigde standaarddeviatie om gewenste betrouwbaarheid te halen
(bij 90% betrouwbaarheid is z gelijk aan 1,65)

a = gewenste precisie (bij 90% betrouwbaarheid is a gelijk aan 0,1)

s = standaarddeviatie van de metingen

$\bar{x}$ = gemiddelde van de metingen

$$n = \left[\left(\frac{z}{a} \right) \cdot \left(\frac{s}{\bar{x}} \right) \right]^{-2}$$

Vervolgens worden de metingen uitgevoerd, en in de laatste stap volgt hier de basistijd uit.

2.3 Analyseren van een productieproces

De beschrijving van het productieproces uit paragraaf 2.2 is vooral in kwalitatieve zin. Om de metingen in het productieproces te gebruiken voor nadere analyse wordt gebruik gemaakt van theorieën uit 'factory physics'. Dit is een systematische omschrijving van de wijze waarop een productieproces verloopt waarbij naast kwalitatieve onderwerpen ook kwantitatieve zaken aanbod komen (Hopp & Spearman, 2001, p.1-10).

Het doel van het onderzoek is het verhogen van de output. Er zijn verschillende factoren die een verhoging van de output belemmeren (Hopp & Spearman, 2001, p.270-273):

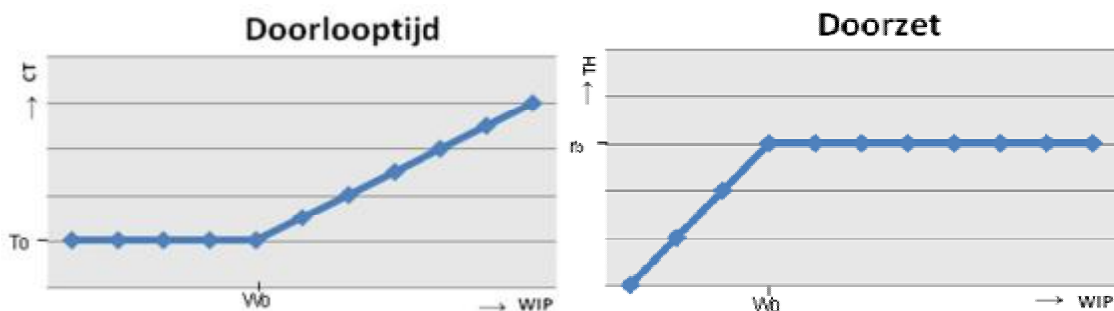
- Een te lange doorlooptijd per product waardoor minder producten per dag geproduceerd kunnen worden
- Een te lage bottleneck rate (r_b) waardoor niet meer producten gemaakt kunnen worden dan de snelheid van de bottleneck machine
- Een te lage bezetting van de bottleneck machine zorgt ervoor dat de belemmerende machine niet optimaal wordt benut en dus nog minder output kan genereren

In bijlage C is een overzicht gegeven van de hoe de drie bovengenoemde factoren opgelost of verminderd kunnen worden. Doorlooptijd kan bijvoorbeeld gereduceerd worden door de bewerkingstijd te verlagen of de wachttijd te reduceren.

De bovengrens voor de output in een productieproces is de snelheid waarmee het bottleneck proces kan produceren. Indien meer werk het proces in wordt gestuurd dan de capaciteit toelaat leidt dit tot onstabiliteit in het proces. De doorlooptijd (CT) van een product is de tijd dat het product onderhanden werk (WIP) is. Onderhanden werk zijn alle voorraden (producten) tussen het startpunt en het eindpunt van het productieproces zonder grondstoffen en gereede producten. Naast bewerkingstijd bestaat doorlooptijd uit wachttijd, tijd voor transport en tijd voor pauze. Indien bij de bewerkingstijd rekening is gehouden met onder andere uitval en omstellen van machines spreekt men van de effectieve bewerkingstijd (t_e), anders van natuurlijke bewerkingstijd (t_0). De effectieve bewerkingstijd, t_e , wordt als volgt berekend: $t_e = t_0 / A$, waarbij A gelijk is aan de beschikbaarheid van machines. Het WIP niveau bepaalt de mate waarin bottlenecks problemen veroorzaken. De impact van WIP op de CT en TH kan worden beschreven met de Formule van Little: $WIP = TH * CT$ (Little, 1961).

2.3.1 Doorlooptijd en output als functie van onderhanden werk

Een optimaal WIP niveau (W_0) ontstaat wanneer geen wachttijden in het proces voorkomen en de resources zo veel mogelijk worden gebruikt. In dit geval is de doorlooptijd (CT) minimaal en gelijk aan de kale bewerkingstijden in de verschillende werkstations (t_0) (plus noodzakelijk intern transport). Maximale bezetting van de resources wordt bereikt wanneer de output (TH) maximaal is. In dat geval is de output (TH) gelijk aan de hoeveelheid producten die het werkstation met de langzaamste bewerkingstijd over een lange termijn kan uitvoeren, de bottleneck rate r_b .



Figuur 2.2 Doorlooptijd en output als functie van onderhanden werk (uit Hopp & Spearman, 2001, p.223-224)

Om de prestatie van het productieproces te beoordelen kan de volgende formule gebruikt worden: $W_0 = r_b \cdot T_0$. De doorlooptijd stijgt wanneer het onderhanden werk meer is dan W_0 ; als gevolg van drukte in het proces. Producten moeten op elkaar wachten waardoor de wachttijd verhoogd en de doorlooptijd langer wordt. Met betrekking tot de output zorgt een verhoging van het onderhanden werk voor een verhoging van de output tot de bottleneck rate wordt bereikt, zie figuur 2.2 (Hopp & Spearman, 2001, p.223-224).

2.3.2 Variabiliteit in het productieproces

Variabiliteit geeft de mate van spreiding weer in een bepaalde bewerking. Variabiliteit kan ontstaan door verschillende factoren, de meest voorkomende zijn (Hopp & Spearman, 2001, p.255-261):

1. Natuurlijke variabiliteit waarbij de bewerkingstijd varieert door verschillen in werknemers, machines en materiaal,
2. Random defecten door storing of mankementen van machines en materiaal,
3. Omstellingen van machines en materiaal,
4. Beschikbaarheid van de werknemer en
5. Recycling.

De effectieve bewerkingstijd (t_e) van een product is vaak een klein deel van de totale doorlooptijd (CT) van een product. Het merendeel van de tijd wordt gespendeerd aan wachten (CT_q), dit wordt als volgt in een formule weergegeven: $CT = CT_q + t_e$ (Hopp & Spearman, 2001, p.270-273). Wachttijdtheorie is bruikbaar bij het verklaren van de oorzaken van het wachten. Kingman heeft een formule ontwikkeld voor het beschrijven van de wachttijd (Kingman, 1961). Tabel 2.3 beschrijft de benodigde variabelen. Deze variabelen vormen samen de formule zoals weergegeven.

Variabele	Betekenis
c_a^2	Variantiecoëfficiënt van de tussenaankomsttijd bij werkstation
c_e^2	Variantiecoëfficiënt van de effectieve bewerkingstijd
u	Bezettingsgraad; gedefinieerd als de fractie tijd waarin het werkstation niet leeg is
m	Aantal parallelle machines
t_e	Effectieve bewerkingstijd

$$CT_q = \underbrace{\left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right)}_V \cdot \underbrace{\left(\frac{u^{\sqrt{2(m+1)}-1}}{m(1-u)} \right)}_U \cdot \underbrace{t_e}_T$$

Tabel 2.3 Legenda voor gebruikte variabelen

Deze zogenaamde VUT-formule bestaat uit drie factoren.

- de variabiliteit (V)
- de bezettingsgraad van het station (U)
- de effectieve bewerkingstijd (T)

Bovenstaande formule is van toepassing op systemen met m parallelle machines. Voor systemen met één machine ($m = 1$) vereenvoudigt de tweede term naar $U = \frac{u}{1-u}$. De effectieve bewerkingstijd is de tijd die aan het product wordt gewerkt inclusief storingsen, omstellingen van machines en batching van producten. Variabiliteit is te kwantificeren door de variantiecoëfficiënt (afgekort tot CV) te bepalen; deze is gelijk aan de standaarddeviatie als deel van de bewerkingstijd. Indien CV lager is dan 0,75 spreekt men van een lage variabiliteit (LV). Een CV tussen de 0,75 en 1,33 is middelmatig (MV) en een CV groter dan 1,33 geeft een hoge mate van variabiliteit (HV) (Hopp & Spearman, 2001, p.270).

Indien batchen plaatsvindt, verhoogt wachttijd voor het product omdat eerst gewacht moet worden tot de batch is gecreëerd, en vervolgens tijdens de bewerking gewacht moet tot aan het product gewerkt wordt (Hopp & Spearman, 2001, p.309-310). Daarentegen reduceert de omsteltijd per product wat de totale doorlooptijd door te batchen toch kan verlagen. Tevens vermindert de variabiliteit in bewerkingstijd doordat meerdere processen achter elkaar worden uitgevoerd, dit staat bekend als 'variability pooling' (Hopp & Spearman, 2001, p.280). De extra wachttijd per product moet opwegen tegen de verlaging van de doorlooptijd indien het product apart zou zijn bewerkt.

2.4 Aansturing van een productieproces

Er zijn drie hiërarchische managementniveaus: strategisch, tactisch en operationeel. Dit onderzoek richt zich op operationeel management. Tevens zijn er drie managementgebieden: technologische planning, resource capaciteitsplanning en materiaalcoördinatie. Tabel 2.4 presenteert het raamwerk dat volgt uit de managementniveaus en managementgebieden.

Omdat technologische planning en resource capaciteitsplanning op tactisch niveau niet direct tot het onderzoek behoren maar de dagelijkse gang van zaken wel beïnvloeden op operationeel gebied wordt de invloed hiervan meegenomen in het onderzoek maar blijft de precieze werking buiten beschouwing. Materiaalcoördinatie behoort niet tot het onderzoek omdat de nadruk hierbij ligt op voorraadbeheer en materiaaluitgifte. Deze onderwerpen worden op dit moment door de Logistiek manager onder handen genomen bij het opzetten van de afdeling Logistiek. Micro procesplanning en shop Floor control behoren tot het onderzoek.

	Technologische planning	Resource capaciteitsplanning	Materiaalcoördinatie
Strategisch	R&D, product ontwerp, marketing	Vraagvoorspelling, geaggregeerde planning	Warehousing, voorraad, supply chain ontwerp
Tactisch	Engineering, macro procesplanning	Orderacceptatie, leverdatum bepaling	Inkoop
		Capaciteitsbelasting van resources	
Operationeel	Micro procesplanning	Shop floor control	Order picking, batching, expeditie, materiaal uitgifte

Tabel 2.4 Raamwerk voor productieplanning en -beheersing in MTO omgeving (Bron: Hans et al., 2003)

Tijdens het plannen op tactisch niveau door de afdeling Werkvoorbereiding wordt de hoeveelheid werk (aantal producten) en aantal benodigde resources (machines, mensen) bepaald. Op operationeel niveau zijn de hoeveelheid werk en aantal resources gegeven en is er bijna geen flexibiliteit in capaciteit. Men kan alleen nog schuiven met de planning in tijd (Wullink, G. *et al.*, 2003). Omdat de planning elke dag gehaald moet worden is er bijna geen mogelijkheid om te schuiven in tijd (over dagen; wel is werken in overuren beperkt toegestaan). Bij Voorbij Prefab Beton heeft de productie leider de bevoegdheid om extra personeel in te zetten en daarmee de dagelijkse productie te halen met zo min mogelijk overuren.

Om de geplande productie te realiseren met enerzijds een zo kort mogelijke doorlooptijd per product en anderzijds zo min mogelijk manuren is het belangrijk om een goede dagelijkse planning zo in te richten dat beide doelen worden nagestreefd. Hierbij spelen de prioriteitsregels die gebruikt worden om de producten naar de werkstations te sturen een belangrijke rol. Afhankelijk van de configuratie van de werkstations en het doel dat nagestreefd wordt zijn er verschillende prioriteitsregels bruikbaar.

2.4.1 Prioriteitsregels

Een prioriteitsregel is een regel die producten die een bewerking moeten ondergaan op een machine een prioriteit meegeeft zodat de machine weet welk product als eerste bewerkt moet worden wanneer de machine vrij komt. Omdat de eerste twee bewerkingen die producten ondergaan in het

productieproces meerdere parallelle posities hebben wordt alleen gekeken naar prioriteitsregels die gerelateerd zijn aan parallelle machine problemen.

Bij prioriteitsregels is onderscheidt te maken tussen statische en dynamische regels. Een statische regel is een prioriteitsregel die niet tijdsafhankelijk is. Wanneer de tijd wel een rol speelt is de regel dynamisch (Pinedo, 2005, p.414). Van dynamische regels is in verschillende onderzoeken aangetoond dat zij betere resultaten geven dan statische regels omdat de status van het productieproces continue wordt bekeken en op basis daarvan beslissingen worden genomen (Chan *et al.*, 2003; Jeong & Kim 1998; Kim, 1990).

Afhankelijk van het doel van de planning en de configuratie van de werkstations zijn er verschillende regels die leiden tot oplossingen die een planning genereren die voldoet aan het gewenste doel. Veelal wordt gestuurd op het minimaliseren van de gemiddelde doorlooptijd, het minimaliseren van de maximale lateness, het minimaliseren van de gemiddelde tardiness of het minimaliseren van de makespan (Hopp & Spearman, 2001, p.492). Bij het maximaliseren van de output staan het verstandig gebruik maken van de beschikbare capaciteit en het reduceren van de doorlooptijd centraal. Doorlooptijdverkorting is gewenst omdat het de tijd die nodig is om alle tafels op een dag te produceren verkort, ook minimaliseren van de maximale makespan. Bij Voorbij Prefab Beton is dit vereist omdat de geplande dagproductie af moet. Productie kan niet verschoven worden naar de volgende dag omdat anders problemen ontstaan bij het afvoeren van producten.

Een procedure voor het minimaliseren van de maximale makespan bij job shops is de Shifting Bottleneck Heuristiek (SBH) (Adams *et al.*, 1988; Pinedo, 2005, p.87-93). In complexe job shops blijkt dat de SBH goede plannings afgeeft maar daarvoor meer tijd nodig heeft dan eenvoudiger prioriteitsregels (Mason *et al.*, 2005). In werkelijkheid zijn extra factoren aanwezig waardoor een uitbreiding van de SBH gewenst is. Schutten (1998) beschrijft diverse uitbreidingen van de SBH waarbij rekening wordt gehouden met factoren uit de praktijk zoals transporttijd. Ook is onderzoek verricht naar het inplannen van flexible flow lines (Quadt & Kuhn, 2007; Kurz & Askin, 2003; Sawik, 1995; Wittrock, 1985). Het Flexible Flow Line Loading (FFLL) algoritme minimaliseert de doorlooptijd van de minimale subset aan producten (een groep die alle producttypen tenminste één keer bevat, MPS). Het algoritme bestaat uit drie fasen: (1) Toewijzen van jobs aan machines, (2) Bepalen van volgorde van jobs in de MPS volgens Dynamic Balancing en (3) Minimaliseren van de doorlooptijd per MPS (Wittrock, 1985; Wittrock, 1988, Pinedo, 2005, p.127-132).

Ondanks dat de SBH en FFFL intuïtief goed te volgen zijn is het implementeren ervan vele malen complexer. Er zijn er ook prioriteitsregels die eenvoudig geïmplementeerd kunnen worden en intuïtief goed te volgen zijn. Dit zijn regels die bijvoorbeeld alleen kijken naar de bewerkingstijd of de due date van een product, zoals de shortest processing time first (SPT), longest processing time first (LPT) of de earliest due date first (EDD). Of regels die kijken naar de aankomstvolgorde van producten zoals First come First served (FCFS) of RANDOM doorsturen van producten. Wanneer het doel is de werklust per machine te verdelen om zo de makespan te minimaliseren geeft de longest processing time first (LPT) goede resultaten bij parallelle machines. Kortdurende producten worden op het einde ingepland om zo de werklust per machine uit te vlakken. De gevonden oplossing ligt binnen 33% van de optimale oplossing (Pinedo, 2005, p.82-84). De SPT regel plant producten geeft de kortste bewerkingstijd de hoogste prioriteit zodat deze het proces snel kunnen verlaten en opstopping wordt voorkomen (Hopp & Spearman, 2001, p.492). Veelal verkort de gemiddelde tijd dat producten in het proces zijn en verhoogt de bezettingsgraad van machines (Hopp & Spearman, 2001, p.141). Indien de producten beschikbaar zijn op tijdstip $t=0$ dan wordt de totale doorlooptijd geminimaliseerd door toepassing van de SPT regel (Pinedo, 2005, p.82-84). Blackstone (1982) refereert in zijn artikel naar een onderzoek van Hogg, *et al.* (1973) waarbij SPT een lagere gemiddelde wachttijd en een lagere gemiddelde doorlooptijd oplevert dan FCFS en RANDOM regels in een situatie waarbij parallelle werkstation door homogene werknemers worden bediend. Problemen kunnen ontstaan wanneer producten erg lange bewerkingen hebben. Ondanks dat de SPT regel redelijke resultaten geeft voor de gemiddelde due date is de mate van te laat zijn (lateness) wel groot.

2.5 Rangschikken van problemen

2.5.1 Ishikawa diagram en 5Why

Om problemen overzichtelijk te presenteren en de oorzaken en gevolgen van de problemen in kaart te brengen wordt gebruikt gemaakt van het Ishikawa diagram in combinatie met de 5Why techniek. Met een Ishikawa diagram worden primaire en secundaire oorzaken overzichtelijk weergegeven aan de hand van 5 veel gebruikte factoren (Ishikawa, 1985; Slack *et al.*, 1998, p.703-706; Reid & Sanders, 2002, p.122-125): Management, Methode (Proces), Machines, Materialen en Mensen (Personeel). Aan de rechterkant van het Ishikawa diagram staat het kwaliteitsprobleem vermeldt. Vervolgens wordt de 5 Why techniek gebruikt waarbij vijf keer de vraag “maar waarom dan?” wordt gesteld om de eigenlijke oorzaak van het probleem te bepalen (Ishikawa, 1985; Slack *et al.*, 1998). Beide technieken zijn kwalitatief van aard.

2.5.2 FMEA

Om de problemen te kwantificeren wordt gebruik gemaakt van de gedachtegang van Failure Modes Effect Analysis (FMEA) (Leitch, 1995). Hierbij wordt gekeken naar de impact van fouten en problemen op het gebied van componenten, bijvoorbeeld motoronderdelen, op de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van het groter geheel, bijvoorbeeld een motor. De methode vermenigvuldigd drie factoren waarmee de kritieke waarde van elk probleem wordt bepaald.

- De failure mode ratio: geeft aan hoe vaak deze fout voorkomt wanneer de component uitvalt
- Failure rate of the component: frequentie waarmee de component uitvalt
- Severity level geeft aan hoe vaak het probleem tot problemen op systeemniveau leidt. Een hogere waarde impliceert een ernstiger situatie (bijvoorbeeld kans op dodelijke afloop)

Hoge waarden voor de kritieke factor duiden gebieden aan om nader onderzoek naar te verrichten. Deze methode komt uit de systeembetrouwbaarheid maar kan in aangepaste versie ook gebruikt worden in andere vakgebieden (e.g. Lindahl, 1999). Voor het productieproces bij Voorbij Prefab Beton zijn de drie factoren omgewerkt naar:

- Mate waarin het probleem op te sporen valt (Zichtbaarheid)
- Aantal keren dat het probleem voorkomt (Frequentie)
- Mate waarin de volgende bewerkingsstap last ondervindt van het probleem (Ernstigheid)

Vermenigvuldiging van deze drie factoren leidt tot de kritieke waarde waarbij een hogere waarde een ernstiger probleem aangeeft.

2.5.3 Workshop

Een workshop is een bruikbaar middel om gedurende een sessie met een aantal personen één of meerdere onderwerpen ter discussie te stellen. Dit is geverifieerd door een aantal praktijkvoorbeelden te analyseren die gevonden zijn via internet. Afhankelijk van het doel van de workshop kan gewerkt worden naar een oplossing voor een probleem, het definiëren van een probleem, het bespreken van ontwikkelingen in een bepaalde sector, brainstormen over nieuwe mogelijkheden, of het toelichten van een onderzoek waarbij ruimte is voor interactie.

Uit verschillende praktijk voorbeelden die online zijn gevonden blijkt dat het bij een workshop belangrijk is om een gedegen stappenplan te hanteren. Dit zorgt voor een duidelijke structuur van de sessie zodat de vooraf gestelde doelen worden bereikt. De eerste stap is het inleiden van het onderwerp en het stellen van de te bereiken doelen. Na het bespreken en bediscussiëren van het onderwerp leidt dit tot nieuwe inzichten. Deze inzichten kunnen gebruikt worden voor bijvoorbeeld verder onderzoek. Bij Voorbij Prefab Beton wordt gestreefd naar het bespreken van problemen om vervolgens deze problemen te rangschikken in mate van belangrijkheid. Dit gaat gepaard met de techniek die is beschreven in paragraaf 2.5.2. Gedurende de workshop worden de scoringswaarden voor de drie factoren bepaald.

2.6 Ontwerpen van oplossingsrichtingen

2.6.1 Simulatie

Verschillende onderzoeken tonen aan dat een simulatiemodel nuttig is om een beeld te krijgen van de impact van verschillende oplossingsrichtingen uit “lean production” op de werking van het productieproces (Abdulmalek & Rajgopal, 2007; MacDonald, van Aken & Rentes, 2002; Detty & Yingling, 2000, Hendricks & McClain, 1993).

Shannon (1975) beschrijft simulatie als het proces van het ontwerpen van een model van het systeem and daarmee experimenten met als doel of het begrijpen van het gedrag van het systeem of het evalueren van de impact van diverse strategieën op het verlopen van het proces. Alternatieven zijn het uitvoeren van experimenten of het gebruiken van analytische modellen. Experimenten zijn echter vaak prijzig en kosten vaak veel tijd voordat de uitwerkingen ervan zichtbaar worden. Analytische modellen zijn veel sneller dan simulaties maar de werkelijkheid is vaak complexer (zoals dynamische effecten, interacties tussen random effecten en ingewikkelde kansdichtheidfuncties) (Law & Kelton, 2007, p.1-3).

Het opstellen van een simulatie bestaat uit 10 stappen (Law & Kelton, 2007, p. 66-70). Samengevat bevat het drie hoofdstappen. Eerst wordt het probleem gedefinieerd. In de tweede stap wordt het model ontworpen. Daarbij komen de gewenste specificaties aan bod die op papier worden uitgewerkt met behulp van stroomdiagrammen. Het ‘papier model’ wordt omgezet in een computer model door het te implementeren en vervolgens wordt het gevalideerd op juistheid. In de derde hoofdstap wordt het experimentele ontwerp uitgevoerd en worden de resultaten geanalyseerd. Voor het experimentele ontwerp wordt voorafgaand aan het runnen van de simulatie bepaald welke configuraties gesimuleerd moeten worden zodat de gewenste informatie wordt verkregen: - welke factoren moeten gevarieerd worden, - wat worden de eenheden waarin de factoren gevarieerd worden en – welke combinaties van factoren worden gesimuleerd (Law & Kelton, 2007, p.619-636)

2.6.2 Verandermanagement

Het verschil tussen de situatie die gewenst wordt door het management van Voorbij Prefab Beton en de huidige situatie wordt een “performance gap” genoemd. In deze situatie is er een behoefte om te veranderen (Daft, 1997, p.384). Door het invoeren van “lean production” en overige aanbevelingen verandert de organisatie. Dit heeft zowel organisatorische als individuele veranderingen tot gevolg. Naast een andere werkwijze en andere inrichting van het proces verandert ook de cultuur, de houdingen en opvattingen van werknemers.

Veranderingen in organisaties kunnen op vijf gebieden plaatsvinden: strategisch, technologisch, productniveau, structureel en cultuur. Binnen Voorbij Prefab Beton is sprake van een technologische verandering omdat het productieproces onder handen wordt genomen. Tevens wordt de wijze waarop de organisatie wordt aangestuurd onder handen genomen waardoor sprake is van een structurele verandering. Omdat ook het gedrag, de houdingen en waarden van werknemers ter sprake komen is ook sprake van een cultuurverandering (Leavitt, 1964). Twee factoren bepalen in welke mate werknemers geëngageerd zijn aan de verandering (Daft, 2004, p.425):

- De mate waarin de verandering wordt ondersteund door hoger management;
- De verstreken tijd vanaf het moment dat de verandering is ingezet.

In de voorbereidende fase nemen werknemers kennis van de ophanden zijnde verandering. Vervolgens leidt dit tot begrip en de keuze om het in te voeren in de acceptatiefase. Uiteindelijk wordt in de laatste fase de verandering geïmplementeerd en raakt ingebed in de dagelijkse gang van zaken.

Om ervoor te zorgen dat de organisatorische veranderingen succesvol doorgevoerd worden zijn twee manieren van aanpak te onderscheiden. De ontwerpbenadering waarbij van tevoren bekend is wat de gewenste situatie is en de ontwikkelbenadering waarbij gezamenlijk wordt gezocht naar een oplossing (Alblas & Wijsman, p.383-384). Kotter & Schlesinger (1979) beschrijven implementatietactieken waarvan is gebleken dat deze succesvol zijn bij het implementeren van veranderingen:

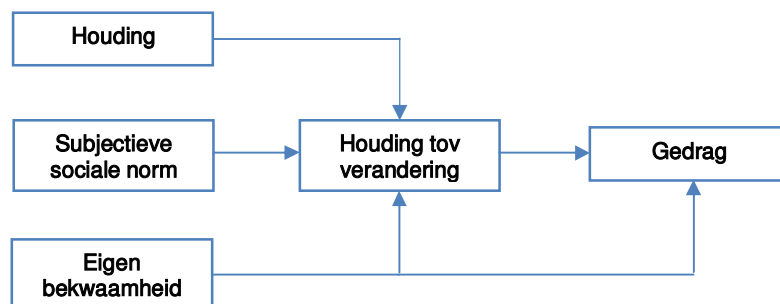
- Communicatie en educatie wanneer een verandering technologisch van aard is;
- Participatie van werknemers om weerstand te verminderen;
- Onderhandelingen wanneer de werknemers in staat zijn de verandering te dwarsbomen;
- Dwang uitoefenen bij crises of als andere implementatietechnieken niet bleken te werken;
- Steun van topmanagement zodat de echtheid van de verandering niet in twijfel wordt getrokken.

Daft (2004, p. 426-428) beschrijft technieken die vooral verder ingaan op de wijze waarop topmanagement de verandering kan ondersteunen (Womack & Jones, H15; Drew *et al.*, 2004, Daft, 1997, p.394-395; Rother & Shook, p.96-99):

- Creëer het gevoel dat de verandering belangrijk is voor de organisatie;
- Creëer een team die de verandering gaat leiden;
- Creëer een visie en een strategie voor de verandering;

Ondanks een gestructureerde aanpak van de geplande organisatieverandering blijkt dat er vaak belemmeringen zijn die het veranderproces tegenwerken. Deze belemmeringen kunnen zowel een organisatorische als een individuele oorzaak hebben. Onder organisatorische belemmeringen vallen een onduidelijk kader over de geplande verandering (wat is het doel, wat is de planning), het gebrek aan middelen of het gelijktijdig uitvoeren van meerdere veranderingen. Met behulp van een Force Field Analysis kan in kaart gebracht worden waar in het proces factoren zijn die de verandering tegenwerken of juist ondersteunen (Daft, 1997, p. 392-393).

Deze belemmeringen leiden vaak tot weerstand bij werknemers omdat zij de verandering als bedreigend of nadelig ervaren. Zij zien de noodzaak van de verandering niet, hebben praktische bezwaren, het doorbreekt de gewoontes, het bedreigt de bestaande verhoudingen, er is angst voor het onbekende of het brengt economische nadelen met zich mee. Er zijn drie factoren die de houding ten opzichte van de verandering in meer of mindere mate bepalen afhankelijk van het type verandering en de bestaande cultuur in de organisatie: de houding, de subjectieve sociale norm en de waargenomen eigen bekwaamheid (Alblas & Wijsman, p.392-395, Shingo, 1981, p.80), zie figuur 2.5.



Figuur 2.5 Theorie van gepland gedrag (ontleend aan Ajzen, 1991 door Alblas en Wijsman, 2005)

2.7 Interviewtechnieken

Om meer inzicht te krijgen in de wijze waarop het productieproces wordt aangestuurd en de werkwijze in het proces worden diverse personen geïnterviewd. Hierbij wordt voornamelijk gebruik gemaakt van informele en “spontane” interviews. In de organisatie zijn veel medewerkers terughoudend met betrekking tot het geven van informatie. Zij vrezen dat wat zij zeggen later tegen hen gebruikt gaat worden. Door de terughoudendheid is het lastig tijdens een formeel gesprek informatie te verkrijgen. Met het stellen van spontane open vragen wordt verwacht dat men niet het gevoel krijgt bij een interview betrokken te zijn en dus ongemerkt meewerkt aan het geven van informatie (Verschuur & Doorewaard, 1998).

Er wordt voornamelijk gebruik gemaakt van open vragen zodat de geïnterviewde ruimte heeft om zijn antwoord te formuleren en toe te lichten. Daarnaast worden ook gesloten vragen gebruikt om een gericht antwoord te krijgen en lange uitleg te voorkomen. Om de geïnterviewde te stimuleren zijn verhaal te vertellen is het belangrijk actief te luisteren. Door actief te luisteren wordt een sfeer gecreëerd van vertrouwen waardoor de geïnterviewde bereid is informatie te verschaffen. Een dergelijke sfeer wordt gecreëerd door verbale en non-verbale reacties zoals doorvragen en meeknikken met antwoorden (Verschuur & Doorewaard, 1998).

Doordat tijdens de interviews geen duidelijke vragenlijst gehanteerd wordt is de verkregen informatie veelzijdig. Om de verkregen informatie te kunnen vergelijken is voorafgaand aan de interviews een lijst opgesteld waarop een aantal onderwerpen staan beschreven die gaandeweg tijdens het gesprek behandeld moeten worden. Hiervan is de geïnterviewde niet op de hoogte. Op basis van de onderwerpen worden interviews naderhand.

In dit hoofdstuk is besproken hoe het productieproces in kaart gebracht en geanalyseerd moet worden. Tevens is de wijze waarop metingen uitgevoerd moeten worden toegelicht. Vanuit de gedachtegang van “lean production” worden verspillingen geïdentificeerd en gekwantificeerd. Methodes om problemen te rangschikken komen in hoofdstuk 5 aanbod. Verandermanagement wordt in de aanbevelingen gebruikt om duidelijkheid te geven over hoe de organisatie om moet gaan met veranderingen in haar werkproces en hoe dit de menselijke factor beïnvloedt. In hoofdstuk 3 wordt een value stream map gemaakt om de huidige situatie in kaart te brengen. Tevens komen hier de verspillingen aan bod die geïdentificeerd zijn gedurende het meten en bestuderen van het proces.

3 Van mal tot element

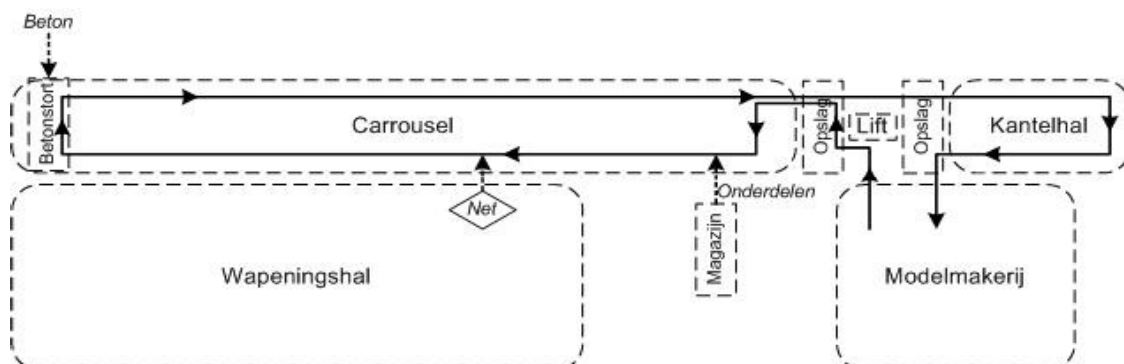
3.1 Inleiding

In paragraaf 1.2 is de organisatie kort beschreven. Om een beter beeld te krijgen hoe geprefabriceerde elementen worden gemaakt, beschrijft dit hoofdstuk het productieproces in meer detail. Tevens is gekeken waar in het proces mogelijkheden zijn om een betere door "flow" van het product te realiseren. Paragraaf 3.2 beschrijft welke afdelingen betrokken zijn bij het produceren van geprefabriceerde elementen en geeft de relaties tussen de afdelingen weer. In paragraaf 3.3 komt aan bod hoe het productieproces verloopt; welke bewerkingen de producten ondergaan. Met kennis van de huidige werkwijze is in paragraaf 3.4 het productieproces weergegeven in een value stream map. Deze methode wordt in "lean production" gebruikt om de actoren die betrokken zijn bij het productieproces overzichtelijk in kaart te brengen en om verspillingen en andere opvallendheden in het proces te identificeren. De laatste paragraaf, paragraaf 3.5, behandelt de gevonden verspillingen en opvallendheden die voortkomen uit de value stream map.

3.2 Zes afdelingen, één product

Om het productieproces te begrijpen is het van belang de rollen van de verschillende betrokken afdelingen in het proces te begrijpen. Figuur 3.1 geeft een overzicht van het productieproces. Geprefabriceerde elementen worden niet op één afdeling gemaakt, hier zijn zes (interne) afdelingen bij betrokken.

- *Modelmakerij.* In deze afdeling wordt handmatig de houten bekisting in elkaar getimmerd. Naast het zogenaamde opbouwen van een mal worden hier ook grote ombouwen uitgevoerd. Een grote ombouw is een ombouw die meer dan 1,5 uur in beslag neemt.
- *Magazijn.* Per element worden de benodigde onderdelen op maat gemaakt volgens de tekening en in een aparte bak gelegd. Onderdelen zijn bijvoorbeeld: gaines (buizen waar later bedrading voor elektra door loopt), elektradozen, instort- en hijsvoorzieningen.
- *Wapeningshal.* In deze afdeling worden stalen netten (wapening) gemaakt voor in de bekisting. Wapening dient als versteviging van het beton. Afhankelijk van de grootte van het net gebeurt dit handmatig of (deels) met een machine.
- *Betonmolen.* 'De molen' levert beton volgens een vooraf doorgegeven receptuur. De persoon die de bestelling plaatst, geeft door welk tafelnummer aan de beurt is. De molenbaas weet welk recept en hoeveel hiervoor nodig is (minimaal 0,5m³ per mengsel). Het beton gaat met een stortmachine naar de carrousel. Deze stortmachine hangt aan een baan die rechtstreeks met de betonmolen is verbonden en kan maximaal 2,5m³ vervoeren.
- *Carrousel.* In de carrousel worden vijf processen uitgevoerd: gereedmaken, inbinden, stortklaarmelden, storten en afwerken. Paragraaf 3.3 beschrijft de verschillende processen in meer



Figuur 3.1 Overzicht betrokken afdelingen bij productie geprefabriceerde elementen van bovenaf gezien

detail. Omdat voor alle producten dezelfde volgorde van bewerkingen geldt, spreekt men van een flexible flow shop (Pinedo, 2005, p.23). De bewerkingstijd per product verschilt per werkstation.

- *Kantelhal*. Het uitgeharde element wordt in deze afdeling uit de mal verwijderd en op een lorrie geplaatst om naar de buitenopslag te gaan. Een lorrie is een platte wagen met ruimte voor 4-6 elementen die verbonden is met de buitenopslag via rails.

Om de elementen uit te kunnen wisselen tussen de afdelingen wordt de bekisting op een tafel van 4 bij 8 meter gemaakt. Het gebruik van tafels vereenvoudigt de uitwisseling van elementen tussen afdelingen aangezien de afdelingen fysiek gescheiden zijn. Binnen een afdeling worden de tafels met automatisch aangestuurde aandrijfwielen en een platte wagen getransporteerd. Tussen de afdelingen wordt hiervoor een lift gebruikt.

Het gebruik van tafels heeft als gevolg dat niet alle producten in de carroussel geproduceerd kunnen worden. De maximale afmetingen van geprefabriceerde elementen zijn 7,7 bij 3,7 bij 0,95 meter ($l \times b \times h$) omdat minimaal 30 centimeter nodig is voor het plaatsen van bekisting.

De modelmakerij, het magazijn, het molenhuis en de wapeningshal leveren ook producten aan andere afdelingen dan de carroussel. In de andere afdelingen worden geprefabriceerde elementen gemaakt die niet passen op de tafels uit de carroussel. Deze afdelingen vallen buiten de grenzen van het onderzoek.

3.3 Het productieproces van geprefabriceerde elementen

Nu de rol van de verschillende afdelingen duidelijk is licht deze paragraaf de huidige werkwijze voor het vervaardigen van geprefabriceerde elementen toe. Bij het analyseren van het productieproces wordt gebruik gemaakt van een value stream map (VSM). Het doel van een VSM is in kaart brengen van de verspillingen in het proces om deze vervolgens te elimineren. Bij het opstellen van een VSM wordt naar het productieproces gekeken vanuit het perspectief van de klant. Bij Voorbij Prefab Beton is waarde volgens de klant: *het product ontvangen volgens de vooraf doorgegeven specificaties, binnen de gestelde levertijd, zonder beschadigingen, van de juiste kwaliteit en voor de juiste prijs*.

Ter illustratie van de beschrijving van het productieproces is in bijlage D een aantal foto's geplaatst. Deze foto's corresponderen met onderstaande paragrafen.

3.3.1 Het opbouwen van de mal

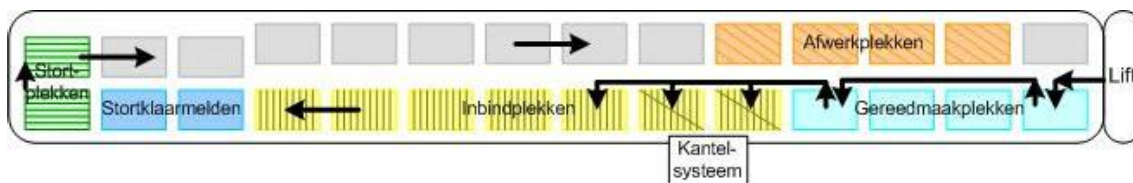
Zodra de vormtekening is goedgekeurd door de aannemer start het proces in de *modelmakerij*. Volgens de vormtekening wordt de bekisting op een tafel in elkaar getimmerd door één timmerman. Omdat twee timmermannen de bewerkingstijd niet halveren, maar de bewerkingstijd ongeveer 30% terugdringen, wordt niet meer dan één timmerman per tafel ingezet. Zodra de tafel klaar is wordt deze doorgestuurd naar de volgende afdeling.

3.3.2 Tot en met het uitharden

De volgende hal waar de tafel met de bekisting in terecht komt is de *carroussel*. Hier ondergaat het product de meeste bewerkingen en ontvangt het grootste deel van haar toegevoegde waarde. Een bewerking wordt uitgevoerd op een positie waarop één tafel kan staan. Voor elke bewerking is een groep posities gedefinieerd, zie figuur 3.2.

De eerste bewerking is het gereedmaken van de mal. Eerst worden alle houtdeeltjes uit de mal geveegd zodat het oppervlak glad is. Vervolgens wordt de mal geolied zodat het element niet vast blijft zitten aan de bekisting. Vanuit de lift is het alleen mogelijk de tafels naar de eerste vier posities te sturen, de gereedmaakplekken. Een platte wagen haalt de tafel op bij de lift en rijdt het naar de gewenste positie.

Vervolgens zijn er zeven inbindplekken. Vanaf elke gereedmaakplek kan de tafel doorgestuurd worden naar één van deze zeven posities. Hier wordt met een kraan het wapeningsnet in de mal gelegd waarna instortvoorzieningen en gaines worden ingevlochten.



Figuur 3.2 Aantal posities per bewerkingsstap in de carrousel

Bij de bouw van de carrousel in 2003 werd nog onderscheid gemaakt in twee ‘wapening inlegplekken’ en vijf inbindplekken. Zodra de tafel vertrok bij het gereedmaken werd automatisch het bijbehorende wapeningsnet opgehaald en in de mal gelegd bij aankomst op de ‘inlegplek’. Inlegplekken zijn in figuur 3.2 met een diagonale streep weergegeven. In het verleden werd niet altijd het juiste net gepakt. Dit had meerdere oorzaken: - er zijn meerdere netten van hetzelfde type waardoor de wapeningslift ‘in de war’ raakte, - men gaf niet het juiste netnummer mee aan de tafel, - de wapeningshal had te weinig opslagruimte en er is één wapeningslift beschikbaar om zowel de netten op voorraad te leggen als uit de voorraad te halen waardoor de netten alsnog niet altijd direct beschikbaar waren met opstopping van werk in de carrousel tot gevolg. Sindsdien is geen scheiding meer tussen inleg- en inbindplekken en zijn alle zeven plaatsen voor het inbinden.

De volgende bewerking is stortklaarmelden waar de maatvoering van de mal wordt gecontroleerd en gekeken wordt of er geen rommel en staalrestjes in de mal zijn gevallen tijdens het inbinden. Voor het stortklaarmelden zijn twee posities gereserveerd. De stortklaarmelder kan het stortklaarmelden overal uitvoeren zodra het inbinden is afgerond omdat hij al het benodigde gereedschap in zijn gereedschapsriem heeft. Storten is alleen mogelijk op twee posities door de beperkingen van de stormachine. Na het storten wordt het beton getrild om luchtbellen te verwijderen. De stormachine heeft een capaciteit van 2,5 m³ en kan via 6 kleppen één of meerdere elementen tegelijk vullen. Ongeveer 21% van de elementen heeft een inhoud die groter is dan 2,5 m³ waardoor meerdere ladingen beton nodig zijn.

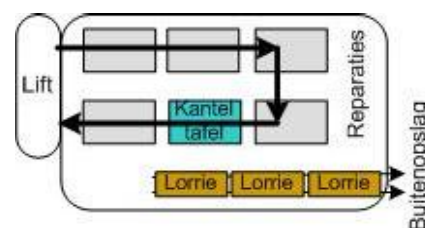
Na het storten van beton wordt het element afgewerkt volgens de afwerkcode opgegeven door de klant. Dit varieert van niet afwerken (code A) tot spiegelglad afwerken (code D) echter zijn de meest voorkomende codes code B en code C. De verschuiving in de bovenste rij posities in figuur 3.2 geeft aan dat deze posities op een verhoging staan. Onder deze verhoging rijdt de platte wagen die zorgt voor verplaatsing van de tafels op de eerste 11 plekken.

