
DOORLOOPTIJDREDUCTIE DOOR WERKLASTBEHEERSING BINNEN EEN NEDERLANDSE LEERLOOIERIJ

Bachelorscriptie Technische Bedrijfskunde

Datum:
16-07-2013

Door:
Tim de Wit
S0200832

In opdracht van:
Hulshof Royal Dutch Tanneries
Lichtenvoorde

Onder begeleiding van:
Dr. Ir. S.J.A. Löwik
Universiteit Twente

SAMENVATTING

In dit verslag onderzoeken we hoe Hulshof Royal Dutch Tanneries de doorlooptijd van zijn producten kan verlagen door het veranderen van hun methode van productieplanning. Het bedrijf wil een lagere doorlooptijd om flexibeler te kunnen produceren en minder werkkapitaal te hoeven gebruiken. De hoofdvraag van het onderzoek is dan ook:

“Hoe kan de gemiddelde doorlooptijd van producten in het finishproces van Hulshof worden verminderd door veranderingen aan te brengen in de methode van productieplanning?”

Het finishproces definiëren we hierbij als de bewerkingen die plaatsvinden op een huid nadat hij is gesorteerd en opgeslagen in het wet blue-magazijn. De hoofdvraag wordt opgedeeld in meerdere deelvragen die we beantwoorden in het verslag. Allereerst voeren we een literatuuronderzoek uit over doorlooptijd en de factoren die er invloed op hebben. Vervolgens analyseren we de huidige situatie bij Hulshof: eerst wordt het productieproces in kaart gebracht en berekend hoe drukbezet alle machines zijn. Daarna wordt de planningmethode die nu wordt gebruikt, geanalyseerd. We beschrijven hoe de planning wordt uitgevoerd en welke tekortkomingen de methode heeft. Tot slot wordt de huidige doorlooptijd van producten geanalyseerd, waarbij we in kaart brengen wanneer producten onnodig stilstaan zonder te worden bewerkt.

Uit de analyse van de huidige situatie blijkt dat de planningsoftware die nu in gebruik is, geen rekening houdt met de beperkte capaciteit van de drukbezette spuitmachines bij het inplannen van taken. Daardoor worden er meer orders gestart dan deze machines aankunnen en ontstaan er lange wachtrijen in de finishhal. Voor het bewerkingsstation met spuitmachine 311 en plamuurmachine 367 ontstaan bij hoge bezetting wachttijden van gemiddeld twee dagen. Omdat een groot deel van de finishproducten van Hulshof drie keer moet worden bewerkt op dit station, staan bepaalde producten zes dagen te wachten zonder te worden bewerkt. Vanwege de hoge wachttijden voor de spuitmachines bestaat gemiddeld 40% van de doorlooptijd van geschuurde leerproducten uit wachttijd. Bij volnerf is dit 15% van de doorlooptijd.

De gemiddelde doorlooptijd van producten binnen Hulshof is dus onnodig hoog vanwege tekortkomingen in het algoritme dat de productie inroostert. Dit kan worden verholpen door het invoeren van een nieuwe methode van productieplanning die rekening houdt met de lagere capaciteit later in het productieproces. Uit meerdere alternatieve methodes die beschreven zijn in de wetenschappelijke literatuur, is Workload Control gekozen als de beste optie. Deze methode legt een maximum op aan de hoeveelheid orders die maximaal in het systeem mag zitten. Als het maximum is bereikt, moeten nieuwe orders wachten tot ze worden vrijgegeven voor productie. Op deze manier wordt ervoor gezorgd dat er niet meer orders worden gestart dan de machines in de finishhal kunnen verwerken. Afhankelijk van de hoogten van de maxima zal dit de wachttijden voor de drukstbezette machines sterk verminderen of wegnemen. Vanwege de hoge bezetting van de machines is dit laatste echter niet aan te raden: een kleine tussenvoorraad is gunstig om eventuele uitval eerder in het proces op te vangen. Het invoeren van deze nieuwe planningmethode kan de doorlooptijd voor geschuurde producten met meerdere werkdagen doen afnemen.

Naast het invoeren van een nieuwe productieplanningmethode kan in de toekomst de doorlooptijd verder worden verminderd door het investeren in flexibeler machines: op dit moment maakt omsteltijd een relatief groot deel uit van de doorlooptijd van producten. Ook kan onderzocht worden of de 8 uur wachttijd die wordt ingepland na spuit- en prentbewerkingen, eventueel verkort kan worden. Tot slot kan het scheiden van spuitmachine 311 en plamuurmachine 367, met aanschaf van een extra droogtunnel, de capaciteit van het finishproces verhogen. Deze combinatie is op dit moment de druksbezette machine in het proces en vormt dus een beperkende factor.

VOORWOORD

Voor u ligt het eindverslag van mijn bacheloronderzoek naar doorlooptijden bij Hulshof Royal Dutch Tanneries te Lichtenvoorde. Dit onderzoek is het laatste onderdeel van mijn bacheloropleiding Technische Bedrijfskunde. Ik heb het uitvoeren van de opdracht als prettig en leerzaam ervaren, en dank Hulshof dan ook voor de gelegenheid.

Daarnaast bedank ik mijn begeleiders. Vanuit de Universiteit Twente was dit Sandor Löwik, die behulpzame suggesties deed, kritische vragen stelde waar nodig, en mijn neus op het strakke schema drukte. Sandor dank ik hartelijk voor zijn goede zorgen. Mijn begeleider bij Hulshof, Gert Markus, leidde mij rond in het bedrijf, stelde me voor aan de goede mensen en was beschikbaar om inzichten en kennis te verlenen die voor mij erg nuttig zijn geweest. Ook Gert dank ik van harte.

Binnen Hulshof hebben Erwin Rots en Emiel te Molder mij enorm geholpen met hun kennis over de productiesystemen van Hulshof en de planningsoftware die wordt gebruikt. Zonder hen had ik veel gegevens waarschijnlijk niet kunnen gebruiken en zij worden dan ook van harte bedankt voor hun medewerking.

Ik dank Marco Schutten voor zijn rol als meelezer van mijn bachelorscriptie en lid van de afstudeercommissie. Zijn suggesties en kennis over productieplanning en *scheduling* hebben erg geholpen tijdens de laatste weken van mijn onderzoek.

Jasper Versteegh bedank ik voor de gezelligheid op ons kantoor, dat voor mij alleen wel erg groot was geweest, en voor de bijna dagelijkse lift naar Lichtenvoorde die ik van hem kon krijgen.

Tot slot dank ik Harm te Plate, die met zijn inzichten in productiesystemen en waardestromeschema's een waardevolle bijdrage heeft geleverd aan het onderzoek.

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting.....	2
Voorwoord	3
1: Onderzoeksontwerp.....	6
1.1: Inleiding	6
1.2: Probleemstelling	6
1.3: Probleemaanpak	6
2: Theorie: doorlooptijd en doorlooptijdvermindering.....	8
2.1: Inleiding	8
2.2: Factoren van invloed	8
2.2.1: Definitie en berekening van de doorlooptijd	8
2.2.2: Opbouw van de doorlooptijd	9
2.2.3: Bepalende eigenschappen	10
2.3: Technieken om doorlooptijd te verminderen.....	10
2.3.1: Categorieën binnen make-to-order	11
2.3.2: Planningmethoden	12
2.3.3: Conclusie.....	13
3: Analyse huidige situatie	14
3.1: Inleiding	14
3.2: Productieproces	14
3.2.1: Handelingen	14
3.2.2: Machinegebruik.....	15
3.2.3: KOOP.....	16
3.3: Productieplanning	17
3.3.1 Planning	17
3.3.2 Communicatie en uitvoering.....	19
3.4: Doorlooptijd.....	19
3.4.1: Huidige doorlooptijd.....	19
3.5: Conclusie.....	21
4: Alternatieve oplossingen.....	22
4.1: Inleiding	22
4.2: Beslissingsproces en criteria	22
4.3: Alternatieven	22
4.4: Keuze alternatief	23
4.5: Voordelen en nadelen WLC	24
5: Implementatie	26

5.1: Inleiding.....	26
5.2: Inrichting WLC.....	26
5.3: Implementatieplan.....	27
5.3.1: Diagnosefase.....	27
5.3.2: Implementatieproces.....	27
5.3.3: Na de implementatie.....	28
5.4: Omgaan met mogelijke weerstand.....	28
6: Conclusies en aanbevelingen.....	29
6.1: Inleiding.....	29
6.2: Conclusie.....	29
6.3: Aanbevelingen.....	30
Gebruikte literatuur.....	31
Bijlagen.....	33
Bijlage A: CONWIP.....	33
Bijlage B: Workload Control.....	34
Bijlage C: Theory of Constraints.....	36
Bijlage D: POLCA.....	37
Bijlage E: MRP.....	39
Bijlage F: Value Stream Map Geschuurd Leer.....	40
Bijlage G: Value Stream Map Volnerf Leer.....	41
Bijlage H: Berekening Opbouw Doorlooptijd.....	42
Trento.....	42
Supreme.....	43
Scala.....	44
Royal Pull Up.....	45
Royaline.....	46
Junique.....	47
Automotive.....	48
Litano.....	49
Antica.....	50
Bijlage I: Parameters WLC.....	51
I.1: Vrijgave orders.....	51
I.2: Orderlijst en klantencontactfase.....	52
Bijlage J: Schatting variabelen VUT.....	53

1: ONDERZOEKSONTWERP

1.1: INLEIDING

Hulshof Royal Dutch Tanneries, gevestigd in Lichtenvoorde, is een leerlooierij met een lange geschiedenis. Het bedrijf produceert hoogwaardig leer voor het bovenste segment van de markt, bijvoorbeeld voor meubelen, automobielen, vliegtuigen en luxe lederwaren. Stierenhuiden maken in Lichtenvoorde het gehele proces mee van verse huid tot geloid, geveerd en afgewerkt leer. Hulshof beschikt over twee fabriekshallen: het nathuis, waar huiden in grote aantallen in vaten worden onthaard, gekalkt en geloid, en de finishhal, waar huiden in kleinere oplagen worden geveerd, geprent en klaargemaakt voor expeditie. De collectie van Hulshof bestaat uit tientallen verschillende leerproducten, die zowel uit voorraad als op klantorder worden verkocht.

De directie van Hulshof wil binnenkort een nieuw ERP-systeem aanschaffen om het verouderde systeem te vervangen dat op dit moment wordt gebruikt. Voordat dit gebeurt, wil de directie echter onderzoeken of er verbeteringen mogelijk zijn aan de productie: men wil weten of er verspillingen zijn in het proces die makkelijk verwijderd kunnen worden, en of het klant-order ontkoppelpunt op de goede plek ligt. Hiertoe zijn enkele bacheloropdrachten geformuleerd voor studenten Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente, waarvan dit onderzoek er één is. Het onderzoek zal zich specifiek richten op het verminderen van doorlooptijden binnen het laatste deel van het productieproces.

1.2: PROBLEEMSTELLING

De handel in geveerd en gefinisht leer wordt gekarakteriseerd door een groot aantal uiteenlopende producten met verschillende recepturen. Deze producten kunnen bij Hulshof in kleine hoeveelheden worden besteld en worden dan uit voorraad verkocht. Dit betekent dat Hulshof een zeer groot aantal producten op voorraad moet produceren, wat hoge kosten met zich meebrengt. Op dit moment moet het bedrijf de vraag naar zijn producten voorspellen over een horizon van een maand, wat een hoog voorraadniveau nodig maakt om geen nee te hoeven verkopen. Als het bedrijf over een kortere periode kan plannen, kunnen de voorraadniveaus dalen, wat veel werkkapitaal vrij zou maken. Ook constateert de bedrijfsleider van de finishhal dat er veel onderhanden werk op de werkvloer staat waarop geen bewerkingen worden uitgevoerd. Dit betekent dat er onnodig veel kapitaal in gebruik is. Hulshof zou graag lagere voorraadniveaus realiseren, zowel in het eindmagazijn als op de werkvloer, om kapitaal vrij te maken en efficiënter te kunnen werken.