Na het afwerken moet het element uitharden. In de liftopslag zijn 48 posities beschikbaar waar de tafels weggezet worden om 12 tot 14 uur uit te harden.

3.3.3 Het ontkisten

Na een halve dag is het element hard genoeg om ontkist te worden in de *kantelhal*. Vanuit de lift komt de tafel op de eerste positie terecht, zie figuur 3.3. Eerst worden de bouten en schroeven losgedraaid om de maldelen los te halen. Kleine elementen worden met zuignappen uit de mal gehaald. Bij grote (wand)elementen is dit niet mogelijk door het gewicht van het element. Hiervoor wordt een kanteltafel gebruikt. Dit systeem kantelt de tafel tot 85° waarna met een kraan het element van de tafel kan worden gehaald. Het element wordt op de lorrie geplaatst. Zodra deze vol is wordt de lorrie naar buiten gereden voor verdere opslag van de elementen.

Afhankelijk van de verwachte ombouwtijd gaat de tafel na het ontkisten of (1) terug naar de modelmakerij voor een *grote ombouw* (meer dan 1,5 uur ombouwen) of het *opbouwen* van een andere bekisting op deze tafel of (2) door naar de carrousel voor hergebruik van de huidige mal met eventueel een kleine aanpassing aan de mal, een *kleine ombouw* (minder dan 1,5 uur ombouwen, bepaald door de productieleider).



Figuur 3.3 Overzicht posities kantelhal

3.3.4 De lift en de liftopslag

De lift regelt de uitwisseling van tafels tussen de modelmakerij, kantelhal en carrousel. Daarnaast reguleert de lift de bijbehorende opslagposities. In de liftopslag zijn 44 opslagposities waar tafels geplaatst kunnen worden. Opslagposities worden gebruikt voor:

- Het uithardingsproces, waarbij de elementen 12 tot 14 uur uitharden
- Het tijdelijk opslaan van tafels die doorgestuurd worden naar een volgende afdeling. Het is softwarematig niet mogelijk om deze tafels direct door te sturen. Er moet altijd eerst een tussenstap plaatsvinden door de tafel in een opslagpositie te zetten.
- Het opslaan van tafels waarvan de bekisting later opnieuw gebruikt wordt. Het kan soms een paar dagen duren voordat een nieuw element op de tafel gemaakt wordt.
- Het opslaan van tafels die niet worden gebruikt. Er zijn 58 tafels beschikbaar maar deze zijn niet altijd allemaal nodig.

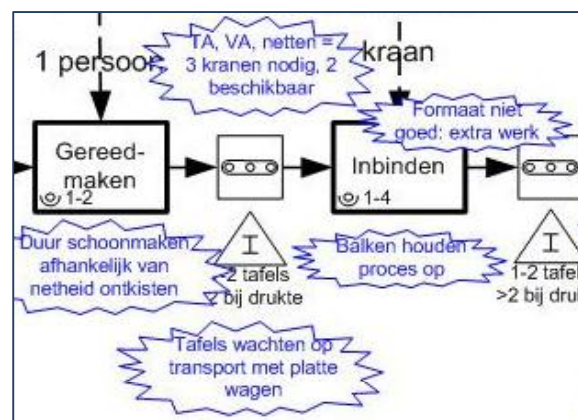
De werking van de lift wordt in dit afstudeeronderzoek niet nader bekeken. De gebruikte prioriteitsregels en productielijsten die bepalen bij welke afdeling als eerste een tafel gebracht of opgehaald wordt zijn als gegeven verondersteld.

De productie wordt aangestuurd door planningen die uitgegeven worden door de afdeling Werkvoorbereiding. Een uitgebreide beschrijving van het werkvoorbereidingsproces is te vinden in bijlage E en F. Hierin staan de procesdiagrammen die toelichten hoe projecten en mallen worden ingepland en wat de overige stappen in het voorbereidingstraject zijn.

3.4 Value stream map

Op basis van de beschreven bewerkingsstappen in de vorige paragrafen is een begin gemaakt met de VSM, zie bijlage G. Deze basisversie van de VSM geeft een overzicht van de zes bewerkingsstappen (gereedmaken, inbinden, stortklaarmelden, storten, afwerken en ontkisten), de operationele besturing (aansturing van het proces door de teamleiders, productie leider en de afdeling Werkvoorbereiding), de leverancierloop (ontvangst van goederen, halffabricaten en materialen) en het klantproces (aflevering van producten naar de klant).

Naast de bewerkingsstappen is aangegeven waar verspillingen en andere opvallendheden zich bevinden met sterren (☼). Een klein deel van de VSM met sterren is in figuur 3.4 gegeven. De volledige VSM met sterren is gegeven in bijlage H. Om de sterren te vinden is tijdens bestudering van het proces gelet op verschillende aspecten zoals de kwaliteit van medewerkers tijdens het uitvoeren van werkzaamheden, de betrokkenheid van medewerkers bij het halen van de dagproductie, de wijze waarop wordt gecommuniceerd tussen de werknemers en met interne leveranciers, de aansturende vaardigheden door de teamleiders, enzovoorts. Om een beter beeld te krijgen van houding die werknemers hebben ten opzichte van de organisatie is een aantal gesprekken gevoerd. Door de gesprekken tussen de werkzaamheden door te voeren is een vertrouwelijke en informele situatie gecreëerd. In hoofdstuk 4 is de VSM uitgebreid door onder andere de gemiddelde bewerkingsstijden en wachttijden toe te voegen voor de productgroepen.



Figuur 3.4 Deel van de value stream map van het productieproces van geprefabriceerde elementen in de carrousel

3.5 Problemen

Het identificeren van problemen volgens de verspillingen die de VSM naar voren heeft gebracht is onderdeel van de diagnosefase zoals beschreven in hoofdstuk 1. In dit onderzoek is een probleem gedefinieerd als een proces of activiteit die de doorlooptijd van een product negatief beïnvloedt en daardoor het verhogen van output belemmert. De meeste sterren uit de VSM behoren tot één of meer van de zeven verspillingen van “lean production”: wachttijd, transport, defecten, voorraad, overproductie, onnodige handelingen en een verkeerde werkwijze (Womack & Jones, 1996; Hines & Rich, 1997). Voor elke verspilling geldt dat geen concrete aanbevelingen zijn gegeven, wel zijn oplossingsrichtingen aangedragen.

3.5.1 Wachttijd

Zowel producten als werknemers moeten wachten. Veelal zijn werknemers duurder dan machines (Shingo, 1981, p.149) waardoor stilstand van werknemers een kostbare aangelegenheid is. Machines worden afgeschreven waardoor de kosten per productie-uur lager zijn dan de loonkosten van een werknemer. Wachttijd van werknemers moet dus geëlimineerd worden.

In de modelmakerij wordt een tafel binnengeroepen zodra een timmerman beschikbaar is, hierdoor wordt de wachttijd minimaal verondersteld. In de carrousel en de kantelhal worden tafels naar binnengestuurd zodra de ingangspositie vrij is, hierdoor ontstaat wachttijd. Dit komt voornamelijk doordat werknemers nog niet beschikbaar zijn om aan het element te werken. Daarnaast moeten tafels soms wachten op de platte wagen om getransporteerd te worden.

In de kantelhal staan producten en werknemers stil wanneer de lorrie niet tijdig is leeggehaald omdat producten dan nergens geplaatst kunnen worden. Tevens wordt in de kantelhal gebatcht bij het kantelen van de daken van transformatorhuisjes. Voor de daken is een extra machine (aerolift) nodig om na het loshalen van de maldelen de elementen uit de mallen te tillen. Om de omsteltijd te reduceren worden eerst alle maldelen verwijderd, vervolgens wordt de aerolift eenmalig in de kraan gehangen om de elementen achterelkaar te verwijderen.

Bij het afwerken komt het voor dat de werknemer moet wachten om het beton af te werken omdat het beton moet uitharden. Pas bij voldoende harding kan het product volgens de gewenste code afgewerkt worden. Als in de tussentijd geen ander product bewerkt moet worden (het laatste element van de dag) dan staat de werknemer niks te doen. Omdat dit probleem snel verholpen kan worden door een andere volgorde van producten te produceren is tijdens het onderzoek al gewerkt aan een oplossing. Samen met de teamleider en productieleider is besproken hoe dit in de toekomst voorkomen kan worden om onnodige overuren te besparen. Het is gebleken dat continue sturing van de teamleider nodig is om hem alert te houden op de afwerkcodes.

Ook ondervinden tafels wachttijd bij het storten. Dit kan meerdere oorzaken hebben: een andere afdeling haalt beton waardoor de menger bezet is, de bestelling wordt niet tijdig ingevoerd door de molenbaas of de storter wacht op de volgende tafel en besteld twee tafels in één keer om de stortmachine vol te krijgen (batching).

Door gekleurd beton te gebruiken bij Terre Armée elementen is één van de twee mengers van de betonmolen niet bruikbaar voor andere productieafdelingen. Na het gekleurde beton moet de menger eerst schoongemaakt worden (ongeveer 5 minuten) alvorens weer ‘normale’ recepten te draaien. Momenteel kiest men ervoor TA-recepten in de ochtend of eind van de middag te draaien om productie in andere productieafdelingen zo min mogelijk te verstoren. De wachttijd voor producten die gereed zijn in de carrousel kan oplopen tot 1,5 uur. Dit komt voornamelijk doordat gekleurd beton moet uitharden voordat de volgende laag erop gestort kan worden. Doordat elementen twee of meer keer de stortpositie passeren (2 of meer kleuren) leidt dit tot opstopping op de eerste 11 posities. In het ergste geval zijn alle tafels op de 11 posities klaar om gestort te worden maar doordat TA voor opstopping zorgt, komen werknemers stil te staan en moeten producten wachten.

3.5.2 Transport

Transport kan opgedeeld worden in noodzakelijk en niet noodzakelijk transport. Volgens de gedachten van “lean production” is het wenselijk om een product zonder opstopping of onnodig transport door het productieproces te laten stromen. Hierdoor verlaagt de wachttijd en verhoogt de output van het proces (Shingo, 1981, p.191-194; Hines & Rich, 1997).

Op dit moment moeten de producten via alle positiegroepen in de carrousel omdat de software zo is geconfigureerd. Dit is echter niet altijd noodzakelijk wanneer een product het gereedmaken kan overslaan omdat dit in de modelmakerij of de kantelhal al is gedaan. Omdat tijdens transport geen waarde aan het product wordt toegevoegd is het verstandig om transporttijd te elimineren dan wel tot een minimum te beperken. U-vormige productiecellen zijn een mogelijkheid om zowel een continue “flow” als een beperking van de transporttijd te realiseren (Monden, 1983; Zavadlav *et al.*, 1996). In dat geval wordt elke positie tot een productiecel omgebouwd waarbij alle bewerkingen tot het storten worden uitgevoerd. De keuze voor het wel of niet doorvoeren van productiecellen hangt af van de tijdswinst die deze configuratie oplevert in reductie van doorlooptijd en wachttijd. Voor de carrousel zou dit resulteren in 11 universele posities waar gereedmaken, inbinden en stortklaarmelden word uitgevoerd.

Ook is er onnodig transport wanneer niet de juiste hoeveelheid beton wordt geleverd. Extra transporttijd is nodig om de stortmachine bij te vullen of om de hoeveelheid te veel beton af te voeren.

3.5.3 Herbewerking / defecten

Het herbewerken van producten is een handeling die tijd en geld kost maar waarbij geen waarde aan het product wordt toegevoegd. Er zijn twee typen te onderscheiden:

- Herbewerking omdat de (interne) leverancier niet het juiste halffabricaat heeft geleverd: (1) het wapeningsnet is niet van het juiste formaat, (2) gaines zijn niet van het juiste formaat, (3) het beton is niet van de juiste kwaliteit of hoeveelheid.
- Herbewerking omdat een werknemer de bewerking niet juist heeft uitgevoerd en dit in een volgende bewerkingstap wordt opgemerkt: (1) fouten bij het invlechten worden opgelost door de stortklaarmelder (bijvoorbeeld verkeerd geplaatste gaines) en (2) beschadigingen aan de elementen en luchtbellen worden opgelost door de reparateur.

In beide gevallen zorgt de herbewerking voor extra bewerkingstijd en irritatie onder werknemers. De kracht die nodig is om de stugge wapeningsnetten te herstellen kan de bekisting beschadigen met als gevolg dat na het ontkisten putjes op het element weggewerkt moeten worden en de mal uitgevlakt moet worden. In plaats van de werknemer erbij te halen en deze de fout zelf laten herstellen is de stortklaarmelder geneigd het zelf te doen. Tijdens het onderzoek is geprobeerd de teamleiders te motiveren om de werknemer erbij te halen, zodat hij op de hoogte is van de fout en deze in de toekomst niet weer maakt. Door routine en gebrek aan aansturing is dit niet lang goed gegaan.

Daarnaast is extra bewerkingstijd nodig wanneer beton niet de juiste viscositeit heeft. Beton met een hoge viscositeit moet langer trillen om het goed in de mal te verspreiden. Bij een lagere viscositeit moet beton langer harden voor het afgewerkt kan worden. Het communicatieprobleem en de houding van de molenbazen kwam ook naar voren uit een ander afstudeeronderzoek dat gelijktijdig werd uitgevoerd.

Naast herbewerking komen defecten in machines en andere apparatuur ook voor. Veel machines hebben een hoge beschikbaarheid omdat de tijd tussen defecten lang is: eens per jaar tot eens per 5 jaar. Omdat het ongeveer 0,5 tot 1 dagen duurt voordat een machine gerepareerd is betekent het dat de productie voor die tijd stil komt te liggen. Het gevolg is dat productie ingehaald moet worden in overuren wat extra kosten met zich meebrengt. Om toch de gewenste output te halen is het wenselijk om een buffer te hebben waar voldoende onderhanden werk opgeslagen kan worden om de uitvalperiode op te vangen, zo kunnen werkstation stroomopwaarts (die niet getroffen zijn door het defect) wel verder met productie. Voor de carrousel betekent dat in ieder geval voldoende wapeningsnetten voorradig moeten zijn om de reparatietijd bij uitval van de kanteltafel op te vangen.

3.5.4 Voorraad

Onnodige voorraad is onwenselijk omdat het mogelijke problemen verbergt en daarnaast tot onveilige situaties kan leiden.

De wapeningshal levert netten zodra deze klaar zijn. Omdat de wapeningshal altijd op volle capaciteit draait varieert de voorraad van 1 dag tot 2 weken (als het rustig is in de carrousel maar de wapeningshal wel volop produceert stijgt de voorraad netten). Door grote hoeveelheden voorraad valt het niet op dat een net voor de volgende dag ontbreekt. Hier komt men pas achter op de dag dat het element geproduceerd wordt, dan is het te laat om het net alsnog te produceren. Ondanks dat lassers het net gereed hebben gemeld raakt het toch zoek. Op deze manier kost voorraad vooral tijd, geld en irritatie doordat het net opnieuw gemaakt en getransporteerd moet worden naar de juiste plaats.

Ook ontstaan onveilige situaties wanneer wapeningsnetten en voorraadbakken in looppaden worden geplaatst of wanneer het brandblussers blokkeert. Eén van de gereedschappen dat onderdeel is van “lean production” is 5S. 5S maakt de status van productie zichtbaar en streeft naar een opgeruimde en overzichtelijke werkvloer door te sorteren, schikken, schoonmaken, standaardiseren en standhouden (Feld, 2000, H7). De organisatie is bezig dit in te voeren (hierover meer in bijlage W). Vloermarkering is een onderdeel van 5S en een goed middel om aan te geven in welke gebieden producten wel en niet mogen staan.

3.5.5 Onnodige handelingen

In de kantelhal komt het voor dat de lorrie niet tijdig is leeggehaald. Naast wachttijd zijn ook extra kraanhandelingen nodig. Zodra de lorrie leeg is worden de (tijdelijk opgeslagen) elementen opnieuw in de kraan gehangen en alsnog op de lorrie getild. Deze extra handeling kost tijd en zorgt voor irritatie maar levert geen toegevoegde waarde.

In de carrousel worden ook extra kraanhandelingen uitgevoerd voor het wegzetten van de op voorraad geproduceerde wapeningsnetten. In plaats van de netten rechtstreeks in de mallen te leggen worden ze eerst tegen de muur gezet en later in de mallen gelegd.

In alle afdelingen komt het voor dat werknemers tijd kwijt zijn aan het zoeken van gereedschap of materialen. Niet al het gereedschap kan aan de gereedschapsriem worden bevestigd. In dat geval moeten werknemers van de tafel af om de benodigde spullen te halen. De kans op ongelukken door van een meter hoge tafel te springen neemt af wanneer alles beschikbaar is binnen handbereik. Tevens reduceert de bewerkingstijd door vermindering van de zoektijd en looptijd naar gereedschap en materialen.

3.5.6 Verkeerde werkwijze

Bij een verkeerde werkwijze wordt een gemakkelijk probleem opgelost door een te gecompliceerde oplossing. De carrousel is gebouwd volgens het JIT principe maar deze gedachtegang is losgelaten toen het automatisch aanleversysteem van wapeningsnetten niet deed wat het moest doen. Bij twee gelijke netten wist het systeem niet welk net geleverd moest worden, en bij twee gelijke acties (wegbrengen van een net naar de carrousel en ophalen van een net in de wapeningshal) deed het systeem niets. Hierdoor moest men alsnog zelf de netten ophalen. Uiteindelijk is de weg van de minste weerstand gekozen en is men voorraad wapeningsnetten gaan opbouwen. Het niet gebruiken van de carrousel op de wijze waarvoor het is gebouwd is een verkeerde werkwijze die andere verspillingen tot gevolg heeft. Het leidt tot extra wachttijd van het product, voorraad van netten en onnodige handelingen door extra kraanbewegingen. De transporttijd van het product vermindert doordat inleggen van netten een extra proces is, en dus een extra positiegroep. De tafel doet niet 2 (gereedmaken en inbinden) maar 3 positiegroepen aan voor het stortklaarmelden.

3.5.7 Niet gebruiken van menselijk potentieel

Werknemers zijn een belangrijke schakel voor het succesvol doorvoeren van een productieproces dat vrij is van verspillingen (Womack & Jones, 1996). Het is belangrijk om vanaf het eerste moment de werknemers te betrekken bij het onderzoek en de op handen zijnde verandering zodat de houding ten opzichte van verandering positief beïnvloed wordt (Alblas & Wijsman, p.393-395). Doordat mensen essentieel zijn voor het succesvol implementeren van “lean production” kan het als een verspilling worden gezien indien menselijk potentieel niet wordt gebruikt. Daarom wordt in deze subparagraaf apart aandacht besteed aan deze factor.

In eerder genoemde verspillingen komt indirect naar voren dat de teamleiders niet het overzicht hebben over de dagelijkse productie. Zij zijn meer doeners dan denkers waardoor de productieleider de aansturing op zich neemt zonder de hiërarchische lijn van teamleiders te benutten.

Ook op uitvoerend gebied blijkt dat niet alle werknemers over dezelfde kwaliteiten beschikken. De storklaarmelder is ongeveer 1/3 van zijn tijd kwijt aan het verwijderen van staalrestjes die vlechters in het vorige proces hebben achter gelaten. Een ervaren werknemers kan een bewerking tot 30% sneller uitvoeren dan een onervaren werknemers.

Vanuit “lean production” is het gewenst om alle werknemers te betrekken bij het proces. Iedereen moet begrijpen wat van hen verwacht wordt, welke doelen de organisatie nastreeft en hoe zij kunnen bijdragen aan het bereiken hiervan. Werknemers worden dan gestimuleerd mee te denken over mogelijkheden tot verbetering. Bij Voorbij Prefab Beton worden werknemers gestimuleerd om ideeën ter verbetering en interne klachten te delen met collega's. Daarnaast zijn dagelijks besprekingen over de voortgang van het proces waarbij teamleiders aanwezig zijn. Tijdens deze planbordoverleggen worden werknemers actief betrokken om interne klachten te melden en actiepunten aan te dragen ter verbetering. Ondanks dat de planborden op de werkvloer hangen en de werknemers hierbij betrokken worden blijkt dat nog lang niet alle werknemers begrijpen wat het doel is van de planbordoverleggen en zich nog niet verantwoordelijk voelen voor het meedenken naar verbetermogelijkheden.

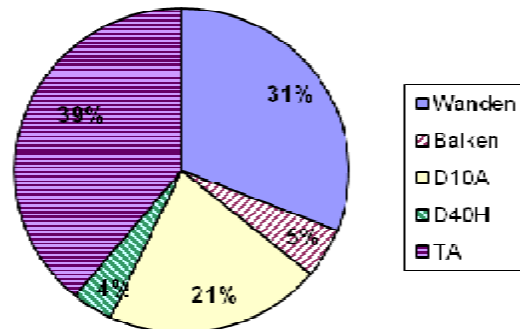
In dit hoofdstuk is beschreven welke activiteiten nodig zijn om geprefabriceerde elementen te vervaardigen. In het kort zijn de afdelingen die halffabricaten leveren beschreven met de daarbij behorende invloed op het verloop van het productieproces. Door het in kaart brengen van de huidige situatie is duidelijk hoe het productieproces van geprefabriceerde elementen verloopt en wat de bijbehorende verspillingen en problemen zijn. Een deel van de gevonden verspillingen is weergegeven in de VSM in figuur 3.4, het volledige overzicht is gegeven in bijlage G. Van de zeven verspillingen blijkt dat zowel wachttijd als herbewerking/defecten het meest voorkomen. Dit wordt indirect verstrekt door onnodig transport, onnodige handelingen en het niet gebruiken van menselijk potentieel. Zowel wachttijd als herbewerking leiden tot extra doorlooptijd van het product. Omdat nog geen gegevens bekend zijn over productietijden gaat hoofdstuk 4 hier meer gedetailleerd op in.

4 Productiemetingen

4.1 Inleiding

Om een beeld te krijgen van de totale tijd dat een product in het proces verblijft en de indeling van deze tijd worden voor de productgroepen metingen verricht. Met deze metingen kan de VSM zoals besproken in hoofdstuk 3 en deels weergegeven in figuur 3.4 worden uitgebreid met informatie over de opdeling van de doorlooptijd per product. Dit vergroot de hoeveelheid informatie waardoor beter gezocht kan worden naar één of meerdere hoofdproblemen die een verhoging van de output belemmeren.

Figuur 4.1 geeft een overzicht van de verdeling van de geproduceerde elementen in de maanden december 2007 tot en met april 2008. Hieruit blijkt dat bijna tweederde deel van de productie bestaat uit wanden, balken en daken van transformatorhuisjes (D10A en D40H). Ruim een derde van de productie wordt gevuld met Terre Armée elementen. Voor de tweede helft van 2008 en in 2009 wordt een sterke toename van wanden (naar ruim 50%) verwacht en minder productie van Terre Armée elementen.



Figuur 4.1 Overzicht van geproduceerde elementen

Dit hoofdstuk beschrijft in paragraaf 4.2 de voorbereidingen die getroffen zijn om de productiemetingen op een juiste wijze uit te voeren. Vervolgens zijn de resultaten van de metingen per onderwerp behandeld in de paragrafen 4.3 tot en met 4.6. Voor Terre Armée elementen is een andere procedure gevolgd om een beeld te krijgen van de bewerkingstijd van het product, paragraaf 4.7 beschrijft dit in meer detail.

4.2 Voorbereiding

Tot april 2008 was de werkelijke bewerkingstijd per (type) element niet bekend. Er werd gewerkt met schattingen van de productie leider en zijn teamleiders maar er was geen beeld van de nauwkeurigheid van deze schattingen. Met het oog op operationele verbeteringen is het van belang te weten wat de werkelijke bewerkingstijden zijn en hoe de producten door het proces bewegen. Om een beter beeld te krijgen van de werkelijke bewerkingstijden en de capaciteitsbenutting is een aantal metingen uitgevoerd. Per productgroep is gebruik gemaakt van hetzelfde metingformulier (zie bijlage I) waarbij de te meten bewerkingen in duidelijke start- en eindpunten op te delen zijn (Reid & Sanders, 2002).

Voor het meten is gebruik gemaakt van een werkmeting in combinatie met een tijdsstudie, zie paragraaf 2.2. De standaardtijd van de bewerking moet in een 90% betrouwbaarheidsinterval liggen. Voor dit betrouwbaarheidsniveau is de gewenste standaarddeviatie (σ) 1,65 en is de gewenste precisie (a) gelijk aan 0,1. De daken ondergaan 6 bewerkingen, wanden en balken 7 (ook het op-/ombouwen in de modelmakerij komt hier bij). Afhankelijk van de bewerkingsstap zijn meer of minder metingen nodig om de gewenste betrouwbaarheid te halen.

Het aantal benodigde observaties is gebaseerd op de gemiddelde bewerkingstijd per bewerkingsstap na het uitvoeren van 2 metingen. Er is gekozen voor 2 metingen zodat het mogelijk was om in 2 dagen een beeld te krijgen van de bewerkingstijden. In bijlage J is een overzicht van het aantal benodigde observaties gegeven, opgesplitst per productgroep en per bewerkingsstap. Op basis van de resultaten is besloten om gedurende 3 weken tenminste 38 wanden bij te houden. Doordat één project met veel wanden elke week met een week vertraagde is het niet gelukt om het gewenste aantal metingen voor wanden uit te voeren. Tevens bleek tijdens het uitvoeren van de metingen dat het niet mogelijk was om meer dan 3 elementen per persoon bij te houden. Uiteindelijk zijn 26 wanden, 16 D10A daken, 4 D40H daken en 7 balken gemeten in 4 weken.

Na het uitvoeren van de metingen is opnieuw gekeken in welke mate de metingen afwijken van de gewenste betrouwbaarheid. Uit bijlage J valt op te maken dat voor 22 bewerkingsstappen te weinig metingen zijn uitgevoerd om aan de gewenste betrouwbaarheid te voldoen. Bij meer metingen verwacht men dat de spreiding vermindert; dit is echter maar bij 8 van de 24 bewerkingsstappen het geval. De voornaamste reden is de uniekheid van de producten waardoor bewerkingstijden erg variëren. Daarnaast speelt ook de hoeveelheid inleners een rol. Gemiddeld in 2008 is ongeveer 54% van de werknemers inlener, met een bandbreedte van [44%,60%]. De inwerktijd voor inleners is tenminste twee weken maar vaak is dit ook de lengte van de piekperiode. Doordat zij niet volledig ingewerkt worden doen zij langer over de bewerkingen. Tevens consumeren zij tijd van vaste werknemers die het inwerken begeleiden, waardoor zij niet al hun tijd aan bewerkingen kunnen spenderen.

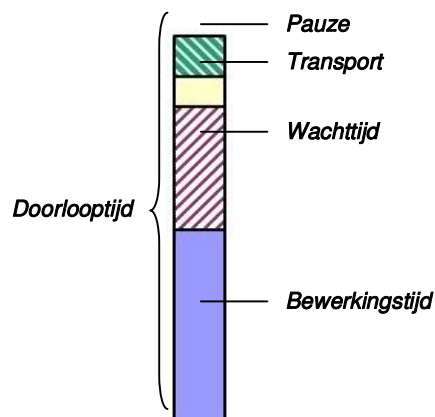
Op basis van informatie uit metingen is gekeken naar de verhouding tussen waardetoevoegende tijd en niet waardetoevoegende tijd. In de laatste categorie is onderscheid te maken tussen niet waardetoevoegende tijd die wel noodzakelijk is (NNVA: necessary but non value added time) en niet waardetoevoegende tijd die niet noodzakelijk is (NVA: non value added time) (Hines & Rich, 1997). Noodzakelijke maar niet waardetoevoegende tijd in de carrousel is bijvoorbeeld het interne transport dat door de configuratie van de software op dit moment niet anders ingeregeld kan worden. Het is gewenst om dit tot een minimum te beperken omdat de klant niet betaald voor transport (Hines & Rich, 1997; Shingo, 1981).

De gemiddelde transporttijd per afdeling is berekend door de gemiddelde transporttijd van alle tafels geproduceerd in februari 2008 te analyseren en hiervan het gemiddelde te berekenen. In bijlage K is de berekening voor het bepalen van de transporttijd in de carrousel in meer detail uitgewerkt.

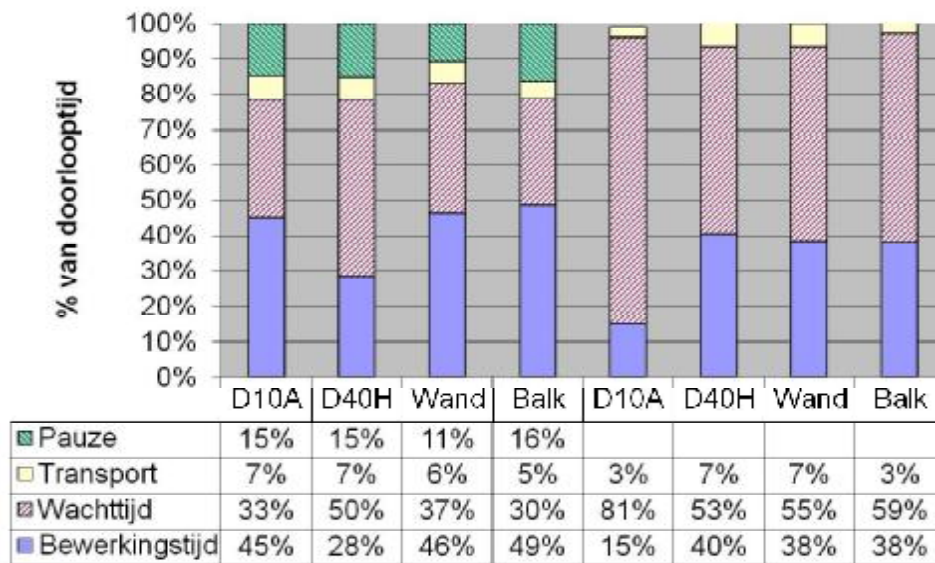
4.3 Doorlooptijd

De doorlooptijd (CT) is opgedeeld in wachttijd (CT_q) en bewerkingstijd (t_e) (zie paragraaf 2.3.2). Wachttijd bestaat uit drie factoren: variabiliteit, bezettingsgraad en effectieve bewerkingstijd (Hopp & Spearman, 2001, p.270-273). Tevens bestaat doorlooptijd uit transport en pauze, zie figuur 4.2.

Doorlooptijd wordt herleid uit een systeem dat (transport)bewegingen van een tafel registreert. De starttijd van het verblijf in de carrousel en de kantenhal is de tijd waarop een tafel vanuit de lift binnengereiden wordt, de eindtijd wanneer de tafel de lift weer ingaat. Voor de modelmakerij is het bepalen van de doorlooptijd ingewikkelder omdat het systeem de tijden per dag registreert en de tafels vaak langer dan één dag verblijven. Omdat in de modelmakerij tafels pas worden binnengeroepen als een werknemer beschikbaar is wordt aangenomen dat de doorlooptijd als volgt is opgebouwd: bewerkingstijd zijn de geschreven uren van de timmerman (88%), pauze (7%) en de gemiddelde transporttijd (5%). Aangenomen wordt dat deze percentages vast zijn per tafel, daarom wordt doorlooptijd van tafels in de modelmakerij niet verder toegelicht. Per product is in figuur 4.3 (volgende pagina) aangegeven hoe de doorlooptijd is opgedeeld in de carrousel en de kantenhal. De gemiddelde bewerkingstijd in de kantenhal ligt rond de 29% behalve voor D10A elementen. Dit komt



Figuur 4.2 Vier factoren van doorlooptijd



Producttype per afdeling

Figuur 4.3 Overzicht van de opdeling van doorlooptijd in de carrousel kantelhal per productgroep

omdat D10A elementen in batches worden afgehandeld (zie ook paragraaf 3.5.1.). De gemiddelde bewerkingstijd is een stuk lager omdat zij tijdens hun verblijf langer moeten wachten. De wachttijd voor deze batches bestaat uit wachten tot de batch gevuld is en wachten in de batch tot gewerkt wordt aan het D10A element (Hopp & Spearman, 2001, p.309-315).

Wanneer meerdere producten dezelfde resources (personeel of kraan) nodig hebben op hetzelfde moment kunnen conflicten ontstaan; de een gebruikt de resource waardoor de ander stil komt te staan en moet wachten. De wachttijd die hierdoor ontstaat komt veel voor in het productieproces van geprefabriceerde elementen; het is gewenst dit te elimineren om zo “flow” te creëren voor producten en daarmee de output te verhogen.

Om een beter beeld te krijgen van de beschikbare capaciteit en de redenen van wachttijd beschrijven paragraaf 4.4 tot en met 4.6 de drie factoren waaruit wachttijd bestaat, respectievelijk: bewerkingstijd, bezettingsgraad en variabiliteit.

4.4 Gemiddelde effectieve bewerkingstijd

Bij Voorbij Prefab Beton is de beschikbaarheid van machines erg hoog. In de vijf jaar dat de fabriek staat zijn kranen en kantelsystemen niet uitgevallen. Alleen de transportwagen valt 1 à 2 keer per jaar een dag uit. Door de hoge beschikbaarheid wordt de effectieve bewerkingstijd (t_e) gelijk gesteld aan de natuurlijke bewerkingstijd (t_0). Paragraaf 2.3 beschrijft de bijbehorende formule, $t_e = t_0 / A$, in meer detail.

Als startpunt voor de analyse zijn de gemiddelde bewerkingstijden voor de modelmakerij, de carrousel en de kantelhal in kaart gebracht per productgroep, zie tabel 4.4.

	Modelmakerij	Carrousel	Kantelhal	Totaal
Wanden	3:19:49	3:12:43	0:39:12	7:11:53
Balken	6:27:00	3:23:59	0:45:00	10:35:59
D10A	-	1:00:11	0:08:46	1:08:57
D40H	-	1:16:14	0:13:20	1:29:33

Tabel 4.4 Totale gemiddelde bewerkingstijd per afdeling per productgroep (u:mm:ss)

Om meer output te genereren is het wenselijk om de gemiddelde bewerkingstijd te verlagen. Dit kan op verschillende manieren gerealiseerd worden (Hopp & Spearman, 2001, p.324-328; Miltenburg & Sparling, 1996; Hendricks & McClain, 1993), zie ook bijlage C:

- door de bottleneck rate te verhogen zodat meer geproduceerd kan worden op het station dat beperkingen legt op de hoeveelheid productie per dag;
- door de productiesnelheid van niet bottleneck station te verhogen zodat er minder kans is op stilstand doordat er geen producten zijn ("starvation") en blokkage in het bottleneck station.
- door de variabiliteit in bewerkingstijden en aankomstintensiteit te reduceren. Dit wordt gerealiseerd door ondermeer werkinstructies uit te delen en training te geven aan werknemers zodat zij opgeleid worden tot multifunctioneel inzetbaar personeel.

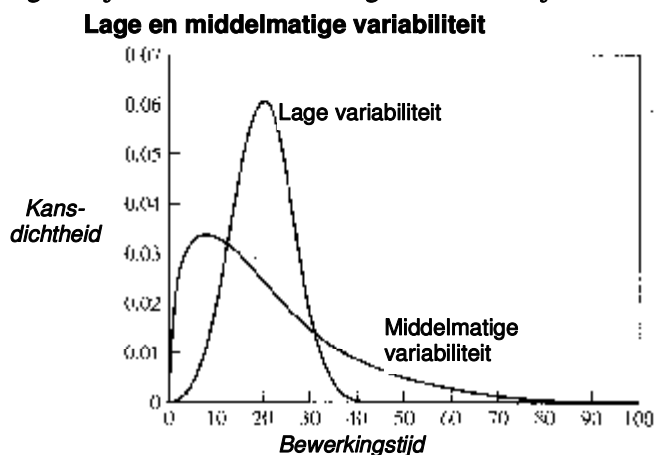
Een overzicht van deze factoren inclusief oplossingsrichtingen hiervoor is gegeven in bijlage C. Een voorwaarde voor het verlagen van bewerkingstijd is dat dit niet leidt tot wachttijd bij het volgende station. De behaalde tijds winst wordt teniet gedaan en het demotiveert de werknemer om efficiënt te blijven werken.

4.5 Variabiliteit in bewerkingstijd

Om de variabiliteit te kwantificeren is gebruik gemaakt van de variantiecoëfficiënt (de standaarddeviatie als deel van de gemiddelde bewerkingstijd). Een lage variabiliteit impliceert dat de bewerkingstijd voor de betreffende bewerkingstap redelijk normaal verdeeld is rondom de gemiddelde bewerkingstijd μ , $N(\mu, \sigma^2)$. Als er bewerkingstijden zijn die veel langer duren dan het gemiddelde is er sprake van middelmatige variabiliteit, aangegeven met een staart aan de rechterkant van de kansdichtheidsfunctie in figuur 4.5.

De mate van variabiliteit heeft invloed op de operationele aansturing van het productieproces. Dit komt door zogenaamde 'flow variability'; de variabiliteit in werkstation A beïnvloedt het gedrag van het volgende stations (Hopp & Spearman, 2001, p.261-264). Wanneer proces A (LV) proces B (MV) voedt kan proces B de productie lange tijd bijhouden. Maar zodra een lange bewerking in proces B plaatsvindt ontstaat een wachtrij voor dit proces en stopt de productie in proces A. Het is belangrijk om de processen zodanig op elkaar af te stemmen dat de productie vloeiend verloopt.

De bewerkingstappen zijn zowel individueel bekeken als op afdelingsniveau (carrousel en kantelhal). In bijlage L is een overzicht gegeven van de variantiecoëfficiënt per bewerkingstap per producttype. Tevens is hierbij aangegeven of dit een lage, middelmatige of hoge variabiliteit is volgens de definitie uit paragraaf 2.3.2. Voor de wanden en balken werd voor zowel het opbouwen, het gereedmaken als het inbinden een hoge mate van variabiliteit verwacht omdat dit door verschillende personen in de organisatie werd aangegeven. Uit de metingen blijkt dat alleen voor het gereedmaken bij wanden en het stortklaarmelden bij balken een middelmatige variabiliteit te definiëren valt. Dat de werkelijkheid afwijkt van de verwachting kan mogelijk verklaard worden doordat het inbinden veruit het langst durende proces is voor producten in de carrousel en de werknemers hiervan het meeste zien (en onthouden). De afwijking in het stortklaarmelden komt mogelijk doordat hier minder metingen zijn verricht en één van deze metingen veel tijd vergde doordat gaines verkeerd waren ingebonden en dit moest worden hersteld. De tijd voor herbewerking is in mindering

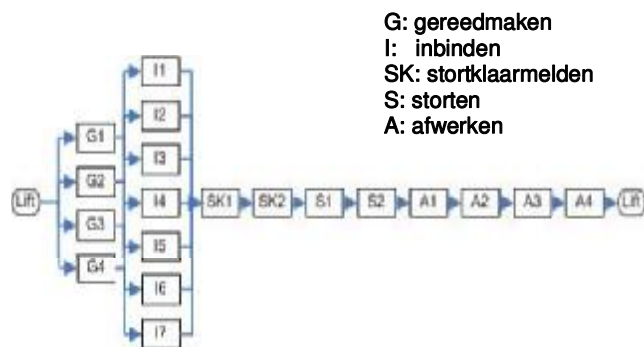


Figuur 4.5 Kansdichtheidsfuncties van LV en MV proces

gebracht omdat dit de resultaten ernstig verstoort, op deze manier kon de tijd alsnog gebruikt worden (wat nodig is om het geringe aantal metingen te ondersteunen). Verwacht wordt dat de variabiliteit, net als bij wanden, afneemt wanneer meer metingen worden verricht.

4.6 Bezettingsgraad

De bezettingsgraad is afhankelijk van het aantal werkstations m en de bezettingsgraad u per workstation, $[u^{\sqrt{2(m+1)-1}}]/[m(1-u)]$. Hogere bezettingsgraad bij processen met variabiliteit impliceert wachtrijen wanneer een proces langer duurt dan het voorgaande proces. Indien geen sprake is van variabiliteit in het productieproces is een bezettingsgraad van 100% ideaal. In alle andere gevallen moet een lagere bezettingsgraad de variabiliteit in het proces compenseren, een te hoge bezettingsgraad is niet gewenst omdat dan weinig ruimte is om verstoringen en defecten op te vangen. Onderhanden werk en doorlooptijd verhogen non-lineair wanneer de bezettingsgraad voor alle werkstations naar 100% gaat (Hopp & Spearman, 2001, p.303-304). Om de bezettingsgraad van de productieproces te bepalen wordt gebruik gemaakt van de theoretische capaciteit en de werkelijke output. Beide factoren worden achtereenvolgens in de volgende twee subparagrafen beschreven.



Figuur 4.6 Parallel en seriegeschakelde werkstations

4.6.1 Beschikbare capaciteit van een productieproces

Het productieproces van geprefabriceerde elementen is operabel van 7:00 uur tot 16:00 uur waarvan 1:15 uur aan pauze wordt besteed. Afhankelijk van de bewerking is er één of zijn er meerdere posities beschikbaar, zie figuur 4.6.

Bij het gereedmaken en inbinden is het mogelijk om meerdere tafels tegelijk eenzelfde bewerking te laten ondergaan doordat hier parallelle werkstations zijn.

Vanaf het storklaarmelden zijn de werkstations in serie geschakeld en kunnen tafels alleen in de lengte worden verplaatst. In de kantenhal zijn de werkstations ook in serie geschakeld. De bottleneck bepaalt het aantal producten dat op een dag geproduceerd kan worden. Bij het seriegeschakelde proces zorgt een defect aan bijvoorbeeld de storkmachine voor een wachtrij bij de storkposities. Een defect bij de eerste twee positiegroepen is een minder groot probleem omdat hier andere posities vrij zijn om het defect te omzeilen.

Tabel 4.7 geeft een overzicht van de theoretische bovengrens per bewerking per dag. Omdat wanden in grotere mate dan balken worden geproduceerd wordt in de berekening voor de gemiddelde tijd het gewogen gemiddelde berekend. Afhankelijk van de bewerking varieert het aantal te produceren tafels per dag tussen de 24 en 63. Het proces waar de minste tafels per dag geproduceerd kunnen worden is in de modelmakerij. Uit bestudering van het productieproces is gebleken dat bij meer dan 25 tafels per dag de modelmakerij in de problemen komt omdat men daar niet in staat is de producten tijdig af te hebben. In het verleden is gebleken dat ploegendiensten in de modelmakerij een goede oplossing zijn om pieken op te vangen. Later in de middag worden de tafels die uit de kantenhal komen door de tweede ploeg gereed gemaakt zodat de volgende dag het storklaarmelden kon beginnen. Wanneer de keuze voor ploegen wordt gemaakt is het belangrijk dat dit niet voor korte tijd is omdat het veel vergt van de werknemers op het gebied van werktijden. Omdat dit voor een groot deel te herleiden is naar de planning die door de afdeling Werkvoorbereiding wordt uitgegeven wordt hier niet verder op ingegaan tijdens het onderzoek.

Positiegroep	Aantal posities	Gewogen gemiddelde bewerkingstijd	Max. capaciteit # tafels per dag
Opbouw (MM)	11 (parallel)	3:32:51	24
Gereedmaken	4 (parallel)	0:24:48	63
Inbinden	7 (parallel)	1:09:41	45
Stortklaarmelden	1 (serie)	0:09:47	43
Storten	2 (serie)	0:06:51	53
Afwerken	4 (2 parallel)	0:20:02	44
Ontkisten	6 (2 parallel)	0:26:19	34

Tabel 4.7 Theoretische bovengrens aan capaciteit in het productieproces

Bij het ontkisten wordt het lastig om extra tafels te kantelen omdat de kanteltafel daar voor problemen kan zorgen. Gemiddeld duurt het kantelen op de kanteltafel 15 minuten waardoor niet meer dan 31 tafels per dag gekanteld kunnen worden. De capaciteit in de kantelhal kan verhoogd worden door extra personeel in te zetten. Een voorwaarde is wel dat niet alle tafels over de kanteltafel hoeven (zoals de stalen mallen voor standaardproducten en kleine wandelementen).

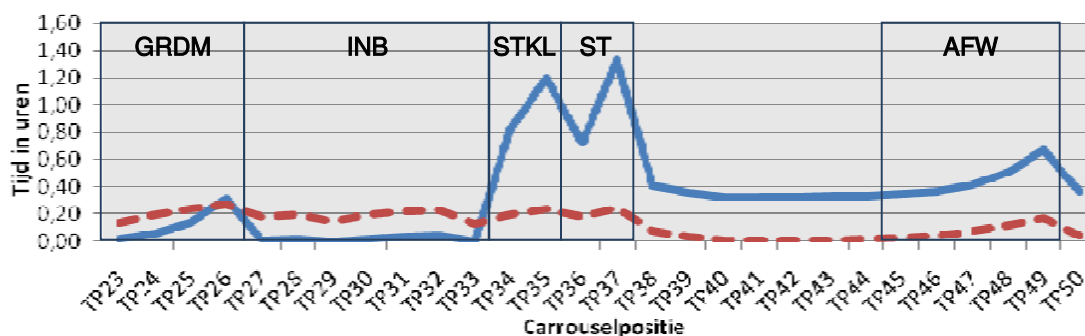
Wanneer alleen de processen in de carrousel worden bekeken valt op dat drie processen dicht bij elkaar liggen wat betreft het aantal te produceren tafels per dag:

- Het stortklaarmelden met 43 tafels per dag
- Het afwerken met 44 tafels per dag
- Het inbinden met 45 tafels per dag

Voor 2009 wordt verwacht dat de hoeveelheid Terre Armée elementen afneemt in de productie en het aantal wanden per dag stijgt. Hierdoor verandert de productmix die is weergegeven in figuur 4.1 met ongeveer 10% minder TA en 10% meer wanden. In dat geval is de capaciteit van alle drie bovengenoemde processen gelijk aan 43 tafels per dag. Bij stortklaarmelden en afwerken kunnen echter extra werknemers ingezet worden om de capaciteit (tijdelijk) te vergroten. Op dit moment is voor beide processen één persoon beschikbaar. Bij het inbinden kan dit ook maar daar geldt evenals in de modelmakerij dat wanneer meer personen aan één tafel werken de bewerkingstijd niet evenredig verkort. Het inbindproces beperkt daarom het aantal te produceren tafels per dag.

4.6.2 Bezettingsgraad posities

Voor het bepalen van de bezettingsgraad van de carrouselposities is gekeken naar de tijd per dag dat een tafel op een positie staat, een dag duurt 7:45 uur. Omdat deze informatie is verkregen uit het



Figuur 4.8 Gemiddelde wachttijd (doorgetrokken lijn) en bewerkingstijd (gestippelde lijn) per positie. GRDM: gereedmaken, INB: inbinden, STKL: stortklaarmelden, ST: storten, AFW: afwerken.

systeem dat dagelijkse productiegegevens wegschrijft was het niet mogelijk om onderscheid te maken in bewerkingstijd en wachttijd op de positie. De gemiddelde bezettingsgraad over alle posities, in de maanden december 2007, januari 2008 en februari 2008, is 39% met een maximum bezetting van 84% op één van de gereedmaakplekken.

Met de VUT-formule is de wachttijd per positie bepaald, dit is weergegeven met een doorgetrokken lijn in figuur 4.8. Voor 65% van de posities geldt dat de bewerkingstijd (gestreepte lijn) kleiner is dan de wachttijd. Tafels staan dus meer dan twee keer zo lang op de positie dan eigenlijk nodig is. Dat alleen bij het inbinden de wachttijd korter is dan de bewerkingstijd komt doordat werknemers de neiging hebben tafels direct naar de stortklaarmeldposities te sturen zodra de bewerking is afgerond, zie daar een lange wachttijd. Bij de gereedmaakposities is ook wachttijd. Afmetingen moeten gecontroleerd worden voordat tafels doorgestuurd mogen worden. Door communicatieproblemen duurt het een aanzienlijke tijd voordat de teamleider doorheeft of geroepen wordt om de tafel te controleren (de kwaliteit van teamleiders in combinatie met de communicatieproblemen is ook besproken in hoofdstuk 3). Wanneer gekeken wordt naar de bezettingsgraden blijkt dat het inbindproces de hoogste bezettingsgraad heeft (ruim 50%). Daarom is het inbindproces de bottleneck.

4.7 Terre Armée

In de introductie van het hoofdstuk is beschreven dat voor Terre Armée (TA) elementen een andere procedure is gevolgd voor het in kaart brengen van de bewerkingstijden dan voor de overige producten.

De elementen die in de periode april 2008 werden geproduceerd zijn veel gecompliceerder dan de elementen die gepland staan voor het tweede deel van 2008 en voor 2009. Door de bewerkingstijden over één kam te scheren zou een scheef beeld ontstaan die niet overeenkomt met de situatie in werkelijkheid. Deze projecten behoren tot de speciale TA projecten. Het ene project bestaat uit wanden met 1-4 vlakken en 1-3 kleuren per element, het volgende project bestaat uit kruisvormige elementen in één kleur zonder wapening.

Deze laatste groep (kruisvormige elementen) is één van de standaardproducten van TA. Omdat productie hiervan pas eind mei gepland stond zijn de metingen later alsnog verricht. Na het meten van 6 elementen is gebleken dat de normtijd hoger is dan de gemiddelde bewerkingstijd (70 minuten norm versus 59 minuten werkelijk). Verder is niet in meer detail aandacht besteed aan de precieze wachttijd van deze elementen omdat uit de analyse van de overige producten is gebleken dat wachttijd in grote mate aanwezig is. Aangenomen wordt dat de wachttijd van TA elementen in lijn ligt met de eerder gemeten wachttijden.

Voor de speciale TA elementen beperken het verloop van het productieproces (zie paragraaf 4.5.1). Voor de standaardelementen wordt net als bij andere standaardproducten een lage variabiliteit verwacht per bewerkingstap. Zoals vermeldt zal in 2009 het aantal speciale projecten afnemen en worden meer standaardelementen gemaakt.

Uit hoofdstuk 3 bleek dat wachttijd één van de twee grootste verspillingen is. Tijdens het verrichten van metingen is vooral aandacht besteed aan deze factor door te kijken hoe wachttijd ontstaat. Hiervoor zijn de variabiliteit in de bewerkingstappen en het aankomstproces, de benutte capaciteit van het productieproces en de effectieve bewerkingstijden bekeken. Uit de metingen blijkt dat producten inderdaad wachttijd ondervinden; alleen voor wanden en D10 daken is de wachttijd in de carrousel lager dan de bewerkingstijd. De bewerkingstijd is door herbewerking en de kwaliteit van het uitvoerend personeel ook een factor die kan verbeteren.

Met informatie over het productieproces enerzijds en de gevonden problemen uit de VSM anderzijds worden probleemgebieden gedefinieerd. In hoofdstuk 5 zijn deze probleemgebieden toegelicht en is gezocht naar oorzaken om ze vervolgens te herleiden tot één of meerdere hoofdproblemen.

5 Identificatie van hoofdproblemen

5.1 Inleiding

Uit hoofdstuk 3 en 4 zijn een aantal problemen naar voren gekomen. De hoeveelheid en diversiteit van de gevonden problemen maakt het ingewikkeld om in één oogopslag te zien waar de grootste problemen zich bevinden. Dit hoofdstuk beschrijft de oorzaken die verhoging van output belemmeren. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een getrapte benadering waarbij eerst kwalitatief gezocht wordt naar oorzaken. Vervolgens worden de hoofdoorzaken kwantitatief verder onderzocht.

Paragraaf 5.2 beschrijft de oorzaak- en gevolgrelaties in meer detail. Voor de eerste fase, het kwalitatieve gedeelte, wordt gebruik gemaakt van het Ishikawa diagram in combinatie met de 5 Why techniek. Vervolgens komen de hoofdproblemen en kwantificering hiervan aan de orde in paragraaf 5.3. Voor het kwantificeren wordt de gedachtegang van FMEA gebruikt waarbij de kritieke factor de klassering van de hoofdproblemen bepaald.

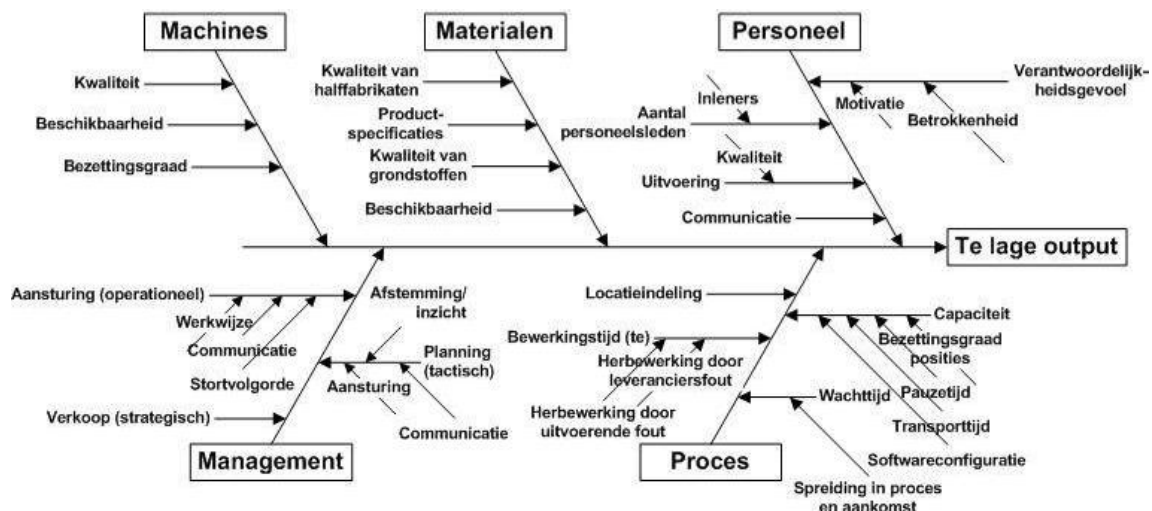
5.2 Oorzaken en gevolgen

5.2.1 Ishikawa diagram

Uit de VSM en de metingen naar productietijden zijn activiteiten en processen naar voren gekomen die verhoging van de output belemmeren. Met een Ishikawa diagram zijn de primaire en secundaire oorzaken overzichtelijk weergegeven aan de hand van 5 veel gebruikte factoren (Slack *et al.*, 1998, p.703-706, Reid & Sanders, 2002, p.122-125). In figuur 5.1 zijn de 5 factoren gegeven: Management, Methode (Proces), Machines, Materialen en Mensen (Personeel). Aan de rechterkant van het Ishikawa diagram staat het kwaliteitsprobleem, in dit geval te lage output.

Uit hoofdstuk 3 en 4 is gebleken dat bij Voorbij Prefab Beton geen onderling onafhankelijke oorzaken voor problemen geformuleerd kunnen worden. Veel problemen zijn met elkaar verweven waardoor figuur 5.1 een vereenvoudigd beeld geeft. Een voorbeeld hiervan is de uitvoerende kwaliteit van personeel, deze komt bij meerdere 'takken' terug. De factoren personeel en proces zijn daarom niet onderling onafhankelijk maar worden wel als zodanig weergegeven.

Het Ishikawa diagram is besproken met een deel van het managementteam om te achterhalen waarom de gedachten vóór het starten van het onderzoek niet overeenkwamen met de gevonden problemen en bijbehorende oorzaken. Tijdens een workshop is de 5 Why-techniek gebruikt om te achterhalen wat de redenen zijn deze gedachten. Zij zijn betrokken bij het onderzoek en verantwoordelijk voor aansturing van het productieproces van strategisch tot operationeel niveau. Het betrekken deze personen en het



Figuur 5.1 Ishikawa diagram voor te lage output

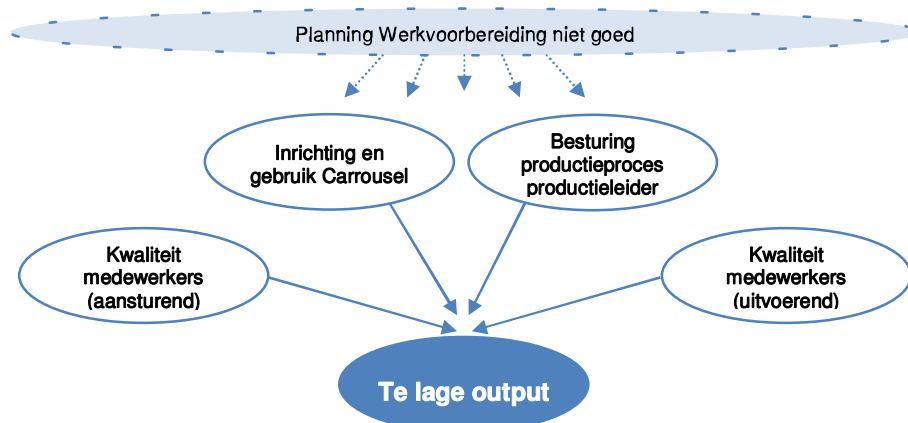
begrijpen van hun gedachtegang leidt tot een hogere mate van acceptatie van de mogelijke veranderingen die gaan plaatsvinden. Dit beïnvloedt hun houding ten opzichte van verandering in positieve zin (Alblas & Wijsman, p.393-395; Daft, 1997, p.390-395).

5.2.2 Workshop

De workshop vond plaats op maandag 19 mei 2008. Het doel van de workshop is tweeledig:

- 1) Het begrijpen van de redenen waarom de aanwezigen andere ideeën hadden voorafgaand aan het uitvoeren van het onderzoek over de (mogelijke) problemen in het proces
- 2) De geïdentificeerde problemen herleiden tot hoofdproblemen

Om beide doelen te halen is een presentatie gemaakt die is behandeld tijdens de workshop, zie bijlage M. In deze presentatie is het verloop van het onderzoek besproken en zijn de gevonden verspillingen behandeld. Na de sessie kreeg iedereen de opdracht na te denken over de hoofdproblemen zodat deze tijdens de tweede sessie op dinsdag 20 mei 2008 besproken konden worden. Om de hoofdproblemen te bepalen moest antwoord gegeven worden op de vraag: *“Waarom lukt het niet om 30 ingeplande tafels binnen een achturige werkdag te produceren, gegeven de planning van WVB?”* Tijdens de tweede sessie kreeg iedereen 4 stickers. Deze moesten op de punten van de VSM geplakt worden waarvan men dacht dat dit een hoofdprobleem is, zie figuur 1 in bijlage N. Vervolgens zijn tijdens een discussie (geleid door vijf keer te vragen naar ‘Waarom’) de stickers verschoven naar de plaatsen waar de hoofdproblemen zich werkelijk bevinden, zie figuur 2 in bijlage N. Ook beschrijft bijlage N de discussie en de gestelde vragen per onderwerp. De vier hoofdproblemen zijn weergegeven in figuur 5.2 en meer gedetailleerd beschreven in paragraaf 5.2.3.



Figuur 5.2 Hoofdproblemen

5.3 Beschrijving van de hoofdproblemen

5.3.1 Kwaliteit van uitvoerend personeel is vaak onvoldoende

Ongeveer de helft van het uitvoerend personeel is werkzaam via een uitzendbureau. Het voordeel van de grote mate van flexibiliteit om pieken in productie op te vangen brengt ook nadelen met zich mee. Op een aantal inleners na zijn de meeste slechts een paar weken aanwezig. Hierdoor hebben deze inleners minder binding met de organisatie en voelen zij zich minder verantwoordelijk voor uitgevoerde activiteiten.

Dat is terug te vinden in de tijd die de stortklaarmelder bezig is met het corrigeren van fouten. De stortklaarmelder besteedt soms wel 50% van de tijd aan het corrigeren van fouten. Enerzijds verhoogt dit de bewerkingstijd per product, anderzijds had de stortklaarmelder deze tijd aan andere activiteiten kunnen besteden. Ondanks de inwerkperiode die elke nieuwe werknemer krijgt blijkt dat dit soort problemen vaak voorkomen, ook meerdere malen bij dezelfde persoon.

Het opnieuw maken van fouten kan te maken hebben met de leercurve van de inleners. Zodra zij starten in de functie worden zij begeleid door een vaste werknemer. Omdat inleners vaak korte tijd nodig zijn zet de leercurve niet door. Een volgende keer dat de persoon terugkomt start het proces opnieuw in plaats van verder te gaan waar men was gebleven. Tevens zwakt de leercurve voor eigen personeel af omdat zij telkens tijd kwijt zijn aan het opleiden van nieuw personeel. De beschikbare capaciteit vergroot niet door de tijd die geabsorbeerd wordt door inwerken. Door inleners standaardproducten te laten bewerken wordt geprobeerd om de leercurve zo snel mogelijk te ontwikkelen waardoor de variabiliteit in bewerkingstijden reduceert. Vaste krachten worden dan ingezet voor meer complexe bewerkingen zoals het inbinden van wanden en balken.

5.3.2 Kwaliteit van aansturend personeel is onvoldoende

Zoals beschreven is de stortklaarmelder ongeveer de helft van de tijd bezig met het corrigeren van gemaakte fouten in eerdere bewerkingsstappen. In plaats van de werknemer te attenderen op de fout en deze de fout te laten herstellen verandert de stortklaarmelder het zelf. Hij ziet niet de meerwaarde van het leren hoe het wel moet en schakelt ook de teamleider niet in bij dit soort situaties. Wanneer een werknemer op de hoogte is van de fout en dit zelf herstelt zal hij minder fouten maken waardoor de bewerkingstijd van het product vermindert.

Ook de teamleiders zijn niet altijd in staat de werknemers goed aan te sturen. Zodra een werknemer klaar is met een handeling en niet weet wat hij moet doen heeft de teamleider hier geen weet van. Enerzijds komt dit doordat de teamleider bezig is met zijn eigen werk (meewerkend voorman); dit is meer dan 90% van de tijd. Anderzijds wordt er vanuit wordt gegaan dat 'de jongens' zelf weten wat ze moeten doen. Dit beeld blijkt niet te kloppen omdat niet alle werknemers de drang voelen om nieuw werk te vragen. Hierdoor wordt wachttijd gecreëerd voor het product en wordt de beschikbare capaciteit van het personeel niet goed gebruikt.

5.3.3 Besturing van het productieproces door de productieleider gaat op gevoel

In het verlengde van het vorige probleem wordt het productieproces door de productieleider aangestuurd op ervaring en gevoel. In de afgelopen twintig jaar dat de productieleider werkzaam is voor de organisatie heeft hij ervaring opgedaan over hoe het productieproces zou moeten verlopen en welke haken en ogen er zijn. Ondanks het feit dat zijn verwachtingen van bewerkingstijden niet erg afwijken van de werkelijke bewerkingstijden wordt toch de verwachte output niet gehaald in het gewenste aantal uren. Gegeven de onzekerheden van de informatie die door andere afdelingen (zoals werkvoorbereiding, verkoop, logistiek en kwaliteit) wordt aangeleverd is het zijn taak een zo goed mogelijke planning te maken. Omdat zijn ervaring een redelijk goede planning oplevert is nog nooit de drang ontstaan zich te verdiepen in mogelijkheden om de planning te verbeteren of te optimaliseren om zaken als overuren terug te dringen.

Omdat het uitvoeren van een goede planning kwaliteit van aansturend personeel vereist is dit hoofdprobleem niet op zichzelf staand. Een perfecte planning die vervolgens door gebrek aan kwaliteit bij teamleiders teniet wordt gedaan heeft weinig toegevoegde waarde. Toch wordt dit probleem apart benoemd omdat de productieleider niet weet welke technieken bestaan om goede operationele planningen te maken die bepaalde doelen nastreven. Wachtijden, onnodige transporttijden en variabiliteit in de bewerkingstijden kunnen gereduceerd worden als de productieleider kennis heeft van de relaties tussen deze factoren en de invloed hiervan op de output per dag.

5.3.4 Inrichting en gebruik carrousel zijn niet optimaal

De carrousel wordt gevoed door de tafels die gereed zijn in de kantenhal en de modelmakerij. De afstemming van deze drie afdelingen is complex door de variabiliteit in bewerkingstijden en tafels die op dezelfde dag gekanteld en gestort moeten worden. In dat geval kan de carrousel pas beginnen als de eerste tafels uit de kantenhal komen. Op dit moment wordt dit opgevangen door de kantenhal 1 uur eerder te laten beginnen.

Tevens zorgt gekleurd beton voor een beperking op het afroepen van beton. Intuïtief wenst de teamleider dit gelijktijdig af te roepen om schoonmaaktijd van de menger te besparen en wachttijden

voor andere hallen te reduceren. Daarnaast is de minimale hoeveelheid af te nemen beton 0,5 m³ waardoor een tafel met minder volume gelijktijdig met een andere tafel afgeroepen moet worden (beide tafels moeten dan dezelfde betonsoort hebben).

Positiegroepen zijn ook een belemmering in de carrousel. De keuze voor positiegroepen is bepaald tijdens de bouw van de productielocatie. Hierbij is uitgegaan van 20 tafels productie per dag. Er is ruimte om maximaal 40 netten op te slaan wat voldoende moet zijn voor twee dagen productie (mocht het uitwisselsysteem voor netten tussen de wapeningshal en de carrousel uitvallen). Doordat standaardproducten dezelfde netten nodig hebben maar deze netten geen unieke namen kregen raakte het systeem in de war. Er kon geen onderscheid gemaakt worden bij de identificatie van de netten. Indien dit systeem dit systeem weer in gebruik wordt genomen worden twee inbindposities inlegposities. Hierdoor zakt de capaciteit voor het inbinden van 45 naar 32 tafels per dag. Tevens wordt de platte (transport) wagen extra belast omdat elke tafel nu vier posities aandoet in plaats van drie. De afweging tussen extra transporttijd enerzijds en het just-in-time leveren van netten anderzijds is niet bekend.

De vijfde factor die voor problemen zorgt en ook de onafhankelijkheid van problemen uitsluit is de aansturing door de afdeling Werkvoorbereiding. Doordat werkvoorbereiders weinig kennis hebben van planningsmethodieken en elke werkvoorbereider een eigen project plant is er discrepantie in de overall planning. Indien hier fouten worden gemaakt is het door de lagere mate van flexibiliteit moeilijk om dit operationeel op te lossen (Wullink, G., *et al.*, 2003). Omdat wel fouten worden gemaakt ondervindt de productie leider problemen met het inhuren van voldoende personeel. Eén van deze fouten is dat de afdeling Werkvoorbereiding plannings uit geeft die op dagniveau wisselen in het aantal benodigd personeel. Vooral voor de timmerlieden in de modelmakerij schommelt dit aantal sterk. Omdat dit vakwerk vereist kan niet iedereen dit werk uitvoeren. Daarentegen kan een werknemer makkelijker ingezet worden in de kantelhal of de carrousel wanneer hij 'over' is. Ondanks de impact van het probleem op de dagelijkse aansturing van productie blijft de planning die door de afdeling Werkvoorbereiding wordt gemaakt buiten beschouwing omdat het doel van het onderzoek is operationele verbeteringen aan te dragen.

5.4 Kwantificering van hoofdproblemen

Voor het kwantificeren van de hoofdproblemen wordt gebruik gemaakt van de FMEA techniek. Leitch (1995) benoemt drie factoren die nodig zijn voor het bepalen van een kritieke factor. Zoals besproken in hoofdstuk 2 zijn deze factoren omgewerkt naar factoren die bruikbaar zijn voor de situatie bij Voorbij Prefab Beton:

- Mate waarin de volgende bewerkingsstap last ondervindt van het probleem (Ernstigheid)
- Aantal keren dat het probleem voorkomt (Frequentie)
- Mate waarin het probleem op te sporen valt (Zichtbaarheid)

5.4.1 Resultaten “FMEA”

In tabel 5.3 is te zien dat alle problemen dagelijks voorkomen waardoor Frequentie (FRE) overal de waarde 10 heeft gekregen. Het ontbreken van goed aansturend personeel wordt als meest erg gedefinieerd (waarde 10 voor Ernstigheid - ERN). Zonder goed leidinggevend personeel kan een planning optimaal zijn maar blijft het niet uitvoerbaar. Doordat gewerkt wordt in de carrousel volgens een zelf gekozen configuratie heeft men geen idee wat het effect van deze keuze is op de beschikbare capaciteit en wijze waarop tafels door de carrousel stromen. Hierdoor wordt dit het zwaarst gewaardeerd in de categorie Zichtbaarheid (ZBH). Problemen waar inzichtelijkheid in wordt geboden door het planbordoverleg worden minder zwaar beoordeeld. Tijdens het planbordoverleg wordt de kwaliteit van het uitvoerend personeel niet besproken waardoor dit probleem lager is gewaardeerd.

Processtap	Probleem	Gevolgen	E R N	Oorzaken	F R E	Huidige controles	Z B H	K W
Inrichting en gebruik Carrousel	Carrousel niet gebruiken waarvoor deze is gebouwd	- Wachtijd verhoogd - Voorraad verhoogd - Doorlooptijd verhoogd - Efficiency transportmiddelen verlaagt	8	Na probleemidentificatie nooit verder gezocht naar oplossingen.	10	Door gebruik te maken van de huidige configuratie en zo veel mogelijk te werken naar originele ideeën werkt het huidige systeem	9	7,2
Kwaliteit van werknemers (aansturend)	Door gebrek aan aansturing geen goede doorstroming van tafels in de carrousel.	- Opstopping van tafels - Stilstand van werknemers	10	Teamleiders ontvangen geen specifieke aansturing en hebben zelf niet de kennis om aansturing op te pakken	10	Teamleiders worden gestuurd in planbordoverleg. Productie leider heeft geen tijd meer sturing te geven	6	6,0
Kwaliteit van werknemers (uitvoerend)	De werkzaamheden worden niet goed uitgevoerd.	- Bewerkingstijd hoger - Meer herbewerking	8	Werknemers hebben geen kennis van hetgeen zij moeten doen Werknemers ontvangen niet de juiste sturing	10	Op dit moment worden werknemers nog niet getraind. Fouten wel bijna altijd opgemerkt	7	5,6
WVB geeft geen goede plannings af	Normuren zijn niet accuraat	- Plannings zijn te krap (niet voldoende ombouw tijd gepland) - Plannings fluctueren te veel - Tafel gebruik is niet optimaal	9	- Geen inzicht in de werkelijke bewerkingstijden (nameten) - Geen gevoel voor productietijden	10	Planbordoverleg zorgt voor betere communicatie.	6	5,4
Besturing van productieproces door productie leider	Inplannen van dagelijkse productievolgorde gaat op gevoel	Wachtijd voor producten en werknemers	7	- Door hoeveelheid werkzaamheden niet mogelijk om voldoende tijd aan dagelijkse planning te besteden - Te veel tafels in één keer zelfde transport nodig	10	Planbordoverleg zorgt voor betere communicatie	6	4,2

Tabel 5.3 Vijf hoofdproblemen die de outputverhoging belemmeren (20-05-2008)

Uiteindelijk resulteert de vermenigvuldiging van de drie factoren in de kritieke waarde (KW). Deze is het hoogst voor de inrichting en het gebruik van de carrousel. De tweede en derde plaats worden bekleed door de kwaliteit van aansturend en uitvoerend personeel. Vervolgens is de wijze waarop de afdeling Werkvoorbereiding plant een groot probleem maar wordt door de planbordoverleggen en de werkwijze van de productie leider redelijk opgevangen. Als laatste komt de besturing van het productieproces door de productie leider. Men realiseert zich dat eerst de overige problemen opgelost moeten worden voordat de productie leider zijn proces optimaal kan plannen, daarom is dit probleem als laagste gescoord.

Het probleem van Werkvoorbereiding valt buiten de grenzen van dit onderzoek. Daarnaast hebben twee van de vier problemen te maken met mensen en twee met de aansturing en inrichting van het productieproces. Voor deze laatste groep wordt in een simulatie, zie hoofdstuk 6, getoetst wat mogelijke oplossingsrichtingen zijn. Voor de problemen met betrekking tot kwaliteit van personeel zijn in hoofdstuk 7, de conclusies, aanbevelingen gegeven die volgen uit literatuur.

5.4.2 Gevoeligheidsanalyse scoringswaarden

Er is gekeken naar de gevolgen voor de kritieke waarden indien andere scoringswaarden worden gebruikt. Door tijdens de discussie de waarden direct te veranderen is bepaald welke scoringswaarden de juiste resultaten geven. Uiteindelijk blijkt dat door controles veel fouten opgemerkt worden danwel vooraf doordat de productie leider het filtert danwel achteraf doordat de stortklaarmelder de bewerkingen controleert.

In dit hoofdstuk is beschreven wat de oorzaken zijn voor de gevonden problemen uit de VSM en productiemetingen. Vervolgens is bepaald wat de hoofdproblemen zijn om zo een duidelijk beeld te krijgen van de gebieden waar de problemen zich afspelen. Hiervoor is gebruikt gemaakt van een workshopsessie waarbij naast het rangschikken van de problemen ook bepaald is welk probleem het meest ernstig is door de hoofdproblemen te scoren volgens drie factoren. Omdat twee van de hoofdproblemen getoetst kunnen worden met behulp van een simulatiemodel is een simulatie gemaakt, hierover meer in hoofdstuk 6. De overige twee hoofdproblemen worden aangepakt met behulp van beschikbare theorieën over 'human resources'.

6 Simulatie

6.1 Inleiding

Twee van de vier hoofdproblemen zijn in een simulatie nader getoetst. Het is lastig om van deze problemen de impact op de output per dag te kwantificeren. Voor beide problemen worden een aantal alternatieven getoetst. Zowel operationele aansturingsprincipes (prioriteitsregel) en configuraties van de carrousel zijn verandert om te bepalen wat de gevolgen zijn voor de doorlooptijd per product per dag en het aantal overuren per dag (Detty & Yingling, 2000; Thomas *et al.*, 2002).

Voor het uitvoeren van de simulatie is gebruik gemaakt van het softwareprogramma Plant Simulation v.8.2 (Siemens, 2008).

Paragraaf 6.2 beschrijft hoe het simulatiemodel is opgesteld. De aannames die zijn gedaan evenals een korte beschrijving van de wijze van verificatie komen daarbij aan bod. In paragraaf 6.3 is het experimentele ontwerp beschreven waarbij aangegeven wordt wat de input variabelen zijn voor de simulatie.

6.2 Opstellen simulatiemodel

Een simulatiemodel is een vereenvoudiging van de werkelijke situatie. Er wordt geen rekening gehouden met het uitvallen van machines, het niet beschikbaar zijn van materiaal of ziekte van werknemers. Verder worden de precieze handelingen die een werknemer verricht in een bewerkingsstap niet gemodelleerd (zoals het oppakken van gereedschap, het vastdraaien van een bout); een proces wordt gezien als een black-box. De bewerkingstijden die gebruikt worden per product volgen uit een theoretische verdeling die is bepaald uit de resultaten van de productiemetingen (zie hoofdstuk 4). Daarnaast is aangenomen dat overuren zijn toegestaan tot maximaal 19:00 uur. Voor de eerste 24 weken is de werkelijke hoeveelheid geproduceerde producten ingevoerd. De productmix in de overige productieweken is samen met de verkoper bepaald op basis van de aangenomen projecten. Aangenomen wordt dat elke tafel één element bevat terwijl dit in werkelijkheid ook twee of meer elementen kunnen zijn. De output per dag wordt dus in het aantal tafels uitgedrukt. Een uitgebreide beschrijving van het simulatiemodel is te vinden in bijlage O en P.

Verificatie heeft plaatsgevonden door het softwaremodel te vergelijken met de vooraf goedgekeurde stroomdiagrammen. Om zeker te zijn dat het simulatiemodel overeenkomt met de werkelijkheid is het management geraadpleegd. De aannames evenals de wijze waarop data is verzameld zijn besproken met management, de bedrijfsleider en de productie leider. Een gestructureerde ‘walk-through’ heeft niet plaatsgevonden omdat de genoemde personen niet de kennis en tijd hadden om het model per methode te doorlopen. Dit kan leiden tot fouten in methodes en in de aannames die zijn gemaakt, omdat de stroomdiagrammen wel akkoord zijn wordt dit niet verwacht. Voor elk model zijn tien productiejaren van 237 dagen gesimuleerd, zie bijlage P voor bijbehorende toelichting.

6.3 Experimenteel ontwerp

Het uitgangspunt voor alle simulaties is de huidige situatie. Hiervoor is de beschrijving van het proces zoals in hoofdstuk 2 gegeven gebruikt. Van de vier hoofdproblemen hebben twee hoofdproblemen te maken met menselijke factoren. Factoren die te maken hebben met werknemers worden niet door simulatie ondersteund (Detty & Yingling, 2000). Daarom is gekozen om de twee andere hoofdproblemen, de configuratie van de carrousel en prioriteitsregels voor het aansturen van het productieproces, te gebruiken als experimentele factoren. De verschillende simulaties die hieruit volgen bepalen het experimenteel ontwerp. Voor beide factoren zijn vier verschillende uitgangspunten gekozen.

6.3.1 Configuratie van de carrousel

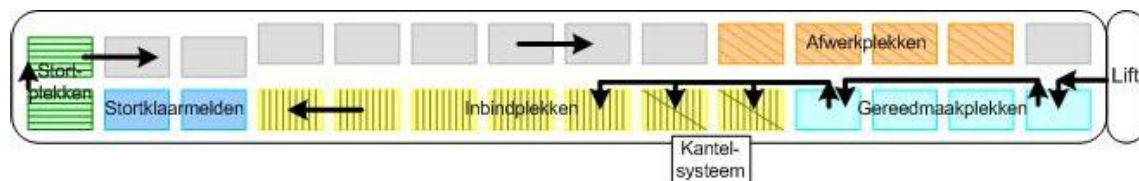
Er is gekozen om naast de huidige situatie van 4 gereedmaakplekken en 7 inbindplekken nog drie configuraties te simuleren:

1. De initiële 4/2/5 configuratie

In deze configuratie is gekozen voor de setting van de carrousel zoals deze in eerste instantie is gebouwd. Dat betekent dat er 2 inlegposities zijn waar via het kantelsysteem de wapeningsnetten automatisch worden geleverd zodat de tafel op één van die posities komt, in figuur 6.1 zijn de twee inlegposities weergegeven met een diagonale streep.

Deze configuratie is gekozen omdat niet bekend is wat de impact is op de output wanneer deze configuratie wel goed zou functioneren (het probleem is destijds nooit opgelost maar weggeschoven). Het hanteren van verschillende positiegroepen heeft enerzijds als voordeel dat de bewerkingstijd per bewerking mogelijk verkort omdat werknemers goed weten wat van hen verwacht wordt door het standaardiseren van hun werkzaamheden (Daft, 1997, p.544). Vanuit "lean production" is standaardisering gewenst omdat werknemers getraind raken in een specifieke taak. Vervolgens gaan zij meedenken over het verbeteren van hun taak waardoor de bewerkingstijd verkort van het specifieke proces. Niet alleen het verkorten van werktijd maar ook het elimineren van onhandige bewegingen en overige verspillingen wordt hierdoor gestimuleerd. Anderzijds zorgt gestandaardiseerd werk voor minder uitdaging en een lagere motivatie (Daft, 1997, p.544).

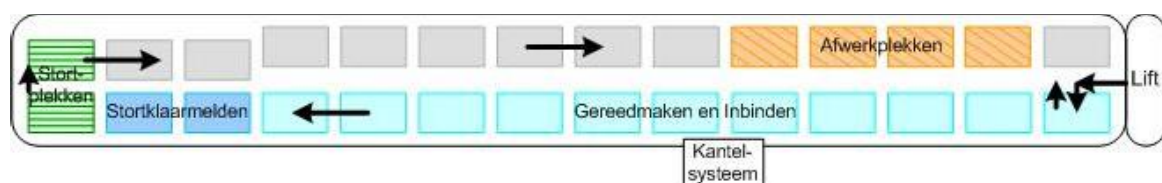
Doordat tafels niet twee maar drie positiegroepen aandoen, naast het gereedmaken en inbinden ook het inleggen, zal de transporttijd verlengen met ongeveer 2,5 minuut. Omdat het inleggen als apart proces gemiddeld 30-45 minuten duurt verlengt de bewerkingstijd van producten. Inleggen gebeurt niet langer parallel aan het gereedmaken. Hierdoor is het twijfelachtig of de output per dag zal verhogen omdat zowel de transporttijden de bewerkingstijd per product verlengt. De voorraad wapeningsnetten zal wel afnemen doordat deze nu rechtstreeks wordt geleverd vanuit de wapeningshal; dit wordt echter niet in meer detail gesimuleerd.



Figuur 6.1 Positiegroepen in de carrousel met inlegplekken aangegeven door een diagonale streep

2. 11 Universele posities

Deze inrichting lijkt een mini-variant van de U-vormige productieprocessen waarbij één werknemer meerdere processen of machines bestuurt (Shingo, 1981, p.156-159). In U-vormige productieprocessen worden verspillingen tot een minimum gereduceerd doordat werknemers overzicht hebben over verschillende processen (Pavaskar *et al*, 2003). Het uitvoeren van meerdere processen leidt tot een leereffect waardoor de bewerkingstijd vermindert (Xu *et al.*, 2008; Cheng & Wang, 2000). Omdat één persoon meerdere taken uitvoert vermindert de variabiliteit in bewerkingstijd als omdat het principe van 'variability pooling' optreedt (Hopp & Spearman, 2001, p.279; Shingo, 1981, p.157-159).



Figuur 6.2 Positiegroepen in de carrousel waarbij gereedmaken en inbinden op één positie wordt uitgevoerd

Daarnaast worden ook voordelen behaald doordat flexibiliteit beter opgevangen kan worden, de kwaliteit van de producten verbetert en de motivatie van werknemers verhoogd (Scholl & Klein, 1999; Hopp & Spearman, 2001, p.159-160; Zavadlav *et al.* 1996). Tevens worden werknemers gemotiveerd door de verticale integratie van taken (Daft, 1997, p.544-547; Scholl & Klein, 1999; Shingo, 1981, p.156-159). Werknemers in een volgend proces hoeven niet fouten uit een eerder proces te herstellen omdat zij nu zelf meerdere bewerkingen uitvoeren en hooguit zelf 'last' hebben van door henzelf gemaakte fouten.

In deze configuratie vermindert de transporttijd, een tafel wacht minder omdat er nog maar twee verplaatsingen zijn (in plaats van drie), zie figuur 6.2. Dit komt overeen met het elimineren van transporttijd zoals nagestreefd wordt vanuit "lean production".

3. Huidige situatie zonder prioriteit voor de platte (transport) wagen

Omdat in de huidige situatie de platte wagen tafels doorstuurt volgens een prioriteitsstelling is gesimuleerd wat de impact is op de wachttijd van tafels indien deze prioriteitsregel niet aanwezig zou zijn. Een tafel die uit de lift komt en naar het gereedmaken moet krijgt altijd een lagere prioriteit dan de andere verplaatsingen (van gereedmaken naar inbinden of van inbinden naar stortklaarmelden). Dit is zo geprogrammeerd omdat men vermoedde dat het storten de bottleneck was en dit proces dus altijd gevoed moet blijven.

Het gelijkstellen van de prioriteit leidt tot het verplaatsen van tafels volgens de first-come-first-served (FCFS) methode. Het wordt verwacht dat de gemiddelde wachttijd afneemt waardoor de gemiddelde doorlooptijd ook verlaagd.

6.3.2 Prioriteitsregels voor het aansturen van het productieproces

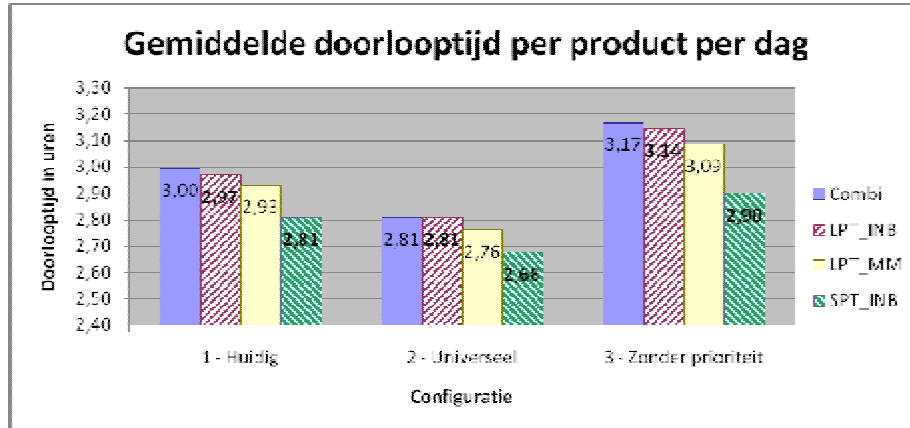
De tweede factor waarmee wordt geëxperimenteerd is de wijze waarop tafels het productieproces in worden gestuurd, de prioriteitsregels. Op dit moment groepeerde de productie leider tafels op basis van het producttype. Om werknemers aan het werk te houden stuurt hij eerst tafels het proces in waarvan de bewerkingstijd relatief kort is bij het ontkisten (ontkisten begint om 6 uur zodat de tafels voor 7 uur ontkist zijn). Vervolgens worden tafels waarvan de bewerkingstijd langer is naar binnen gestuurd.