De gemiddelde doorlooptijd van producten binnen een productieproces staat direct in verhouding met de voorraad onderhanden werk in het betreffende proces (Little, 1961). Het verlagen van de doorlooptijd van producten in de finishproces van Hulshof zou dus, bij gelijkblijvende doorzet, de hoeveelheid voorraad op de werkvloer doen dalen. Ook zorgt een kortere doorlooptijd ervoor dat het eindmagazijn van Hulshof sneller kan worden aangevuld na het plaatsen van een order. Hierdoor wordt de planningshorizon korter, wat lagere voorraadniveaus mogelijk maakt. Het verlagen van de doorlooptijd van producten zou dus in het gehele finishproces en in het eindmagazijn de voorraden verminderen, wat leidt tot het gebruiken van minder kapitaal voor hetzelfde werk en dus tot een besparing in de kosten.

Het probleem dat op dit moment wordt ervaren bij Hulshof en waar dit onderzoek zich op zal richten, is dus dat de gemiddelde doorlooptijd van producten binnen het finishproces hoger is dan gewenst. In dit onderzoek zal gezocht worden naar een toepasselijke norm voor de doorlooptijd en een oplossing om de doorlooptijd naar die norm toe te brengen.

1.3: PROBLEEMAANPAK

Om het gestelde doel (het verminderen van de gemiddelde doorlooptijd van Hulshof-leerproducten) te kunnen realiseren, stellen we een hoofdvraag op voor het onderzoek. Als deze vraag is beantwoord, is het onderzoek afgerond en is duidelijk hoe het doel kan worden bereikt. De hoofdvraag is als volgt:

“Hoe kan de gemiddelde doorlooptijd van producten in het finishproces van Hulshof worden verminderd door veranderingen aan te brengen in de methode van productieplanning?”

Deze hoofdvraag wordt beantwoord door middel van het toepassen van de Algemene Bedrijfskundige Probleemaanpak (ABP) (Heerkens & van Winden, 2012). Deze methodiek bestaat uit meerdere fasen, waarin eerst het probleem wordt geanalyseerd om oorzaken en verbanden te achterhalen. Daarna worden er oplossingen voor het probleem bedacht, die beoordeeld worden op grond van bepaalde criteria. Tot slot wordt er een oplossing gekozen en geïmplementeerd. Om de ABP te doorlopen delen we de hoofdvraag op in meerdere deelvragen die moeten worden beantwoord om een oplossing voor het probleem te vinden. De deelvragen zijn hieronder te lezen:

1. Welke factoren zijn van invloed op doorlooptijd van producten?
2. Welke methoden zijn er om de productie te plannen binnen een complex make-to-order-productieproces zoals dat van Hulshof, met als doel een lage gemiddelde doorlooptijd?
3. Welke handelingen worden er uitgevoerd op een product tussen de levering bij Hulshof en de verkoop naar de klant?
4. Op welke manier worden activiteiten op dit moment gepland bij Hulshof?
5. Wat is op dit moment de gemiddelde doorlooptijd van producten in de finishhal bij Hulshof en hoe is deze opgebouwd?
6. Welke mogelijkheden zijn er om de doorlooptijd van Hulshof-producten in in het finishproces te verminderen?
7. Hoeveel kan de doorlooptijd van Hulshof-producten worden verminderd?
8. Hoe moet Hulshof de doorlooptijd van producten in het finishproces verminderen?

De deelvragen zullen in het verslag één voor één worden beantwoord. De eerste twee deelvragen vormen samen het literatuuronderzoek en worden beantwoord met behulp van artikelen uit vaktijdschriften in Hoofdstuk 2: Theorie. De deelvragen drie, vier en vijf worden beantwoord in Hoofdstuk 3: Analyse Huidige Situatie. Voor het beantwoorden van deelvraag drie krijgen we een rondleiding door het bedrijf van de productieleiders en voormannen van Hulshof en maken we gebruik van bewerkingsrecepten van alle verschillende producten uit het ERP-systeem van Hulshof. Deelvraag vier wordt beantwoord met informatie uit twee interviews met Emiel te Molder, hoofd productieplanning bij Hulshof, en met de documentatie van de *Scheduler*-module van het ERP-systeem, waarmee op dit moment activiteiten worden ingeroosterd. Voor deelvraag vijf wordt een *Value Stream Map* (Rother & Shook, 1999) gemaakt van de productie van Hulshof. Met deze techniek worden tussenvoorraden, bezettingen en productstromen in kaart gebracht om de doorlooptijd mee te berekenen. Er worden value stream maps gemaakt voor de bewerkingsrecepten van de meest gemaakte finishproducten.

Als de analyse van de huidige situatie is voltooid, kiezen we als antwoord op deelvraag zes enkele alternatieve methoden om de doorlooptijd te verminderen. Deze worden genoemd in Hoofdstuk 4: Alternatieve oplossingen. Voor het kiezen van alternatieven wordt gebruik gemaakt van het antwoord op deelvraag twee in het literatuuronderzoek. De oplossingen worden vervolgens kwalitatief beoordeeld op criteria die worden bepaald aan de hand van de antwoorden op deelvragen één en twee. Met behulp van een *Value Stream Map*-berekening betreffende de doorlooptijd na invoering van het gekozen alternatief, zal deelvraag zeven worden beantwoord. Tot slot wordt in Hoofdstuk 5: Implementatie antwoord gegeven op deelvraag acht. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de wetenschappelijke kennis die beschikbaar is over het gekozen alternatief en de implementatie daarvan.

Als alle deelvragen zijn beantwoord, zal het antwoord op de onderzoeksvraag bekend zijn en zal duidelijk zijn hoe de doorlooptijd van producten bij Hulshof verminderd kan worden.

2: THEORIE: DOORLOOPTIJD EN DOORLOOPTIJDVERMINDERING

2.1: INLEIDING

Dit hoofdstuk heeft het doel om een theoretisch kader te bieden voor de rest van het onderzoek: er wordt een definitie gegeven van doorlooptijd en een uiteenzetting van de factoren die erop van invloed zijn. Vervolgens wordt onderzocht welke technieken er zijn beschreven om de doorlooptijd te verminderen en wanneer deze van toepassing zijn. Deze theoretische kennis is binnen de Algemene Bedrijfskundige Probleemaanpak (Heerkens & van Winden, 2012) deel van de fase van de probleemanalyse. Voor het verzamelen van de kennis wordt gebruik gemaakt van artikelen uit wetenschappelijke tijdschriften.

2.2: FACTOREN VAN INVLOED

In dit deel van het hoofdstuk wordt een antwoord gegeven op de eerste deelvraag van dit onderzoek. Onderzocht wordt wat de definitie is van de doorlooptijd van producten en hoe deze kan worden bepaald. Ook wordt uiteengezet welke factoren van invloed zijn op de doorlooptijd.

2.2.1: DEFINITIE EN BEREKENING VAN DE DOORLOOPTIJD

De doorlooptijd van een product (Engels: *lead time* of *cycle time*, beide termen worden ook gebruikt om andere begrippen aan te duiden) wordt gedefinieerd als de tijd die een product erover doet om een proces geheel te doorlopen (Rother & Shook, 1999) en kan worden gemeten door de begintijd van het proces te vergelijken met de eindtijd van het proces – meestal de levering aan de klant. De doorlooptijd hangt dus af van de definitie van het proces: welke activiteiten horen er wel bij en welke niet? Henry Ford zei ooit dat het proces van het maken van een auto begint met het opgraven van de ijzererts, maar vanuit bedrijfskundig perspectief is het beter om het proces te beperken tot de bewerkingen waarop men invloed kan uitoefenen. Het betreft dus meestal alleen het proces dat binnen de eigen organisatie plaatsvindt. In sommige gevallen is het ook interessant om een bepaald deel van het eigen productieproces te bekijken, bijvoorbeeld alleen het deel waarin materialen gekoppeld zijn aan een bepaalde klantorder. Het punt waarop materialen worden toegewezen aan een bepaalde order, heet het Klant-Order Ontkoppelpunt (KOOP). De doorlooptijd van het productieproces dat na de koppeling plaatsvindt, is bepalend voor de levertijd van het bedrijf. Daarom is het interessant om dit gedeelte van het proces snel te laten plaatsvinden.

Zodra is vastgesteld welk proces interessant is voor een verbeteringsproject of onderzoek, kan de doorlooptijd van producten vastgesteld worden. De gemiddelde doorlooptijd van producten binnen een stabiel systeem (waarin evenveel producten naar binnen gaan als er weer uit komen) kan makkelijk berekend worden met behulp van de wet van Little (Little, 1961):

$$N = \lambda * T$$

Waarbij N het aantal producten in het systeem is, λ de gemiddelde hoeveelheid producten die per tijdseenheid het systeem binnenvallen en T de gemiddelde doorlooptijd van producten. Deze wet maakt het mogelijk om voor elk stabiel systeem de doorlooptijd of de voorraad onderhanden werk te berekenen. Interessant is dus dat het niet uitmaakt welke kansverdeling de binnenkomst van producten heeft of op welke manier het systeem de producten behandelt: zo lang als het systeem stabiel is, is de wet van Little van toepassing en kunnen gemiddelde doorlooptijden gemakkelijk worden berekend.

Het doel van dit onderzoek is het verminderen van de gemiddelde doorlooptijd van producten in de finishhal van Hulshof. Een lagere doorlooptijd heeft namelijk een gunstige invloed op het bedrijf op meerdere manieren (Hopp, Spearman, & Woodruff, Practical Strategies for Lead Time Reduction, 1990):

- Bestellingen kunnen sneller geleverd worden aan klanten;

- Er hoeven minder voorspellingen te worden gedaan over toekomstige vraag;
- Er is minder voorraad tussen bewerkingstappen;
- Eventuele productiefouten komen sneller bij de kwaliteitscontrole en worden dus sneller opgemerkt;
- Er is beter overzicht omdat er minder producten op de vloer staan.

Het staat dus vast dat een lage doorlooptijd wenselijk is voor productiebedrijven. Uit de wet van Little blijkt ook op welke manier dit te bereiken is. Om dit te illustreren, is de vergelijking omgeschreven naar een andere vorm:

$$T = N/\lambda$$

Uit deze vergelijking blijkt dat de verhouding tussen voorraad onderhanden werk en het aantal geproduceerde producten per tijdseenheid, gelijk is aan de gemiddelde doorlooptijd. Deze doorlooptijd kan dus worden verlaagd of verhoogd door aanpassingen aan de andere twee variabelen. De voorraad onderhanden werk verminderen zonder hierbij de productie te verlagen zou zo de gemiddelde doorlooptijd verminderen.

2.2.2: OPBOUW VAN DE DOORLOOPTIJD

Uit de wet van Little blijkt dat onderhanden werk evenredig is met de doorlooptijd (bij gelijkblijvende doorstroom), maar uit welke verschillende wacht- en bewerktijden bestaat de doorlooptijd van een product en hoe zijn deze tijden van invloed op de variabelen in de wet van Little?

De doorlooptijd van een enkel product is als volgt opgebouwd (Hopp, Spearman, & Woodruff, Practical Strategies for Lead Time Reduction, 1990):

$$\text{doorlooptijd} = \text{bewerkingstijd} + \text{omsteltijd} + \text{transporttijd} + \text{bufferwachtijd} \\ + \text{onderdelenwachtijd} + \text{batchwachtijd}$$

Het verkorten van de genoemde bewerkings- en wachttijden betekent ook het verkorten van de totale doorlooptijd. Voor elke tijd zal nu worden uitgelegd hoe deze gedefinieerd wordt en hoe deze van invloed is op de doorlooptijd van producten.