Vanuit de praktijk is de te gebruiken prioriteitsregel aan beperkingen gebonden. Omdat er geen geavanceerde software beschikbaar is kan de prioriteitsregel (nog) niet geprogrammeerd worden. De productie leider moet de prioriteitsregel uit zijn hoofd kunnen gebruiken. Het is belangrijk dat de uiteindelijke prioriteitsregel eenvoudig is en door iedereen begrepen kan worden, het moet intuïtief goed te volgen zijn. Twee van de in paragraaf 3.4.2 besproken prioriteitsregels zijn daarom te geavanceerd voor de organisatie: de shifting bottleneck heuristiek en het flexible flow line algoritme. In bijlage S is een overzicht gegeven van de verschillende voorkeuren per afdeling met betrekking tot de door"flow" van producten. Met deze voorkeuren in het achterhoofd is gekozen om vier regels te testen voor elke configuratie die (1) intuïtief goed te volgen zijn en (2) één van beide doelen nastreven (verstandig gebruiken van de machines en de doorlooptijd verkorting):

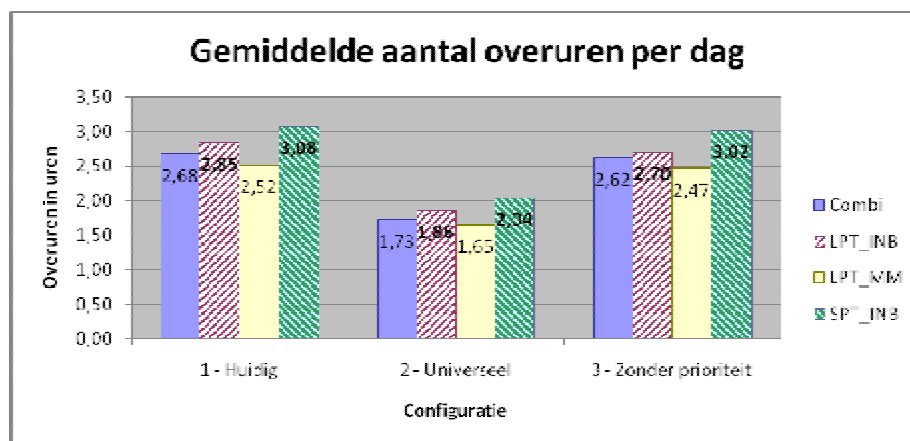
- I. Longest Processing Time First voor het inbinden (LPT_INB)
- II. Longest Processing Time First voor het opbouwen in de modelmakerij (LPT_MM)
- III. Shortest Processing Time First voor het inbinden (SPT_INB)
- IV. Combinatie regel (Combi) van SPT en LPT regels

Omdat het inbindproces de bottleneck is in het productieproces zijn de LPT en SPT regels hieraan gekoppeld (Adler, 1993). Daarnaast is ook de opbouw tijd in de modelmakerij als uitgangspunt gekozen. Een tafel met een lange opbouw tijd heeft vaak ook een lange inbind tijd, dus sorteren op opbouw tijd neemt de inbind tijd daar indirect in mee. Als laatste is een regel gesimuleerd waarbij rekening wordt gehouden met het aan het werk houden van werknemers en ook de doorlooptijd wordt geminimaliseerd. Producten worden eerst gesorteerd op opbouw tijd in de modelmakerij, vervolgens op inbind tijd in de carrousel. Daarna wordt gekeken hoeveel tijd opgevuld moet worden in de

carroussel voordat de eerste tafel uit de modelmakerij de carroussel in zou komen. Deze tijd wordt opgevuld met tafels waarvan de bewerkingstijd voor het inbinden past in dit tijdslot, zie ook bijlage P. Hierdoor blijven de werknemers bezig en worden tafels met de langste bewerkingstijden zo vroeg mogelijk geproduceerd.



Figuur 6.3 Gemiddelde doorlooptijd per product per dag per configuratie



Figuur 6.4 Gemiddeld aantal overuren per dag per configuratie

6.4 Resultaten

Voor alle configuraties is gekeken naar de impact op gemiddelde doorlooptijd per product en het aantal te maken overuren per dag om de productie af te krijgen. Tevens is gekeken naar de totale tijd dat bewerkingen hebben plaatsgevonden op een positie. Deze totale bewerkingstijd per positie is uitgedrukt als deel van de totale tijd dat de positie beschikbaar was. Wanneer overuren gemaakt moesten worden om de dagproductie af te krijgen zijn deze uren bij de reguleren opgeteld om de totale tijd dat de positie beschikbaar was te bepalen. Figuur 6.3 en figuur 6.4 geven per configuratie een overzicht van de gemiddelde doorlooptijd en gemiddeld aantal overuren per dag opgedeeld per configuratie. In bijlage T zijn dezelfde grafieken gegeven voor de wachttijd en bezetting van posities.

Omdat de gemiddelde doorlooptijd per product met ongeveer 36% indien het inleggen apart wordt uitgevoerd (als extra positiegroep) is deze configuratie niet verder geanalyseerd. Voor het uitvoeren van de simulatie waren al twijfels of de extra bewerkingstijd tot de gewenste resultaten zou leiden.

6.4.1 Significantieanalyse

Voor de overige drie configuraties is de gemiddelde doorlooptijd per product per dag en het aantal te werken overuren per dag om de dagelijkse productie te halen weergegeven in figuur 6.3 en figuur 6.4. Uit figuur 6.3 kan opgemaakt worden dat in de huidige situatie de doorlooptijd kan verkorten door een

andere prioriteitsregel te hanteren dan op dit moment gebeurt: de SPT regel vermindert de gemiddelde doorlooptijd significant met ongeveer 6%, zie bijlage U. Tevens valt op in deze situatie 15% meer overuren nodig zijn om de dagproductie te realiseren, zie figuur 6.4. Dit komt doordat het gemiddeld aantal overuren in een SPT regel redelijk constant maar de afwijking per keer erg hoog kan zijn. Tafels met een lange bewerkingstijd voor het inbinden worden namelijk pas op het einde ingepland. Doordat deze tafels vaak ook lange tijd opgebouwd moeten worden is al veel tijd verstreken voordat de productie in de carrousel kan beginnen (bijvoorbeeld pas na 13:00 uur). In combinatie met de lange inbindtijd kan de productie alleen gehaald worden door overuren te maken. In realiteit worden dan extra mensen ingezet bij een bewerking (simulatie gaat uit van één persoon) om de bewerkingstijd te verkorten en de overuren te beperken.

In één oogopslag valt op dat de tweede configuratie met 11 universele posities zowel de kortste gemiddelde doorlooptijd per product per dag heeft als het minste aantal overuren per dag. Van de vier prioriteitsregels valt op dat de LPT_INB regel gelijke doorlooptijd heeft aan de combiregel maar meer overuren per dag nodig heeft; deze regel wordt daarom niet verder onderzocht. Omdat de overige drie regels in de universele configuratie betere resultaten geven dan de prioriteitsregels in de huidige situatie wordt gekeken of deze verschillen significant zijn ten opzichte van de huidige situatie (combi-regel in configuratie 1), zie bijlage U.

De volgende nulhypotheses zijn getoetst:

- *De gemiddelde doorlooptijd voor de combiregel bij configuratie 1 en de combi, LPTMM en SPT regel bij configuratie 2 is gelijk*
- *Het gemiddeld aantal overuren per dag voor de combiregel bij configuratie 1 en de combiregel, LPT MM regel en SPT regel bij configuratie 2 is gelijk*

De gemiddelde doorlooptijd en het gemiddeld aantal overuren per dag in configuratie 1 met de combiregel verschilt significant van de gemiddelde doorlooptijd en het gemiddeld aantal overuren per dag in configuratie 2 met de combiregel, de LPT_MM regel en de SPT_INB regel. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de tweede configuratie significant beter is dan de huidige situatie (configuratie 1 met de combiregel) ongeacht de te gebruiken prioriteitsregel.

Vervolgens is gekeken of de verschillen tussen de prioriteitsregel van configuratie 2 significant van elkaar verschillen. Hiervoor zijn de volgende twee nulhypotheses getoetst:

- *De gemiddelde doorlooptijd voor de combi, LPT MM en SPT regel in configuratie 2 is gelijk*
- *Het gemiddeld aantal overuren per dag voor de combi, LPT MM en SPT regel in configuratie 2 is gelijk*

Het verschil in gemiddelde doorlooptijd bij de prioriteitsregels is significant. De SPT_INB regel geeft significant betere resultaten dan de combiregel en de LPT_MM regel. Met betrekking tot het aantal overuren per dag is alleen het verschil tussen de combiregel en de LPT_MM regel niet significant. Het verschil tussen de combiregel en de SPT_INB regel en de LPT_MM regel en SPT_INB regel is wel significant.

De significante verschillen tussen de huidige configuratie en de universele configuratie zijn te verklaren door het significant verminderen van wachttijd in het proces. Het verminderen van de wachttijd wordt voornamelijk verklaard door een verlaging van de variabiliteit in het aankomstproces en variabiliteit in bewerkingstijd (zie VUT-formule). Door 'flow variability' vermindert de variabiliteit in het aankomstproces, de variabiliteit in werkstation A beïnvloedt het gedrag van het volgende stations (zie paragraaf 4.5). Daarnaast verlaagt de variabiliteit in bewerkingstijd doordat het principe van 'variability pooling' optreedt; meerdere processen worden achter elkaar door eenzelfde persoon uitgevoerd (zie paragraaf 2.3.2).

6.4.2 Gevoeligheidsanalyse

Een gevoeligheidsanalyse geeft weer in welke mate de onzekerheden in output van het simulatiemodel te verklaren zijn door verschillende onzekerheden in de input variabelen van het model. Omdat uit de significantieanalyse naar voren is gekomen dat de universele configuratie significant beter is dan de huidige configuratie is voor deze configuratie een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Daarnaast blijkt uit de significantieanalyse dat de combiregel en de LPT_MM regel met betrekking tot aantal overuren per dag niet significant van elkaar verschillen. Ondanks dat het verschil in doorlooptijd significant is wordt toch alleen naar de combiregel is gekeken omdat deze regel het meest overeenkomt met de huidige manier van werken en denken die wordt gehanteerd.

De universele posities zijn de bottleneck in het productieproces. De gemiddelde bezetting van de inbindposities (inclusief overuren) niet boven de 27% komt, zie bijlage V. Dit houdt in dat gedurende een productiedag (van 7:00 tot vertrek van het laatste product) een positie niet meer dan 27% van de tijd bezet is. Hierbij wordt een maximale bezetting bereikt van 60% wanneer de LPT_MM regel gehanteerd wordt.

Uit de resultaten blijkt dat er ruimte is om meer te produceren. Om dit verder uit te zoeken is gesimuleerd hoeveel universele posities 'gesloten' kunnen worden zodat de productie nog steeds gerealiseerd kan worden. Met slechts 8 universele posities kan de productie gerealiseerd worden. De gemiddelde bezetting van posities (inclusief overuren) verhoogd naar 34% met een piek van 71% op één van de universele posities. Het aantal extra overuren dat hierbij gemaakt wordt is met 7,3 minuten per dag niet significant.

Er is niet getoetst wat de invloed is van andere inputdistributies voor de bewerkingstijden. De gebruikte distributies zijn bepaald op basis van de uitgevoerde metingen. Indien de metingen op een andere dag of in een andere week uitgevoerd zouden worden is het zeer goed mogelijk dat dit tot andere inputdistributies leidt.

Uit de classificatie van hoofdproblemen in hoofdstuk 5 kwamen de configuratie van de carrousel en de aansturing van het proces door de productie leider als grootste problemen naar voren. Met een simulatie is getoetst wat de impact van verschillende configuraties en prioriteitsregels is op de doorlooptijd van het product, de wachttijd van het product en het aantal te werken overuren. Concluderend kan worden gezegd dat significant betere doorlooptijden en significant minder overuren gerealiseerd worden in een configuratie met 11 universele posities zijn in vergelijking met de huidige situatie (met combiregel). Op elke positie wordt dan het gereedmaken, het inbinden en het storklaarmelden uitgevoerd.

7 Conclusies en Aanbevelingen

7.1 Inleiding

Dit hoofdstuk zet de conclusies uiteen die volgen uit het afstudeeronderzoek naar mogelijkheden om de output te verhogen bij één van de productieafdelingen van Voorbij Prefab Beton.

In paragraaf 7.2 is besproken of de acties die gepland stonden om uitgevoerd te worden tijdens het onderzoek ook daadwerkelijk zijn uitgevoerd en wat de hierbij ondervonden problemen waren. Door het uitvoeren van de acties zijn de fasen zoals gedefinieerd in het onderzoeksmodel doorlopen waarmee de onderzoeksvraag is beantwoord. In paragraaf 7.3 is beantwoording van de onderzoeksvraag uitgebreid beschreven waarbij ook de concrete acties die Voorbij Prefab Beton moet doorvoeren om een hogere output te realiseren zijn beschreven. Uiteindelijk zijn ook aanbevelingen voor verder onderzoek beschreven in paragraaf 7.4.

7.2 Reflectie

Om het doel van het onderzoek, het verhogen van de output, te bereiken is de volgende centrale onderzoeksvraag geformuleerd:

“Hoe dient het productieproces van Voorbij Prefab Beton ingericht te worden om een hogere output te realiseren en daarbij efficiënter gebruik te maken van de beschikbare middelen?”

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag zijn vier hoofdvragen geformuleerd. Deze zijn opgedeeld in vier fasen: de literatuurstudie, de beschrijving van het productieproces, de analyse van het productieproces en de oplossingsrichtingen. Tijdens het onderzoek zijn alle fasen doorlopen waardoor alle onderzoeksvragen zijn beantwoordt. De oplossingsrichtingen kregen een onverwachte wending doordat de hoofdproblemen leiden naar een simulatiestudie. Deze manier van het toetsen van de oplossingsrichtingen was vooraf niet bepaald. Toch is simulatie een uitermate bruikbare manier gebleken om voor de helft van de hoofdproblemen na te gaan wat de gevolgen zijn op de doorlooptijd wanneer andere waarden worden gebruikt.

7.3 Beantwoording onderzoeksvraag

Om het doel van het onderzoek te bereiken is de onderzoeksvraag als volgt geformuleerd:

“Hoe dient het productieproces van Voorbij Prefab Beton ingericht te worden om een hogere output te realiseren en daarbij efficiënter gebruik te maken van de beschikbare middelen?”

Op basis van de resultaten die volgen uit de VSM, de metingen en de simulatie blijkt dat er mogelijkheden zijn om het productieproces te verbeteren. In onderstaande subparagrafen zijn de verbetermogelijkheden overzichtelijk uitgewerkt per onderwerp. Tevens zijn concrete acties aangedragen om de aanbevelingen daadwerkelijk te realiseren. Eerst zijn de onderwerpen die getoetst zijn in de simulatie besproken. Afhankelijk van de configuratie en de aansturing van het productieproces volgens de conclusies met betrekking tot de kwaliteit van het personeel en het elimineren van verspillingen.

7.3.1 Andere configuratie van de carrousel

Uit de simulaties volgt dat het verstandiger is om de configuratie van de carrousel aan te passen naar 11 universele posities waarbij het gereedmaken en inbinden op dezelfde plek wordt uitgevoerd. De gemiddelde doorlooptijd per product verlaagt en het aantal te werken overuren reduceert. Omdat in het huidige proces en in een proces met 11 universele posities de bezettingsgraad relatief laag blijft kan geconcludeerd worden dat de werkstations gedeeltelijk worden benut en er dus ruimte is voor extra productie.

Het doorvoeren van universele posities brengt nauwelijks materiaalkosten met zich mee en is snel in te voeren. Het enige dat nog niet op de eerste 11 carrouselposities uitgevoerd kan worden is het

ombouwen van mallen. Dit komt omdat alleen de eerste vier posities over een luchtdrukkitspuit beschikken. In plaats van luchtleidingen te verlengen (kosten ongeveer €1080 exclusief 3 kitspuiten à €250) kan beter gekozen worden voor een accu kitspuit. De materiaalkosten bedragen dan enkel de kitspuiten, maximaal €1050 (Informatie via ToolsXL.nl). De kosten voor het veranderen van de software zijn onbekend. Aangenomen wordt dat een manuur €100 kost en het wijzigen van de software 2 fulltime weken kost (in totaal € 8000).

Omdat werknemers in deze configuratie verantwoordelijk worden voor meerdere taken is het belangrijk dat zij opgeleid worden tot multi-functioneel inzetbare werknemers (Bidana *et al.*, 2005; Olorunniwo & Udo, 2002). Naast een verlaging van de variabiliteit in bewerkingstijd (Hendricks & McClain, 1993) leidt het opleiden tot multifunctioneel personeel ook tot extra flexibiliteit van resources (Daniels *et al.*, 2004; Daniels *et al.*, 1996).

Door de lage bezettingsgraad is extra capaciteit beschikbaar. De gevoeligheidsanalyse toonde aan dat bij een gemiddelde bezetting van 35% op alle universele posities gemiddeld 4,6 extra tafels per dag geproduceerd kunnen worden. Op jaarbasis kan hierdoor 1,5 miljoen euro extra omzet behaald worden.

7.3.2 Zelfde prioriteitsregel hanteren voor aansturing

De beste resultaten in de universele configuratie worden bereikt door de LPT_MM regel te hanteren bij het aansturen van het productieproces. Vergelijking van deze regel met de huidige prioriteitsregel in de universele situatie leidt tot niet-significante verschillen voor het aantal overuren per dag (gemiddeld 4,7 minuten per dag minder bij LPT_MM). De gemiddelde doorlooptijd per product per dag vermindert significant met 2,85 minuten bij LPT_MM.

Ondanks dat vanuit een output-verhogende strategie het gewenst is om een zo kort mogelijk doorlooptijd te hebben wordt toch aangeraden om dezelfde prioriteitsregel te blijven hanteren. Ten eerste is deze regel reeds bekend en wordt al gebruikt waardoor het weinig verandering vereist in de werkwijze van zowel de productie leider als de werknemers op de vloer. Daarnaast is de simulatie gebaseerd op (slechts) een aantal metingen uit een korte periode. Andere metingen kunnen leiden tot andere input variabelen voor de simulatie waardoor de resultaten (die dicht bij elkaar liggen ondanks de significante verschillen) kunnen veranderen in het voordeel van bijvoorbeeld de combiregel.

7.3.3 Verkorten van de bewerkingstijd per product

Ten derde kan de bewerkingstijd per product verkort worden wat de verlaging van doorlooptijd ten goede komt. Met het oog op de grote hoeveelheid ingeleend personeel is het verstandig bewerkingsschappen te documenteren in werkinstructies. Dit kan worden gebruikt om werknemers te wijzen op gemaakte fouten en eenheid in de manier van werken te bewerkstellingen. Door minder fouten zal ook de tijd voor herbewerkingen verlagen en daarmee de doorlooptijd.

7.3.4 Kwaliteit van personeel verbeteren

Het belangrijk om teamleiders te hebben die over de juiste kwaliteiten beschikken om het proces in goede banen te leiden. Het is gebleken dat de teamleiders in de carrousel en de kanteelhal niet voldoende capabel zijn de werknemers efficiënt aan te sturen.

Om ervoor te zorgen dat zowel de kwaliteit van het aansturend personeel als de kwaliteit van het uitvoerend personeel verbetert wordt aangeraden om teamleiders en werknemers training te geven. Voor teamleiders is het belangrijk dat zij leren hoe zij orders moeten geven, hoe planning werkt en hoe ze goed kunnen communiceren (Nwabueze, 2001; Daft, 1997, p.498). Vooral in de nieuwe situatie is het belangrijk dat een teamleider kan anticiperen op de status in verschillende afdelingen en bij de productiecellen zodat de multifunctionele werknemers zo optimaal mogelijk worden ingezet. Indien teamleiders 'het niet in zich' hebben moet een alternatieve functie gezocht worden waarin zij zich kunnen ontplooiën en niet het gevoel krijgen achteruit te gaan in functie.

Werknemers moeten leren hoe het hele productieproces verloopt, hoe bewerkingen uitgevoerd moeten worden en wat de gevolgen zijn wanneer een bewerking niet goed is. Belangrijk is dat voor beide groepen trainingen zo concreet mogelijk worden aangeboden door veel voorbeelden uit hun

praktijkomgeving te gebruiken. Omdat er nog geen goede teamleider is, is tijdens het onderzoek een vacature uitgezet voor deze functie.

Naast het verkorten van de doorlooptijd dragen werkinstructies ook bij aan het scheppen van duidelijkheid naar de werknemers. Zij weten precies wat van hen wordt verwacht bij een bepaalde handeling. Dit voorkomt fouten omdat werknemers nu niet meer op eigen initiatief kunnen terugvallen maar altijd de werkinstructie kunnen raadplegen. Door werknemers te betrekken bij het opstellen van de werkinstructies zal hun weerstand ertegen verminderen en begrijpen zij de werkinstructies. Tevens is het verstandig dat de storklaarmelder een korte periode bijhoudt welke fouten worden gemaakt. Hieruit kan de productie leider concluderen waar eventueel extra sturing nodig is.

De kosten voor het doorvoeren van de bovengenoemde aanbevelingen hebben zijn moeilijk in te schatten. Het zelf ontwikkelen van een training is om twee redenen aan te raden. Ten eerste zijn de kosten lager dan wanneer een extern bureau wordt ingeschakeld. Ten tweede kunnen de trainingen gevuld worden met praktijk voorbeelden die ook de trainer begrijpt.

7.3.5 Invoeren van 'lean production'

Ondanks de vorderingen in het invoeren van 'lean production' is opgevallen dat er geen strategisch plan was voor de invoering; dit is wel aan te raden. Tijdens het afstudeeronderzoek is een begin gemaakt met het Voorbij Lean Systeem (VLS), zie bijlage W. Dit is geen onderdeel van het eigenlijke doel van het onderzoek maar is opgepakt omdat het veel raakvlakken heeft met de aansturing van de productie.

Het VLS beschrijft de verschillende 'lean production' gereedschappen die geïmplementeerd gaan worden bij Voorbij Prefab Beton in de komende jaren. In samenwerking met de manager Operational Excellence is bepaald welke gereedschappen tot 2010 geïmplementeerd gaan worden. Eén hiervan is het invoeren van VSM op alle afdeling. Omdat de VSM van de carroussel nu gereed is wordt aangeraden om in ieder geval te starten met het elimineren van de gevonden verspillingen. Het is niet mogelijk alle verspillingen gelijktijdig weg te werken daarom wordt aangeraden om dit gefaseerd door te voeren. In overleg met de productie leider wordt gekozen welke verspillingen het beste opgepakt kunnen worden omdat hij inzicht heeft in de drukte en kwaliteiten van medewerkers op de afdelingen.

Daarnaast is ook tijdens het afstudeeronderzoek geprobeerd om andere verspillingen terug te dringen die zijn besproken in paragraaf 3.5. Het wachten op het legen van de lorrie in de kantelhal is aangepakt door een formulier te maken waarop bijgehouden werd wanneer het probleem voorkwam en hoelang dit duurde. Het wachten op het legen van de lorrie duurde 0,5 tot 1,5 uur en kwam 1-4 keer voor in een week. De manager Logistiek is op de hoogte gesteld van de frequentie en heeft zijn werknemers in de buitenopslag hierop aangesproken. Ondanks de verbeteringen blijft het probleem nog voorkomen, dit wordt nog steeds bijgehouden op de formulieren zodat het inzichtelijk blijft. Het documenteren van de gevonden oplossing is belangrijker dan de oplossing zelf, door te onderzoeken en uit te proberen wordt uiteindelijk een oplossing gevonden die ervoor zorgt dat het probleem niet weer zal optreden. Volgens Shingo (1981, p.75) is er maar één reden om de productieproces te stoppen, en dat is om ervoor te zorgen dat het nooit weer gebeurt.

Ook de wachttijd en extra bewerkingstijd die ontstaan doordat verkeerde materialen worden geleverd is in kaart gebracht tijdens het onderzoek. Hier is een formulier voor gemaakt waarop bijgehouden wordt hoe vaak wapeningsnetten niet juist zijn en hoe lang het duurde om dit te repareren. Het inzichtelijk maken van de problemen schept duidelijkheid over de ernst van de situatie richting leverancier.

De extra bewerkingstijd die nodig is wanneer het beton niet de juiste viscositeit heeft is inzichtelijk gemaakt door de storters een formulier bij te laten houden. Hierop moet aangegeven worden of de viscositeit van het beton goed was, wanneer ze bestelden en wanneer ze beton ontvingen (wachttijd) en hoeveel beton te veel ontvangen was. Uiteindelijk werden ook de molenbazen overtuigd en is een planbord overleg georganiseerd. De kwaliteit van het beton is verbeterd maar na enige tijd vielen ze toch weer terug in het oude patroon van extra beton leveren. Dit onderwerp is mede door het planbord een aandachtspunt geworden van de dagelijkse productie.

Om “lean production” te laten slagen is het noodzakelijk om een lean-team op te stellen dat wordt aangestuurd door een lean coördinator. Voor deze laatste functie staat ook een vacature uit. Een lean-team wordt per afdeling bepaald zodat de groep mensen die dagelijks samenwerkt, streeft naar hetzelfde doel en elkaar kan aanspreken op gemaakte fouten. Ook hier is het belangrijk dat een leider weet wat gedaan moet worden en waarom dat belangrijk is, zo kan hij andere motiveren. Een positieve houding draagt bij aan het elimineren van de verspillingen. Training en sturing zorgen ervoor dat werknemers mee gaan denken over verbetermogelijkheden waardoor een cirkel van continue verbetering ontstaat. Om ervoor te zorgen dat werknemers gaan meedenken over verbeteringen in het proces is het belangrijk dat een cultuur gecreëerd wordt waarin dit wordt nagestreefd. De teamleiders, de productie leider maar ook het hoger management moeten hieraan meewerken. Ondersteuning voor veranderingen vanuit het hoger management heeft een positieve invloed op de implementatie ervan.

7.3.6 Extra productie aannemen

Uit de gevoeligheidsanalyse van de simulatie is gebleken dat extra productie mogelijk is wanneer 11 universele posities worden ingevoerd in de carrousel. Gemiddeld kunnen 4,6 tafels extra geproduceerd worden per dag. Met een omzet per tafel van €1500 is dit een extra omzet per dag van ruim €7000. Hieruit kan geconcludeerd worden dat, naast het verbeteren van de inrichting en de aansturing van de carrousel, factoren op strategisch en tactisch niveau nader onderzoek vereisen.

7.4 Aanbevelingen

Doordat in de universele configuratie ruimte is voor extra productie is het interessant om te kijken naar de mogelijkheden voor het verbeteren van de capaciteitsplanning op tactisch niveau. Uit dit afstudeeronderzoek zijn bewerkingstijden voor producten naar voren gekomen die niet overeenkomen met de normtijden. Omdat normtijden pas sinds kort worden toegepast is het belangrijk dat deze worden bijgesteld om beter te plannen. Er is een nieuwe afstudeeropdracht geformuleerd voor het plannen van resources op tactisch niveau, deze is te vinden in bijlage X. Omdat is gebleken dat de afdeling Werkvoorbereiding geen echte planners in dienst heeft is er een vacature uitgezet voor een planner.

Tijdens het onderzoek is gekeken naar mogelijkheden om de inzichtelijkheid van het productieproces te verbeteren. Een methode hiervoor is visual factory, dit is in bijlage W meer gedetailleerd beschreven. Om visual factory succesvol in te voeren is het belangrijk dat de normtijden voor productie kloppen. De afdeling Werkvoorbereiding moet ervoor zorgen dat geen gemiddelde tijden worden gebruikt per project maar dat de normtijden per tafel worden gedefinieerd. Uit een grove schatting blijkt dat het implementeren van visual factory in de carrousel ongeveer €2500 kost. Het is aan te raden om verder onderzoek te doen naar de mogelijkheden voor het visualiseren van de productie in alle productiehallen zodat er een eenduidige werkwijze is.

Ook voor de technische dienst zijn aanbevelingen om de betrouwbaarheid van de machines te verbeteren waardoor de doorlooptijd van producten verlaagt. Door vaker preventief onderhoud uit te voeren verlaagt de variabiliteit in tijd voor de herstelwerkzaamheden. Hierdoor verkort de wachttijd voor producten waardoor de output en de bezettingsgraad van het systeem verhogen. Veelal wordt onderhoud uitgevoerd op het moment dat een machine stuk gaat. Een beter onderhoudsplan zorgt ervoor dat in het productieproces minder last wordt ondervonden van uitval van machines.

Daarnaast is het ook interessant om verder onderzoek te doen naar de werking en bezetting van de lift. Uit analyse van gegevens is gebleken dat er twee piekmomenten zijn op een dag. Door de complexiteit van de aansturing van de lift is dit proces buiten beschouwing gelaten in de simulatie. De vraag is of de lift in de problemen komt wanneer meer tafels geproduceerd gaan worden, en zoja bij hoeveel tafels dit tot problemen leidt. Vervolgens moet dan gekeken worden hoe de huidige prioriteitsstelling verbeterd kan worden.

7.5 Discussie

Zoals eerder beschreven zijn de aanbevelingen gebaseerd op een combinatie van de resultaten van de VSM, de metingen in het productieproces en het simulatiemodel. Bij het doorvoeren van de aanbevelingen moet rekening worden gehouden met de wijze waarop de informatie is verzameld. In hoofdstuk 4 is aangetoond dat het aantal uitgevoerde metingen niet voldoet aan het gewenste aantal metingen om een betrouwbaar resultaat te genereren. Ondanks dat in overleg met het management besloten is om bepaalde producten te meten zodat een zo goed mogelijke mix van de jaarproductie is vastgelegd en alle gemeten gegevens meer zijn dan geen gegevens zal een nieuwe serie metingen tot andere resultaten leiden en dus tot andere cijfers en variabelen die gebruikt worden in een simulatie.

Wanneer de metingen op een ander tijdstip zouden zijn uitgevoerd verwachten we dat de resultaten van het simulatiemodel niet identiek zullen zijn aan de huidige resultaten. Ondanks andere resultaten verwachten we dat de aanbevelingen niet drastisch zullen veranderen omdat de resultaten zeer waarschijnlijk in dezelfde richting wijzen. Verder onderzoek zou uit kunnen wijzen wat de impact is van gevoeligheidsanalyse voor andere input waarden in het simulatiemodel.

Literatuurlijst

- Aernoudts, R., Aernoudts, R., en Dotman, F., (2003) *Leren zien: waarde creatie door het in kaart brengen van de value stream en het elimineren van verspilling*. Stichting Lean Management Institute, Driebergen. Oorspronkelijke titel: Learning to See by Rother & Shook
- Abdulmalek, F.A., and Rajgopal, J., (2007) *Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: a process sector case study*, International Journal of Production Economics, Vol. 107, p.223-236
- Adler, L., Fraiman, N., Kobacker, E., Pinedo, M., Plotnicoff, T.P. and Wu, T.P., (1993) *BPSS: A scheduling support system for the packaging industry*, Operations Research, Vol. 41-4, p.641-648
- Adams, J., Balas, E., Zawack, D., (1988) *The shifting bottleneck procedure for job shop scheduling*, Management Science, Vol. 34-3, p.391-401
- Alblas, G., en Wijsman, E., (2005) *Gedrag in Organisaties. H11*, 4^e druk, Wolters Noordhof.
- Bidana, B.B., Ariyawongrat, P., LaScola Needy, K., Norman, B.A., and Tharmmaphornphilas, W., (2005) *Human related issues in manufacturing cell design, implementation, and operation: a review and survey*, Computers & Industrial Engineering, Vol. 48, p.507-523
- Blackstone, J.H., Philips, D.T. and Hogg, G.L., (1982) *A state-of-the-art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operations*, International Journal of Production Research, Vol. 20-1, p.27-45
- Chan, F.T.S., Chan, H.K., Lau, H.C.W. and Ip, R.W.L., (2003), *Analysis of dynamic dispatching rules for a flexible manufacturing system*, Vol. 138, p.325-331
- Cheng, T.C.E., and Wang, G., (2000), *Single Machine Scheduling with Learning Effect Considerations*, Annals of Operations Research, Vol. 98-1, p.273-290
- Daft, R.L., (1997), *Management*, fourth edition, The Dryden Press
- Daft, R.L., (2004) *Organization theory and design*, eight edition, Thompson South Western
- Daniels, R.L., Mazzola, J.B., Shi, D., (2004) *Flow Shop Scheduling with Partial Resource Flexibility*, Management Science, Vol. 50-5, p.658-669
- Daniels, R.L., Hoopes, B.J., and Mazzola, J.B., (1996) *Scheduling parallel manufacturing cells with resource flexibility*, Management Science, Vol. 42-9, p.1260-1276
- Detty, R.B., Yingling, J.C., (2000) *Quantifying benefits of conversion to lean manufacturing with discrete event simulation: a case study*, International Journal of Production Research, Vol. 38-2, p.429-445
- Drew, J., McCallum, B., en Roggenhofer, S., (2004), *Journey to lean: making operational change stick*, Palgrave MacMillan
- Durlinger, P.(2005) *Wat kost voorraad?: grote verschillen waarop bedrijven voorraadkosten waarderen*, IT Logistiek, Nr. 3, p.16-17
- Feld, W.M., (2000) *Lean Manufacturing: Tools, Techniques and how to use them*. The St. Lucie Press, London.
- Hans, E.W., Herroelen, W., Leus and R., Wullink, G. (2003), *A hierarchical approach to multi-project planning under uncertainty*, Omega, Vol. 35-5, p.563-577
- Hendricks, K.B., and McClain, J.O., (1993), *The output processes of serial production lines of general machines with finite buffers*, Management Science, Vol. 39-10, p.1194-1201
- Hill, T., (1993), *Manufacturing strategy: the strategic management of the manufacturing function*, 2e druk, MacMillan Press LTD.
- Hines, P., and Rich, N., (1997), *The seven value stream mapping tools*, International Journal of Operations & Production Management, Vol.17-1, p.46-64
- Hopp, W.J. and Spearman, M.L., (2001), *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*, 2e Druk, McGraw-Hill/Irwin.

- Ishikawa, K. (1985), *What is total quality control?: the Japanese way*. Vertaald door David J. Lu. Englewood Cliffs NJ, Prentice Hall.
- Kotter, J.P., and Schlesinger, L.A., (1979) *Choosing strategies for change*, Harvard Business Review, March-April, p.106-114
- Kim, Y.D., (1990), *A comparison of dispatching rules for job shops with multiple identical jobs and alternative routings*, International Journal of Production Research, Vol. 28-5, p.953-962
- Kurz, M.E., and Askin, R.G., (2003), *Comparing scheduling rules for flexible flow lines*, International Journal of Production Economics, Vol. 85, p.371-388
- Jeon, K.C., and Kim, Y.D., (1998), *A real-time scheduling mechanism for a flexible manufacturing system: using simulation and dispatching rules*, Vol. 36-9, p.2609-2626.
- Law, A.M., Kelton, W.D., (2007) *Simulation modelling and analysis*, vierde druk, McGraw-Hill, New York.
- Leeuw, de, A.C.J. (2002) *Bedrijfskundig management Primair proces, strategie en organisatie*. Tweede ongewijzigde druk. Koninklijke van Gorkum
- Leavitt, J.H., (1965) *Applying organizational change in industry: structural, technology and humanistic approaches*, In: J.G. March (Ed.), Handbook of organizations. Rand-McNally, Chicago, IL.
- Leitch, R.D. (1995) *Reliability analysis for Engineers*. Oxford, p.66-74.
- Lindahl, M., (1999) *E-FMEA—A promising tool for efficient design for environment*, in Proc. 1st Int. Symp. on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, February, pp.734–739.
- Little, J., (1961) *A proof of the Theorem $L = \lambda W$* , Operations Research, 9, p.383-387
- MacDonald, T., Van Aken, E.M., Rentes, A.F., (2002) *Utilizing simulation to enhance Value stream mapping: a manufacturing case application*, International Journal of Logistics: Research and Applications, Vol. 5-2, p.213-232
- Maciaszek, A., (2001), *Requirements Analysis and System Design: Developing Information Systems with UML*. 2nd edition. Addison-Wesley. p.54-57.
- Mason, S.J., Fowler, J.W., Carlyles, W.M. and Montgomery, D.C., (2005), *Heuristics for minimizing total weighted tardiness in complex job shops*, International Journal of Production Research, Vol. 43-10, p.1943-1963
- Miltenburg, J., Sparling, D., (1996) *Managing and reducing total cycle time: models and analysis*, International Journal of Production Economics, Vol 46-47, p.89-108
- Nahmias, S., (2001) *Production and Operations Analysis*, vierde editie, McGraw Hill, New York.
- Narayanan, V.K. (2000) *Managing technology and innovation for a competitive change*, 1e druk, Prentice Hall
- Nwabueze, U., (2001), *Chief Executives hear thyselfes: leadership requirement for 5S/TQM implementation in healthcare*, Managerial Auditing Journal, Vol. 16-7. P.406-410
- Olorunniwo, F., and Udo, G., (2002) *The impact of management and employees on cellular manufacturing implementation*, International Journal of Production Economics, Vol 76, p.27-38
- Pavnaskar, S.J., Gershenson, J.K., and Jambekar, A.B., (2003) *Classification scheme for lean manufacturing tools*, International Journal of Production Research, Vol. 41-13, p.3075-3090
- Pinedo, L. (2005) *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*, Springer
- Quadt, D., and Kuhn, H., (2007) *A taxonomy of flexible flow line scheduling procedures*, European Journal of Operational Research, Vol. 178, p.686-698
- Reid, R. D., en Sanders, N. R., (2002), *Operations Management*, 1e druk, Wiley & Sons
- Sawik, T.J., (1995), *Scheduling flexible flow lines with no in-process buffers*, International Journal of Production Research, Vol. 33-5, p.1357-1367
- Scholl, A., and Klein, R., (1999), *ULINO: Optimally balancing U-shaped JIT assembly lines*, International Journal Production Research, Vol. 37-4, p.721-736

- Schutten, J.M.J., (1998) *Practical Job Shop Scheduling*, Annals of Operations Research, vol. 83-18, p.161-178
- Shannon, R.E., (1975) *Systems Simulation: The Art and Science*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Shingo, S., (1981), *A study of the Toyota Production System: from an industrial engineering viewpoint*, Engelse vertaling door Andrew Dillon (1989), Productivity Press
- Slack, N., Chambers, S., Harland, C., Harrison, A., and Johnston, R., (1998), *Operations Management*, 2e druk, Final times Pitman Publishing London
- Thomas, H.R., Horman, M.J., Lemes de Souza, U.E., and Zavrski, I. (2002), *Journal of construction engineering and management*, March/April, p.144-154
- Verschuur, P. en Doorewaard, H., (1998), *Het ontwerpen van een onderzoek*, 2e druk, Utrecht, Lemma B.V.
- Wittrock, R.J., (1985), *Scheduling algorithms for flexible flow lines*, IBM Journal of research and development, Vol. 29-4, p.401-412
- Wittrock, R.J., (1988), *An adaptable scheduling algorithms for flexible flow lines*, Operations Research, Vol. 36-3, p.445-453
- Womack J. and Jones D., (1996), *Lean Thinking*, Simon & Schuster, New York, NY.
- Wullink, G., Gademann, A.J.R.M., Hans, E.W., van Harten, A., (2003), *A scenario based approach for flexible resource loading under uncertainty*, working paper, University of Twente
- Xu, Z., Sun, L., and Gong, J., (2008), *Worst-case analysis for flow shop scheduling with a learning effect*, International Journal of Production Economics, Vol. 113, p.748-753
- Zavadlav, E., McClain, J.O., Thomas, L.J., (1996) *Self-buffering, Self-balancing, Self-flushing Production Lines*, Management Science, Vol. 42-8, p.1151-1164

Websites

- Lean Management Instituut - <http://www.leaninstituut.nl/>
- ToolsXL - <http://www.toolsxl.nl/accu-kitspuit-18-volt-26-ah-nimh-p-2068.html>
- Voorbij Prefab Beton - <http://www.voorbij-prefabbeton.nl>

Overige informatie

- BFBN rapportage "Ontwikkelingen in de bouw"
- Jaarcijfers Voorbij Prefab Beton, Bedrijfseconomisch resultaat 2007
- Siemens Tecnomatix Plant Simulation - Educational License

Bijlagen

BIJLAGE A:	BEGRIPPENLIJST	63
BIJLAGE B:	LEAN PRODUCTIE	64
B.I.	VERSPIJLEN VOEGEN LEAN PRODUCTIE	64
B.II.	VLE STAPPEN VOOR LEAN PRODUCTIE	64
B.III.	VALUE STREAM MAPPING	65
BIJLAGE C:	OVERZICHT BELEMMERINGEN OUTPUT VERHOOGING	68
BIJLAGE D:	FOTO'S VAN HET PRODUCTIEPROCES	69
BIJLAGE E:	PROCESBESCHRIJVINGEN VOORBU PREFAB BETON	70
E.I.	VAN AANVRAAG TOT ENGINEERING	70
E.II.	VAN ENGINEERING TOT PRODUCTIE	71
E.III.	VAN PRODUCTIEVOORBEREIDING TOT AF TVERING PRODUCT	72
BIJLAGE F:	BLACK BOX PROCESBESCHRIJVINGEN	73
F.I.	ENGINEERINGSCHEMA OPSTELLEN	73
F.II.	OPSTELLEN PRODUCTEPLANING	74
F.III.	PRODUCTIEPROCESCARDS	75
BIJLAGE G:	PRODUCTIEPROCES ALS VSM	76
BIJLAGE H:	PRODUCTIEPROCES ALS VSM GEVULD MET VERSPILLINGEN EN OPVALLENDHEDEN	77
BIJLAGE I:	ACTIVITEITENBLAD METINGEN	78
BIJLAGE J:	BEPALING AANTAL METINGEN	79
BIJLAGE K:	TRANSPORTTIJD PRODUCTIELIJN	80
BIJLAGE L:	OVERZICHT VARIANTIECOEFFICIENT	81
BIJLAGE M:	OPZET WORKSHOP	82
BIJLAGE N:	WORKSHOP DINSDAG 20 MEI 2008	84
BIJLAGE O:	BESCHRIJVING SIMULATIEMODEL	88
O.I.	SCREENSHOTS HOOFDFRAME EN SUBFRAMES	88
O.II.	AANTAL ROLLS	91
BIJLAGE P:	BESCHRIJVING VAN HOOFDMETHODEN	92
BIJLAGE Q:	VERDELING PRODUCTMIX	96
BIJLAGE R:	BEPALING VERDELING	97
BIJLAGE S:	VOORKEUREN VOOR DOORSTROMING PRODUCTEN	107
BIJLAGE T:	RESULTATEN SIMULATIEMODEL	108
BIJLAGE U:	SIGNIFICANTIETEST	110
BIJLAGE V:	RESULTATEN GEVOELIGHEIDSANALYSE	112
BIJLAGE W:	VOORBU LEAN SYSTEEM	113
BIJLAGE X:	VERVOLGAFSTUDEEROPDRACHT	115

Bijlage B: Lean productie

B.I. Verspillingen volgens lean productie

- *Overproductie* is alles wat te veel is geproduceerd. Hierbij valt onderscheid te maken in kwantitatieve overproductie waarbij meer producten worden gemaakt dan nodig, en te vroege productie waarbij het product wordt gemaakt voordat het nodig is (Shingo, 1989).
- *Wachttijd* in een fabriek ontstaat zodra een product niet beweegt of wanneer er niet aan wordt gewerkt. Wachttijd zorgt voor een langere doorlooptijd van een product terwijl in die tijd geen waarde wordt toevoegt.
- *Transport* is elke beweging die het product maakt. Veelal is het noodzakelijk om producten te verplaatsen om bij de volgende bewerking te komen waardoor het elimineren van transporttijd vaak onmogelijk is. Wel kan geprobeerd worden om onnodig transport te minimaliseren zodat onder andere de kans op beschadigingen aan het product verkleint.
- *Verkeerde werkwijze* komt voornamelijk voor in situaties waarbij overdreven moeilijke oplossingen worden gevonden voor simpele procedures.
- *Onnodige voorraad* bestaat uit producten die al geproduceerd zijn maar die nog niet gebruikt worden wat geld kost en ruimte in beslag neemt. Doordat er veel producten op voorraad liggen is het voortijdig opsporen van problemen moeilijk.
- *Onnodige handelingen* zijn bewegingen die werknemers moeten maken terwijl dit niet nodig had hoeven zijn. Een voorbeeld hiervan is het product van de transportband op de grond plaatsen om het vervolgens op een kar te plaatsen. De klant betaald niet voor deze extra handeling en daarom is het gewenst deze te elimineren.
- *Defecten* of fouten kunnen meerdere oorzaken hebben die te maken hebben met de kwaliteit van het product op de bewerking: het ontworpen product blijkt niet produceerbaar te zijn, machines en gereedschap zijn niet betrouwbaar en gaan stuk, personeel maakt fouten of de producten van de leverancier zijn niet goed. Dit heeft zowel interne als externe gevolgen. In beide gevallen leidt dit tot hogere kosten door onder andere herbewerking en claims. Omdat de meeste fouten (uiteindelijk) naar mensen herleiden zijn fouten in meer of mindere mate beheersbaar. Daarom kunnen fouten als een kans worden gezien om het proces te verbeteren (Slack, Chambers, Harland, Harrison and Johnston, 1998).

B.II. Vijf stappen voor lean productie

De eerste stap start met het definiëren van waarde vanuit de perceptie van de klant. Waarde voor de klant is wat zij bereidt zijn te betalen voor een product. Voorsprong op de concurrentie wordt bepaald door de mate waarin de organisatie waarde creëert voor haar klanten wanneer de waarde hoger is dan de kosten voor productie (Narayanan, 2001). Waarde is alleen van belang wanneer het is uitgedrukt in een specifiek product dat voldoet aan de verwachting van de klant volgens een specifieke prijs op een specifiek tijdstip.

De tweede stap is het identificeren van alle activiteiten die nodig zijn voor het produceren van het product en de daarbij ondersteunde managementtaken. Er zijn drie kritische managementtaken: (1) het oplossen van problemen, (2) het beheren van informatie en (3) de fysieke transformatie. Naast het in kaart brengen van de huidige situatie wordt ook een plan gemaakt van de gewenste, toekomstige situatie. Dit levert een aantal verspillingen op die geëlimineerd moeten worden.

In de derde stap is het belangrijk om flow te creëren in het productieproces en daarbij de focus op het product te plaatsen. Veel organisaties zijn een traditionele werkwijze gewend waarbij de organisatie is ingericht in functies en afdelingen. Om het product in de kortst mogelijke tijd aan de klant te leveren is

het om de waardeestroom zó in te richten dat de stroom niet onderbroken wordt. (Drew, McCallum en Roggenhofer, 2004)

Er zijn twee principes voor het aansturen van productiesystemen: push en pull. Beide principes verschillen in het mechanisme dat werk het systeem instuurt. Volgens Hopp en Spearman (2003) geldt de volgende definitie: “een push systeem plant de uitgifte van werk op basis van de vraag terwijl een pull systeem de uitgifte van werk baseert op de status van het systeem”. Voordelen van pull systemen zijn dat ze meer efficiënt zijn, beter te beheersen zijn, meer robuust zijn en kwaliteitsverbetering meer ondersteunen dan push systemen.

Na het voltooien van de eerste vier stappen start de laatste stap bijna uit zichzelf. Een betere stroming van de producten ontbloeit nieuwe verspillingen. Deze zorgen op hun beurt weer voor een aangepast proces. Gesprekken met klanten zorgen ook voor een verduidelijking van wat waarde is na het realiseren van de eerste wensen van de klant.

B.III. Value Stream Mapping

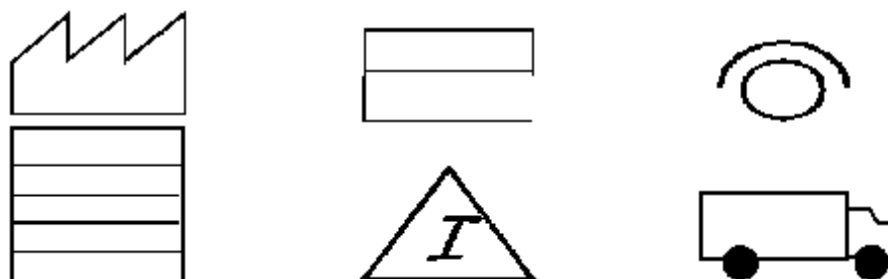
Zodra duidelijk is wat waarde is volgens de klant (eerste stap) wordt het productieproces in kaart te gebracht met behulp van een value stream map (tweede stap). In plaats van te kijken naar het productieproces vanuit de procesmatige hoek zoals wordt gedaan bij een value chain wordt nu vanuit de positie van het product naar het proces gekeken (Hines & Rich, 1997). Het doel is de bedrijfsprocessen te stroomlijnen zodat de klant precies krijgt wat is gewenst. Ook worden de belangrijkste indicatoren weergegeven, zoals wachttijden, doorlooptijden, bewerkingstijden, overdrachtsmomenten en de in het proces gebruikte formulieren en documenten.

Er zijn verschillende methodes beschikbaar voor het in kaart brengen van de waardeestroom. Hines & Rich (1997) beschrijven zeven manieren die voornamelijk gericht zijn op de volledige supply chain. Zij hebben de zeven verspillingen omschreven in zeven ‘after-market’ verspillingen. Op voorhand wordt aangegeven of en in welke mate een correlatie is tussen verspillingen en methodes. Daarnaast geven zij aan dat er nog geen mechanisme is om de meest bruikbare methode te kiezen. De verschillende methodes komen samen in de VSM-methode beschreven door Rother & Shook (2003). Een VSM maakt expliciet onderscheid in de huidige en gewenste situatie, respectievelijk de current en future state map. Daarnaast is deze methode bruikbaar voor een algemene analyse waarbij alle verspillingen in kaart worden gebracht en de nadruk niet ligt op één of een aantal verspillingen.

Om een VSM volgens Rother & Shook (2003) te gebruiken als analysetool voor een productielijn (en dus niet voor de hele supply chain) moet een aantal stappen worden doorlopen. De volgende drie paragrafen beschrijven deze stappen.

B.III.1 Voorbereiding

Ter voorbereiding op het in kaart brengen van de huidige situatie is het belangrijk dat het duidelijk is wat men wil bereiken met de VSM. Tevens moeten bepaald worden waar de grenzen van de VSM liggen, hiervoor wordt gebruikt gemaakt van LIPOK (leverancier, input, proces, output, klant): wat het product is, wie hiervan de klant is, wie de leveranciers en overige input zijn en hoe het proces verloopt? Vervolgens moet duidelijk worden hoe succes gemeten wordt, wat de prestatietellingen zijn.



B.1 v.l.n.r (boven) Klant, Procesbox, Operator. (onder) Databox, Voorraad, Vrachtwagen

B.III.2 Current state map

Wanneer het doel van de value stream map is bepaald start men met het in kaart brengen van de *current state map*. Voor een eenduidig gebruik van een VSM is een aantal standaardsymbolen gedefinieerd. Figuur B.1 geeft per stap weer welke VSM symbolen hier bij een bepaalde stap horen. De symbolen zoals weergegeven in de figuur worden van links naar rechts en van boven naar beneden beschreven in de volgende alinea.

In de eerste stap bepaalt men wie klant is en de wat de bijbehorende karakteristieken zijn. Onder de klant wordt de gemiddelde vraag per maand, en hoe deze is verdeeld indien meerdere producten worden afgenomen in een databox weergegeven. Daarnaast wordt ook de wijze waarop levering plaatsvindt (pallet, tray, etc) op een dag beschreven.

De tweede stap beschrijft de standaard productieprocessen met behulp van een procesbox. Een procesbox geeft een proces weer waar materialen doorheen stromen. In het bovenste deel van de procesbox staat de naam van het proces, in het onderste deel staat hoeveel mensen werken aan het proces. Een databox geeft een overzicht van de machine-cyclustijd (cycle time), de omsteltijd en uptime (geeft in % aan hoeveel tijd de machine beschikbaar is voor operatie). Daarnaast wordt ook eventuele voorraad tussen processen aangegeven met een driehoek. Omdat de current state map een momentopname is en voorraad dynamisch is wordt de geobserveerde hoeveelheid voorraad op een bepaalde dag onder de driehoeken weergegeven. Indien gewenst kan ook een gemiddelde voorraad over een bepaalde periode worden genomen.

In de derde stap worden de leveranciers toegevoegd. Met een vrachtwagenicoon en brede pijl wordt de beweging aangegeven van eindproducten naar de klant. Bij de levering wordt aangegeven hoe vaak dit gebeurt. Ook eventuele beperkingen in hoeveelheid te leveren goederen moeten worden genoteerd. Om overzicht te bewaren dienen niet alle gekochte onderdelen in de VSM weergegeven te worden. Alleen de één of twee belangrijkste materialen volstaan. Ook bij de klant wordt vermeld hoe vaak deze een vracht ontvangt.

In de vierde en laatste stap worden de informatiestromen pushpijlen toegevoegd, zie figuur B.2. Push pijlen geven aan vanaf waar de klant de besturing van het productieproces bepaald, tot dat punt spreekt men van push productie. Om aan te geven welke informatiestromen plaatsvinden in het proces worden de bijbehorende pijlen als laatste toegevoegd. Een elektronische flow wordt weergegeven als een soort flits, papiereninformatie met een rechte pijl. Bij ieder pijl staat indien bekend met welke frequentie deze informatie wordt verzonden.

Omdat de meeste processen via een centrale afdeling als productieplanning of werkvoorbereiding aangestuurd worden wordt deze afdeling met een procesbox bovenaan de VSM getekend. Uiteindelijk wordt onder de verschillende processen een tijdslijn toegevoegd om de productielooptijd te bepalen. Afhankelijk van de activiteit is de bijbehorende productietijd waardetoevoegend, niet-waardetoevoegend of noodzakelijk maar niet-waardetoevoegend, zie paragraaf B.3.3.

B.III.3 Future state map

Na het in kaart brengen van de huidige situatie wordt deze geanalyseerd door te kijken naar de drie typen activiteiten in het proces (Hines & Rich, 1997):

- Waardetoevoegend (VA): Dit zijn activiteiten waarbij daadwerkelijk grondstoffen worden omgezet in producten met behulp van man(/machine)kracht.
- Niet-waardetoevoegend (NVA): Hier spreekt men over pure verspilling die volgens de theorie geëlimineerd moeten worden omdat de klant niet betaald voor deze diensten maar deze diensten de organisatie wel geld kosten. De zeven verspillingen zoals benoemd in paragraaf



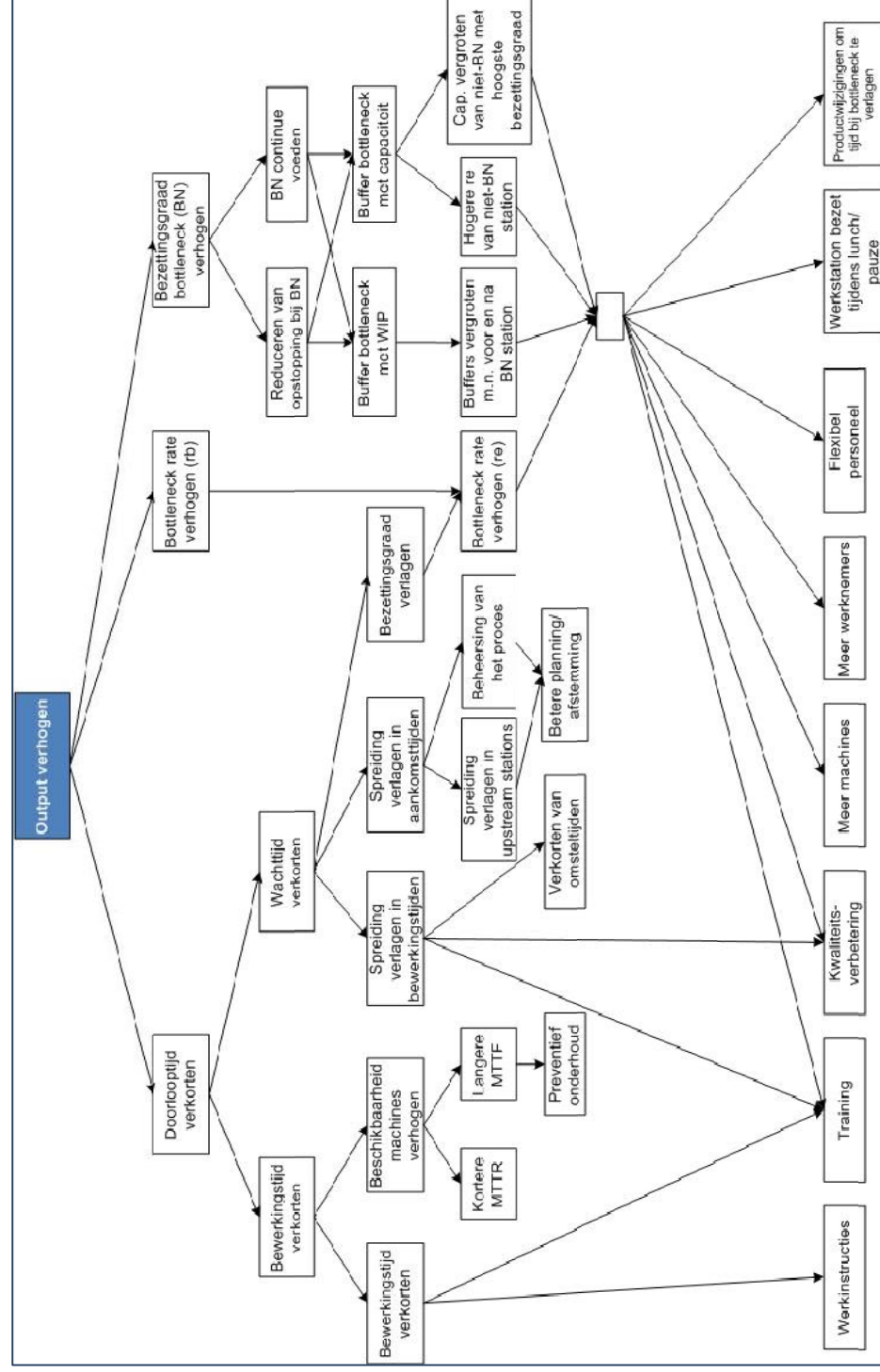
B.2 (links) Push pijl, (rechts) Elektronische informatiestroom

3.4 *Lean Manufacturing* moeten worden geëlimineerd, voorbeelden zijn wachttijd en dubbele werkzaamheden. Het kan echter ook zijn dat het wel gewenst is bijvoorbeeld toch voorraad te houden waardoor het elimineren hiervan geen doel is voor de organisatie. Voorraden zijn gewenst om de bestelperiode voor nieuwe goederen of de uitvaltijd van een machine te overbruggen.

Niet waardetoevoegende activiteiten kunnen verder opgesplitst worden in activiteiten die geen waarde toevoegen maar wel noodzakelijk zijn (Necessary NVA, NNVA). Een voorbeeld hiervan is het gereedschap overpakken van de ene in de andere hand of het transporteren van goederen naar de volgende bewerkingsplaats.

Met een overzicht van de verschillende getypeerde activiteiten worden verbeterpunten geïdentificeerd via een brainstorm met de betrokken personen. Dit resulteert in een overzicht van het gewenste toekomstige proces, de *future state map*. Om dit te implementeren wordt een actieplan opgesteld. Het actieplan zet de verschillende probleemgebieden uit tegen de gewenste situatie. Voor elke actie wordt een verantwoordelijke aangewezen en wordt een einddatum bepaald om de actie te realiseren.

Bijlage C: Overzicht belemmeringen output verhoging



C.1 Samengeteld uit Hopp & Spearman, 2001, p.234-238; Miltenburg & Sparkling, 1996; Hendricks & McCain, 1993

Bijlage D: Foto's van het productieproces



D.1 Inbinden van wapeningsnet



D.2 Problemen bij het inbinden worden gezamenlijk opgelost



D.3 Storten van een element

Bijlage E: Procesbeschrijvingen Voorbij Prefab Beton

E.I. Van Aanvraag tot Engineering

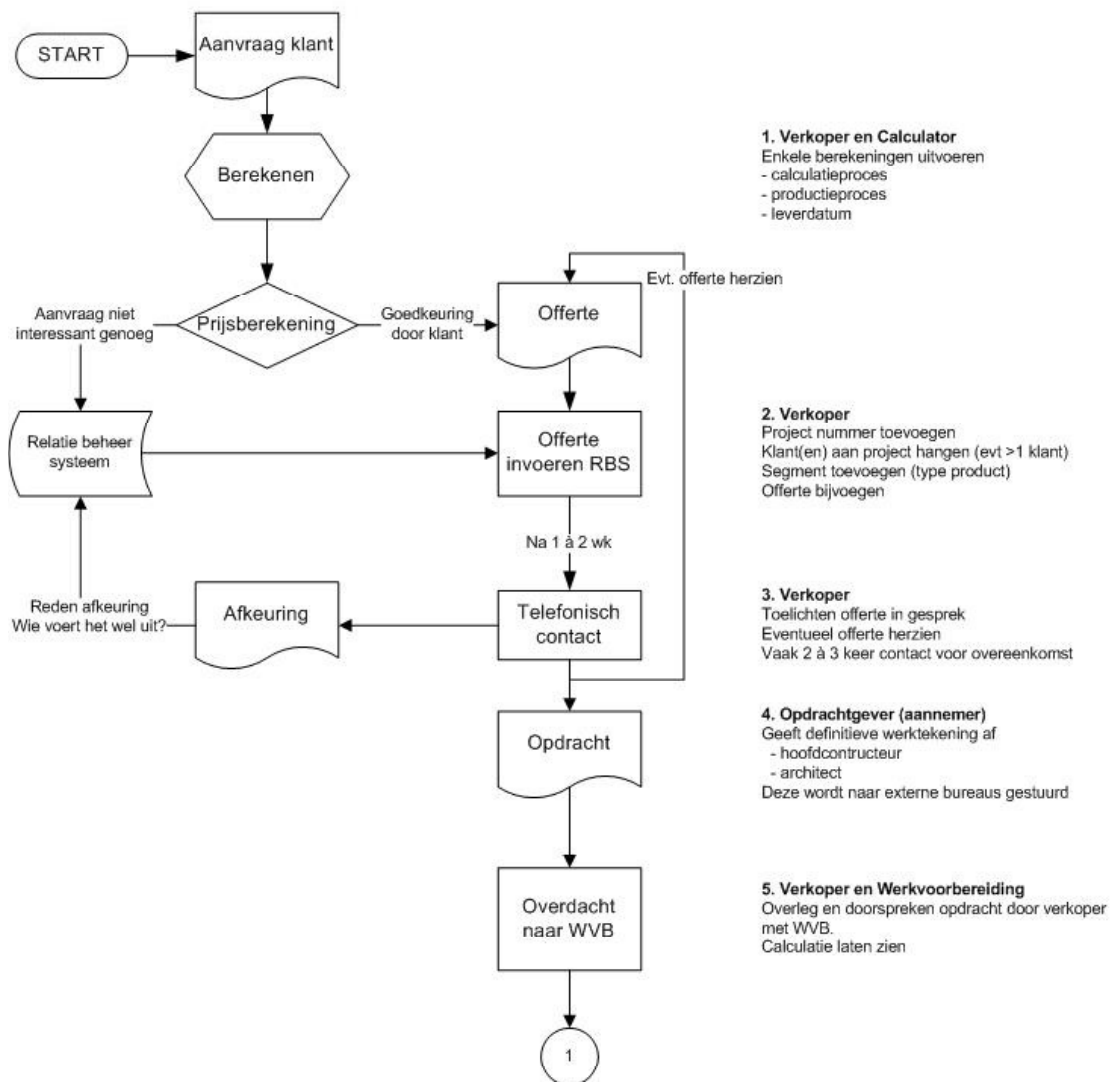
TITEL: Van aanvraag tot engineering

VERSIE: 1.0

DATUM: 26-11-2007

DOEL: Weergeven van initiatie van een productieproces. Startende bij de aanvraag van een klant tot en met het moment waarop deze aanvraag wordt omgezet tot een definitieve order.

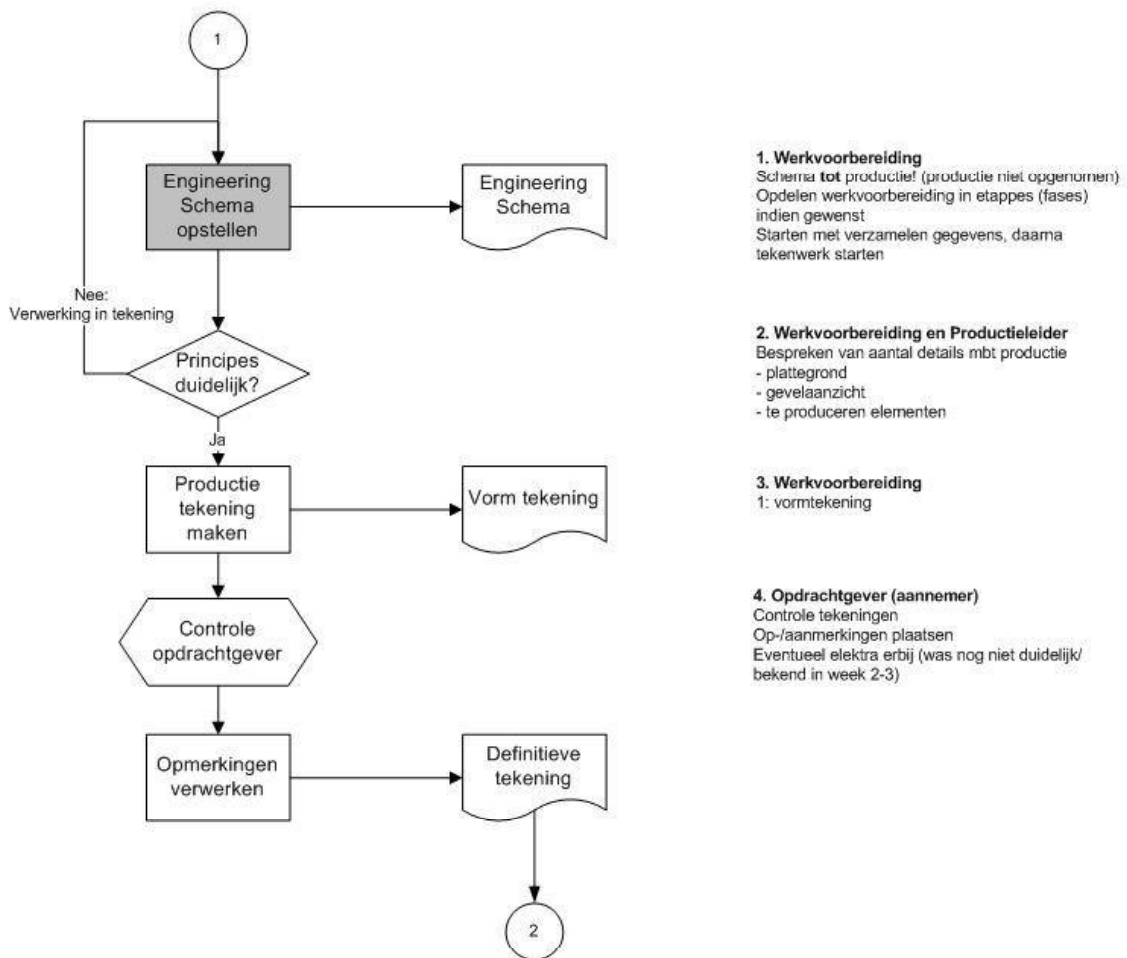
AUTEUR: Saskia Kuipers



E.1 Procesbeschrijving van aanvraag door klant tot engineering

E.II. Van Engineering tot Productie

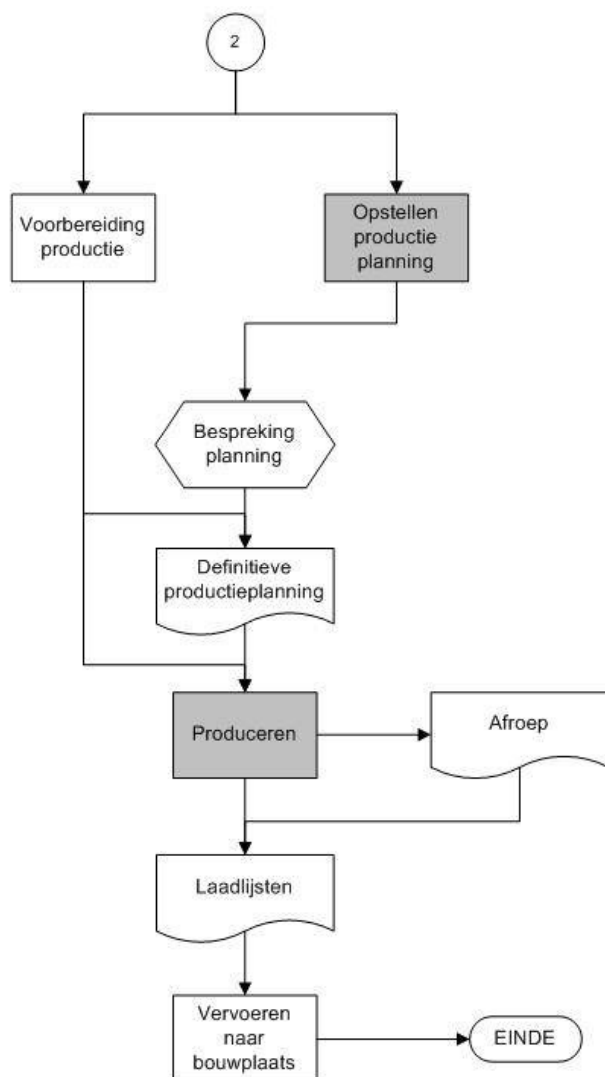
TITEL: Van engineering tot productie
VERSIE: 1.0
DATUM: 26-11-2007
DOEL: Weergave van het proces vanaf engineering totdat de voorbereiding voor productie begint
AUTEUR: Saskia Kuipers



E.2 Procesbeschrijving van engineering tot productie

E.III. Van Productievoorbereiding tot aflevering product

TITEL: Van productie voorbereiding tot oplevering product
VERSIE: 1.0
DATUM: 26-11-2007
DOEL: Weergave van het proces waarbij de productie begint met voorbereidingen tot en met de oplevering van het product
AUTEUR: Saskia Kuipers



1a. Productie

Voorbereiden van nieuwe opdracht: "hoe kunnen we het zo doen dat materialen slim gebruikt worden en het goed past in het proces/planning".

- bekisting
- wapening
- vorm wijzigingen (slim gebruik mallen)

3 à 4 weken tot productie daadwerkelijk aanvangt

1b. Werkvoorbereiding

Maken productieplan obv

- levertijden
- # begrootte mallen
- ideale volgorde productie

2. Werkvoorbereiding en Productie

Bespreken van de door WVB gemaakte planning met productie leider.
WVB bepaald planning, productie denkt hierin mee

3. Productie

Start productie obv definitieve productieplanning
1 week voordat product geleverd moet worden dient productie een afroep te verzenden naar WVB

4. Werkvoorbereiding

Op basis van afroep wordt een laadlijst samengesteld
Deze wordt gebruikt om vrachtwagens zo goed mogelijk in te plannen

5. Externe logistieke dienstverlener

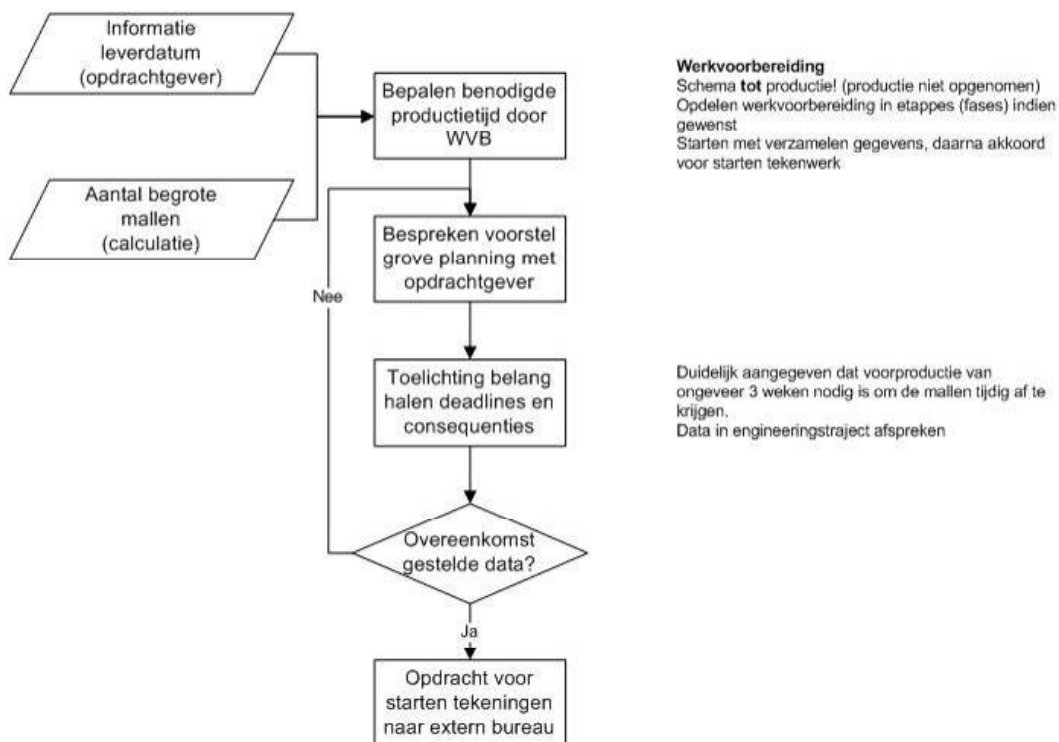
Op basis van de laadlijsten zorgt de logistieke dienstverlener (Leliveld) voor vervoer van producten

E.3 Procesbeschrijving van productievoorbereiding tot oplevering product

Bijlage F: Black box procesbeschrijvingen

F.I. Engineeringsschema opstellen

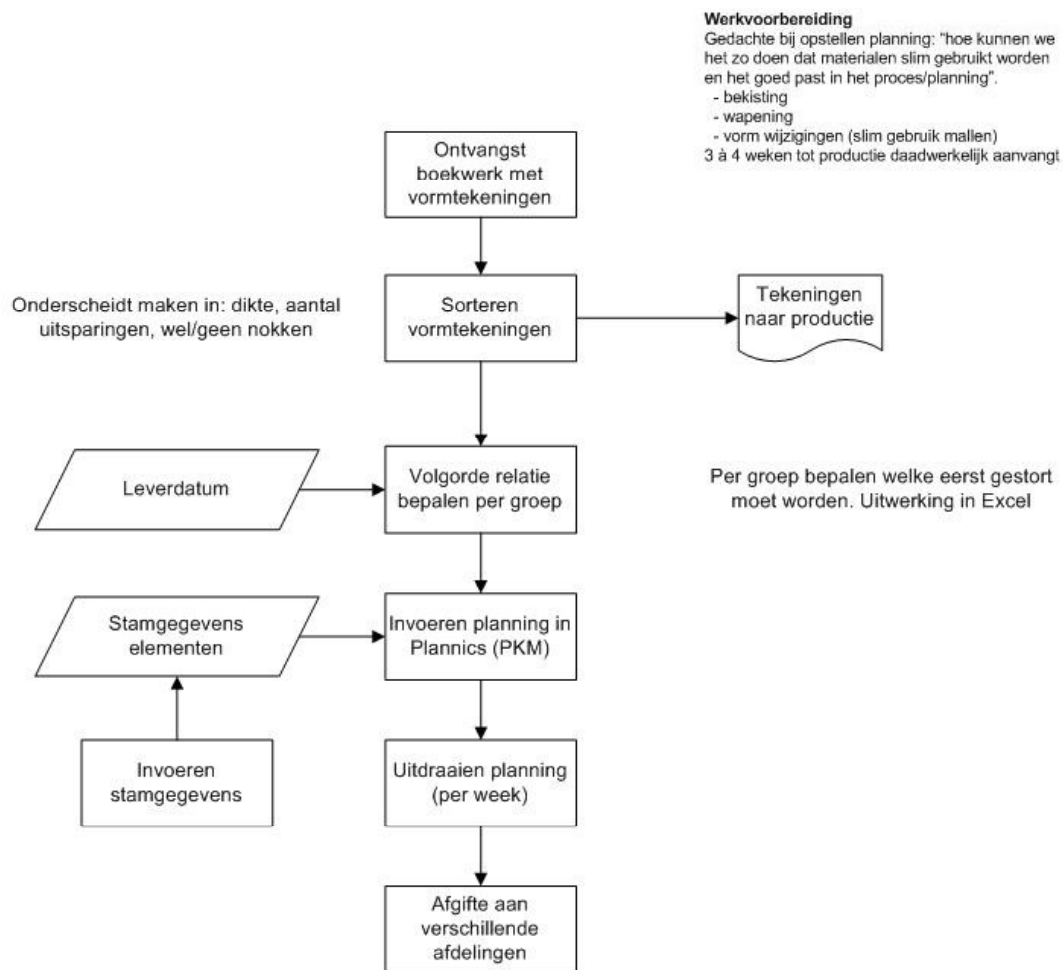
TITEL: Opstellen Engineering schema (voorbereidingsschema)
VERSIE: 1.0
DATUM: 21-02-2008
DOEL: Overzicht van de te ondernemen stappen bij het opstellen van het engineering schema
AUTEUR: Saskia Kuipers



F.1 Opstellen engineeringsschema

F.II. Opstellen productieplanning

TITEL: Opstellen projectplanning
VERSIE: 1.0
DATUM: 21-02-2008
DOEL: Overzicht van de activiteiten bij het opstellen van een project planning
AUTEUR: Saskia Kuipers

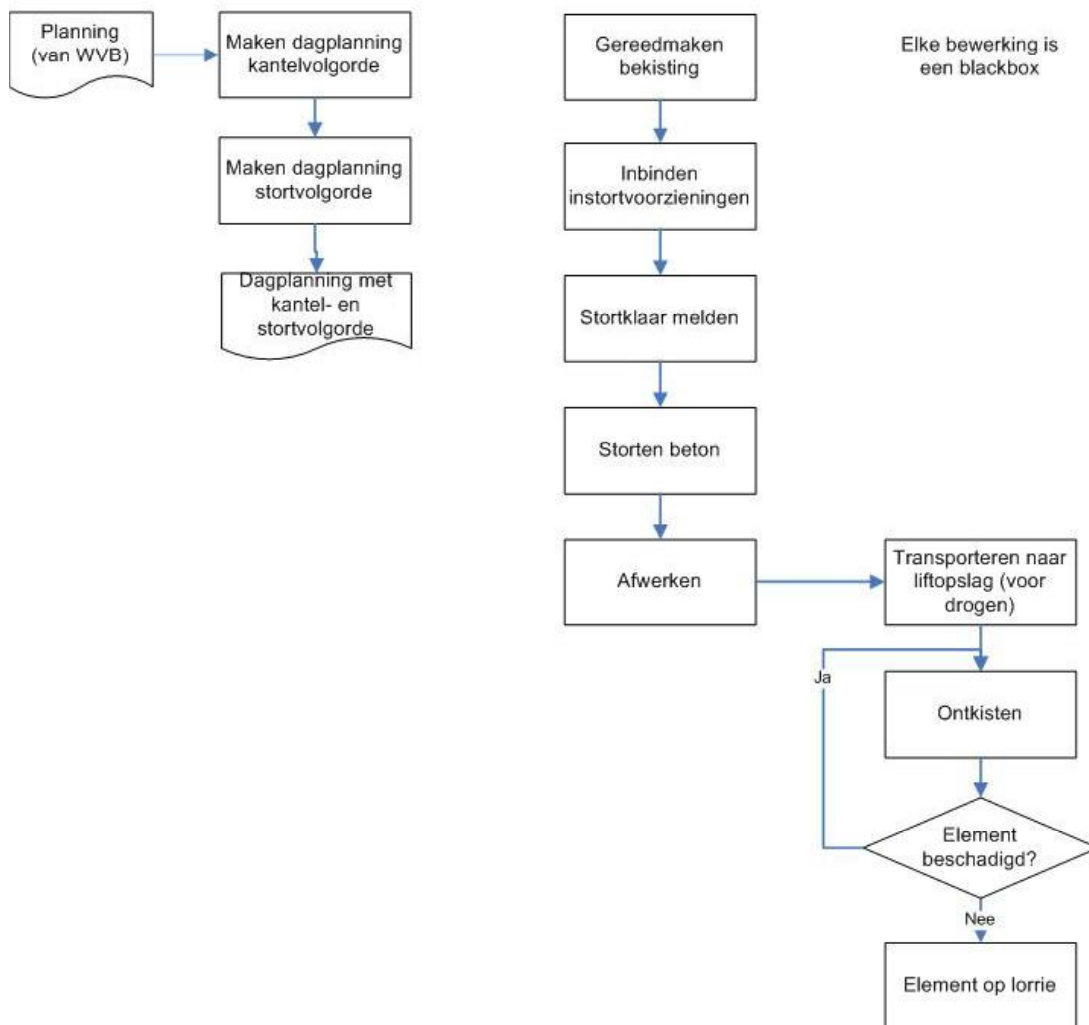


F.2 Opstellen productieplanning

F.III. Productieproces Carrousel

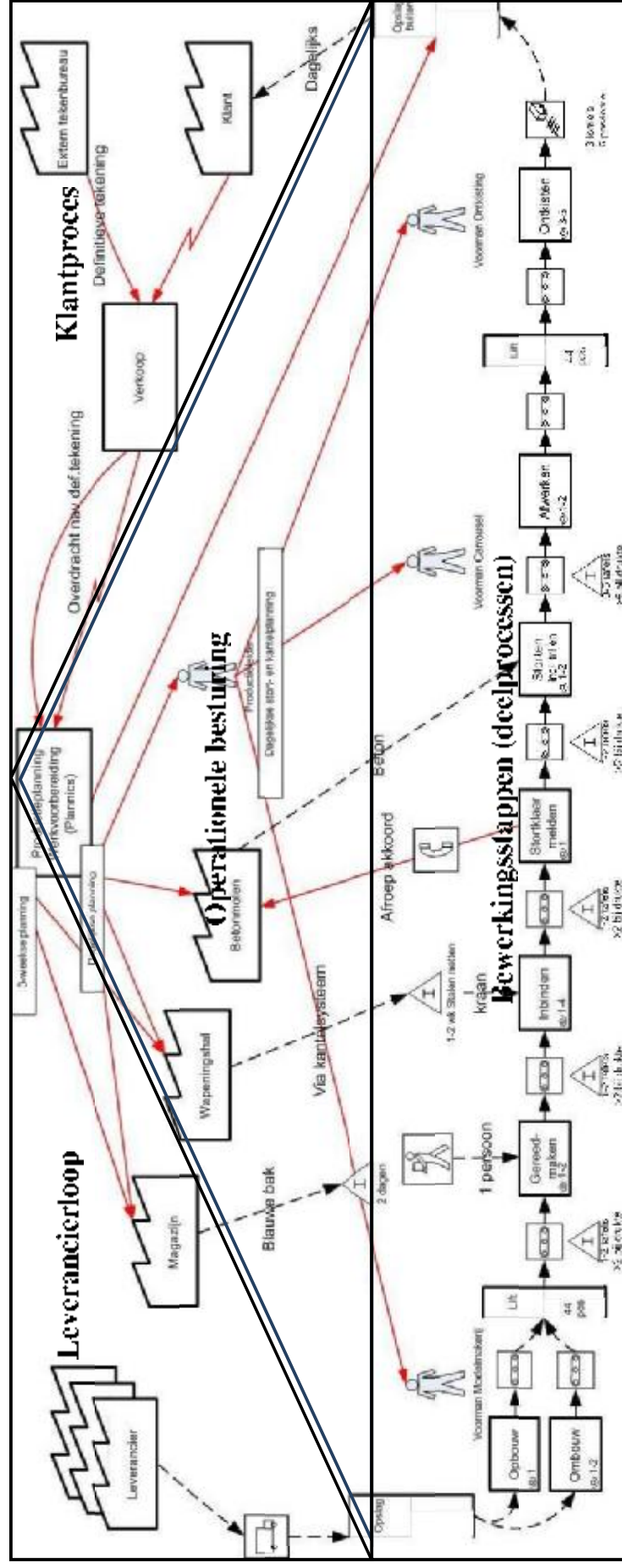
TITEL: Productie Proces Carrousel
VERSIE: 2.0
DATUM: 21-02-2008
DOEL: Weergeven van de stappen die plaatsvinden in het productieproces. Zonder productietijden, wachttijden, omsteltijden etcetera.
AUTEUR: Saskia Kuipers

CP = Carrousel Positie



F.3 Verloop productieproces carrousel

Bijlage G: Productieproces als VSM



G.1 Basisversie van value stream map met het klantproces, de bewerkingsstappen/deelprocessen, operationele besturing en de leverancierloop

Bijlage I: Activiteitenblad metingen

Datum:				
Tafel:				
Element:				
	Begintijd	Eindtijd	Activiteit	Opmerkingen
Gereedmaken			Loshalen mal	
			Schoonmaken mal	
			Opbouwen mal	
			Nameten afmetingen mal	
			Oliën/invetten mal	
Inbinden			Wapening halen	
			Wapening inleggen	
			Inbinden hijsvoorzieningen en gaines	
Stortklaar melden			Staal restjes verwijderen met magneet	
			Stortklaar melden - Controle afmetingen	
Stort			Storten van beton (incl. trillen)	
Afwerken			Afwerken beton (incl. curing vloeistof opspuiten)	
Ontkisten			Loshalen maldelen	
			Kantelen van de tafel (incl. steenschuren)	

Bijlage J: Bepaling aantal metingen

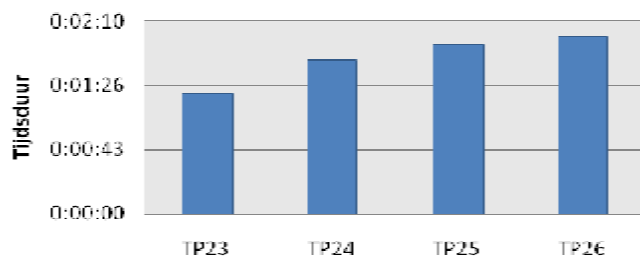
Per productgroep is voor elke bewerking de gemiddelde bewerkingstijd bepaald over het aantal uitgevoerde metingen. Vervolgens is bepaald hoeveel observaties er nodig zijn om aan de gewenste betrouwbaarheid te voldoen nadat de eerste twee metingen zijn uitgevoerd.