- **Bewerkingstijd:** de tijd waarin een product wordt bewerkt op de verschillende machines of werkplekken om er waarde aan toe te voegen. In de meeste fabrieken is de bewerkingstijd slechts een zeer klein deel van de gehele doorlooptijd (Rother & Shook, 1999). Het verkorten van de bewerkingstijd verhoogt de capaciteit van het productieproces, wat bij gelijkblijvende voorraad onderhanden werk zorgt voor een verlaging van de doorlooptijd.
- **Omsteltijd:** de tijd die nodig is om de machines of werkplekken klaar te maken om een productiebatch te bewerken. Met omsteltijd wordt in dit geval interne omsteltijd bedoeld: hierbij geldt dat machines tijdens het omstellen geen bewerkingen kunnen uitvoeren en dus geen waarde toevoegen aan producten. Kortere omsteltijden zorgen ervoor dat machines dezelfde bezettingsgraad kunnen halen met kleinere batchgroottes, wat een gunstige invloed heeft op de batchwachtijd. Dit betekent dat een gelijke capaciteit kan worden gehaald met een lagere voorraad onderhanden werk, wat zorgt voor een vermindering van de doorlooptijd.
- **Transporttijd:** de tijd waarin een product binnen het productieproces wordt verplaatst, bijvoorbeeld van de ene machine naar de andere. Het verlagen van de transporttijd maakt het mogelijk om met minder voorraad in de fabriek dezelfde capaciteit te halen. Hierdoor wordt de doorlooptijd verlaagd.
- **Bufferwachtijd:** de tijd waarin een product als buffervoorraad ligt te wachten voor een machine. Buffervoorraad is een voorraad die voor een machine wordt opgebouwd om ervoor te zorgen dat de machine kan doorwerken als de machine ervoor om wat voor reden dan ook niet op tijd nieuwe producten levert. De bufferwachtijd kan verminderd worden door het verminderen van de voorraad onderhanden werk in het systeem. De buffervorraden in het hele systeem zullen dan kleiner worden

en de doorlooptijd wordt verminderd. Als de buffervoorraden echter te laag worden, kan dat in onvoorspelbare systemen leiden tot onnodige stilstand van machines.

- **Onderdelenwachtijd:** deze wachtijd ervaart een product als het moet wachten op onderdelen uit een ander proces die nog niet geleverd zijn, bijvoorbeeld vanwege een kapotte machine of een slechte planning. Er kan dan niet verder worden gewerkt aan het product. Als er geen buffervoorraad is om de uitval op te vangen, kan deze wachtijd leiden tot een tijdelijke vermindering van de capaciteit, wat leidt tot een langere doorlooptijd. In principe komt deze wachtijd alleen voor als zich incidenten voordoen.
- **Batchwachtijd:** de tijd die een product moet wachten op de andere producten in dezelfde batch. Deze tijd is gelijk aan de totale bewerkingstijd van een batch minus de bewerkingstijd van één product. Deze wachtijd kan worden verminderd door het aantal producten in een batch te verlagen. Hiermee kan de doorlooptijd worden verlaagd, maar alleen als de omsteltijd hier laag genoeg voor is. Als dit het geval is, wordt de doorlooptijd korter vanwege een lagere voorraad voor dezelfde capaciteit.

Duidelijk is dat de indeling van het productieproces in combinatie met de capaciteit van het proces de doorlooptijd bepaalt. Als er wordt gewerkt met grote batches en lange omsteltijden is voor een hoge capaciteit een langere doorlooptijd nodig dan wanneer er wordt gewerkt met kleine batches en kortere omsteltijden.

2.2.3: BEPALENDE EIGENSCHAPPEN

Nu bekend is uit elke soorten wacht- en bewerkingstijden de doorlooptijd is opgebouwd, kan worden onderzocht welke factoren de doorlooptijd beïnvloeden. Het is duidelijk dat een maatregel om de doorlooptijd te verkorten, de verhouding tussen productiecapaciteit en voorraad onderhanden werk zó moet veranderen, dat de voorraad lager wordt ten opzichte van de capaciteit. Er zijn twee eigenschappen van productieprocessen die een sterk effect hebben op de doorlooptijd van producten (Krajewski, King, Ritzman, & Wong, 1987):

- **Batchgrootte:** deze variabele is direct van invloed op de batchwachtijd van producten. Hoe groter de batch, des te langer producten moeten wachten om naar de volgende bewerking moeten gaan. In sommige processen worden productiebatches in meerdere kleine transportbatches naar de volgende machine vervoerd; in deze gevallen geldt de grootte van de transportbatch. Kleinere batches zorgen over het algemeen voor minder batchwachtijd, maar verhogen de hoeveelheid omstellingen die moet worden gedaan.
- **Omsteltijd:** de tijd die nodig is om een machine van de ene bewerking over te schakelen naar het doen van een andere bewerking. De omsteltijd is bepalend voor het gelijknamige deel van de doorlooptijd, dat eerder besproken is. Lagere omsteltijden zorgen over het algemeen voor lagere doorlooptijden.

Belangrijk is wel dat de fabriek zich als doel heeft gesteld om de doorlooptijd te verlagen en hiervoor aanpassingen heeft gedaan. De auteurs stellen dat de doorlooptijd van een fabriek voor een groot deel afhankelijk is van deze twee variabelen. Verder is het een groot voordeel als in de fabriek gestreefd wordt naar het verlagen van doorlooptijden en het beheersen van de voorraad. Hiervoor zijn verschillende productiecontrolesystemen beschikbaar, die allemaal goed werken in bepaalde situaties. Welk systeem het beste werkt, is vooral afhankelijk van de inrichting van het productieproces, productvariatie, flexibiliteit van de werknemers en de twee bovengenoemde variabelen (Krajewski, King, Ritzman, & Wong, 1987).

2.3: TECHNIEKEN OM DOORLOOPTIJD TE VERMINDEREN

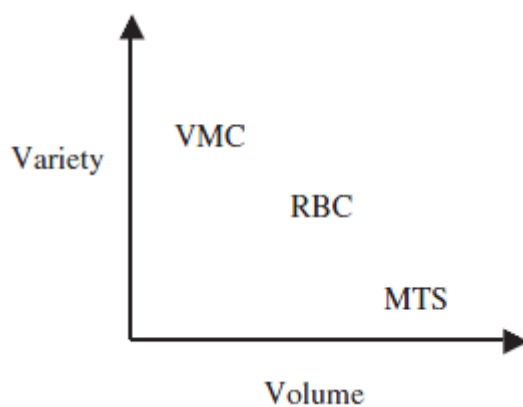
Het is nu duidelijk wat de doorlooptijd van producten is, hoe hij is opgebouwd en dat het gunstig is om de doorlooptijd zo laag mogelijk te maken. In het volgende deel van dit hoofdstuk wordt onderzocht welke planningstechnieken er zijn ontwikkeld om dit te bewerkstelligen binnen een complex productieproces met veel variatie tussen producten. Planningmethoden zijn enkel relevant voor dit onderzoek als ze geschikt zijn om te functioneren binnen een Make-to-Orderbedrijf. Het onderzoeken van planningsmethoden dient om de tweede deelvraag van het onderzoek te beantwoorden.

2.3.1: CATEGORIEËN BINNEN MAKE-TO-ORDER

Er zijn veel verschillende planningmethoden beschreven die ontworpen zijn met een Make-to-Order (MTO) bedrijf in gedachten. Ook binnen het MTO-spectrum zijn er echter nog veel verschillen tussen de productieprocessen en -inrichtingen van bedrijven, wat maakt dat voor elke situatie een andere methode beter kan zijn. Daarom is het nodig om Make-to-Orderbedrijven verder in te delen in subcategorieën, voordat voor elke categorie een goede methodiek kan worden gekozen (Stevenson, Hendry, & Kingsman, 2005). De auteurs delen MTO-bedrijven in aan de hand van drie verschillende eigenschappen:

CUSTOMIZATION

De mate waarin de producten aan elke individuele klant worden aangepast is de eerste bepalende eigenschap voor de geschiktheid van planning- en controlesystemen. Omdat MTO-bedrijven het Klant-Order-Ontkoppelpunt (KOOP) vroeg in het productieproces hebben geplaatst, is er ruimte om producten aan te passen aan de klant. Producten volgen daarom meestal verschillende routes door de productiefaciliteit, wat het onmogelijk maakt om producten langs een vast traject te laten 'stromen'. Bij sommige MTO-bedrijven is dit echter meer van toepassing dan bij andere. Stevenson *et al.* maken binnen deze categorie onderscheid tussen twee graden van aanpassing aan de klant: zij zien Repeat Business Customisers (RBC) en Versatile Manufacturing Companies (VMC). Bij beide soorten bedrijven is er ruimte voor aanpassing van het product aan de klant, maar ze zien dat RBC-bedrijven vaak meerdere keren hetzelfde product maken, bijvoorbeeld als de klant regelmatig nieuwe producten nodig heeft. VMC-bedrijven passen voor elke order hun product aan. De verhouding tussen productievolume en aanpassing aan de klant van de beschreven MTO-typen en een typisch Make-to-Stock (MTS)-bedrijf zijn weergegeven in Figuur 1.



FIGUUR 1: PRODUCTVARIATIE NAAR PRODUCTIEVOLUME (STEVENSON, HENDRY, & KINGSMAN, 2005)

INRICHTING PRODUCTIE

De tweede eigenschap die bepaalt of planningsystemen geschikt zijn voor MTO-bedrijven, is de inrichting van de productiefaciliteit. Stevenson *et al.* maken onderscheid tussen vier mogelijkheden met betrekking tot de inrichting van het productieproces:

- Pure Flow Shop (PFS)
- General Flow Shop (GFS)
- General Job Shop (GJS)
- Pure Job Shop (PJS)

De inrichting van een productieproces ligt echter meestal tussen twee verschillende inrichtingen in. De Pure Flow Shop heeft een vaste volgorde van machines die alle producten volgen, wat onwaarschijnlijk is bij Make-

to-Orderbedrijven. De General Flow Shop heeft binnen een gegeven volgorde enkele keuzemogelijkheden, maar kent nog steeds een bepaalde volgorde van machinegroepen die alle producten volgen. De General Job Shop heeft geen vaste machinevolgorde voor alle producten, maar er bestaat wel een 'dominante' volgorde, die de meeste producten volgen. In de Pure Job Shop is de machinevolgorde die producten volgen volledig willekeurig. De auteurs stellen dat er in werkelijkheid maar weinig Pure Job Shops bestaan: de meeste job shops lijken meer op de General Job Shop. Ook de Pure Flow Shop is relatief zeldzaam onder Make-to-Orderbedrijven. Bij het analyseren van planningsystemen besteden zij daarom vooral aandacht aan de General Flow Shop en aan de General Job Shop. Voor elk van deze systemen, stellen zij, kan een ander planningsysteem optimaal zijn.

GROOTTE BEDRIJF

De derde factor waar Stevenson *et al.* rekening mee houden bij het beoordelen van de geschiktheid van een bepaalde planningmethode, is de grootte van het bedrijf. Grote IT-projecten brengen immers hoge risico's en hoge kosten met zich mee, die voor een klein of middelgroot bedrijf te groot kunnen zijn om te dragen. Daarom worden zulke projecten voor kleinere organisaties afgeraden.

2.3.2: PLANNINGMETHODEN

Nadat Stevenson *et al.* de verschillende eigenschappen uiteen hebben gezet die bepalend zijn voor de geschiktheid van productieplanningmethodes voor make-to-orderbedrijven, noemen ze voor enkele typen bedrijven de methoden die nuttig kunnen zijn. Alle geselecteerde methoden voldoen aan de volgende criteria, die belangrijk zijn voor MTO-bedrijven (Stevenson, Hendry, & Kingsman, 2005):

1. Betrekking van de klantencontactfase bij de planning van de productie.
2. Start- en einddata van productietaken zijn inbegrepen in de planning.
3. De mogelijkheid om om te gaan met zeer gespecialiseerde producten.
4. De mogelijkheid om te plannen als er verschillende routes zijn die producten moeten volgen.
5. Toepasbaarheid bij middelgrote en kleine bedrijven.