De dikgedrukte getallen in de kolom “observaties nodig” geven weer hoeveel metingen uitgevoerd zouden worden binnen de gewenste tijd. Het is niet gelukt om voor de productgroepen het gewenste aantal metingen uit te voeren. In de meest linkerkolom staat onder de productgroep aangegeven hoeveel metingen zijn uitgevoerd. In de meest rechterkolom staan het benodigd aantal metingen na het uitvoeren van alle metingen. De lichtblauw gemarkeerde velden geven aan dat slechts 2 van de 26 deelprocessen aan de gewenste betrouwbaarheid voldoen.

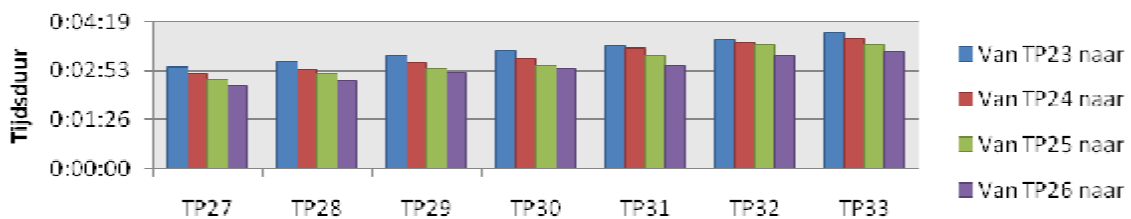
Wanden	Bewerking	Standaarddeviatie (min)	Gemiddelde tijd (min)	na 2 metingen	na 26 metingen
	Modelmakerij	137,8	206,9	379	121
	Gereedmaken	5,8	6,0	67	261
	Inbinden	74,3	138,0	124	79
	Stortklaarmelden	3,0	10,4	38	23
	Storten	3,0	8,5	1	35
	Afwerken	18,0	30,5	58	96
	Ontkisten	22,5	39,4	43	90
Balken	Bewerking	Standaarddeviatie (min)	Gemiddelde tijd (min)	na 2 metingen	na 7 metingen
	Modelmakerij	253,8	293,6	212	204
	Gereedmaken	1,2	3,3	21	35
	Inbinden	12,4	54,8	17	14
	Stortklaarmelden	6,7	14,9	163	56
	Storten	1,7	6,6	11	19
	Afwerken	6,1	18,3	9	31
	Ontkisten	15,5	38,6	1	44
D10A (per 2)	Bewerking	Standaarddeviatie (min)	Gemiddelde tijd (min)	na 2 metingen	na 16 metingen
	Gereedmaken	6,5	27,9	1	15
	Inbinden	4,0	21,4	1	10
	Stortklaarmelden	1,4	3,0	2	63
	Storten	1,2	2,5	8	64
	Afwerken	2,0	5,7	82	34
(60 metingen)	Ontkisten	2,1	4,5	29	61
D40H	Bewerking	Standaarddeviatie (min)	Gemiddelde tijd (min)	na 2 metingen	na 4 metingen
	Gereedmaken	7,1	37,4	2	10
	Inbinden	5,0	17,9	1	22
	Stortklaarmelden	0,0	15,4	1	1
	Storten	1,4	4,4	13	26
	Afwerken	1,9	5,6	54	33
	Ontkisten	6,5	18,8	9	33

J.1 Overzicht aantal uit te voeren metingen voor en na het uitvoeren van alle metingen

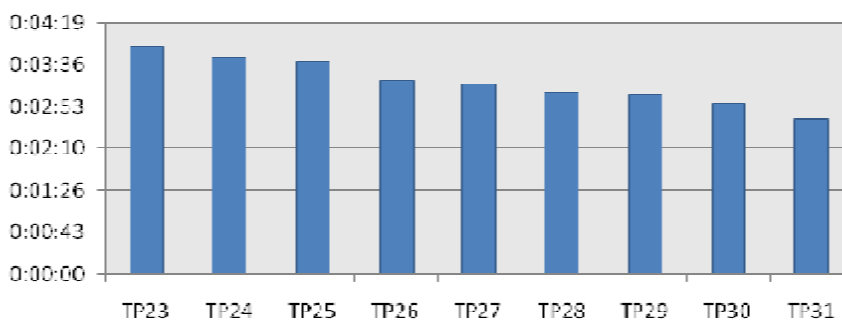
Bijlage K: Transporttijd productielijn



K.1 Overzicht transporttijd van liftuitgang naar gereedmaakplek



K.2 Overzicht transporttijd van gereedmaakplek naar inbindplek



K.3 Overzicht transporttijd van inbindplek naar storklaarmeldplek

Gemiddelde tijd per positiegroep:

Van lift naar gereedmaken (ombouw)	= 1 min, 44 sec
Van gereedmaken naar inbinden	= 3 min, 13 sec
Van inbinden naar storklaarmelden	= 3 min, 16 sec
Van storklaarmelden naar lift	= 11 min, 9 sec (0:02:22 + 17 x 0:0:31)
Totale gemiddelde transporttijd	= 19 min, 22 sec

Bijlage L: Overzicht variantiecoëfficiënt

Per productgroep is voor elke bewerkingsstap berekend wat de mate van spreiding is. De variantiecoëfficiënt is een kwantificering van de spreiding in een bewerkingsstap.

Er zijn drie categorieën te onderscheiden:

LV – Lage variabiliteit als $CV < 0,75$

MV – Matige variabiliteit als $0,75 < CV < 1,33$

HV – Hoge variabiliteit als $CV > 1,33$.

Het valt op dat de meeste producten een lage variantie hebben in de bewerkingstijden. Voor de minder gestandaardiseerde producten, wanden en balken, zijn ook processen met een matige variantie in de bewerkingstijden.

	Wanden		Balken		D10A		D40H	
Bewerkingsstap	CV	Categorie	CV	Categorie	CV	Categorie	CV	Categorie
Opbouw	0,70	LV	0,41	LV				
Gereedmaken	0,98	MV	0,26	LV	0,24	LV	0,19	LV
Inbinden	0,44	LV	0,53	LV	0,19	LV	0,49	LV
Stortklaarmelden	0,22	LV	0,83	MV	0,50	LV	0,09	LV
Storten	0,35	LV	0,40	LV	0,66	LV	0,51	LV
Afwerken	0,63	LV	0,26	LV	0,37	LV	0,39	LV
Ontkisten	0,63	LV	0,59	LV	0,27	LV	0,29	LV

L.1 Overzicht variantiecoëfficiënt per productgroep per bewerkingsstap

Bijlage M: Opzet workshop

 voorbij groep

Workshop

Onderzoek naar output verhoging in de carroussel

Stefka Kuper
15 augustus 2008

 voorbij groep

Agenda

- Doelen
- Bespreken van de VSM
- Identificatie van probleemgebieden
- Herleiden naar hoofdproblemen
- Scoring hoofdproblemen

 voorbij groep

Doelen

- Is waarom werd vooral gedacht dat andere problemen speelden dan waargenomen?
- En wat zijn de hoofdproblemen die volgen uit de gevonden problemen?

 voorbij groep

Bespreken VSM

- Per bewerkingsstap de verspillingen die erbij horen in de VSM doorlopen
- VSM afgedrukt op A4 formaat zodat erop geschreven kan worden

 voorbij groep

Identificatie van probleemgebieden

- Jullie krijgen ieder 5 stickers
- Plak deze stickers op de VSM op de gebieden waar je denkt dat de grootste problemen zitten
- Geef hierbij de volgende vraag:
"Waarom liet het niet om 50 inspanende uren binnen een achtjarige werkdag te produceren, gegeven de planning van WVB?"

 voorbij groep

Herleiden naar hoofdproblemen

- Door 5 keer "waarom dan" te vragen per probleemgebied zoeken we naar de werkelijke oorzaakproblemen

voorbij groep

Scoring van hoofdproblemen

- Geef elk hoofdprobleem een waarde van 1-10 op de volgende drie factoren:
 - Ernstigheid (mate waarbij in de volgende bewerkingsstap last ondervonden wordt van het probleem)
 - Frequentie (aantal keren dat het probleem voorkomt per dag)
 - Zichtbaarheid (mate waarin het probleem op te sporen is)

voorbij groep

ontwikkel

Probleem	Ernstigheid	Frequentie	Zichtbaarheid	Score
Ontvangstprobleem (aanval)	10	10	10	100
Probleem met de werking van de machine	10	10	10	100
Probleem met de werking van de machine	10	10	10	100
Probleem met de werking van de machine	10	10	10	100
Probleem met de werking van de machine	10	10	10	100
Probleem met de werking van de machine	10	10	10	100
Probleem met de werking van de machine	10	10	10	100
Probleem met de werking van de machine	10	10	10	100
Probleem met de werking van de machine	10	10	10	100
Probleem met de werking van de machine	10	10	10	100

voorbij groep

Gevolgheidsanalyse

- Wat is de impact indien waarden veranderen?
- Is dit meer overeenkomstig met de werkelijkheid of niet?

Bijlage N: Workshop dinsdag 20 mei 2008

Tijdens een workshop met een deel van het Management Team en de betrokken Productieleider is de VSM besproken en is een aantal grote problemen bepaald.

Ter voorbereiding op de sessie hebben de deelnemers de VSM en bijbehorende tekst ontvangen. Zo konden zij zich inlezen in de resultaten die uit de metingen naar voren zijn gekomen. Hiermee is gepoogd de subjectieve blik te verminderen en deze aan te vullen met werkelijk gemeten gegevens.

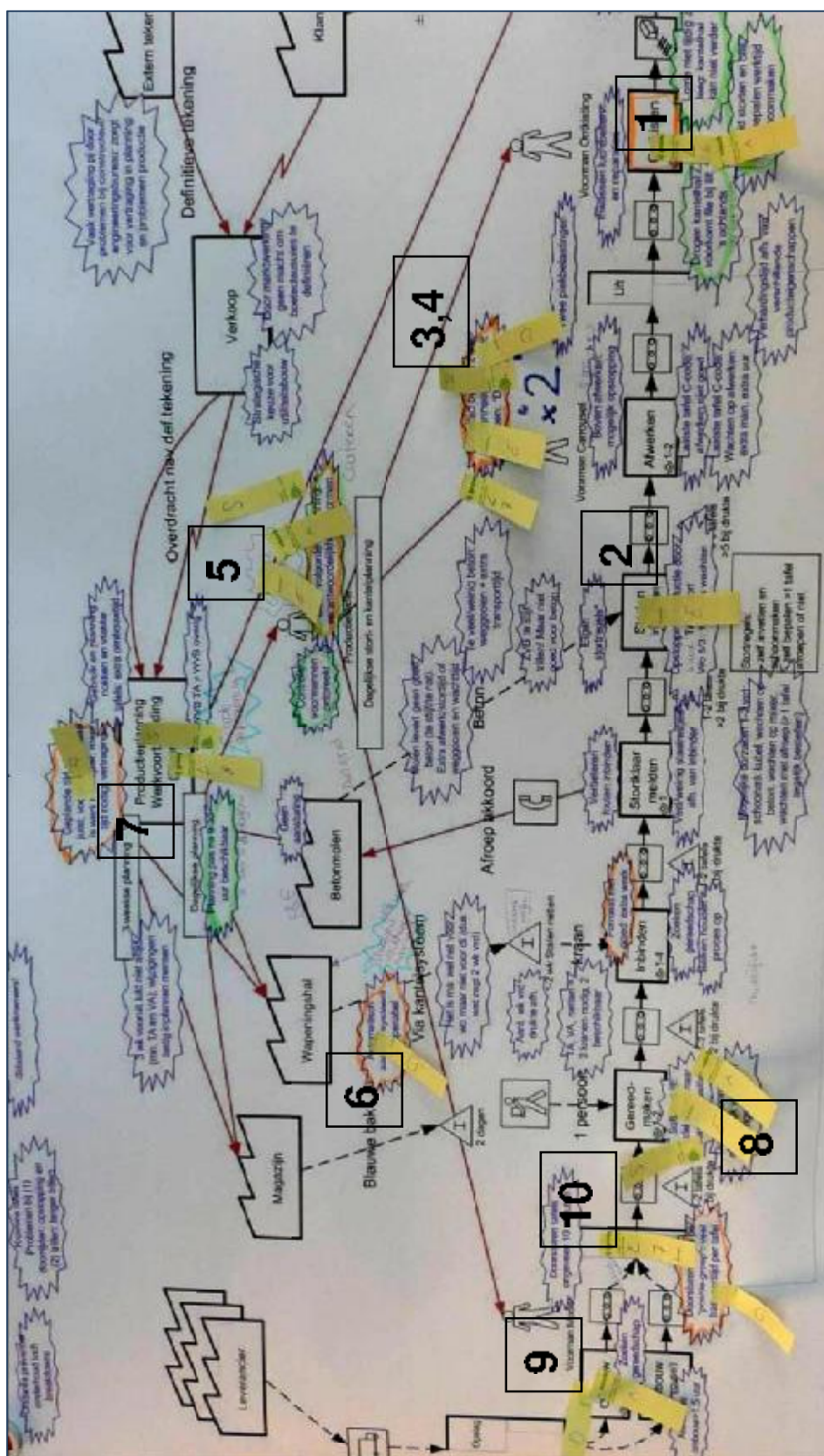
Tijdens de sessie is eerst de VSM besproken en zijn de resultaten van de metingen toegelicht waar nodig. Vervolgens heeft iedere deelnemer vijf gele post-its ontvangen met de eerste letter van zijn naam erop. Na enkele minuten nadenk tijd zijn alle deelnemers gelijktijdig naar het bord gekomen om daar de post-its te plakken op de punten waar zij denken dat de grootste problemen zitten. Foto M.1. geeft een beeld van het bord na het uitvoeren van deze 'plak sessie'.

Zoals te zien zijn 10 probleemgebieden als belangrijk geïdentificeerd. Om tot een aantal hoofdproblemen te komen is gepoogd de achterliggende problemen en oorzaken te achterhalen. Hiervoor is gebruik gemaakt van een 'waarom-discussie'. Voor elke vraag is vijf keer doorgevraagd 'waarom' iets als probleem is geïdentificeerd. Hieronder is deze discussie kort weergegeven per punt (nummer correspondeert met getal op foto M.1.):

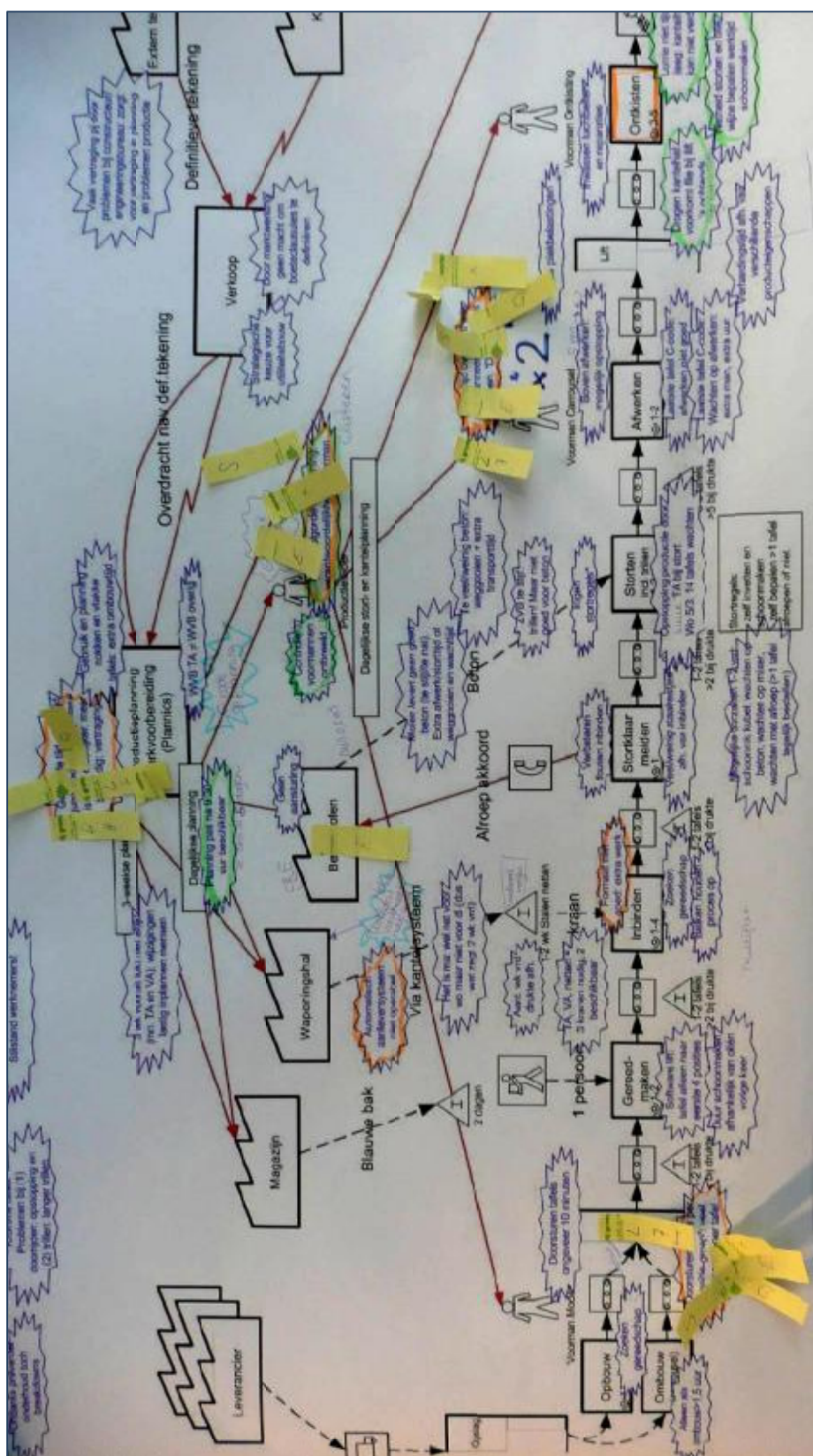
1. Het lukt niet om 30 tafels te produceren als hiervan 20 tafels 's ochtends ontkist moeten worden. W? WVB is niet in staat een reële planning af te geven. W? De normtijden zijn niet reëel maar gemiddelde per tafel over het hele project.
2. Het storten zorgt voor problemen omdat de molen niet in staat is altijd beton te leveren. W? Zij moeten ook andere productiehallen bedienen en de carrousel is afhankelijk van de beschikbare tijden. W? De molenbazen sturen niet aan.
3. De kwaliteit van de werknemers is niet goed genoeg. W? Zij weten niet hoe ze activiteiten moeten uitvoeren en doen het op hun manier. W? Aansturing en training ontbreken.
4. De kwaliteit van de aansturende werknemers is niet goed genoeg. W? Enerzijds 'zit het er niet in', anderzijds hebben zij vanaf het begin hier geen training in gekregen. W? Leiderschap werd niet als een probleem gezien en opgevangen door de productieleider.
5. De productieleider kan geen goede inschatting maken van de dagelijkse productievolgorde. W? Door de hoeveelheid werk is het niet mogelijk om voldoende tijd aan de dagelijkse planning te besteden, dit wordt deels opgevangen door een dagelijks planbord-overleg. Tevens is hij niet op de hoogte van verschillende voorrangsregels die gehanteerd kunnen worden.
6. De aanvoer van netten uit de kanteltafel werkt niet waardoor de bewerkingstijden verhogen. W? Nadat het fout ging door verkeerde codes in te voeren is het nooit weer geprobeerd, men is blijven hangen in het alternatieve systeem.
7. Werkvoorbereiding kan niet goed schatten wat de werkelijke ombouw- of opbouw tijd is waardoor de planning erg krap is. W? Ze hebben geen inzicht in de juistheid van de normtijden. W? De normtijden zijn een gemiddelde en niet reëel per tafel. W? Deze worden op een schatting gebaseerd. W? Er is geen tijd om de juistheid te verifiëren.
8. De carrousel wordt niet goed gebruikt. Dit resulteert in langere doorlooptijd dan gewenst. W? De keuze voor aantal plekken per positie is op gevoel gemaakt. Dit is verwerkt in de software en zorgt voor een push principe.
9. De liftopslag geeft problemen door de piekbehoefte in het begin en eind van de ochtend. W? De prioriteitsstelling is de hele dag hetzelfde maar moet wellicht wijzigen. Tevens is er geen flow wat opstopping kan veroorzaken. W? De prioriteitsstelling is bepaald ten tijde van de bouw.

10. De mix tussen ombouwen en opbouwen in de modelmakerij is niet goed. *W?* WVB maakt geen goede planning. *W?* Zij hebben geen normuren voor deze bewerkingen. *W?* Men heeft het gevoel dit niet in kaart te kunnen brengen door de complexiteit van elke bewerking.

De sturing door de molenbazen en de kwaliteit van het beton wordt ook als probleem ondervonden door de Productieleider. Dit onderwerp is echter door twee Hbo-studenten in een afstudeeronderzoek reeds besproken. De sturing en de kwaliteit door de afdeling Werkvoorbereiding wordt als probleem geplaatst. Voorafgaand aan het afstudeeronderzoek was het niet toegestaan de planning als belemmerende factor te beschouwen (er was net een nieuw planningssysteem aangeschaft waardoor dit geen probleem kon zijn). Door deze sessie is overeenstemming met het Management Team dat planning, ondanks het nieuwe systeem, wel degelijk een groot probleem is. Ik heb aangeraden hier een nieuwe afstudeerder op te plaatsen en hiervoor een opdrachtformulering geschreven (zie bijlage U). Omdat dit niet hoeft te wachten tot afronding van mijn onderzoek is dit al in gang gezet gedurende het onderzoek.



N.1 Value stream map met verschillende post-its waarmee de aanwezigheid van de workshop aangaven wat de probleemgebieden zijn



Bijlage O: Beschrijving simulatiemodel

Reguliere productie is van 6-15 uur in de kantenhal en van 7-16 uur in de carrousel. Voordat een tafel de carrousel binnen gaat moet deze zijn vrijgegeven in de kantenhal. Op deze manier wordt het ombouwen van mallen gesimuleerd. De kantenhalvolgorde wordt bepaald door de gewenste stortvolgorde. Omdat het aantal producten per dag varieert in hoeveelheid en type wordt verondersteld dat de productmix varieert per week. In bijlage P is de verdeling van de productmix per week gegeven op basis van het werkelijk aantal geproduceerde tafels in week 2 2008 tot en met week 26 2008. Voor de resterende weken is in overleg met de verkoper gekeken naar de verwachte productie, dit is in bijlage P in meer detail beschreven.

Omdat de geplande productie elke dag gehaald moet worden is werken in overuren toegestaan. Hierdoor kent de productie flexibele eindtijden waarmee de bezettingsgraad van de werkstations wordt bepaald. Overwerken is toegestaan tot 18:00 uur behalve voor storten (tot 18:30 uur beton beschikbaar) en afwerken (afwerken van gestort element tot 19:00 uur).

Voor de bewerkingstijd van elk proces is een theoretische verdeling bepaald op basis van de resultaten van de uitgevoerde metingen zoals beschreven in hoofdstuk 4. Een veel gebruikte verdeling voor het weergeven van bewerkingstijden is een gammaverdeling. Ten opzichte van de normaalverdeling, waar variantie in bewerkingstijd symmetrisch is verdeeld om de gemiddelde bewerkingstijd (met kans op negatieve bewerkingstijden), heeft een gammaverdeling geen negatieve bewerkingstijden. Tevens is de verdeling scheef naar rechts verdeeld waardoor ook langere bewerkingstijden met een lagere frequentie voorkomen.

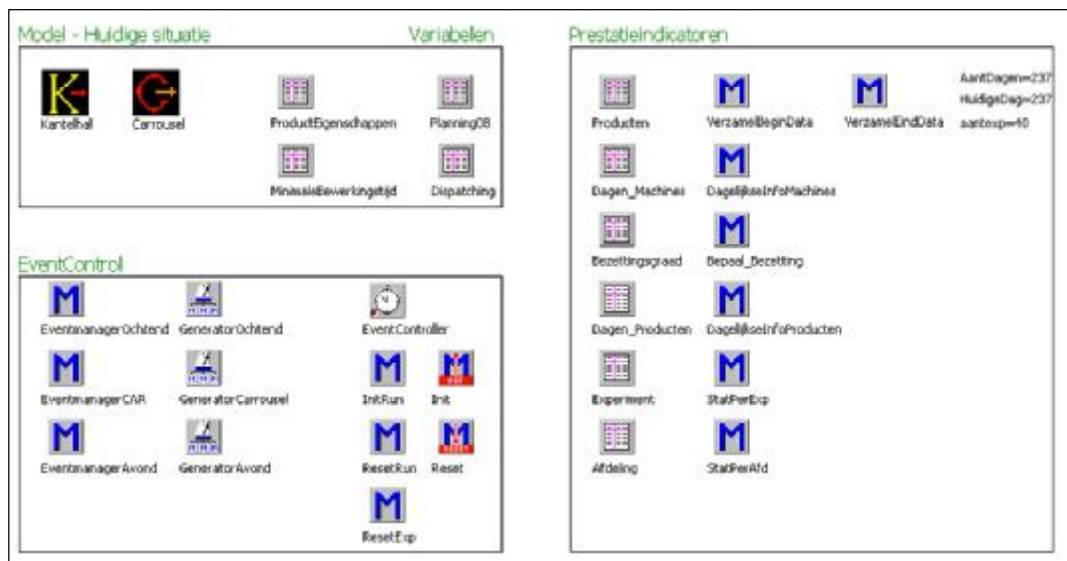
In de afwezigheid van voldoende data, zoals het geval bij de uitgevoerde metingen, kan de Weibull verdeling worden gebruikt. Indien verwacht wordt dat de waarden tussen a en b liggen maar waarover verder weinig bekend is kan de uniforme verdeling gebruikt worden (Law & Kelton, pp.282-288). Met behulp van SPSS zijn verschillende verdelingen getest per bewerking. De bijbehorende grafieken en parameters per proces zijn weergegeven bijlage Q. Per bewerking is aangegeven welke verdeling het beste past. Ook is een overzichtstabel gegeven waarin de parameters en verdeling per bewerking staan.

Voor de TA elementen is een uniforme verdeling gekozen. Door het geringe aantal metingen (6 stuks) is niet veel bekend over het product. Er wordt verwacht dat de complexiteit van kruisvormige elementen minder groot is dan van daken van transformatorhuisjes waardoor een uniforme verdeling bij het gebrek aan metingen een goede representatie geeft van de bewerkingstijden. Samen met de productie leider is een schatting gemaakt van de onder- en bovengrens van de bewerkingstijd.

O.1. Screenshots hoofdfraam en subframes

Een overzicht van het simulatiemodel is gegeven in figuur O..

Het model bestaat uit de kantenhal en de carrousel. De modelmakerij is in de carrousel als een werkstation opgenomen. Verder is gekozen om de werking van de lift niet in detail te modelleren. Dit was in eerste instantie wel de planning omdat verwacht wordt dat de lift bij een groot aantal tafels per dag ook problemen kan geven maar het bleek niet reëel dit te modelleren in de daarvoor beschikbare tijd. De Planning08 geeft per dag het aantal te produceren tafels weer opgedeeld naar producttype. De eerste 138 dagen zijn werkelijk geproduceerde aantallen, de tweede helft van het jaar is gebaseerd op de planning van de afdeling Verkoop.



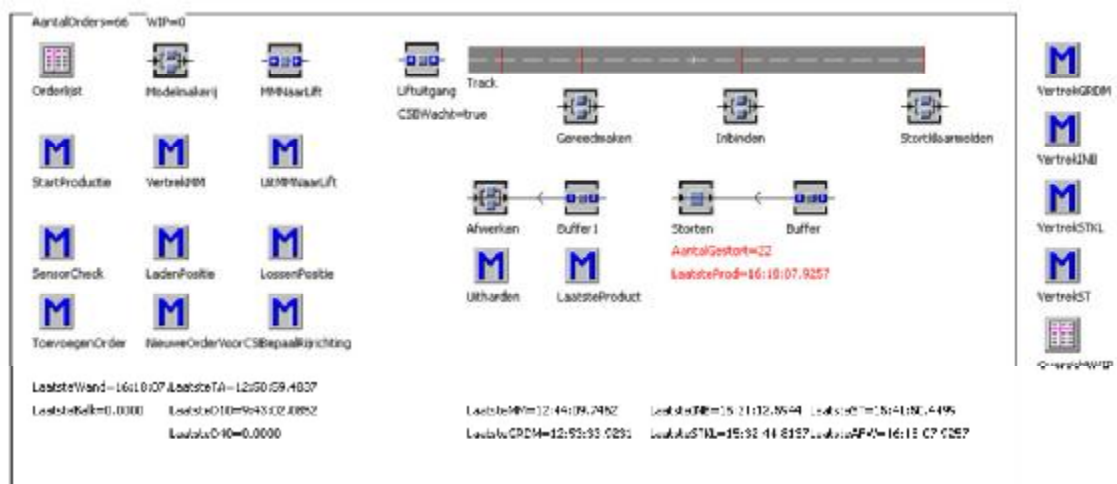
O.1 Overzicht simulatiemodel (hoofdframe)

De prestatieindicatoren zijn opgedeeld verschillende niveaus:

- Op productniveau zijn per dag gegevens van een product opgeslagen
- Per dag zijn gemiddelde tijden berekent die volgen uit informatie van de producten, ook wordt informatie weggeschreven over overuren.
- Per experiment zijn gemiddelde tijden bepaald over alle dagen in het experiment. Er worden drie experimenten uitgevoerd per configuratie waarbij elk experiment een andere prioriteitsregel toegewezen krijgt.
- Per afdeling zijn gemiddelde tijden weggeschreven over de prestaties van een afdeling.

Figuur O.2 geeft een overzicht van het frame waarin de producten voor het simulatiemodel worden gegenereerd en het kantelproces wordt gesimuleerd.

In de methode AankomstProducten worden elke dag om 6:00 uur het gewenste aantal producten gegenereerd zoals beschreven in de Planning08 (zie O.2). Eenmalig worden 58 tafels gegenereerd op de eerste dag. In de methode ElementopTafel wordt elk product op een tafel geplaatst. De producten op tafels worden in de Buffer geplaatst en wachten totdat het is toegestaan om de carrousel te betreden.



O.2 Overzicht van de Carrousel (subframe)

De tabel met MinimaleBewerkingstijden (zie O.2) geeft per deelproces, per producttype wat de minimale bewerkingstijd is. Deze tijden zijn bepaald in overleg met de Productieleider en de gemeten tijden. Doordat gebruik wordt gemaakt van een kansdichtheidsfunctie voor het bepalen van de bewerkingstijden kwam het voor dat bewerkingstijden van 2 seconden werden gekozen. Dit is niet wenselijk en door deze tabel wordt een ondergrens meegegeven aan de bewerkingstijden.

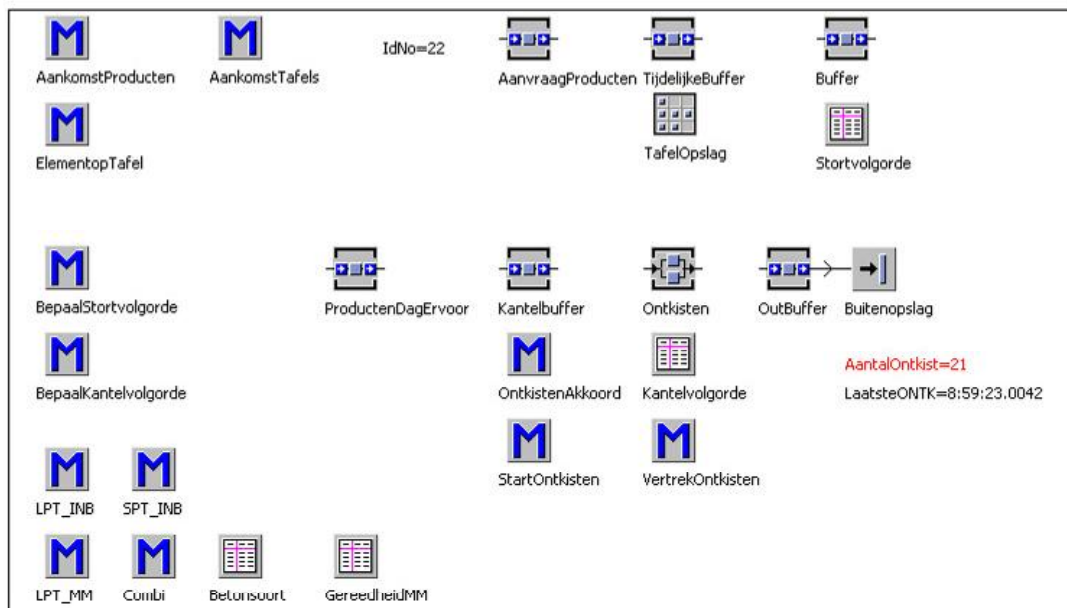
De producten worden gesorteerd volgens de gewenste stortvolgorde. Deze stortvolgorde is bepaald door één van de prioriteitsregels (LPT, SPT, Combi). Op basis van deze volgorde wordt de gewenste kantelvolgorde bepaald. Voor het starten van een product van type X is het noodzakelijk dat eenzelfde type X gekanteld is. Hiermee wordt het ombouwen van een mal gemodelleerd. Een mal wordt niet elke keer opnieuw gebouwd maar volgt uit de vorige mal uit de tafel. Hierdoor is het noodzakelijk dat de tafel wel ontkist is voordat deze weer opnieuw geproduceerd kan worden. Na het ontkisten krijgt de tafel een waarde *release* waardoor het akkoord wordt gegeven om deze tafel te produceren.

Het ontkisten is vereenvoudigd gemodelleerd waarbij het proces als één geheel wordt gezien. Er wordt geen onderscheidt gemaakt in het loshalen van maldelen en het kantelen van de tafel op de kanteltafel.

Figuur 3 geeft een overzicht van de Carousel. Het productieproces in de carousel start dagelijks om 7:00 uur. Producten komen dan uit de kantelhal en de buffer. Het transportmiddel, de CSB is apart gemodelleerd. Er is gekozen voor deze mate van detail omdat de werking van de CSB ten dele bepaald hoe lang tafels moeten wachten op een positie. Het is niet realistisch om te veronderstellen dat de tafels rechtstreeks doorschuiven naar een volgend station zodra de bewerking is afgerond. Om de CSB aan te sturen worden diverse methoden gebruikt. Zodra het proces begint wordt een nieuwe tafel altijd op de CSB geplaatst, hiervoor wordt de CSB bij aanvang van productie vooraan aan de Track geplaatst.

Vervolgens wordt bij het laden van het product (via LadenPositie) bepaald naar welk station de CSB het product moet brengen. Bij het lossen van het product (via LossenPositie) wordt ook een nieuwe opdracht meegegeven aan de CSB (via NieuweOrderVoorCSB). Deze methode kijkt in de Orderlijst welk product als volgende vervoerd wil worden. Om te zorgen dat een FCFS methode wordt gehanteerd wordt deze lijst van boven naar beneden doorlopen en wordt het eerst volgende product gekozen.

De orderlijst wordt gevuld met nieuwe 'orders' doordat de methode ToevoegenOrder wordt aangeroepen. Deze methode wordt door een product aangeroepen zodra het product een werkstation



O.3 Overzicht van de Kantelhal en de aankomst van tafels (subframe)

wil verlaten. Vanaf dat moment wacht het product op transport. Het is gewenst om deze wachttijd te minimaliseren.

De modelmakerij is als een werkstation weergegeven waardoor het proces niet in detail is uitgesplitst. In werkelijkheid is het gebruikelijk dat tafels minimaal één dag in de modelmakerij staan en vervolgens de volgende dag de carrousel in worden gestuurd. In het simulatiemodel is gekozen om elke dag met een schone lei te beginnen waardoor de werkelijkheid is vereenvoudigd. Omdat de gemeten bewerkingstijden hier geen rekening mee houden resulteert de verdeling voor het bepalen van de bewerkingstijd in soms erg lange bewerkingstijden (langer dan 8 uur). In werkelijkheid wordt de dag ervoor al aan producten in de modelmakerij gewerkt. De resterende bewerkingstijd op de productiedag is dan dus lager. Om dit te modelleren heeft elk product een kans van 0,25 dat het hele modelmakerij proces nog doorlopen moet worden. Zo is er ook een kans van 0,25 op 50%, 0,25 op 25% en 0,25 op 0%. Op deze wijze is er een goede kans dat de tafels nog dezelfde dag geproduceerd kunnen worden.

O.II. Aantal runs

Voor het bepalen van het aantal jaren dat het simulatiemodel moet draaien wordt gekeken naar het betrouwbaarheidsinterval voor de gemiddelde doorlooptijd en het gemiddeld aantal overuren per dag. Hiervoor zijn de toegestane fout (γ) en het betrouwbaarheidsniveau α van belang ($1 - \alpha$ is het betrouwbaarheidsniveau). Er is gekozen voor: $\gamma = 0.1$ en $\alpha = 0.05$.

Om de toegestane fout, γ , te halen is een benadering voor het aantal te simuleren jaren gegeven door:

$$n_r^*(\gamma) = \min\{i \geq n : \frac{t_{i-1, 1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}}}{\bar{X}(n)} \leq \gamma'\}, \text{ waarbij } \gamma' = \frac{\gamma}{1+\gamma} = \frac{0.10}{1+0.10} = 0.090909$$

$n_r^*(\gamma)$ wordt gevonden door i iteratief met 1 te verhogen tot een waarde van i is gevonden waarvoor

$$\frac{t_{i-1, 1-0.05/2} \cdot \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}}}{\bar{X}(n)} \leq \gamma'. \text{ Uiteindelijk is gekozen om 10 onafhankelijke jaren te simuleren. Dit is}$$

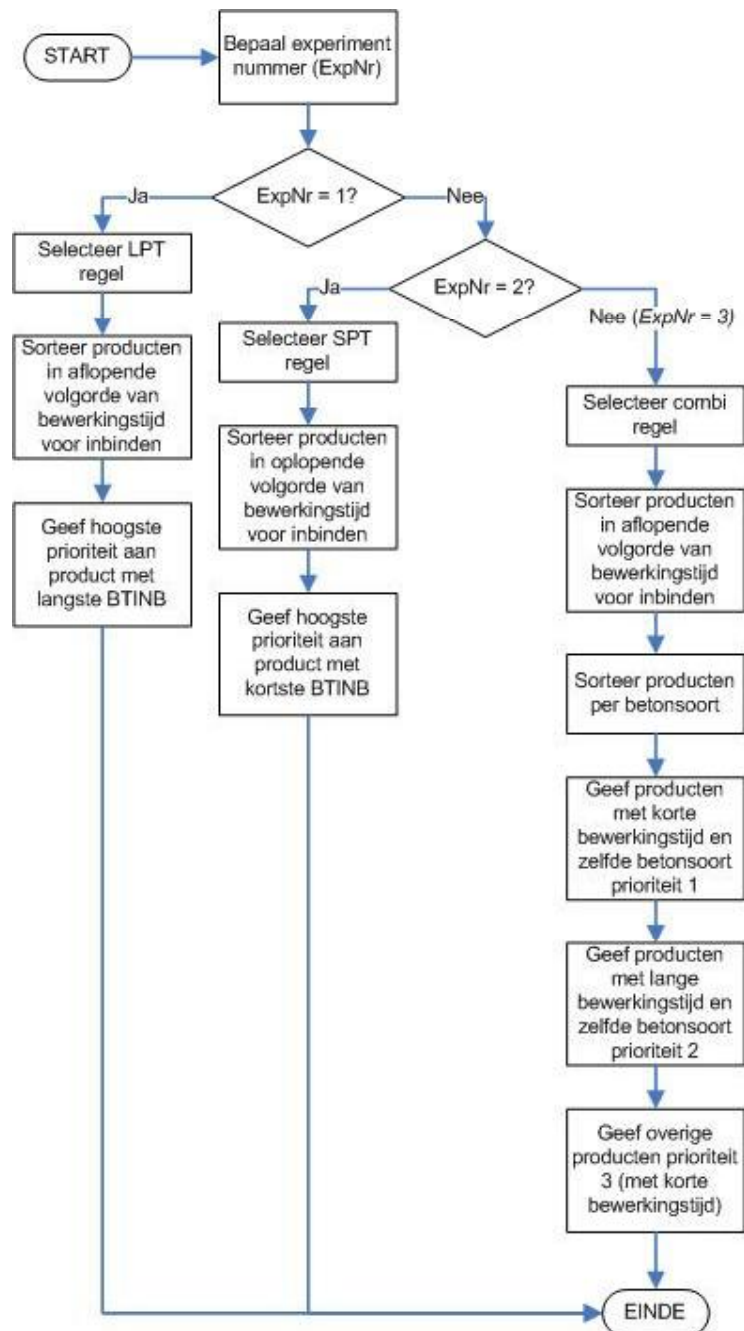
ruimschoots voldoende omdat voor de meeste configuraties 2 jaren simulatie al tot de gewenste betrouwbaarheid leidt. Met ongeveer 95% zekerheid valt te zeggen dat het aantal overuren per dag in het interval [2,21 ; 2,63] valt. De gemiddelde doorlooptijd per product per dag valt met ongeveer 95% zekerheid in het interval [2,86 ; 2,99].

ExpNr	GemCT	minCT	maxCT	GemBT	GemWT	GemOT	maxOT
1,00	3,00	2,13	4,05	2,12	0,45	2,65	9,78
2,00	2,97	2,09	4,05	2,11	0,43	2,78	9,63
3,00	2,93	2,03	4,01	2,13	0,40	2,52	9,63
4,00	2,81	1,95	3,72	2,12	0,31	3,07	9,36
5,00	2,81	1,99	3,84	2,02	0,27	1,73	0,95
6,00	2,81	1,96	4,00	2,01	0,25	1,83	0,93
7,00	2,77	1,92	3,80	2,02	0,25	1,65	0,94
8,00	2,68	1,85	3,57	2,01	0,13	2,07	0,96
9,00	3,17	2,20	4,24	2,12	0,52	2,60	9,63
10,00	3,16	2,24	4,28	2,12	0,52	2,62	9,73
11,00	3,08	2,15	4,00	2,12	0,46	2,47	9,49
12,00	2,91	2,07	3,74	2,12	0,35	3,08	9,37

Doorlooptijd				Overuren			
Gemiddelde	2,92	diff	0,07	min	2,86	2,42	diff
Stoerding	0,02			max	2,99	0,21	min
TIW	2,20						max
						2,20	2,63
gamma	0,10	IHS	0,02	Concl.	OK	0,10	IHS
gamma'	0,09					0,09	Concl.
rel.error							OK

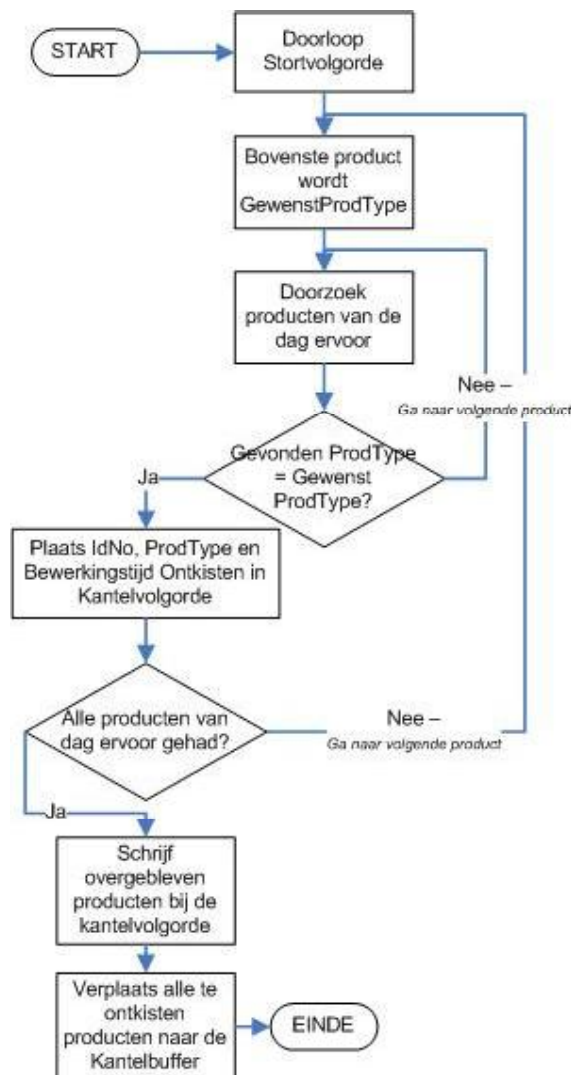
Bijlage P: Beschrijving van hoofdmethoden

In figuur 1 is een flowchart gegeven van de methode Dispatching. Zodra de producten van de dag op een tafel staan wordt bepaald welke prioriteitsregel gehanteerd moet worden. Deze prioriteitsregel is afhankelijk van het experiment dat uitgevoerd wordt.



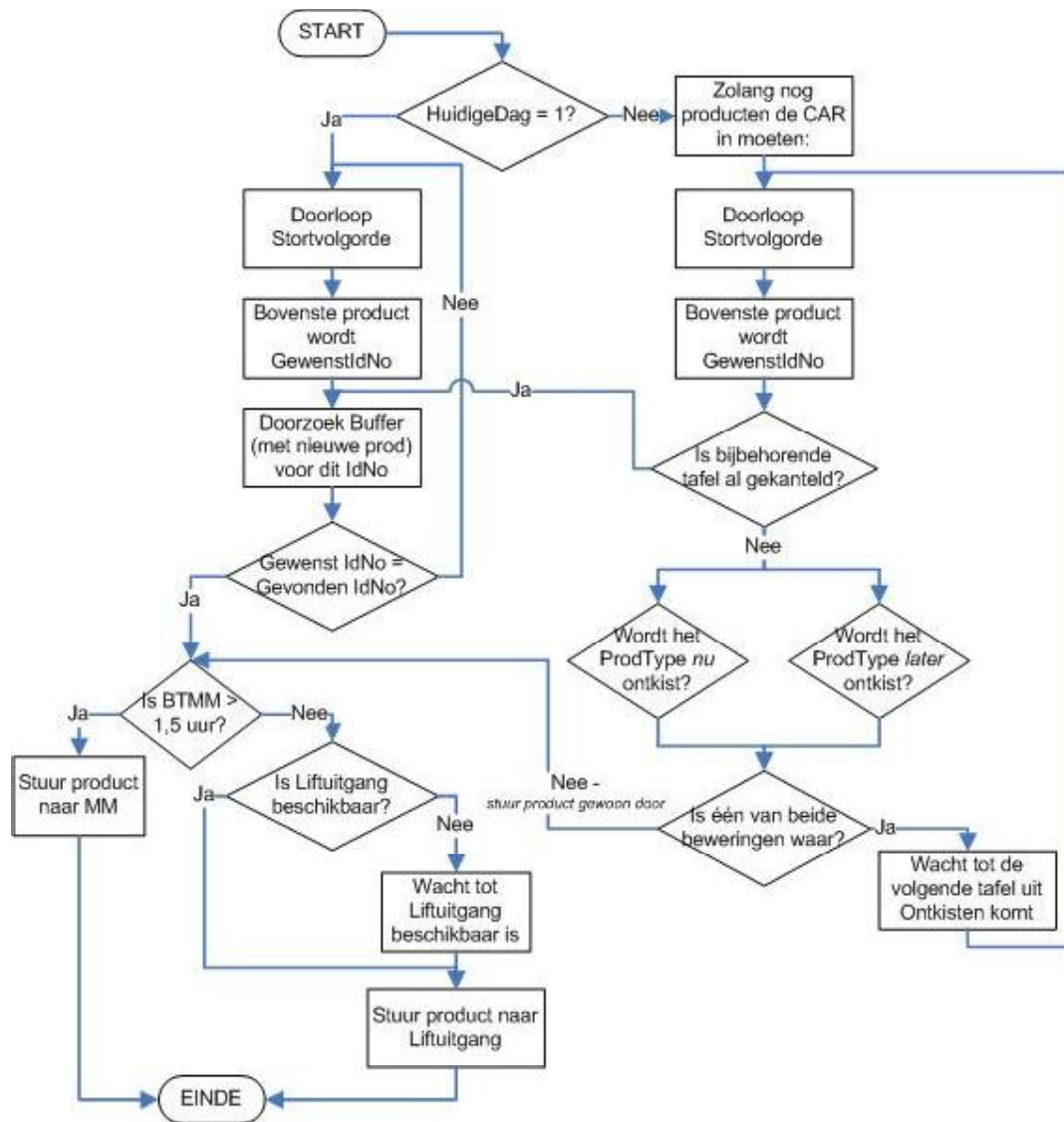
P.1 Dispatching (aangeroepen om 6:00 uur)

Zodra de producten voor de dag op een tafel staan wordt de stortvolgorde en kantelvolgorde bepaald. De kantelvolgorde is afhankelijk van de stortvolgorde. In figuur 2 is een flowchart weergegeven hoe de methode BepaalKantelvolgorde werkt. Wanneer alle producttypen van de huidige dag zijn geconfirmeerd met de producten die gekanteld moeten worden kan het zijn dat producten nog niet op de kantellijst staan. Wanneer op dag 1 5 producten van type X zijn geproduceerd en op dag 2 zijn er 3 gewenst dan zijn er nog 2 producten niet ingepland om gekanteld te worden. Deze worden uiteindelijk onderaan de kantellijst geplaatst.



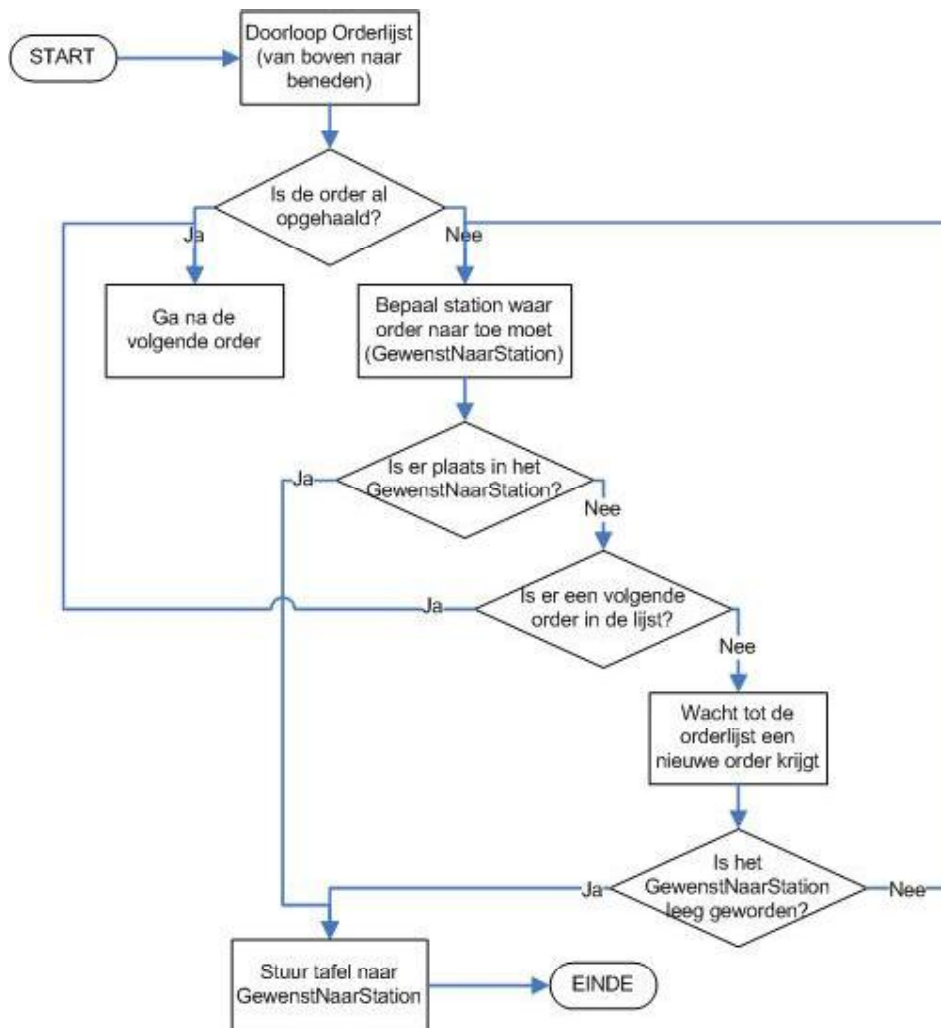
P.2 BepaalKantelvolgorde (aangeropen na het plaatsen van een product op een tafel)

Om 7:00 uur wordt het productieproces in de carrousel gestart. In figuur 3 is een flowchart gegeven van de methode StartProductie. Wanneer de eerste dag wordt gesimuleerd zijn er nog geen producten om te ontkisten waardoor de *release* van tafels nog niet van toepassing is. Dit geldt pas vanaf dag 2. Zodra de bijbehorende tafel gekanteld is (i.e. *released*) wordt de buffer met nieuwe producten doorzocht op het gewenste IdNo. Indien dit niet het geval is wordt gecontroleerd of het gewenste ProdType nog ontkist moet worden of momenteel ontkist wordt. Vervolgens wordt of gewacht op een nieuw product dat uit het ontkistingsproces komt of het product was de vorige dag niet (meer) aanwezig.



P.3 StartProductie (aangeropen om 7:00 uur)

Wanneer een product naar het gewenste station is gebracht door de CSB verwacht de CSB een nieuwe order. Of de orderlijst heeft nog een order klaar staan (nog niet alle producten uit de lijst zijn weggebracht), of er moet gewacht worden tot een nieuwe order binnenkomt. Dit is weergegeven in figuur 4. Zodra het gewenste station is gevonden wordt gecheckt of dit station nog een positie vrij heeft. Indien dat het geval is mag het product doorgestuurd worden. Anders moet gewacht worden tot een nieuwe order aan de lijst wordt toegevoegd of tot het gewenste station vrij is.



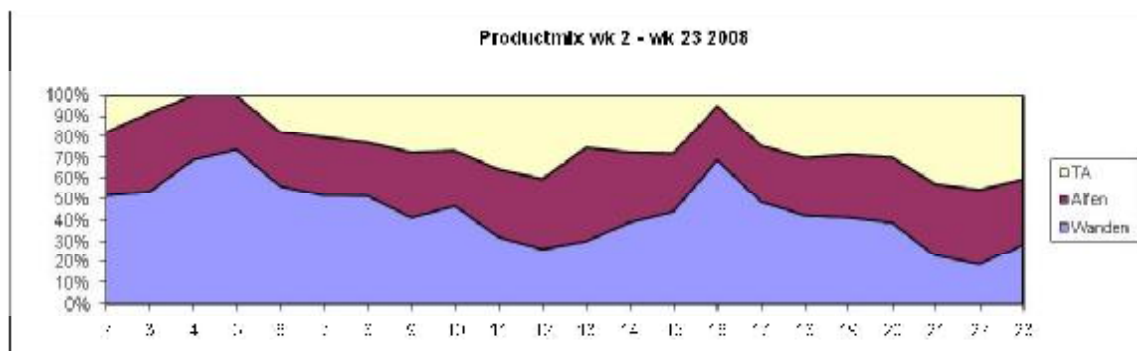
P.4 NieuweOrderVoorCSB (aangeropen na het lossen van een product)

Bijlage Q: Verdeling productmix

De verdeling van de productmix voor week 2 tot en met week 23 is gebaseerd op werkelijk geproduceerde tafels. Op basis hiervan is de verdeling voor week 24-48 bepaald.

wk	wk	Wanden	Alfen	TA
2	48	52%	30%	18%
3	47	54%	38%	8%
4	46	69%	31%	0%
5	45	74%	26%	0%
6	44	57%	26%	18%
7	43	52%	28%	20%
8	42	52%	26%	23%
9	41	42%	31%	27%
10	40	47%	27%	27%
11	39	32%	32%	36%
12	38	26%	33%	40%
13	37	30%	45%	25%
14	36	39%	33%	27%
15	35	44%	28%	28%
16	34	69%	26%	5%
17	33	49%	27%	24%
18	29	43%	28%	30%
19	28	42%	30%	28%
20	27	39%	31%	30%
21	26	23%	34%	43%
22	25	19%	36%	45%
23	24	29%	31%	40%

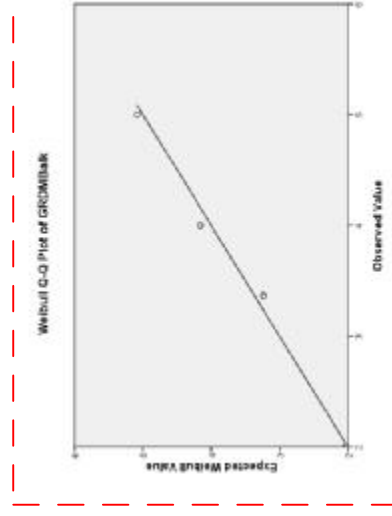
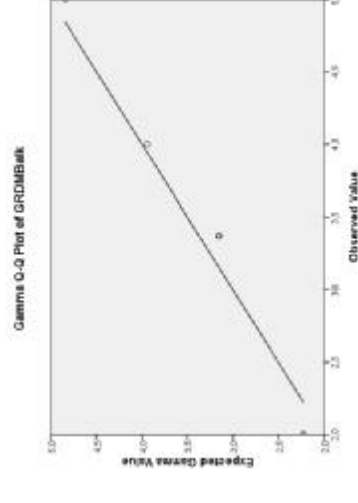
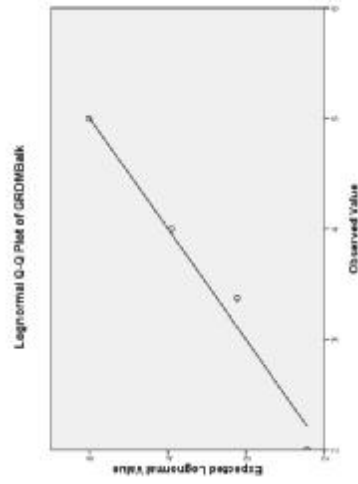
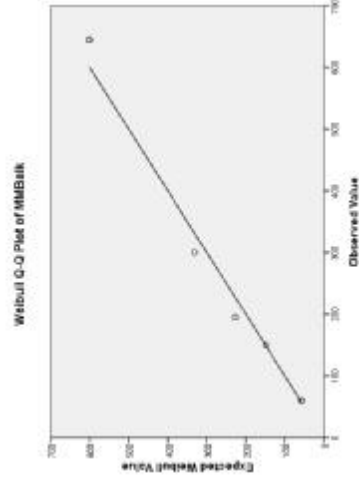
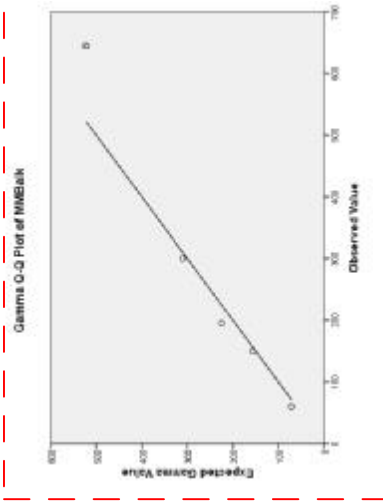
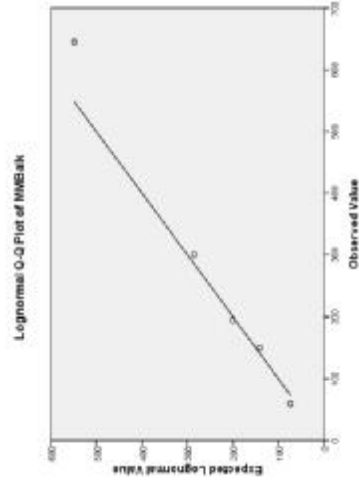
Q.1 Overzicht productmix prefab elementen in de carrousel



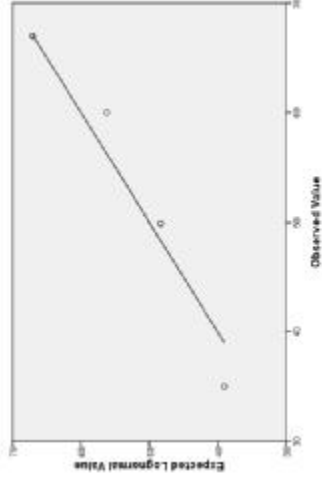
Q.2 Overzicht productmix prefab elementen in de carrousel in grafiekvorm

Bijlage R: Bepaling verdeling

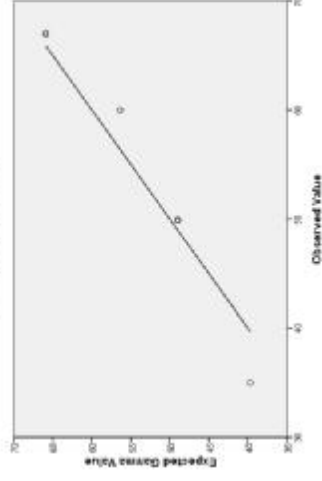
Voor het bepalen van de geschikte theoretische kansdichtheidsfunctie is gebruik gemaakt van SPSS 16.0. Voor de gemeten waarden is teruggekend wat het aantal bijbehorende minuten zijn. Hiervoor is vervolgens gekeken via een Q-Q plot of de waarden voldoende overeenkomen. De gekozen verdeling is omkaderd met een rood gestippelde lijn.



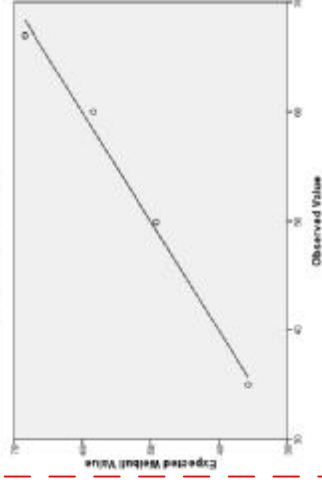
Lognormal Q-Q Plot of INBBalk



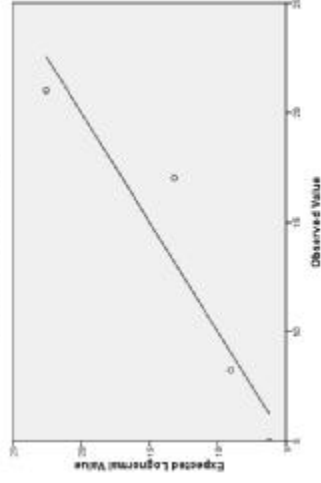
Gamma Q-Q Plot of INBBalk



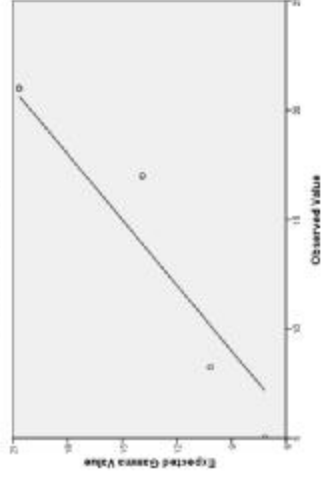
Weibull Q-Q Plot of INBBalk



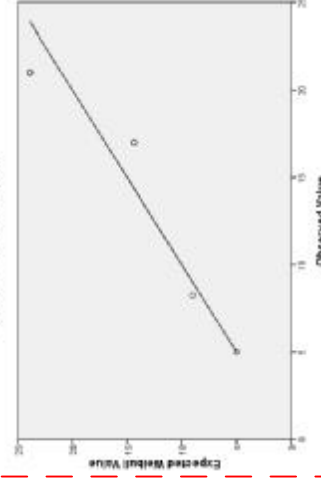
Lognormal Q-Q Plot of STKLBank



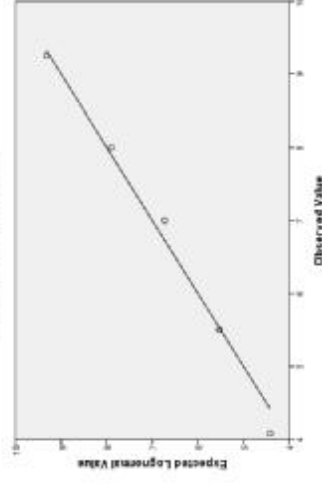
Gamma Q-Q Plot of STKLBank



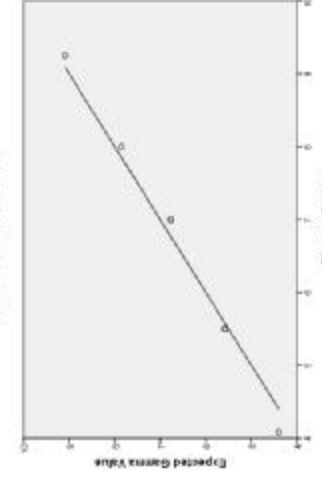
Weibull Q-Q Plot of STKLBank



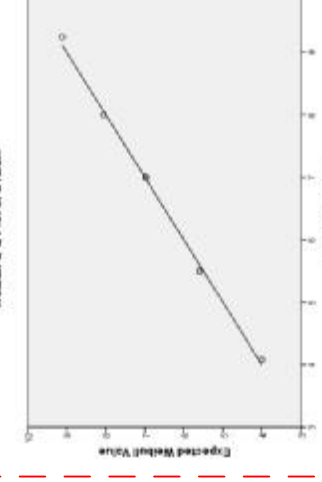
Lognormal Q-Q Plot of STBalk



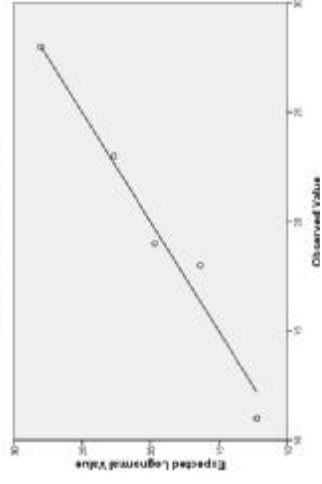
Gamma Q-Q Plot of STBalk



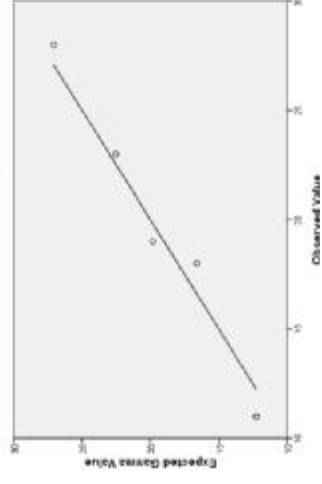
Weibull Q-Q Plot of STBalk



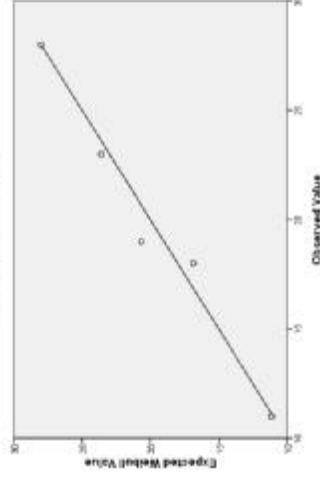
Lognormal Q-Q Plot of AFWBak



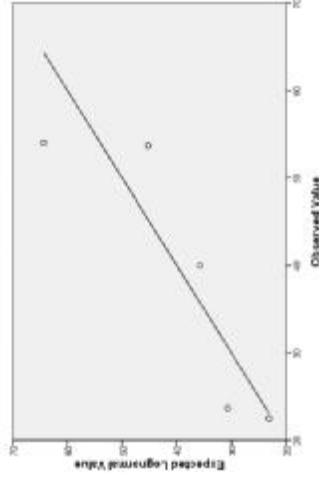
Gamma Q-Q Plot of AFWBak



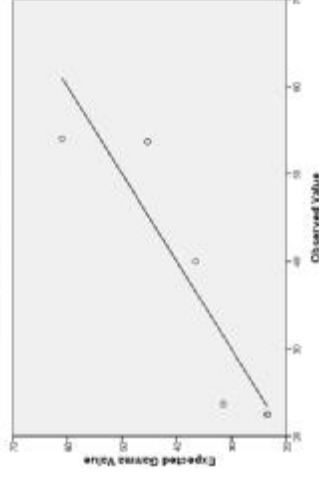
Weibull Q-Q Plot of AFWBak



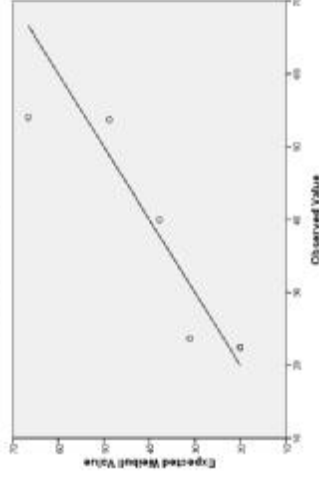
Lognormal Q-Q Plot of ONTKBak



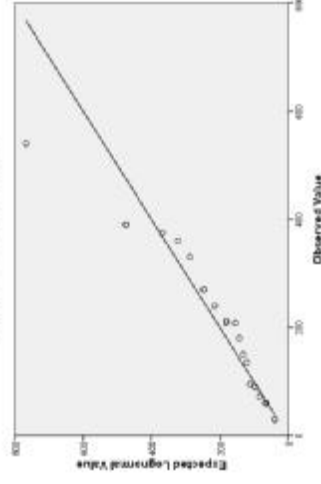
Gamma Q-Q Plot of ONTKBak



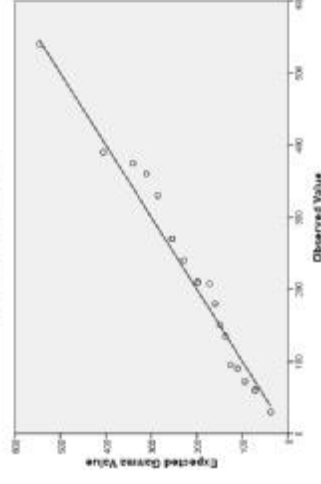
Weibull Q-Q Plot of ONTKBak



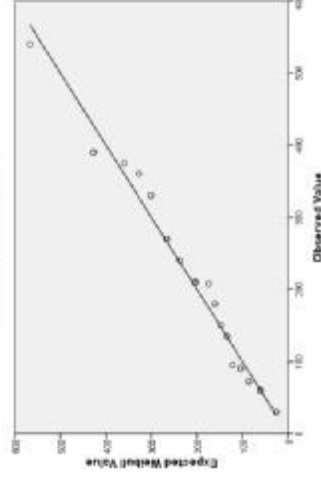
Lognormal Q-Q Plot of MMWand

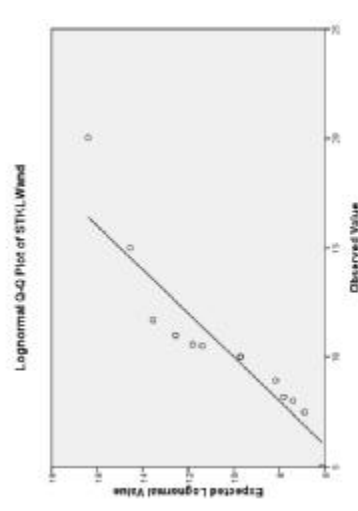
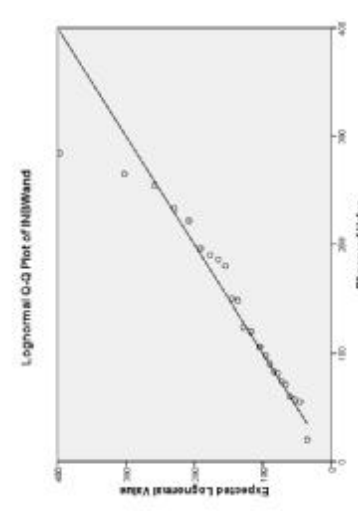
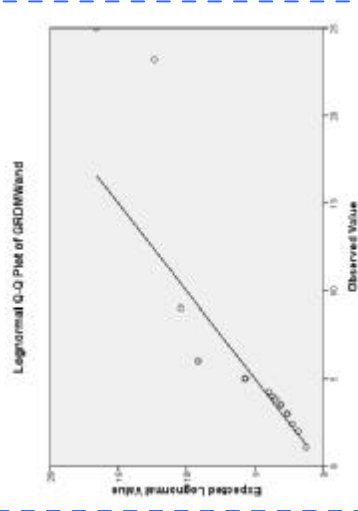
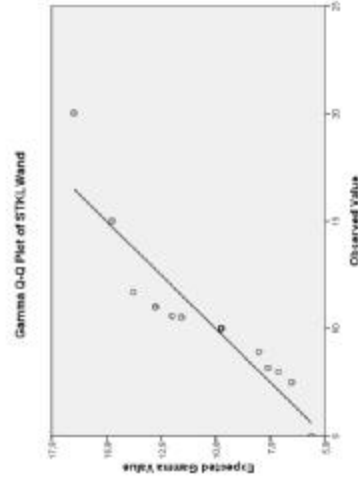
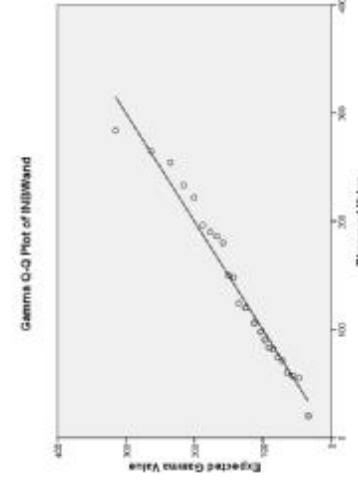
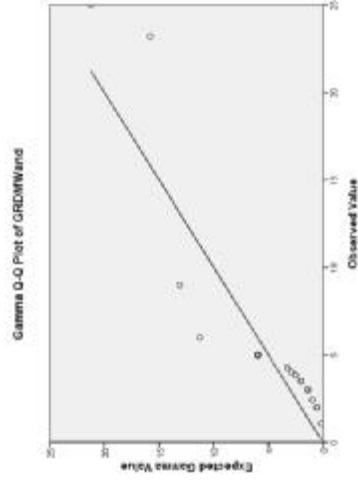
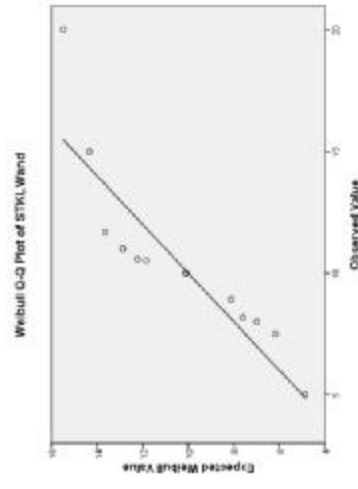
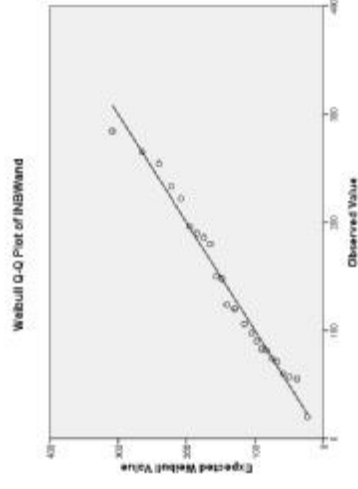
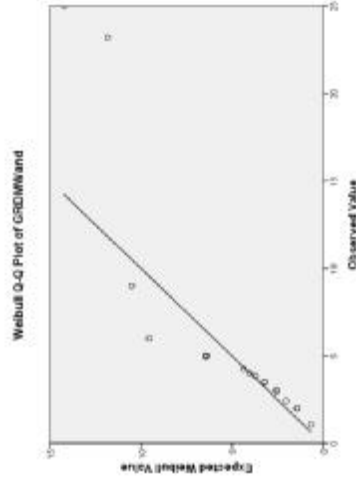


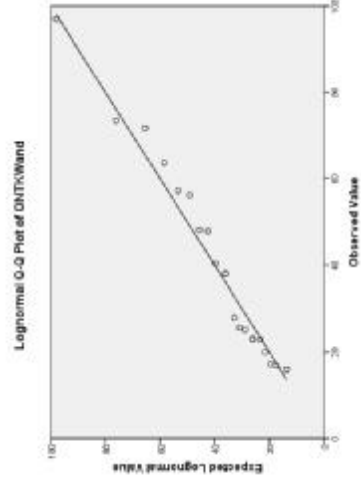
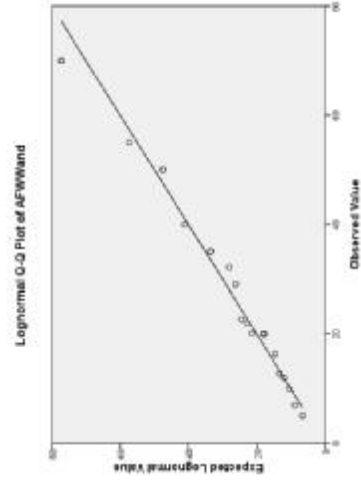
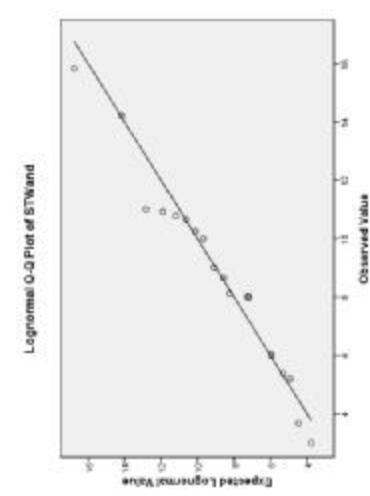
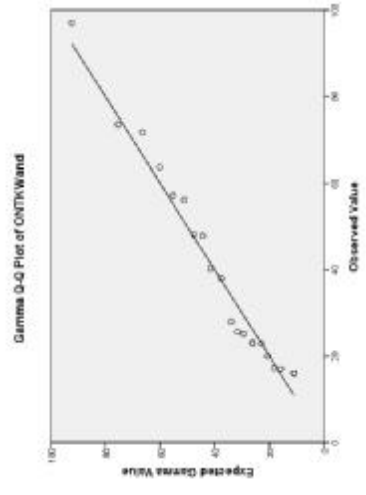
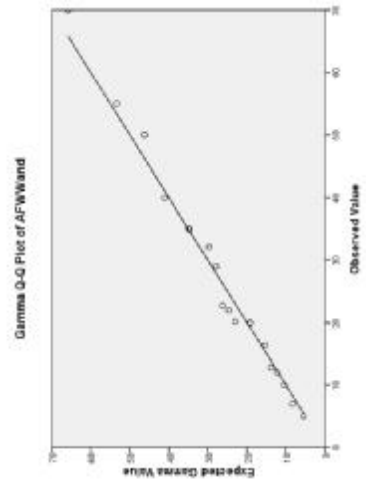
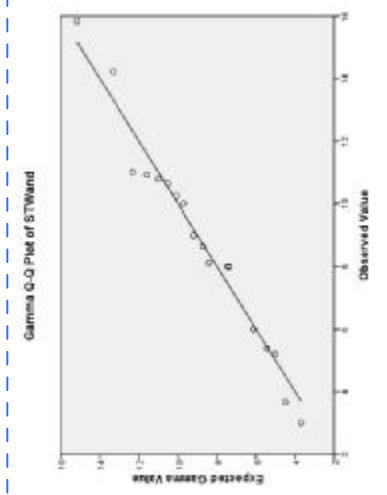
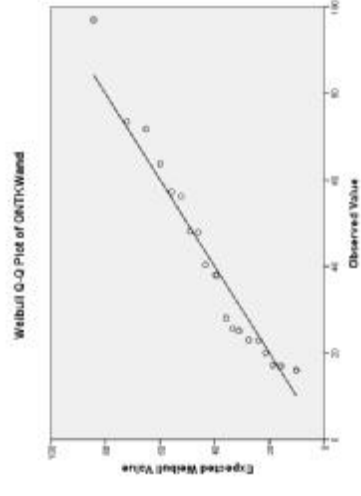
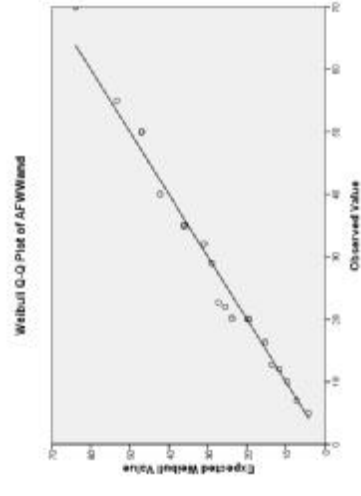
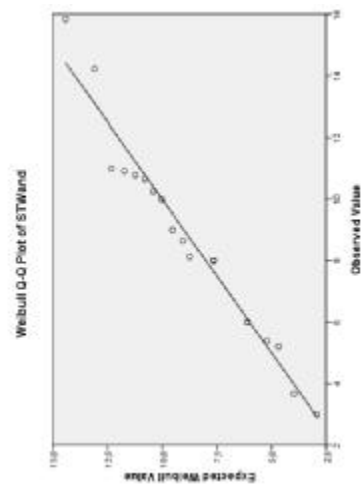
Gamma Q-Q Plot of MMWand