Zowel voor de general flow shop als voor de general job shop beschrijven de auteurs enkele geschikte planningmethoden. Voor de general job shop zijn de volgende methoden geschikt:

- Workload Control (WLC)
- Theory of Constraints (TOC), ook bekend als Drum Buffer Rope
- Manufacturing Resource Planning (MRP)

Voor de general flow shop zijn de bovenstaande methoden ook geschikt, met als toevoeging de volgende twee methoden:

- Constant Work-In-Progress (CONWIP)
- Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization (POLCA)

Een laatste techniek die de auteurs bekijken is Kanban, een techniek waarbij met kaarten wordt aangegeven wanneer producten of onderdelen moeten worden geproduceerd. Van elk onderdeel mag slechts een beperkt aantal exemplaren in productie zijn. Elk exemplaar krijgt daarom een kanban, een papieren kaart waarvan een bepaald aantal in de roulatie is. Pas als er een kanban vrijkomt, dus als een onderdeel wordt gebruikt, kan aan een nieuw onderdeel worden begonnen. Door voor elk onderdeel het aantal kanbans vast te stellen, kan de doorlooptijd en de voorraad onderhanden werk worden bepaald. Kanban werd niet geschikt bevonden voor het MTO-bedrijf, maar staat wel aan de basis van andere op kaarten gebaseerde planningsystemen.

De general flow shop kent dus volgens Stevenson *et al.* vijf geschikte planningmethoden die in de literatuur beschreven zijn. Enkele van deze methoden zijn afgeleid van het kanban-principe, dat de maximale voorraad

onderhanden werk vaststelt om de doorlooptijd te bepalen. De auteurs stellen dat Workload Control de meest geschikte optie is in de door hun onderzochte gevallen. Een kort overzicht van de geschikte planningmethoden, samengesteld uit informatie uit het artikel (Stevenson, Hendry, & Kingsman, 2005), is te vinden in tabel 1.

Systeem	Doorlooptijdvermindering	Productieomgeving	Planningmethoden
CONWIP	Vermindering door het vastleggen van voorraad onderhanden werk. Zie de wet van Little.	Repetitief of semi-repetitief proces met batches die niet te veel afwijken qua grootte.	Planning door het bepalen van de vrijgavevolgorde van klussen. Vrijgegeven klussen gaan FIFO door het proces.
WLC	Een maximum aan de hoeveelheid werk in het systeem. Dit wordt vaak gemeten in benodigde werktijd of aantal bewerkingen.	Productie met voorspelbare productietijd, redelijk vaste productmix en bekende processen.	Selectie van aan te nemen klussen, bepaling volgorde waarin klussen worden vrijgegeven.
TOC (DBR)	Maximum aan voorraad onderhanden werk tot aan de drukste machine in het proces. Na deze machine wordt de voorraad niet bijgehouden.	Een duidelijke constraint in het proces en een bepaalde flow door de fabriek naar deze constraint toe.	Volgorde van vrijgave, het gehele systeem op hetzelfde tempo laten werken.
POLCA	Per route tussen twee machines een maximale voorraad instellen.	Productie in te delen in cellen met een aantal routes tussen deze cellen.	Vrijgavevolgorde, verwerkingsvolgorde bij machinecellen
MRP	Zó plannen dat producten klaar zijn als ze nodig zijn en niet eerder gemaakt worden	Non-repetitief of repetitief, producten waarvan duidelijk is welke bewerkingen er nodig zijn en wanneer.	Op basis van <i>due dates</i> en bewerking- en doorlooptijden wordt een optimaal schema berekend.

TABEL 1: PRODUCTIEPLANNINGMETHODEN

In de bijlagen A tot en met E worden de vijf geschikte methoden volgens Stevenson *et al.* uitgebreid beschreven aan de hand van oorspronkelijke publicaties en gepubliceerde literatuuronderzoeken.

2.3.3: CONCLUSIE

Er zijn meerdere goed gedocumenteerde planningmethoden die geschikt zijn voor gebruik in een make-to-orderbedrijf met een grote hoeveelheid verschillende producten. Elk van deze methoden heeft zijn eigen voor- en nadelen en is ontworpen met een bepaalde situatie in gedachten. Het is zaak een methode te kiezen die goed past bij het eigen productieproces en de eigen inrichting en deze methode op een goede manier toe te passen. Sommige methoden schrijven voor op welke manier informatie moet worden overgedragen naar bijvoorbeeld werknemers en op welke manier orders in het systeem moeten worden gezet, andere methoden laten dit over aan de gebruiker. Duidelijk is dat voor het kiezen van een planningmethode goed moet worden nagedacht, zowel over de geschiktheid van de methode als over de manier waarop hij moet worden toegepast.

Naast het goed inroosteren van activiteiten, kan ook het zo veel mogelijk verkleinen van productie- en transportbatches helpen bij het verlagen van de doorlooptijd. Hiermee wordt een onderdeel van de doorlooptijd verminderd. Welke strategie effectiever is, hangt af van hoe de doorlooptijd binnen een organisatie is opgebouwd. Bedrijven waar de doorlooptijd voor een groot deel uit bufferwachtijd bestaat, zullen meer baat hebben bij een verandering in de planningmethode, terwijl bedrijven waar de doorlooptijd voor een groot deel uit batchwachtijd bestaat beter kunnen zoeken naar manieren om hun productiebatches te verkleinen en omsteltijden te verminderen.

3: ANALYSE HUIDIGE SITUATIE

3.1: INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvragen drie, vier en vijf. Deze vragen hebben betrekking op de huidige situatie bij Hulshof en zijn dus onderdeel van de probleemanalyse (Heerkens & van Winden, 2012). Het beantwoorden van de vragen draagt bij aan het begrip van de oorzaak van de te hoge doorlooptijd bij Hulshof en de mogelijkheden die er zijn om het probleem op te lossen. Eerst wordt het productieproces bij Hulshof in kaart gebracht, vervolgens wordt beschreven hoe de planning van de productie op dit moment wordt uitgevoerd en tot slot wordt de huidige doorlooptijd bepaald, alsmede hoe deze is ingedeeld.

3.2: PRODUCTIEPROCES

In deze paragraaf wordt een antwoord gegeven op deelvraag drie: Welke handelingen worden er uitgevoerd op een product tussen de levering bij Hulshof en de verkoop naar de klant? Het is belangrijk om een goed overzicht te hebben van de activiteiten van het bedrijf, zodat er geïnformeerde beslissingen genomen kunnen worden over de te kiezen methode van productieplanning. Er wordt gebruik gemaakt van informatie uit gesprekken met productievoormannen en uit de planningssoftware van Hulshof.

3.2.1: HANDELINGEN

Binnen Hulshof Royal Dutch Tanneries worden verse koeienhuiden verwerkt tot leerproducten. Allereerst worden de huiden gekalkt en geweekt in grote vaten, met ca. 400 huiden in één vat. Hierdoor worden de huiden onthaard. Na het kalk- en weekproces worden de vaten uitgestort, waarna de huiden in enkele machines ontvleesd en gesplit worden. Bij het splitten wordt de bovenste laag van de huid, waar het leer van wordt gemaakt, gescheiden van de rest van de huid. De resten worden verkocht aan andere leerlooierijen of de naast Hulshof gelegen proteïnefabriek. De bovenste laag van de huiden wordt gelooit in een looivat. Tijdens het looien worden er chemicaliën toegevoegd om het leer stug en duurzaam te maken. Als het looiproces is voltooid, zijn de huiden, afhankelijk van de looistoffen, blauw of wit gekleurd en enkele maanden houdbaar. Het product van het looiproces is bekend als *Wet Blue* (of *Wet White*, afhankelijk van de gebruikte stoffen). Het *Wet Blue* wordt afgewelkt (gedroogd en gerekt), waarna het wordt gesorteerd op kwaliteitssortiment en opgeslagen.

Een deel van de huiden die worden verwerkt bij Hulshof, wordt verkocht als *Wet Blue*. De rest wordt opgeslagen in het *Wet Blue*-magazijn om te gebruiken als grondstof voor het maken van *crust*. Hiervoor wordt het *Wet Blue*-leer geschaafd in een machine en met messen afgerand. Bij het afranden worden rafelranden en onbruikbare stukken leer van de huid verwijderd. Als dat is gebeurd, worden de huiden in een vat geleverd tot een bepaalde kleur en daarna gedroogd. Voor het drogen is er een drooglijn, waar de huiden achtereenvolgens door een wals, een stolmachine, een vacuümdroogmachine, nog een stolmachine en een conditioner gaan. De wals brengt het vochtgehalte in het leer terug van 70% naar ongeveer 55%, waarna de stolmachine het leer soepel maakt door het te kneden. In de vacuümdroogmachine worden de huiden met behulp van het wegpompen van lucht verder gedroogd, tot een vochtgehalte van 18%. Daarna wordt het leer wederom gestold en gaat het door een conditioner, die het leer verder droogt en het resterende vocht verdeelt over de huiden. Aan het eind van het droogproces ligt het vochtgehalte rond de 10%. Het geleverde en gedroogde leer heet nu *crust*. Hulshof maakt *crust* in vele verschillende kleuren, diktes en kwaliteitssortimenten en houdt de meeste soorten niet op voorraad.

Een deel van de huiden die tot *crust* worden verwerkt, wordt als *crust* verkocht. De overige huiden worden in het finishproces verwerkt tot leerproducten die meteen kunnen worden gebruikt door bijvoorbeeld stoffeerdere. Allereerst worden de huiden gecontroleerd op kwaliteit, kleur en dikte. Dit gebeurt in het tussenmagazijn. Vervolgens ondergaan ze in de finishhal en in de tussenhal verschillende bewerkingen op

diverse machines, afhankelijk van het recept dat is ontwikkeld voor het benodigde product. In de tussenhal bevinden zich enkele *walkvaten*, een *schuur- en ontstofmachine* en een *stolmachine*. In walkvaten wordt het leer enige tijd rondgedraaid, eventueel met toevoeging van verf of chemicaliën, om het zacht en soepel te maken of het bepaalde eigenschappen te geven. Op de schuur- en ontstofmachine worden huiden geschuurd en schoongezogen. In de finishhal, die zich naast de tussenhal bevindt, staan twee spuitmachinestraten, een plamuurmachine, meerdere drukmachines, een prentmachine en een satineermachine. De producten die gefinisht worden, volgen na het doorlopen van de drooglijn allemaal een bepaalde route door de tussen- en finishhallen. Deze route en de instellingen van de machines die gebruikt worden, verschillen per product. Er zijn ook producten die gepoetst moeten worden, de Old Saddle- en Saddle-producten. Dit poetsen wordt gedaan in Roemenië. Elke twee weken worden er huiden opgehaald en teruggebracht.

Als de huiden gefinisht zijn tot verkoopbare leerproducten, kunnen ze worden geleverd aan de klant. Ze worden dan verplaatst naar het expeditiemagazijn, waar ook de voorraad gereed product zich bevindt. Een deel van de orders die in het finishproces worden verwerkt, wordt ingediend door het eindmagazijn zelf. Deze huiden worden opgenomen in de voorraad voor verkoop in kleine partijen aan stoffeerdere en andere klanten die uit voorraad kopen. De overige orders zijn door externe klanten besteld en worden in het expeditiemagazijn opgemeten en vervolgens verstuurd.