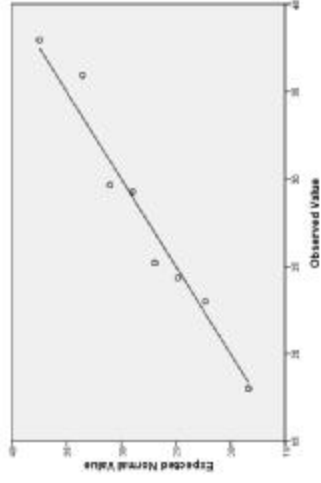
Weibull Q-Q Plot of MMWand



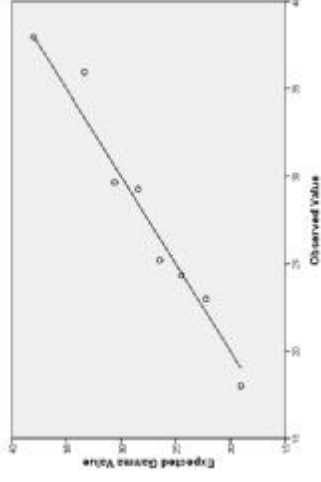




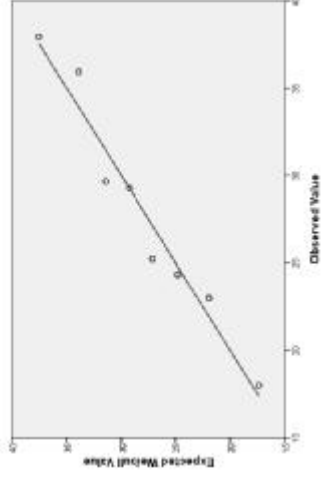
Normal Q-Q Plot of GRDM10



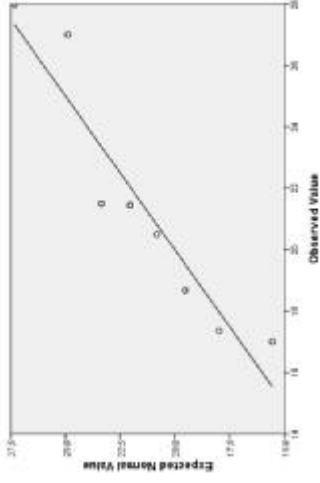
Gamma Q-Q Plot of GRDM10



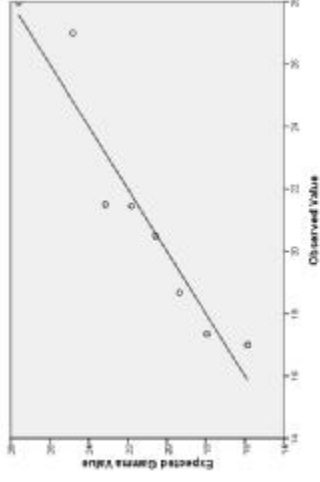
Weibull Q-Q Plot of GRDM10



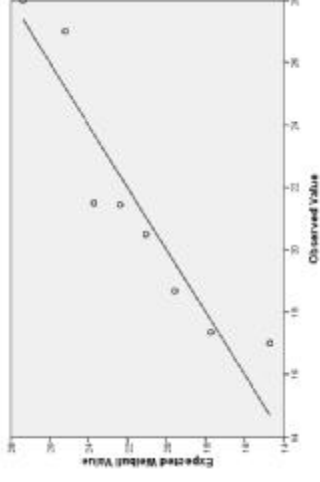
Normal Q-Q Plot of BUB10



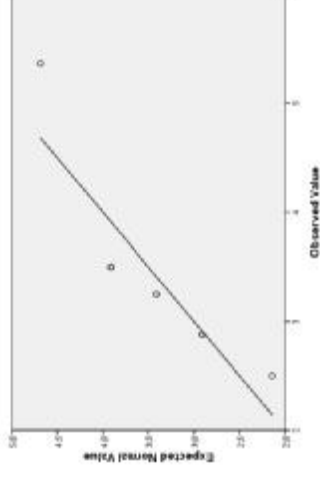
Gamma Q-Q Plot of BUB10



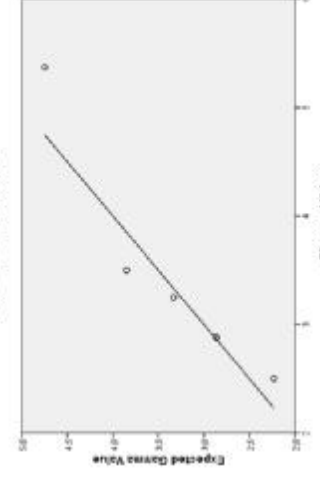
Weibull Q-Q Plot of BUB10



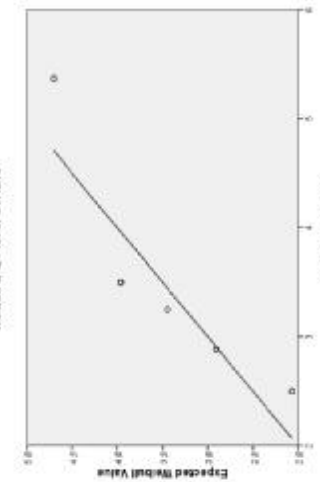
Normal Q-Q Plot of STKL10



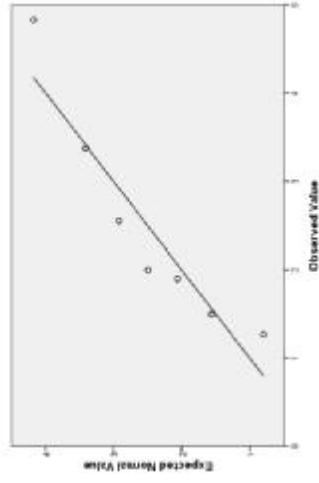
Gamma Q-Q Plot of STKL10



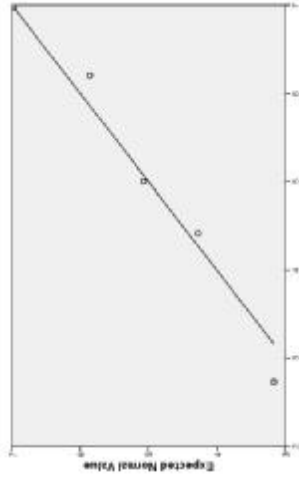
Weibull Q-Q Plot of STKL10



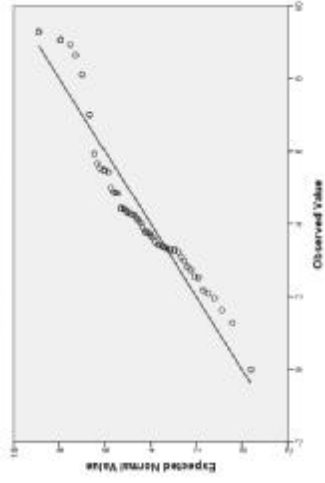
Normal Q-Q Plot of ST10



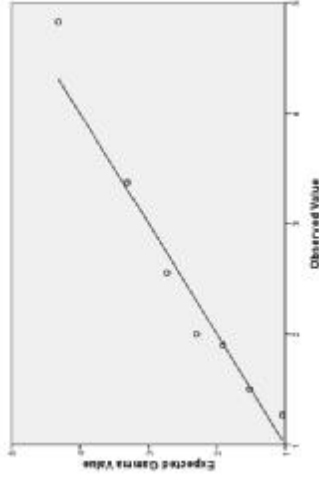
Normal Q-Q Plot of AFW10



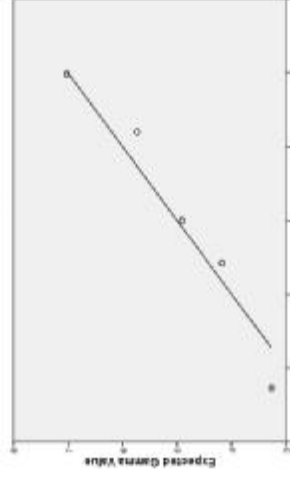
Normal Q-Q Plot of ONTK10



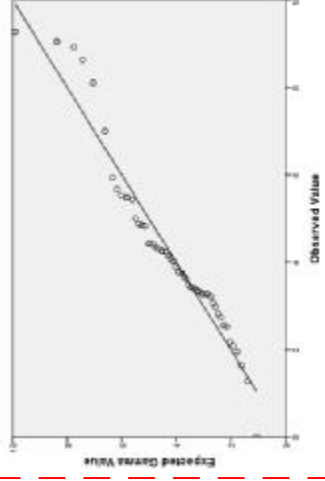
Gamma Q-Q Plot of ST10



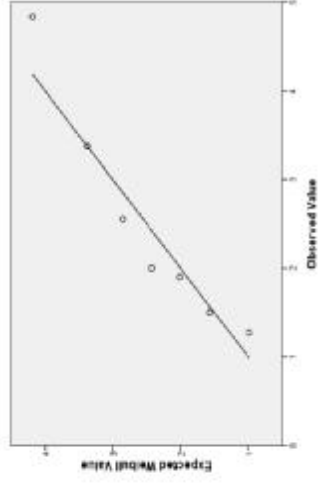
Gamma Q-Q Plot of AFW10



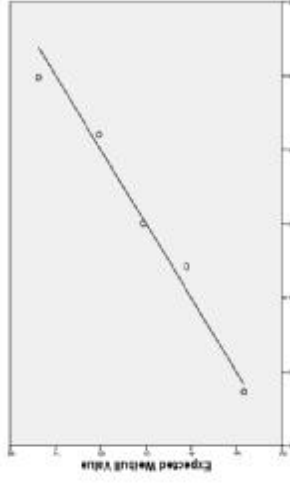
Gamma Q-Q Plot of ONTK10



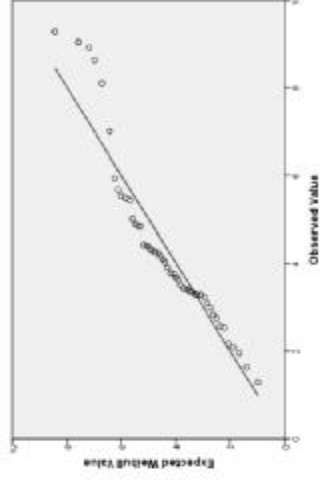
Weibull Q-Q Plot of ST10



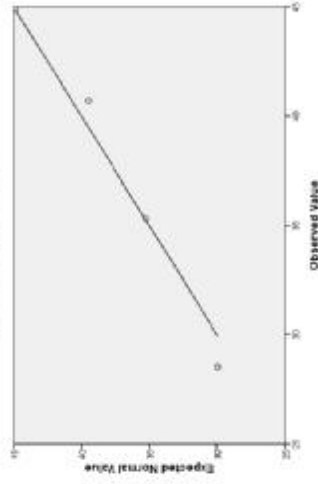
Weibull Q-Q Plot of AFW10



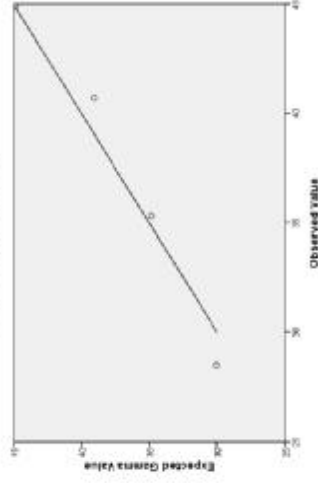
Weibull Q-Q Plot of ONTK10



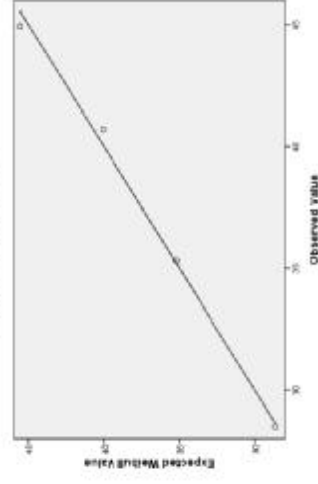
Normal Q-Q Plot of GRCM40



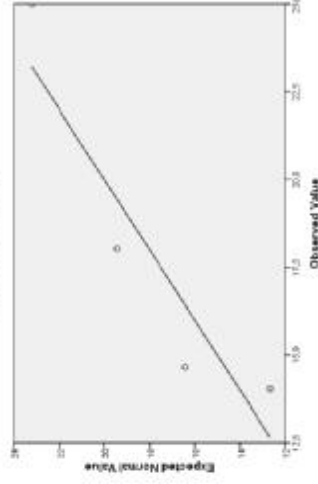
Gamma Q-Q Plot of GRCM40



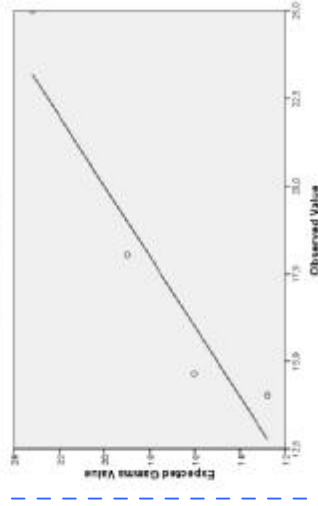
Weibull Q-Q Plot of GRCM40



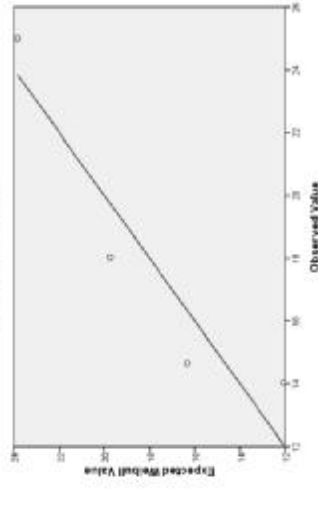
Normal Q-Q Plot of INE40



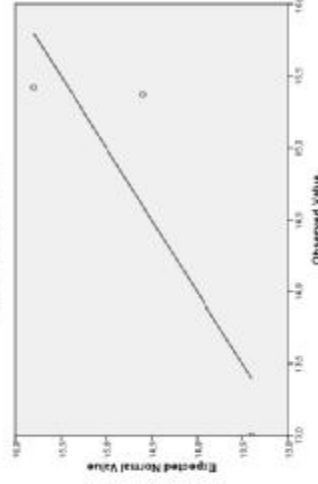
Gamma Q-Q Plot of INE40



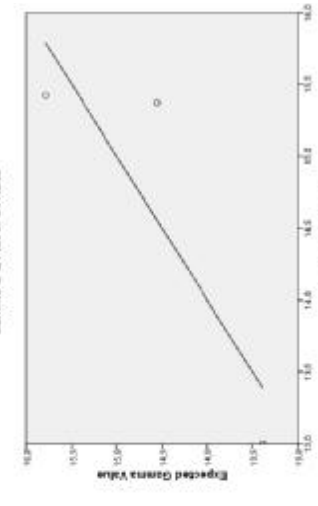
Weibull Q-Q Plot of INE40



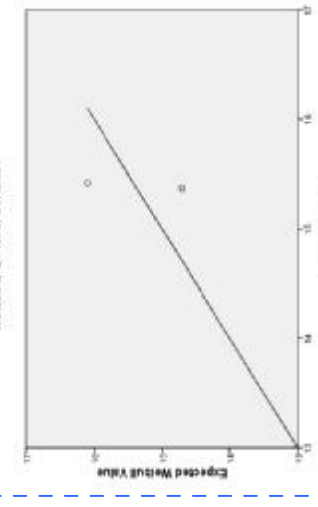
Normal Q-Q Plot of STKL40

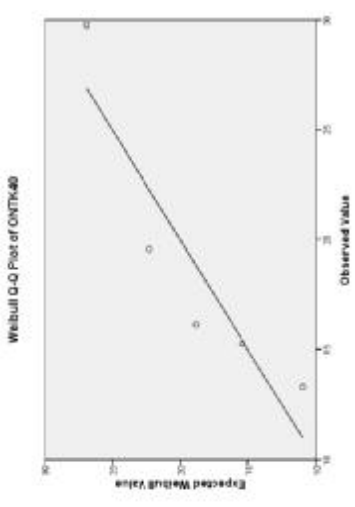
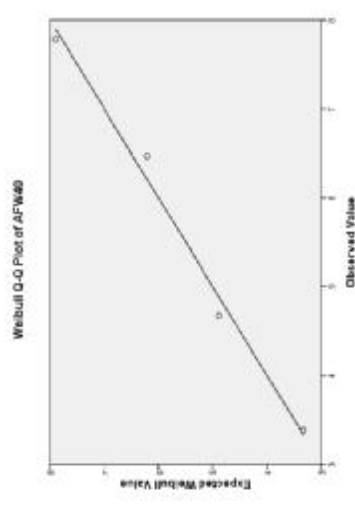
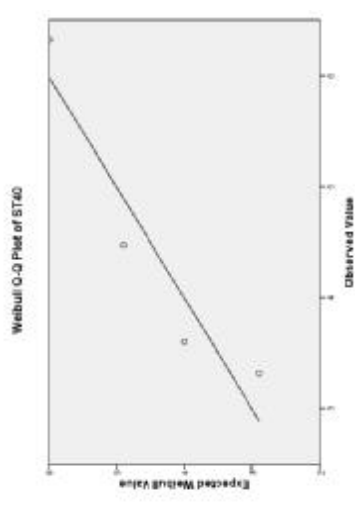
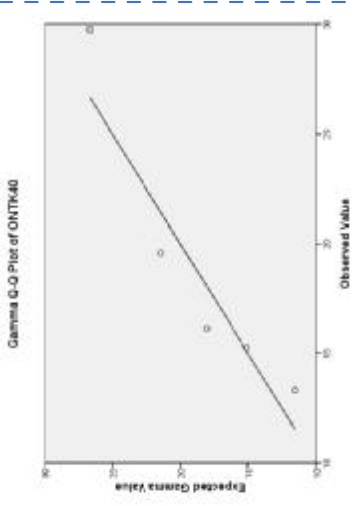
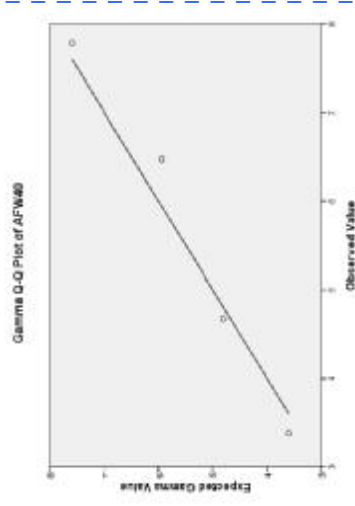
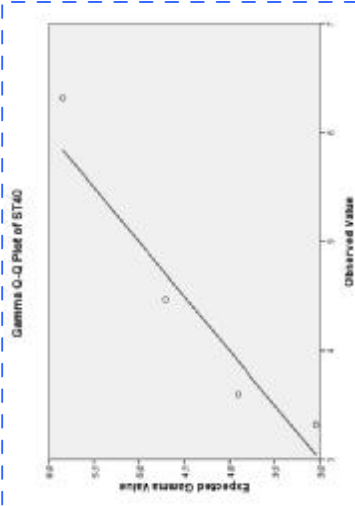
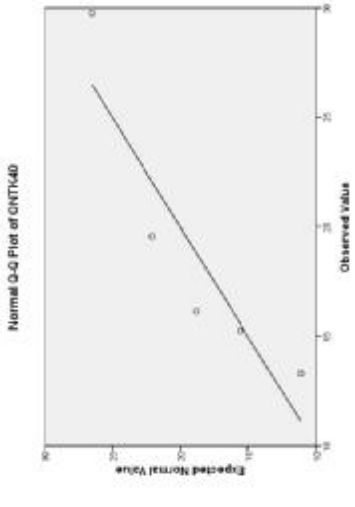
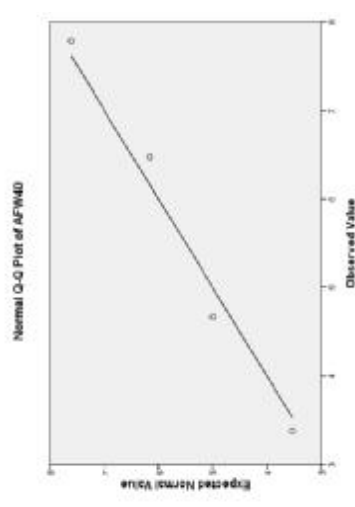
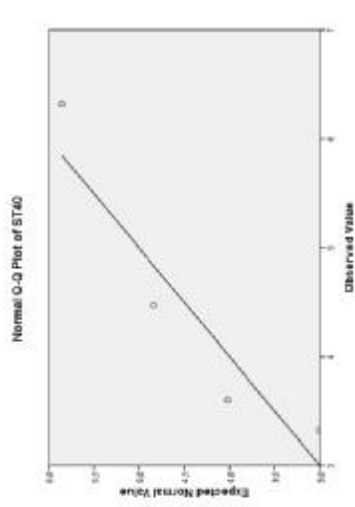


Gamma Q-Q Plot of STKL40



Weibull Q-Q Plot of STKL40





Op basis van de uitgevoerde metingen is met behulp van Excel en SPSS bepaald welke verdeling het beste past bij een bewerking.

$G(\alpha, \beta)$ = gamma verdeling met shape parameter α en scale parameter β

$W(\alpha, \beta)$ = weibull verdeling met shape parameter α en scale parameter β

$L.N(\mu, \sigma)$ = lognormale verdeling met gemiddelde μ en standaarddeviatie σ

$N(\mu, \sigma)$ = normale verdeling met gemiddelde μ en standaarddeviatie σ

$U(a, b)$ = uniforme verdeling met minimale bewerkingstijd a en maximale bewerkingstijd b

	D10A	D40H	Wanden	Balken	TA
Modelmakerij					
Min. bewerkingstijd	-	-	W(1,42;225,75)	Y(1,33;0,01)	-
Max. bewerkingstijd	-	-	30 min	1 uur	-
Gereedmaken					
Min. bewerkingstijd	W(1,97;30,49)	W(5,363;10,347)	LN(5,83;5,73)	W(1,02;326,31)	U(12,3;21)
Max. bewerkingstijd	18 min	28,5 min	1 uur 5 min	2 uur	-
Inbinden					
Min. bewerkingstijd	Y(29,04;1,36)	Y(12,633;0,708)	Y(3,19;0,01)	W(2,66;3,72)	U(32,7;48,58)
Max. bewerkingstijd	17 min	14 min	20 min	35 min	-
Stortklaarmelden					
Min. bewerkingstijd	Y(14,35;4,21)	W(9,596;15,282)	Y(12,74;1,23)	W(1,78;17,64)	U(0,83;3,92)
Max. bewerkingstijd	2,5 min	13 sec	5 min	5 min	-
Storten					
Min. bewerkingstijd	Y(4,32;1,74)	Y(2,417;10,703)	Y(8,24;0,97)	W(4,00;7,29)	L(0,08;3,98)
Max. bewerkingstijd	20 min	20 min	-	-	-
Afwerken					
Min. bewerkingstijd	1 min 16 sec	3 min 19 sec	3 min	4 min 5 sec	-
Max. bewerkingstijd	W(3,07;5,7)	W(2,872;6,295)	Y(2,72;0,09)	Y(3,19;0,01)	U(0,17;0,88)
Onkisten					
Min. bewerkingstijd	Y(4,97;1,09)	Y(8,293;0,441)	Y(3,05;0,08)	W(2,22;44,53)	U(13,12;15,42)
Max. bewerkingstijd	1 min 38 sec	13 min 18 sec	16 min	22,5 min	-

R.1 Overzicht van te gebruiken inputdistributie per product per bewerkingslap

Bijlage S: Voorkeuren voor doorstroming producten

Tijdens afwezigheid van de productie leider door ziekte is samen met de trainee Productiemanagement (Andrew Hoornsman BSc) gekeken naar de voorkeuren die gelden per afdeling. Deze voorkeuren zijn in kaart gebracht door de werknemers te vragen naar hun mening hierover. Ondanks dat het document een overzicht geeft van de voorkeuren is het nog af. Omdat de productie dagelijks anders ingericht is kwa producten worden de voorkeuren aangevuld met additionele informatie zodra deze beschikbaar is.

Storten (8:00-18:30)

- Storten in afnemende betonsterkte: een sterkere betonsoort in een mal storten waarvoor minder sterkte is vereist kan geen kwaad, andersom wel.
- Afwerkingsvolgorde: eerst c-codes voor b-codes i.v.m. afwerktijd
- Daken voor transformatorhuisjes per twee tafels storten in verband met de hoeveelheid benodigd beton (minimaal 0,5 m³ per keer)
- Beton is beschikbaar tot 18:30 uur

Carrousel (7:00-18:30)

- Balken met veel inbindwerk het eerste ontvangen. Iedereen is dan nog alert en fit en de druk is minder hoog dan op het einde van de dag om de producten af te hebben
- Wanden met veel inbindwerk ook snel ontvangen

Kantelhal (6:00-15:00)

- Eerst wanden kantelen in setjes van 4 vlakke wanden of 3 wanden met een nok i.v.m de ruimte op de lorrie, er zijn maximaal 2 lorries hiervoor beschikbaar.
- Balken en kolommen achter elkaar kantelen i.v.m. afvoer op de platte lorrie
- Daken van transformatorhuisjes achter elkaar kantelen i.v.m. gebruiken van de zuignap (Aerolift)
- Terre Armee ook achter elkaar storten i.v.m. ontkistingsmethode
- Als tafels uit de ombouw voor de volgende dag al klaar zijn en in de carrousel staan dan eerst wanden en balken kantelen. De werknemers in de carrousel kunnen dan alvast starten met de tafels die al uit de ombouwhal zijn gekomen.

Modelmakerij (6:00-18:00)

- Nieuwe tafels om om te bouwen vanaf ongeveer 10:30 uur in de ombouwhal zetten i.v.m. afvoer tafels van de huidige dag (die moeten eerst)

Proces

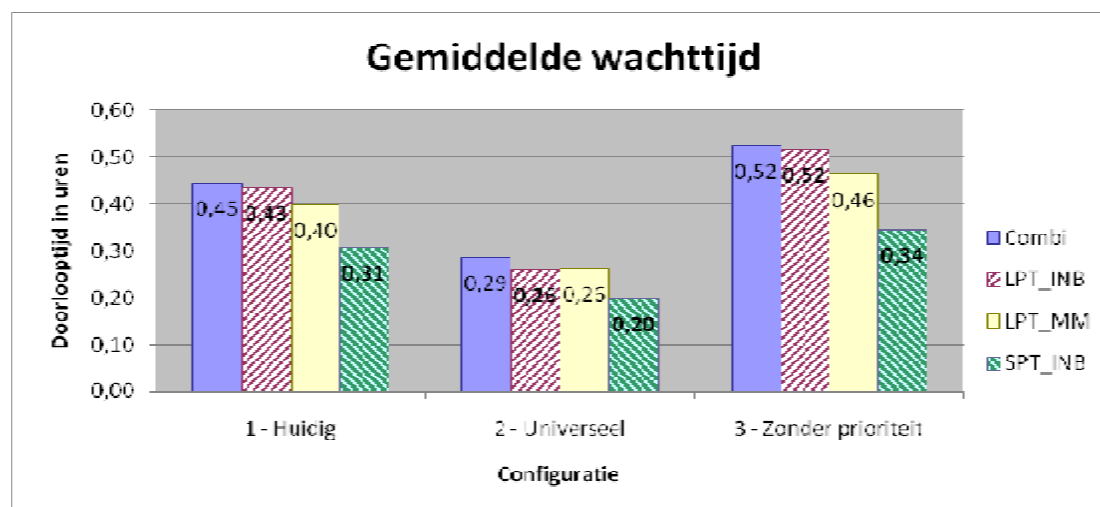
- Gelijkmatische doorstroming van producten om werkdruk over de dag te spreiden. Afwisselend tafels die snel en langzaam stortklaar zijn te melden.

Bijlage T: Resultaten simulatiemodel

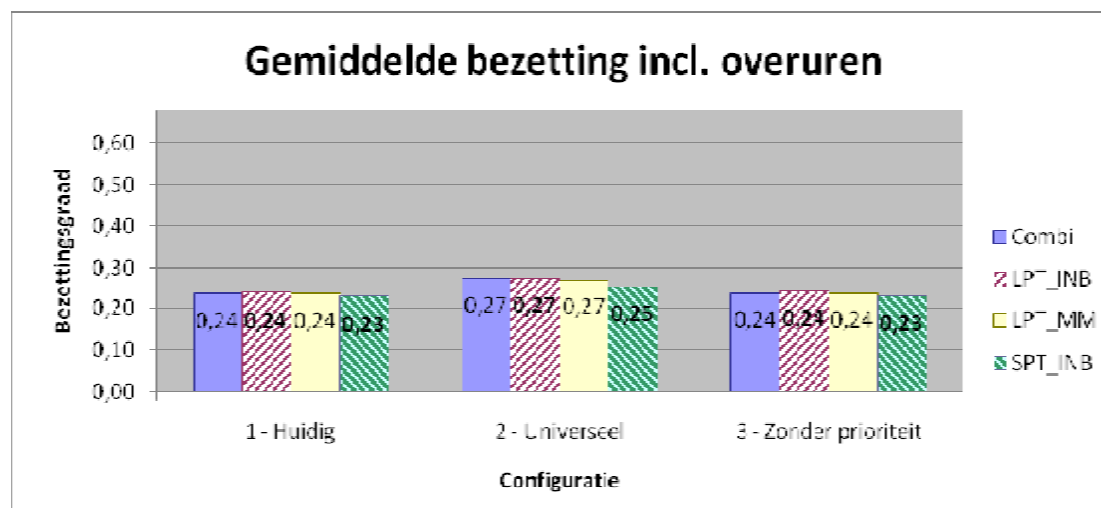
Onderstaande tabel geeft een overzicht van de resultaten die volgen uit het simulatiemodel.

Configuratie	Situatie	Prioriteitsregel	Gem. doorlooptijd per product per dag	Gem. WIP	Gem. aantal overuren per dag (som over alle machines)	Max aantal overuren per dag (som over alle machines)	Gem. wachttijd per product per dag	Gem. bezettingsgraad	Max bezettingsgraad	Throughput = WIP/CT
1	7 int.	Combi	3,00	5,00	2,68	10,51	0,45	0,24	0,61	2,00
1	7 int.	LPT_INB	2,97	5,00	2,85	9,99	0,43	0,24	0,59	2,02
1	7 int.	LPT_MM	2,93	5,00	2,52	9,89	0,40	0,24	0,64	2,25
1	7 int.	SPT_INJ	2,81	5,00	2,08	9,06	0,31	0,23	0,59	1,78
2	11 uni	Combi	2,81	5,00	1,73	6,95	0,29	0,27	0,59	2,14
2	11 uni	LPT_INB	2,81	5,00	1,86	6,93	0,26	0,27	0,56	2,14
2	11 uni	LPT_MM	2,73	7,00	1,55	6,92	0,26	0,28	0,60	2,53
2	11 uni	SPT_INJ	2,58	5,00	2,04	6,93	0,20	0,25	0,59	1,87
3	7 int.	Combi	3,17	7,00	2,52	10,51	0,52	0,74	0,65	2,21
3	7 int.	LPT_INB	3,14	7,00	2,70	10,51	0,52	0,74	0,61	2,21
3	7 int.	LPT_MM	3,09	7,00	2,47	10,17	0,46	0,74	0,64	2,27
3	7 int.	SPT_INJ	2,90	5,00	3,02	10,20	0,34	0,73	0,60	2,02

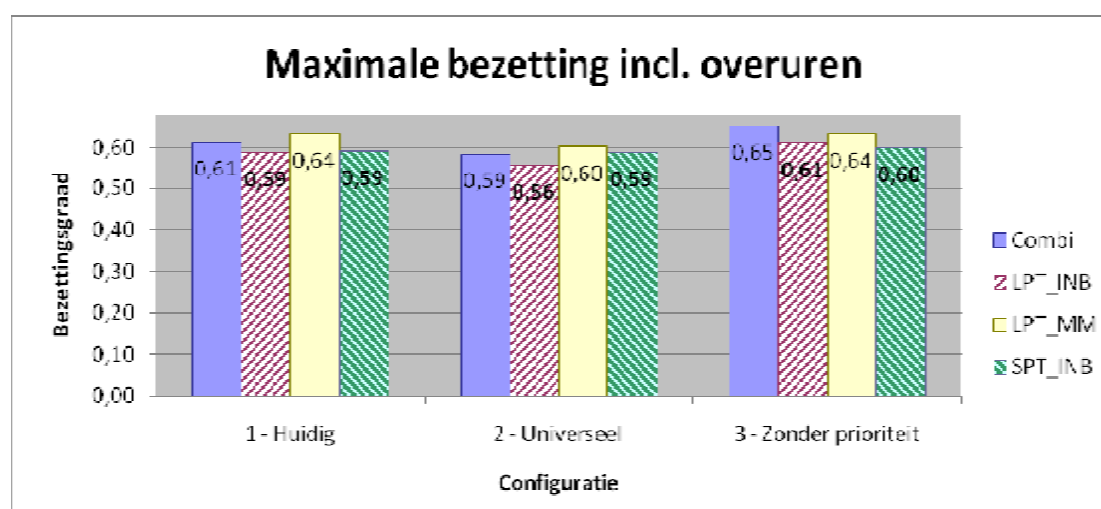
T.1 Overzicht resultaten simulatiemodel



T.2 Gemiddelde wachttijd per product per dag



T.3 Gemiddelde bezetting van carrouselposities (inclusief overuren) per product per dag



T.4 Maximale bezetting van carrouselposities (inclusief overuren) per product per dag

Bijlage U: Significantietest

Nulhypothese: De gemiddelde doorlooptijd voor config 1 Combi en config 2 Combi, LPTMM en SPT is gelijk

Doorlooptijd	Config 1 Combi to Config 2 Combi	Config 1 Combi to Config 2 LPTMM	Config 1 Combi to Config 2 SPT
Vershil van gemiddelde	0,186	0,23	0,32
90% betrouwbaarheidsinterval van het verschil	[0,183 ; 0,188]	[0,232 ; 0,235]	[0,316 ; 0,319]
Significantie (2-zijdig)	0,000	0,000	0,000
Significant verschil?	Significant	Significant	Significant
Accepteren H0?	verwerpen	verwerpen	verwerpen

Nulhypothese: Het gemiddeld aantal overuren voor config 1 Combi en config 2 Combi, LPTMM en SPT is gelijk

Overuren	Config 1 Combi to Config 2 Combi	Config 1 Combi to Config 2 LPTMM	Config 1 Combi to Config 2 SPT
Vershil van gemiddelde	0,947	1,025	0,634
90% betrouwbaarheidsinterval van het verschil	[0,892 ; 1,002]	[0,980 ; 1,071]	[0,582 ; 0,686]
Significantie (2-zijdig)	0,000	0,000	0,000
Significant verschil?	Significant	Significant	Significant
Accepteren H0?	verwerpen	verwerpen	verwerpen

Nulhypothese: De gemiddelde doorlooptijd voor de combi, LPT MM en SPT regel is gelijk

Doorlooptijd	Config 2 Combi to Config 2 LPTMM	Config 2 Combi to Config 2 SPT	Config 2 LPTMM to Config 2 SPT
Vershil van gemiddelde	0,047	0,131	0,084
90% betrouwbaarheidsinterval van het verschil	[0,037 ; 0,058]	[0,120 ; 0,143]	[0,073 ; 0,094]
Significantie (2-zijdig)	0,000	0,000	0,000
Significant verschil?	Significant	Significant	Significant
Accepteren H0?	verwerpen	verwerpen	verwerpen

Nulhypothese: Het gemiddeld aantal overuren per dag voor de combi, LPT MM en SPT regel is gelijk

Overuren	Config 2 Combi to Config 2 LPTMM	Config 2 Combi to Config 2 SPT	Config 2 LPTMM to Config 2 SPT
Vershil van gemiddelde	0,078	-0,313	-0,391
90% betrouwbaarheidsinterval van het verschil	[-0,013 ; 0,169]	[-0,391 ; -0,234]	[-0,485 ; -0,297]
Significantie (2-zijdig)	0,192	0,000	0,000
Significant verschil?	Niet significant	Significant	Significant
Accepteren H0?	accepteren	verwerpen	verwerpen

Nulhypothese: De gemiddelde wachttijd voor config 1 Combi en config 2 Combi, LPTMM en SPT is gelijk

Wachttijd	Config 1 Combi to Config 2 Combi	Config 1 Combi to Config 2 LPTMM	Config 1 Combi to Config 2 SPT
Verschil van gemiddelde	0,181	0,196	0,257
90% betrouwbaarheidsinterval van het verschil	[0,179 ; 0,181]	[0,196 ; 0,197]	[0,257 ; 0,258]
Significantie (2-zijdig)	0,000	0,000	0,000
Significant verschil?	Significant	Significant	Significant
Accepteren H0?	verwerpen	verwerpen	verwerpen

Nulhypothese: De gemiddelde doorlooptijd voor de combi en SPT zijn gelijk in config 1

Doorlooptijd	Config 1 Combi to Config 1 SPT
Verschil van gemiddelde	0,189
90% betrouwbaarheidsinterval van het verschil	[0,187 ; 0,190]
Significantie (2-zijdig)	0,000
Significant verschil?	Significant
Accepteren H0?	verwerpen

Nulhypothese: Het gemiddeld aantal overuren voor de combi en SPT zijn gelijk in config 1

Doorlooptijd	Config 1 Combi to Config 1 SPT
Verschil van gemiddelde	-0,400
90% betrouwbaarheidsinterval van het verschil	[-0,421 ; -0,379]
Significantie (2-zijdig)	0,000
Significant verschil?	Significant
Accepteren H0?	verwerpen

Bijlage V: Resultaten gevoeligheidsanalyse

Prioriteitsregel	Gem. doorlooptijd	Gem. aantal overuren
11 posities	2,81	1,73
9 posities	2,76	1,88
8 posities	2,74	1,94

Nulhypothese: *Het gemiddeld aantal overuren per dag bij 8, 9, 11 universele posities is gelijk*

Overuren	11 versus 8 posities	11 versus 9 posities	8 versus 9 posities
Verskil van gemiddelde	-0,207	-0,148	0,059
90% betrouwbaarheidsinterval van het verschil	[-0,232 ; -0,182]	[-0,143 ; -0,152]	[0,016 ; 0,103]
Significantie (2-zijdig)	0,000	0,000	0,050
Significant verschil?	Significant	Significant	Niet significant
Accepteren H0?	verwerpen	verwerpen	accepteren

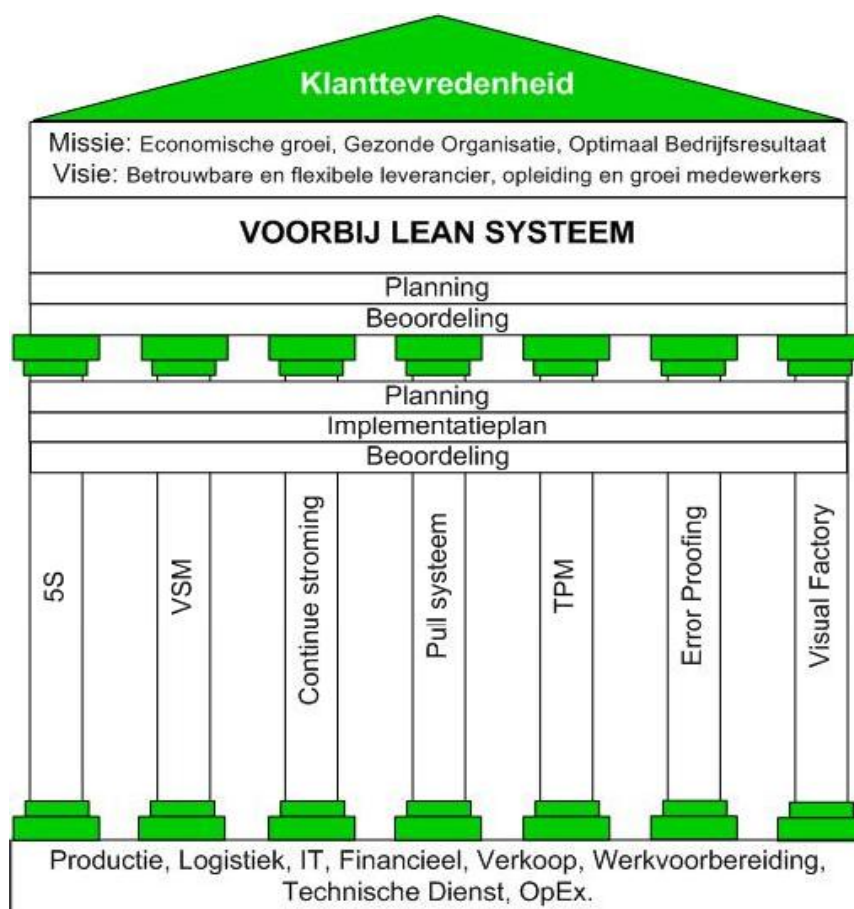
Bijlage W: Voorbij Lean Systeem

In samenwerking met de manager Operational Excellence (Lard Plekkenpol) is het Voorbij Lean Systeem (VLS) ontwikkeld.

In figuur 1 is de structuur van het Voorbij Lean Systeem weergegeven als vorm van een huis. Het fundament van de organisatie bestaat uit de verschillende afdelingen. Het doel dat de organisatie nastreeft is het tevreden houden van klanten. Alleen dan kunnen de missie en visie bereikt worden. Om dit te realiseren is een organisatie gewenst waarbij verspillingen tot een minimum worden gereduceerd en de klant precies krijgt waarvoor hij betaald.

Het Voorbij Lean Systeem rust op zeven pilaren, de lean gereedschappen. Deze gereedschappen hebben elk hun eigen doel. Voor elk gereedschap moet een planning, een implementatieplan en een beoordelingsmethodiek aanwezig zijn. Op dit moment zijn voor 5S en VSM de drie documenten uitgewerkt. De overige gereedschappen komen pas na 2010 aan bod waardoor gekozen is om dit nog niet uit te werken.

Ook het Voorbij Lean Systeem heeft een planning en beoordelingsmethodiek. In deze planning is opgenomen dat eerst wordt gestart met het invoeren van 5S en vervolgens met VSM. Per kwartaal is uitgewerkt in welke mate een gereedschap geïmplementeerd moet zijn. De beoordeling geeft aan hoe 'lean' de organisatie is. Voor alle beoordelingen geldt een schaal van 1 (startfase) tot 5 (doorgevoerd).



W.1 Huis van het Voorbij Lean Systeem

De meest rechter pilaar geeft een methode aan die hieronder meer gedetailleerd wordt beschreven.

Het visualiseren van het productieproces is een goede methode (Shingo, p. 145) om teamleiders te ondersteunen en het productieproces inzichtelijk te maken. Door de grootte van de productiehal en het lawaai is communicatie lastig.

Werknemers moeten een groene knop indrukken wanneer zij klaar zijn met de bewerking. Vervolgens ziet de teamleider dat de tafel stortklaar gemeld moet worden. Een rode knop moet gebruikt worden indien de werknemer, om wat voor reden dan ook, verwacht het product niet binnen de daarvoor gestelde tijd af te krijgen. Werken met kleuren zorgt voor meer verantwoordelijkheidsgevoel onder werknemers omdat nu iedereen kan zien hoe het hem vergaat. Uit praktijkcases is gebleken dat in eerste instantie weerstand is tegen het visualiseren met vooral de rode knop maar dat later is gebleken dat werknemers dit als prettig ervaren omdat zij precies weten waar ze aan toe zijn en wat van hen wordt verwacht. Werknemers zijn geneigd eerder mee te denken over hoe zij de bewerking kunnen verbeteren om zeker te zijn dat zij binnen de gestelde tijd klaar zijn.

De eventuele fouten die ontstaan doordat werknemers zich opgejaagd voelen worden door de teamleider gezien tijdens controles. Omdat de werknemer deze zelf moet herstellen (in tegenstelling tot nu) zal de frequentie van fouten afnemen. Tevens leidt het systeem tot het verbeteren van de communicatie tussen de teamleiders, werknemers en de productie leider. Ook hebben de teamleiders meer grip op het proces omdat zij als enige geautoriseerd zijn om een lamp uit te zetten en nu in één oogopslag kunnen zien hoe het proces verloopt.

Bijlage X: Vervolgafstudeeropdracht

Afstudeeropdracht: Optimalisatie van planning

Organisatie: Voorbij Prefab Beton B.V.

Voorbij Prefab Beton B.V. kort voorgesteld

Voorbij Prefab Beton is gespecialiseerd in het vervaardigen van kant-en-klare op maat gemaakte betonnen elementen voor de utiliteitsbouw (prefab elementen). In de toelevering van diverse voorgespannen en traditioneel gewapende prefab betonelementen voor de utiliteitsbouw en infrastructuur neemt zij een vooraanstaande positie in. Een stevige basis wordt gevormd door een aantal standaardproducten. Dankzij jarenlange ervaring kunnen interessante alternatieven geboden worden voor speciale projecten. In 2007 zijn ongeveer 3400 prefab elementen geproduceerd.

De organisatie is onderdeel van vastgoed-, bouw- en techniekconcern TBI Holding B.V. Sinds 2003 is een nieuwe productielocatie in het Westelijk havengebied in Amsterdam in gebruik genomen.

Planningsoptimalisatie in Prefab Beton

Prefab elementen worden altijd aangenomen op projectbasis. Per project verschilt het aantal te produceren elementen van 10-1500 stuks. Op het terrein zijn verschillende productielocaties waar de elementen worden gefabriceerd (keuze voor locatie is afhankelijk van het te produceren type element). Op tactisch niveau is een grote mate van onzekerheid doordat klanten vaak op het laatste moment nog zaken aan tekeningen wijzigen. Hierdoor komt de afdeling Werkvoorbereiding met problemen in het planningsproces.

Onderzocht moet worden hoe de afdeling Werkvoorbereiding moet plannen om een zo betrouwbaar mogelijke planning uit te geven aan de verschillende productielocaties. Een probleemanalyse (kwalitatief en kwantitatief) moet uitwijzen waar verbetermogelijkheden liggen om de huidige planning methode te optimaliseren. Het doel is aanbevelingen te geven naar de afdeling Werkvoorbereiding waardoor de planning die wordt afgegeven naar de productielocaties haalbaar, vast en reëel is.

Start/Duur/Begeleiding

De start van de opdracht is zo snel mogelijk. De opdracht zal ongeveer 25 weken in beslag nemen. Vanuit Voorbij Prefab Beton B.V. wordt een begeleider toegekend. Tevens zal er periodiek contact zijn met de directeur van Voorbij Prefab Beton B.V.

Contact

Voor meer informatie kan contact opgenomen worden met Lard Plekkenpol.

Telefoonnummer: 020-40 77 077 of 06-53 65 54 46

Email: l.plekkenpol@voorbij-prefabbeton.nl