3.2.2: MACHINEGEBRUIK

Omdat de verschillende leerproducten van Hulshof elk worden geproduceerd met andere bewerkingen, bestaat er na de vacuumeerlijn geen vaste route die producten volgen door de finishhal en de tussenhal. Om een beeld te creëren van de mate waarin de machines worden gebruikt, zijn de gemiddelde bezettingsgraden, inclusief omsteltijden, van alle machines in het finishproces berekend aan de hand van het planningsysteem. De bezettingsgraden zijn berekend door de geplande machinebezetting voor de volgende week op vijf verschillende momenten te berekenen en het gemiddelde te nemen. De bezettingsgraden zijn te zien in tabel 2. Naast de bezettingsgraad wordt ook de gemiddelde voorraad getoond die bij een machine staat te wachten om te worden bewerkt.

In tabel 2 zijn de geplande bezettingsgraden op meerdere data berekend voor elk bewerkingstation in het finishproces, met uitzondering van de walkvaten en vervvaten. Deze stations worden op een andere manier ingepland en vormen geen beperkende factor aan het proces. In de kolom 'gem. ρ ' is de gemiddelde bezettingsgraad berekend voor elk bewerkingstation, en voor Spuitmachine 1 en de plamuurmachine samen. Deze machines kunnen namelijk niet tegelijk gebruikt worden vanwege een gedeelde droogtunnel en vormen dus effectief één bewerkingstation. De gegevens over voorraad zijn verzameld door het tellen van tussenvoorraden voor elke machine op vijf verschillende momenten in dezelfde weken waarin de bezettingsgraden werden berekend. Van deze voorraden is het gemiddelde genomen. De geel gedrukte bezettingsgraden in de kolommen met bezettingsgraden zijn de bezettingen van boven de 90%. Dit zijn drie verschillende stations: Samenstellen, Schaven en Plamuren + Spuitmachine 1. Omdat het station schaven kan beschikken over een tweede machine die de capaciteit verdubbelt en omdat het samenstellen van orders kan worden versneld door het inzetten van meer medewerkers, wordt het station Plamuren + Spuitmachine 1 gezien als het drukstbezette station. Van de overige drukke stations kan de capaciteit immers zonder aankoop van extra machines worden uitgebreid.

De gegevens over bezettingsgraden en tussenvoorraden zijn nodig om te weten te komen welke machines een zogeheten bottleneck vormen in het productieproces: de bottleneck is de machine die het drukst bezet is en dus de beperkende factor vormt voor de capaciteit. De machines met de hoogste bezettingsgraden vormen bottlenecks. Omdat tussenvoorraden zich meestal opbouwen voor de drukste machines (Spearman, Woodruff, & Hopp, 1990), vormt tussenvoorraad ook een goede indicator voor bottlenecks. Kennis over de positie van de bottlenecks in het proces speelt een belangrijke rol bij het kiezen van een geschikte planningmethode later in dit onderzoek. De hoeveelheid tussenvoorraad voor machines kan ook worden gebruikt om de gemiddelde

wachttijd voor een machine te berekenen, wat later in dit onderzoek nodig is voor het bepalen van de doorlooptijd van producten.

Machine/proces	Planning machinelijsten één week vooruit vanaf datum						Voorraad (huiden)	
	1-mei	6-mei	13-mei	16-mei	22-mei	Gem. ρ	Gemiddeld	
200 Afranden	0,79	0,96	0,81	0,84	0,73	0,83	<100	
200 Crust Sorteren	0,17	0,96	0,11	0,15	0,22	0,32	<100	
200 Samenstellen	0,87	1,02	0,86	1,03	0,76	0,91	WetBlue voorraad	
201 Schaven (met 1 machine)	0,94	0,89	0,99	0,94	0,96	0,94	150	
201 Schaven (met 2 machines)	0,47	0,44	0,49	0,47	0,48	0,47	150	
208 Carlessi spannen	0,18	0,41	0,40	0,36	0,51	0,37	<100	
227 Vacuumeerlijn	0,90	0,89	0,88	1,00	0,06	0,74	150	
300 + 300/1 Poetsen	0,23	0,20	0,00	0,98	0,72	0,43	n.v.t.	
301 Schuren/ontstoffen	0,47	0,94	0,32	0,27	0,90	0,58	100	
305 Drukmachine 1	0,12	0,07	0,08	0,02	0,07	0,07	<100	
307 Satina	0,14	0,30	0,36	0,16	0,21	0,24	<100	
308 Bergi	0,06	0,17	0,16	0,11	0,05	0,11	<100	
311 Sputmachine 1	0,52	0,59	0,65	0,49	0,31	0,51	500	
312 Sputmachine 2	0,75	0,86	0,65	1,01	0,67	0,79	250	
314 Drukmachine 2	0,24	0,13	0,16	0,63	0,78	0,39	<100	
345 Super Bergi	0,33	0,35	0,27	0,35	0,37	0,33	<100	
358 Stollen	0,98	0,68	0,54	0,59	0,60	0,68	100	
367 DRM 4 - Plamuren	0,36	0,43	0,34	0,38	0,42	0,39	250	
371 VV-THP	0,17	0,30	0,20	0,49	0,59	0,35	<100	
393 Invochten	0,23	0,22	0,07	0,14	0,12	0,16	<100	
Plamuren + SPM1	0,88	1,03	0,99	0,87	0,73	0,90	750	

TABEL 2: BEZETTINGSGRADEN EN TUSSENVORRAAD MACHINES IN FINISHPROCES

3.2.3: KOOP

Het productieproces van leerproducten bij Hulshof is te verdelen in twee delen: ten eerste het nathuis, waar huiden in grote productiebatches door een continu stromend proces worden geleid, en het finishproces, waar met kleinere productiebatches wordt geproduceerd en elke batch een andere route door de productiehal volgt. Tussen de twee onderdelen bevindt zich een voorraad halffabriek, het Wet Blue-magazijn. Alle bewerkingen vóór dit magazijn vinden plaats volgens het *push*-principe: er wordt wet blue gemaakt om op voorraad te leggen, zonder dat al bekend is aan welke klant de huiden uiteindelijk worden verkocht of wat voor product ervan wordt gemaakt. Er worden huiden ingekocht van bepaalde klassen op basis van de kwaliteitsklassen die de komende periode nodig zijn. Na het Wet Blue-magazijn is wel duidelijk welke huid bij welke order hoort: er wordt hier gewerkt volgens het *pull*-principe. Alle producten worden gemaakt na een bestelling door een klant en het is duidelijk welke huid aan welke klant zal worden geleverd. Het Wet Blue-magazijn is daarom het Klant-Order Ontkoppelpunt (KOOP): op deze plek wordt een product gekoppeld aan de klant waarvoor het bestemd is. De bewerkingsstappen die na het KOOP worden uitgevoerd op huiden, verschillen per product en er is dus geen standaardproces dat elke huid doorloopt. Wel is het mogelijk om aan de hand van bezettingsgraden en ordergegevens een beeld te vormen van de meest gebruikte machines en de veel verkochte producten. Verder is een overzicht van de meest gemaakte finishproducten en hun volgorde van bewerkingen te vinden in Bijlage F en Bijlage G.

3.3: PRODUCTIEPLANNING

In deze paragraaf wordt beschreven hoe de productieplanning op dit moment wordt uitgevoerd binnen Hulshof. Hiermee wordt antwoord gegeven op de vierde deelvraag van het onderzoek: op welke manier worden activiteiten op dit moment gepland bij Hulshof? Er wordt gebruik gemaakt van documentatie over de gebruikte planningssoftware en gesprekken met de planner van Hulshof en een programmeur van de software om informatie te verzamelen.

3.3.1 PLANNING

Op dit moment wordt zowel de productie als de inkoop van producten gepland door de planner, die gebruik maakt van verschillende computersystemen om activiteiten in te roosteren. De planner krijgt van de afdeling verkoop en van het eindmagazijn orders binnen, die hij moet inroosteren voor de productie. Van elke order moet een leverdatum, een product en een hoeveelheid bekend zijn om hem in te kunnen plannen. Als alle benodigde gegevens bekend zijn, wordt de order in het ERP-programma Baan gezet. Het programma berekent daarna een gewenste begindatum voor alle bewerkingen die moeten worden uitgevoerd. Dit gebeurt door het vermenigvuldigen van de benodigde bewerkingstijd met een veiligheidsfactor. Een Scheduling-module berekent vervolgens wanneer welke bewerkingen moeten worden uitgevoerd met behulp van een heuristisch algoritme. Dit algoritme werkt in twee stappen:

1. Allereerst wordt aan de hand van alle orders in het systeem een lijst van bewerkingen gemaakt die kunnen worden ingeroosterd. Dit kunnen activiteiten zijn die meteen kunnen worden uitgevoerd, maar ook activiteiten waarvan de voorgaande bewerkingen al zijn ingeroosterd. Als bewerkingen een vroegste begindatum hebben, kan deze na dat tijdstip in de lijst worden ingeroosterd. Van alle bewerkingen in de lijst worden vervolgens alle mogelijke machines bepaald om ze op uit te voeren. Een combinatie van een uit te voeren bewerking, een machine om hem op uit te voeren en een medewerker om de machine te bedienen, heet een *Qualified Team*. De lijst van alle *Qualified Teams* wordt gebruikt in de tweede stap van het algoritme.
2. In de tweede stap van algoritme wordt voor elk *Qualified Team* een puntenscore berekend, aan de hand waarvan hun prioriteit wordt beoordeeld. De puntenscore wordt uitgedrukt in seconden en wordt beïnvloed door verschillende parameters en variabelen. Het team met de laagste score wordt als beste beoordeeld en ingepland op het eerst mogelijke tijdstip (wanneer de machine vrijkomt in de huidige planning), waarna het algoritme terugspringt naar stap 1. Door de stappen te blijven herhalen, kan de productie voor de komende weken worden gepland, één activiteit tegelijk.

De score die wordt berekend voor in te plannen activiteiten, wordt berekend op basis van scores op zes verschillende aspecten. Deze aspecten zijn erop gericht om bepaalde eigenschappen van de planning te bevorderen bij het indelen. De aspecten zijn als volgt (Invensys International BV, 2001):

- **Consistent Dispatching** – Deze score is erop gericht om de hoeveelheid werk die wordt ingepland, te verdelen over zo veel mogelijk verschillende machines. De score wordt berekend door voor elk *Qualified Team* de begintijd van het schema af te trekken van de starttijd van de bewerking. Mogelijke bewerkingen met een vroege starttijd worden zo sneller ingepland dan activiteiten die later plaatsvinden. Voordeel van het plannen van vroeg naar laat is dat het werk goed verdeeld wordt over machines. Ook worden vervolgbewerkingen van vroeg uit te voeren activiteiten sneller opgenomen in het algoritme, wat de planning betrouwbaarder maakt op een langere termijn.
- **Minimize Setups** – Deze score wordt verhoogd als er voor het inplannen van een bepaalde bewerking omsteltijden nodig zijn. Het systeem werkt met verschillende staten waarin machines kunnen verkeren die worden aangegeven door kleuren. De planner moet in een kleurenmatrix alle onderlinge omsteltijden aangeven om van de ene status naar de andere te wisselen (bijvoorbeeld door het wisselen van een wals op een drukpers). De hoeveelheid seconden die het inplannen van een *Qualified Team* aan omsteltijd nodig maakt, wordt opgeteld bij de score van het *team*.

- **Minimize Time Loss** – Het tijdverlies staat voor de hoeveelheid tijd die wordt verloren als een activiteit op het vroegst mogelijke tijdstip wordt ingepland. Elke bewerking heeft een vroegste uitvoertijd die wordt bepaald door het systeem. Als de machine in een *team* niet bezet is tot aan de vroegste uitvoertijd, betekent dat de machine niet gebruikt wordt tot aan de vroegste uitvoertijd. De tijd tussen de uitvoertijd en het vrijkomen van de machine wordt opgeteld bij de score van het *team*.
- **Just-in-Time productie** – In tegenstelling tot wat de naam doet vermoeden, is deze score er niet op gericht om bewerkingen zo laat mogelijk voor hun laatst mogelijke uitvoerdatum te laten inplannen. In plaats daarvan berekent het systeem hoe ver alle *Qualified Teams* achterlopen op hun gewenste begindatum. Als de teams niet achterlopen, is hun score 0, maar als de teams achterlopen, wordt de hoeveelheid dagen die ze achterlopen omgezet in seconden en afgetrokken van hun score. Een achterlopende order heeft dus erg veel voordeel bij het maken van de planning, wat het belangrijk maakt om realistische leverdata in te voeren in het systeem.
- **Minimize Cycle Time** – Deze score is erop gericht om de hoeveelheid onderhanden werk zo klein mogelijk te houden, door het systeem te stimuleren om opeenvolgende bewerkingen aan dezelfde order zo snel mogelijk achter elkaar in te plannen. De tijd die een order na een bewerking moet wachten voordat hij de volgende bewerking ondergaat, wordt opgeteld bij de totale score van het team. De Minimize Cycle Time-parameter speelt geen rol bij het inplannen van de eerste bewerking op een product.
- **Gradation** – Veel machines hebben verschillende instellingen, waartussen moeilijk te schakelen is. Een verfspuitmachine bijvoorbeeld kan relatief snel overschakelen van lichte op donkere verf, maar moet worden schoongemaakt als er van donkere op lichte verf wordt overgeschakeld. De tijd die nodig is om tussen verschillende gradaties te schakelen, wordt vastgelegd in het systeem en opgeteld bij de score van *Qualified Teams* waarvoor geschakeld moet worden.

De gebruiker van de Scheduling-module kan zelf gewichten geven aan deze zes scores om zijn prioriteiten te bepalen. Dit kan door in de instellingen van de scheduler-module de parameters te veranderen die de gewichten van de scores bepalen. De huidige waarden van de parameters zijn te vinden in tabel 3.

Naam gewicht	Waarde
Consistent Dispatching	30
Minimize Setups	1
Minimize Time Loss	1
Just-In-Time Production	10
Minimize Cycle Time	30
Gradation	61

TABEL 3: INGESTELDE GEWICHTEN IN DE SCHEDULER-MODULE

De minst belangrijke gewichten zijn tijdverlies en omstellingen en de zwaarstwegende parameter is gradatie. Omdat de gradatie van producten binnen Hulshof van grote invloed is op omsteltijden, is de aparte parameter voor omsteltijden minder belangrijk. Omdat er binnen het productieproces van Hulshof slechts één machine is met een bezettingsgraad boven 90% (zie paragraaf 3.1.2 van dit verslag) is tijdverlies ook van weinig belang.

Opvallend is dat er van de zes gewichten die worden gebruikt binnen de Scheduler-module, geen één rekening houdt met het beperken van de hoeveelheid werk in het systeem en de hoeveelheid orders die wordt aangenomen. Omdat de drukstbezette machine pas op een laat moment binnen het productieproces wordt gebruikt, kan dit ertoe leiden dat er meer opdrachten worden ingepland dan de drukste machines aankunnen. Dit is te zien aan een opbouw van voorraad voor deze machines, wat leidt tot een langere levertijd (Spearman, Woodruff, & Hopp, 1990). Deze voorraadopbouw is ook waargenomen binnen het productieproces van Hulshof (zie paragraaf 3.1.2 van dit verslag). Binnen een productieproces met een bepaalde beperkende machine is het belangrijk dat bij het vrijgeven van orders rekening wordt gehouden met deze beperking. Het beperken van de

hoeveelheid werk die wordt vrijgegeven tot het werktempo van de drukstbezette machine leidt tot kortere doorlooptijden en levertijden (Bertrand, 1983).

3.3.2 COMMUNICATIE EN UITVOERING

Als de Scheduler-module in het ERP-systeem een planning heeft gemaakt met behulp van het in paragraaf 3.2.1 beschreven algoritme, bepaalt de planner welke huidsoorten en chemicaliën er worden gebruikt om de ingeplande orders te kunnen uitvoeren en bestelt deze dan bij. De huiden voor de gestarte orders komen uit de Wet Blue-voorraad, die wordt bijgevuld met de nieuw bestelde huiden. Het productieschema wordt doorgestuurd naar de productievloer. Elk bewerkingsstation krijgt een machinelijst, waarop alle bewerkingen staan die de komende dagen moeten worden uitgevoerd. Nadat een bewerking op een productiebatch is uitgevoerd, wordt deze bewerking in het ERP-systeem aangemerkt als uitgevoerd door de betrokken productiemedewerker. Ook geeft de medewerker op de machinelijst aan dat de bewerking is uitgevoerd. Omdat het productieschema niet altijd wordt gehaald en zich soms problemen voordoen, verzamelt de planner elke ochtend de machinelijsten van de volgende dag en praat hij met de voormannen van de productie. Hij werkt dan de gegevens van alle orders bij in het ERP-systeem en maakt vervolgens een nieuwe planning voor de komende tijd.

3.4: DOORLOOPTIJD

In deze paragraaf wordt de huidige doorlooptijd van de verschillende producten van Hulshof bepaald, alsmede uit welke verschillende tijden deze is opgebouwd. Hiermee wordt antwoord gegeven op deelvraag vijf van het onderzoek. Aan de hand van het antwoord op deelvraag vijf kan ook worden bepaald hoeveel tijd er ten minste nodig is om een huid binnen Hulshof te verwerken tot een verkoopbaar product. Hiermee wordt deelvraag zes beantwoord. Er wordt gebruik gemaakt van kennis uit de literatuur, beschreven in hoofdstuk 2, en van gegevens uit de planningsoftware en uit gesprekken met de productieleiders van Hulshof.

3.4.1: HUIDIGE DOORLOOPTIJD

Het doel van deelvraag vijf is het bepalen van de gemiddelde doorlooptijd van producten binnen Hulshof en de verschillende soorten tijden waaruit deze is opgebouwd. De verschillende tijden die de doorlooptijd bepalen, zijn als volgt (Hopp, Spearman, & Woodruff, Practical Strategies for Lead Time Reduction, 1990):

$$\text{doorlooptijd} = \text{bewerkingstijd} + \text{omsteltijd} + \text{transporttijd} + \text{bufferwachtijd} \\ + \text{onderdelenwachtijd} + \text{batchwachtijd}$$

Kennis over de aandelen die de zes verschillende tijden hebben in de totale doorlooptijd van producten, kan inzicht verschaffen in de oorzaken van een eventueel te hoge doorlooptijd en is nodig om de doorlooptijd effectief te kunnen verlagen. Om de grootten van deze aandelen te bepalen voor producten bij Hulshof, is een Value Stream Map (Rother & Shook, 1999) gemaakt van het productieproces. Een Value Stream Map is een schematische weergave van de route die producten volgen door het bedrijf. Met behulp van pijlen wordt de volgorde van bewerkingen weergegeven. Over alle bewerkingen moet informatie worden verzameld over bewerkings- en omsteltijden, welke in de Value Stream Map wordt weergegeven. Tussenvoorraden voor alle bewerkingen worden geteld en ook weergegeven in het schema.

Aan de hand van de gemiddelde doorzet van de machines in een Value Stream Map en de hoeveelheid producten die gemiddeld voor een machine staat te wachten, bepaald in paragraaf 3.1, kan de gemiddelde wachttijd voor een machine berekend worden. Dit kan met behulp van deze formule:

$$\text{wachttijd} = \frac{\text{gem. tussenvoorraad in huiden}}{\text{gem. hoeveelheid verwerkte huiden per uur}}$$

De formule is afgeleid van de wet van Little (Little, 1961). Als voor elke machine de gemiddelde wachttijd en de capaciteit bekend zijn, kunnen deze gegevens worden gebruikt om de doorlooptijd van bepaalde producten te

berekenen. De omsteltijden, bewerkingstijden en batchtijden voor alle machines zijn uit het planningssysteem overgenomen. Met deze gegevens kan per machinebewerking een doorlooptijd worden berekend: de tijd die een productiebatch gemiddeld nodig heeft om een bewerking te ondergaan, inclusief bufferwachtijd van tevoren. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de wet van Little. Als alle machinedoorlooptijden van alle bewerkingen die een product moet ondergaan bij elkaar worden opgeteld, is het resultaat de totale gemiddelde doorlooptijd van het product. Deze doorlooptijdberekening is uitgevoerd voor de negen meest verkochte producten die in Lichtenvoorde worden gefinisht. Hiervan zijn de recepten uit het ERP-systeem van Hulshof gebruikt. De berekende doorlooptijden en de lengten van de tijden waaruit deze zijn opgebouwd, zijn te vinden in tabel 4.

Product	Aantal (x1000)	Bewerking	Omstel	Transport	Buffer	Onderd.	Batchtijd	Doorlooptijd totaal	In werkdagen
Trento	15	40:13:00	4:03:00	2:10:00	52:15:00	0:00:00	7:30:00	106:11:00	13 dagen, 2:11
Supreme	12	39:24:00	3:28:00	2:05:00	36:00:00	0:00:00	7:45:00	88:42:00	11 dagen, 0:42
Scala	6	40:13:00	4:03:00	2:10:00	52:15:00	0:00:00	7:30:00	106:11:00	13 dagen, 2:11
Royal Pull Up	6	37:21:00	2:08:00	1:35:00	1:30:00	0:00:00	7:00:00	49:34:00	6 dagen, 1:34
Royaline	4	29:19:00	2:38:00	1:35:00	8:00:00	0:00:00	6:30:00	48:02:00	6 dagen, 0:02
Junique	4	37:22:00	2:38:00	1:40:00	8:30:00	0:00:00	7:15:00	57:25:00	8 dagen, 1:25
Automotive	4	37:22:00	3:03:00	1:50:00	36:00:00	0:00:00	7:15:00	85:30:00	10 dagen, 5:30
Litano	3	29:20:00	2:43:00	1:45:00	17:15:00	0:00:00	6:45:00	57:48:00	8 dagen, 1:48
Antica	3	46:15:40	3:33:00	2:15:00	43:00:00	0:00:00	8:15:00	103:18:40	12 dagen, 7:18

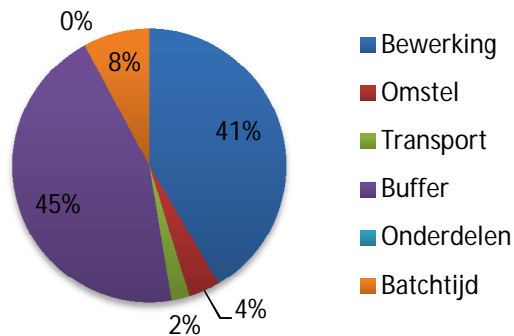
TABEL 4: OPBOUW DOORLOOPTIJDEN GEFINISHT LEER

De Value Stream Maps op basis waarvan deze tijden zijn berekend, zijn te vinden in Bijlage F: Value Stream Map Geschuurd Leer en Bijlage G: Value Stream Map Volnerf Leer. In deze stroomschema's zijn de volgorden van bewerking weergegeven voor alle producten, alsmede de capaciteit, omsteltijden en wachttijden voor alle machines. Vervolgens zijn alle verschillende tijden bij elkaar opgeteld om tot tabel 4 te komen. Deze berekeningen per product zijn terug te vinden in Bijlage H: Berekening Opbouw Doorlooptijd.

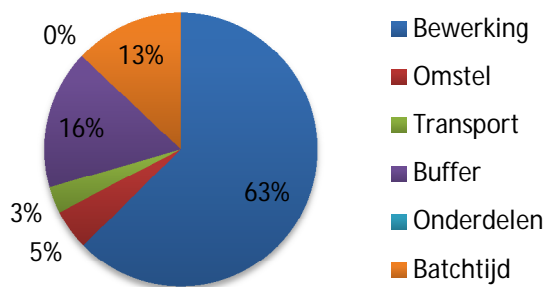
De zes verschillende onderdelen van de totale doorlooptijd zijn per product berekend en in de tabel getoond. Er kan worden afgelezen dat de hoeveelheid Buffertijd, oftewel wachttijd voor drukbezette machines, een groot deel uitmaakt van de totale doorlooptijd. Dit komt doordat er bij productie op volle capaciteit een opbouw van onderhanden werk plaatsvindt voor de spuitmachines, de drukstbezette machines in het finishproces. Doordat er een grote hoeveelheid onderhanden werk staat te wachten voor de spuitmachines, wordt de gemiddelde wachttijd voor spuitbewerkingen erg hoog. Voor spuitmachine 311 en plamuurmachine 367, die samen een drooglijn delen en dus niet tegelijk kunnen worden gebruikt, kan de gemiddelde wachttijd bij hoge bezetting oplopen tot twee werkdagen. Dit betekent bijvoorbeeld dat productiebatches van de producten Trento en Scala, die dit bewerkingsstation drie keer moeten passeren, gemiddeld zes dagen staan te wachten om te worden gespoten of geplamuurd. Voor andere bewerkingen is er nauwelijks wachttijd.

Het bewerkingsstation met de hoogste bezettingsgraad en de langste gemiddelde wachttijd, spuitmachine 311 en plamuurmachine 367, wordt vooral gebruikt voor het plamuren en spuiten van producten uit de categorie geschuurd leer. Deze categorie producten wordt gemaakt van huiden van lage kwaliteitssortimenten, die worden geplamuurd om oneffenheden te verwijderen en twee keer worden gespoten. Deze bewerkingen vinden allen plaats op plamuurmachine 367 en spuitmachine 311. Van de producten in tabel 4 behoren Trento, Supreme, Scala, Automotive en Antica tot de categorie geschuurd leer. De gemiddelde opbouw van de doorlooptijd van deze producten is schematisch weergegeven in figuur 2. In figuur 3 is de gemiddelde opbouw van de doorlooptijd van een andere categorie weergegeven: het volnerf leer. Deze categorie is opgebouwd uit

onder andere de producten Royal Pull Up, Royaline, Junique en Litano. De gebruikte categorieën van tijd zijn eerder toegelicht in paragraaf 2.1.2: Opbouw van de doorlooptijd.



FIGUUR 2: OPBOUW DOORLOOPTIJD GESCHUURD LEER



FIGUUR 3: OPBOUW DOORLOOPTIJD VOLNERF LEER

Zoals te zien is in figuur 2 en 3, is het aandeel van Buffertijd in de totale doorlooptijd veel hoger bij geschuurde producten dan bij volnerf producten. In het geval van het geschuurde leer is de wachttijd voor het bewerkingsstation 311/367, met een gemiddelde wachttijd van 2 werkdagen, verantwoordelijk voor het overgrote deel van de buffertijd (Bijlage H: Berekening Opbouw Doorlooptijd). Door de gemiddelde wachttijd voor het bewerkingsstation 311/367 bijvoorbeeld met 50% te verminderen, kan de doorlooptijd van producten dus met meerdere dagen worden teruggebracht.

3.5: CONCLUSIE

Bij het beantwoorden van deelvragen drie en vijf is duidelijk geworden dat een groot deel van de doorlooptijd van producten binnen Hulshof wordt veroorzaakt door wachttijden voor de drukste machines: de spuitlijnen. Productiebatches staan voor spuitlijn 311 bijvoorbeeld gemiddeld twee dagen te wachten. De capaciteit van het begin van de productielijn is hoger dan die van de finishhal, dus komt het voor dat er meer huiden het finishproces ingaan dan de finishmachines meteen kunnen verwerken. In deelvraag vier is gebleken dat het huidige planning- en controlesysteem bij het plannen van taken geen rekening houdt met de lagere capaciteit aan het eind van het systeem. Dit zorgt ervoor dat er meer huiden het systeem ingaan dan de spuitlijnen aankunnen.

Het aanpassen van het planning- en controlesysteem van Hulshof zodat er wél rekening wordt gehouden met de lagere capaciteit aan het einde van het proces bij het inplannen van orders, zal leiden tot een vermindering van het aantal huiden dat boven de capaciteit van de finishhal de productie in gaat. Dit zal leiden tot een kortere wachtrij voor de drukste machines, wat de gemiddelde doorlooptijd van het proces zal verminderen. Verder is gebleken dat het verkleinen van productiebatches en het verkorten van omsteltijden de doorlooptijd verder kan verminderen, mits het productieproces flexibel genoeg wordt gemaakt om dit mogelijk te maken zonder capaciteitsverlies. Wetenschappelijk onderzoek wees eerder uit dat kleinere transportbatches en kortere omsteltijden een grote positieve invloed hebben op de vermindering van de doorlooptijd bij productiebedrijven (Krajewski, King, Ritzman, & Wong, 1987).

4: ALTERNATIEVE OPLOSSINGEN

4.1: INLEIDING

De fase van de probleemanalyse is nu afgerond: de oorzaken van het probleem van de lange doorlooptijd bij Hulshof, alsmede de factoren die op het probleem van invloed zijn, zijn nu vastgesteld. De verbanden tussen de verschillende oorzaken en factoren zijn ook bekend. In dit hoofdstuk wordt daarom gezocht naar een oplossing om de doorlooptijd van producten bij Hulshof te verlagen. Hiervoor is al voorbereidend werk gedaan in Hoofdstuk 2.2 van dit verslag, waarin we enkele geschikte planningmethoden vonden voor MTO-bedrijven.

Door het kiezen van geschikte alternatieven zal deelvraag zes worden beantwoord: Welke mogelijkheden zijn er om de doorlooptijd van Hulshof-producten in het finishproces te verminderen? Daarna beantwoorden deelvraag zeven: Hoe veel kan de doorlooptijd van Hulshof-producten worden verminderd? Dit om het voordeel te bepalen dat de gekozen oplossing kan hebben voor Hulshof. Tot slot wordt bij de beoordeling van de alternatieven een begin gemaakt met de achtste en laatste deelvraag: hoe moet Hulshof de doorlooptijd van producten in het finishproces verminderen?

4.2: BESLISSINGSPROCES EN CRITERIA

Tijdens de probleemanalyse in hoofdstukken 2 en 3 is duidelijk geworden dat tekortkomingen in het productieplanning- en controlesysteem van Hulshof verantwoordelijk zijn voor een groot deel van de wachttijden voor drukke machines. Deze wachttijden vormen een groot deel van de doorlooptijd en moeten dus zo veel mogelijk worden voorkomen. Dit onderzoek is er daarom op gericht om een oplossing te vinden voor de tekortkomingen van het huidige planning- en controlesysteem. Omdat de scheduling-module van Baan, die nu wordt gebruikt voor het plannen van de productie, geen mogelijkheid biedt om het algoritme aan te passen dat berekent welke stappen er wanneer moeten worden ingepland, zal er een aanbeveling worden gedaan voor een nieuw in te voeren planning- en controlesysteem. Dit systeem zal worden gekozen uit de beschikbare systemen en methoden die in de wetenschappelijke literatuur zijn beschreven en geschikt zijn bevonden voor make-to-orderbedrijven met veel variatie in hun assortimenten.

De verschillende planning- en controlesystemen die zijn beschreven in de literatuur zullen worden beoordeeld op enkele criteria, die bepalen of ze geschikt zijn voor toepassing binnen Hulshof. Elk systeem is ontworpen met een bepaalde productieomgeving in gedachten en deze moet zo goed mogelijk overeenkomen met die van Hulshof. Ook moeten de systemen een oplossing bieden voor de geconstateerde tekortkoming van de scheduler-module die nu wordt gebruikt: ze moeten de hoeveelheid opdrachten in het systeem kunnen beperken om een wachtrij voor de drukstbezette machines te voorkomen.

Tot slot moeten systemen voldoen aan de in hoofdstuk 2 genoemde eisen die Stevenson *et al.* stelden aan planningsystemen voor make-to-orderbedrijven (Stevenson, Hendry, & Kingsman, 2005):

1. Betrekking van de klantencontactfase bij de planning van de productie.
2. Start- en einddata van productietaken zijn inbegrepen in de planning.
3. De mogelijkheid om om te gaan met zeer gespecialiseerde producten.
4. De mogelijkheid om te plannen als er verschillende routes zijn die producten moeten volgen.
5. Toepasbaarheid bij middelgrote en kleine bedrijven.

De planningmethode die het beste voldoet aan de genoemde criteria, alsmede aan de gestelde eisen, zal worden aanbevolen als nieuwe planning- en controlemethode voor gebruik binnen Hulshof.

4.3: ALTERNATIEVEN

Zoals gezegd in paragraaf 2.2.2: Planningmethoden, vonden Stevenson *et al.* in een literatuurstudie naar planningmethoden vijf systemen die geschikt zouden zijn voor een make-to-orderbedrijf met de inrichting van een *general flow shop* (zie paragraaf 2.2.1: Categorieën binnen Make-to-Order) (Stevenson, Hendry, & Kingsman, 2005). Uitgebreide uitleg over alle vijf productieplanningmethoden en de verschillen tussen deze methoden kan worden gevonden in Bijlagen A tot en met E.

Stevenson *et al.* vonden deze vijf methoden geschikt voor een make-to-orderbedrijf met veel variatie in het assortiment, wat maakt dat de planningmethoden geschikte alternatieven vormen voor de oplossing van het centrale probleem in dit onderzoek. Alle systemen zijn erop gericht om doorlooptijd te beperken en voldoen aan de vijf criteria die genoemd zijn in paragraaf 4.1: Beslissingsproces en criteria. De scheduling-module die nu in gebruik is bij Hulshof voldoet ook aan de criteria van Stevenson en is geschikt voor gebruik binnen de productieomgeving, maar de module kent geen automatische beperking van de hoeveelheid onderhanden werk in het systeem en vormt dus, volgens de criteria uit paragraaf 4.1, geen geschikt alternatief voor het verlagen van de doorlooptijd met een nieuw productieplanningssysteem.

4.4: KEUZE ALTERNATIEF

In deze paragraaf worden alle vijf alternatieven getoetst op de twee criteria die in paragraaf 4.1 zijn genoemd: de toepasbaarheid van de alternatieven op de productie van Hulshof en de mate waarin de systemen geschikt zijn om de doorlooptijd van producten te verminderen. De alternatieven zullen één voor één worden besproken.

- **Constant Work-In-Progress (CONWIP)** – CONWIP (Bijlage A: CONWIP) is erop gericht om de totale hoeveelheid onderhanden werk binnen een fabriek of productieproces gelijk te houden. Pas als er een productiebatch af is, mag er met een nieuwe gestart worden. Door de voorraad onderhanden werk vast te leggen en doorzet gelijk te houden, wordt de doorlooptijd een constante (Little, 1961). CONWIP is ontworpen voor een repetitief of semi-repetitief productieproces, waarin batchgroottes en bewerkingstijden weinig van elkaar afwijken (Spearman, Woodruff, & Hopp, 1990). CONWIP is dus sterk gericht op het beperken van de doorlooptijd en de hoeveelheid onderhanden werk, maar in mindere mate geschikt voor productieprocessen met sterk verschillende producten en uiteenlopende batchgroottes. Deze laatste eigenschap zou binnen het productieproces van Hulshof problemen opleveren, omdat de leerproducten van Hulshof erg uiteenlopende bewerkingstijden en batchgroottes kennen. CONWIP is als productieplanningssysteem dus niet toegespitst genoeg op de verschillende bewerkingsrecepten en de variëteit van het productieproces van Hulshof.
- **Workload Control (WLC)** – Workload Control (Bijlage B: Workload Control) kent net als CONWIP een beperking van de hoeveelheid onderhanden werk in het systeem, maar doet het op een andere manier: WLC-concepten kennen vaak een limiet aan de hoeveelheid tijd of bewerkingen die alle orders in de productie bij elkaar op een bepaalde machine moeten ondergaan. Als er zoveel orders in het systeem zitten die op deze machine bewerkt moeten worden, dat het limiet wordt bereikt, kunnen alleen orders geaccepteerd worden die de machine niet nodig hebben. Het gebruiken van tijd als factor in plaats van het aantal productiebatches maakt dat WLC toepasbaar is op productiesystemen met uiteenlopende bewerkingsrecepten en batchgroottes. In het bijzonder moet genoemd worden dat WLC ook toe te passen is als producten meerdere keren bewerkt moeten worden op één machine. WLC is erop gericht om doorlooptijd te beperken door de voorraad onderhanden werk aan banden te leggen en is toepasbaar binnen het productieproces van Hulshof. Het systeem voldoet dus goed aan beide criteria.
- **Theory of Constraints (TOC)** – De planningmethode van TOC (Bijlage C: Theory of Constraints), ook wel bekend als Drum-Buffer-Rope, laat de hele fabriek in hetzelfde tempo produceren tot de producten bij de drukstbezette machine komen, de constraint. De constraint bepaalt het tempo voor het proces dat ernaartoe leidt. Het proces na deze machine hoeft niet gereguleerd te worden. Voor de constraint

wordt een kleine tussenvoorraad gehouden om eventuele uitval op te vangen, maar daarbuiten zijn er geen tussenvorraden. De hoeveelheid onderhanden werk wordt dus gereguleerd. Om TOC te kunnen invoeren moet er een duidelijke constraint bestaan binnen het productieproces alsmede een scheiding tussen het proces vóór en na deze constraint. Binnen Hulshof is er wel een constraint aan te wijzen, maar bestaat er geen duidelijke scheiding tussen voor en na deze constraint: sommige producten passeren de constraint drie keer en anderen helemaal niet. Omdat niet alle producten de drukste machine passeren, is het niet voordelig om het hele proces te synchroniseren met de constraint. Hierdoor zou TOC niet optimaal werken binnen de productieomgeving van Hulshof.

- **POLCA** - Paired-cell Overlapping Loops of Cards Authorization (Bijlage D: POLCA) is een methode die een maximale hoeveelheid onderhanden werk oplegt aan routes tussen verschillende machines. Elke order die van machine A naar machine B zal gaan krijgt voor de bewerking op A een kaart waar AB op staat. Dit betekent dat POLCA de hoeveelheid werk in een systeem beperkt om de doorlooptijd zo kort mogelijk te maken. Om POLCA te kunnen invoeren, moet de productie binnen het bedrijf op te delen zijn in bewerkingscellen, waar de producten tussen kunnen bewegen. Dit is bij Hulshof in principe mogelijk, dus POLCA voldoet aan beide criteria uit paragraaf 4.1. Hierbij moet wel gezegd worden dat de hoeveelheid producten die van een station naar een bepaald ander station moeten, sterk kan wisselen van dag tot dag. De hoeveelheid kaarten voor elke route zou dus moeilijk vast te stellen zijn. Ook zouden er veel verschillende bewerkingscellen moeten komen, vanwege de uiteenlopende productrecepten.
- **Materials Requirement Planning (MRP)** – MRP (Bijlage E: MRP) is een verzamelnaam voor softwareprogramma's die voor elke productietaak in het proces een begintijd berekenen aan de hand van het tijdstip waarop de taak voltooid moet zijn. Van dit tijdstip wordt de bewerkingstijd, plus een bepaalde spelingfactor, afgetrokken om de begintijd te bepalen. Op die manier ontstaat een productieschema. MRP is dus gericht op het beperken van doorlooptijden, maar houdt geen rekening met een eindige capaciteit van het productieproces en ook niet met bepaalde knelpunten in de productie. MRP voldoet dus niet aan de gestelde criteria voor productieplanningssystemen en is hierdoor geen geschikt alternatief voor Hulshof.

Er zijn twee alternatieven die voldoen aan beide criteria: Workload Control en POLCA. Deze methoden zouden binnen Hulshof dus allebei toegepast kunnen worden om de doorlooptijd te verbeteren. De variatie in de productmix van Hulshof maakt echter dat de hoeveelheid producten die van één machine naar een bepaalde andere machine stromen, erg kan verschillen. Dit maakt het moeilijk om voor het POLCA-systeem een aantal kaarten in te stellen voor alle routes zonder deze vaak te hoeven aanpassen. Omdat Workload Control de hoeveelheid werk laat meten aan de hand van alle orders in het systeem bij elkaar opgeteld en een maximum stelt per machine, treedt het probleem bij dit systeem niet op. Er wordt daarom geconcludeerd dat een Workload Control-systeem de beste optie is om de productieplanning opnieuw in te richten en zo de doorlooptijd te verlagen. Het systeem is het meest geschikt om de hoeveelheid werk op de drukste machines te beperken, terwijl werk dat niet op deze machines bewerkt hoeft te worden in een normaal tempo kan worden verwerkt. Belangrijk om te noemen is wel dat de regels waarmee WLC werkt, continu bijgehouden moeten worden: deze regels moeten goed passen met het productieproces en het assortiment. Het integreren van de oplossing in de organisatie zal verder worden besproken in Hoofdstuk 5: Implementatie.

4.5: VOORDELEN EN NADELEN WLC

Geconcludeerd is nu dat het invoeren van het Workload Control-planning en controlesysteem kan helpen bij het verminderen van doorlooptijden. Nu zal onderzocht worden hoe veel de doorlooptijd precies kan afnemen bij implementatie van de gekozen oplossing. Om dit te kunnen doen, moeten enkele aannames worden gedaan over de toekomst onder een WLC-systeem. Onder deze aannames worden er, net als in de huidige situatie, batches geproduceerd van gemiddeld 50 huiden op de machines die nu beschikbaar zijn. De omsteltijden, bewerkingstijden en droogtijden van het huidige productieproces blijven gelijk. Het enige verschil met de

huidige situatie is dat het planningsysteem is aangepast: er zijn nu WLC-vrijgaveregels van toepassing, waardoor de hoeveelheid werk op de vloer wordt beperkt. Er staat nog steeds een kleine buffer voor de drukste machines, maar deze wordt klein gehouden om de doorlooptijd zo laag mogelijk te houden. De lengte van de wachtrij voor de spuitmachines wordt geschat door middel van de VUT-vergelijking (Hopp & Spearman, Factory Physics, 2008). Met deze vergelijking kan de wachttijd voor een stabiele machine (CT_q) worden berekend aan de hand van de bewerkingstijd (inclusief omstellen) t_e , de bezettingsgraad u en de variatiecoëfficiënten van de bewerkingstijd (c_e^2) en de tijd tussen aankomsten van batches (c_a^2). De VUT-vergelijking luidt:

$$CT_q(G|G|1) = \left(\frac{c_e^2 + c_a^2}{2} \right) \left(\frac{u}{1-u} \right) t_e$$

We schatten de waarden van de variabelen in de VUT-vergelijking aan de hand van informatie uit het verslag of uit het ERP-systeem van Hulshof. De schatting van variabelen wordt toegelicht in Bijlage J: Schatting variabelen VUT. Met behulp van de geschatte variabelen berekenen we de verwachte gemiddelde wachttijd CT_q onder het WLC-systeem, dus met een gelijkblijvend aantal orders in productie. De verwachte gemiddelde wachttijd is 3 uur en 47 minuten (Bijlage J). We nemen aan dat de wachttijden op de laagbezette machines gelijk blijven.

De doorlooptijden onder deze aannames zijn berekend voor de producten die in paragraaf 3.3.1 reeds zijn behandeld, met behulp van dezelfde methode als in paragraaf 3.3.1. Enkel de wachttijd voor de spuitmachines is aangepast. De resultaten zijn weergegeven in tabel 5. Ook zijn in tabel 5 de gemiddelde waarden van de doorlooptijden en de vermindering weergegeven voor de categorieën geschuurd en volnerf leer.

Product	Huidig	WLC	Vershil
Trento	106:11:00	65:18:30	-38,5%
Supreme	88:42:00	60:17:00	-32,0%
Scala	106:11:00	65:18:30	-38,5%
Royal Pull Up	49:34:00	49:34:00	0,0%
Royaline	48:02:00	43:49:30	-8,8%
Junique	57:25:00	56:30:00	-1,6%
Automotive	85:30:00	57:05:00	-33,2%
Litano	57:48:00	51:55:30	-10,2%
Antica	103:18:40	71:41:10	-30,6%
Geschuurd	97:58:32	63:56:02	-34,7%
Volnerf	42:33:48	40:21:48	-5,2%

TABEL 5: MINIMALE DOORLOOPTIJDEN ONDER WLC

Zoals te zien in tabel 5, kan de doorlooptijd van geschuurd leer worden verminderd met 34,7% als de hoeveelheid orders op de vloer wordt beperkt. Ook voor volnerf leer wordt de doorlooptijd verminderd, zij het met minder: 5,2%. Dit betekent dat bepaalde finishproducten meerdere werkdagen eerder klaar zijn, wat helpt bij het flexibeler produceren van leer. Ook wordt de hoeveelheid kapitaal die in onderhanden werk zit, fors verminderd. Wel moeten orders onder WLC langer wachten om gestart te worden als er veel klanten tegelijk orders plaatsen. Er moet dus gekozen worden welke klanten snel worden bediend en welke moeten wachten tot hun orders vrijgegeven worden. De gemiddelde levertijd zal dus minder dalen dan de doorlooptijd van de fabriek. Ook kan langdurige uitval van machines vroeg in het proces meer invloed hebben op de doorzet van de fabriek, vanwege de lagere buffervoorraden bij invoering van WLC. Op deze nadelen moet dus worden gelet bij de implementatie. Als zich te vaak problemen voordoen, kan het instellen van hogere werklastmaxima deze verminderen. Zo kan er gezocht worden naar het beste evenwicht tussen lage doorlooptijden en meer buffervoorraad.

5: IMPLEMENTATIE

5.1: INLEIDING

Nu er een keuze is gemaakt voor één van de alternatieve oplossingen, Workload Control, kan de volgende fase van de Algemene Bedrijfskundige Probleemaanpak worden gestart: de implementatiefase. De voorbereiding voor de implementatie van een alternatief bestaat uit de volgende stappen (Heerkens & van Winden, 2012):

- Een implementatieplan opstellen
- Activiteiten kort en stapsgewijs beschrijven
- Aanpak voor mogelijke weerstand uitwerken

In dit hoofdstuk zal worden beschreven hoe binnen Hulshof een productieplanningssysteem kan worden geïmplementeerd onder het Workload Control-methode. De manier waarop de hoeveelheid werk in het systeem kan worden bijgehouden beperkt zal worden beschreven, alsmede de manier waarop orders gepland kunnen worden. Ook zal er een aanpak ter voorkoming van mogelijke weerstand onder medewerkers worden beschreven. Hiermee wordt antwoord gegeven op de achtste deelvraag: hoe moet Hulshof de doorlooptijd van producten in het finishproces verminderen?

5.2: INRICHTING WLC

De doorlooptijd binnen Hulshof kan sterk worden verlaagd door te voorkomen dat er te veel orders tegelijk bij een machine komen te staan. De als oplossing gekozen planningmethode Workload Control helpt hierbij door een maximum op te leggen aan de werklast van alle machines in het proces. Van elk product wordt bepaald hoe veel tijd het nodig heeft op elke machine om te worden geproduceerd. De resterende bewerkingstijd per machine van alle producten die zich op de vloer bevinden wordt opgeteld en aan deze totale bewerkingstijden per machine worden maxima gesteld. Orders mogen alleen worden gestart wanneer ze geen overschrijding van de maxima veroorzaken. Tot ze kunnen worden vrijgegeven, worden ze in een orderlijst gezet, met alle geaccepteerde orders. De werklastmaxima worden zo bepaald dat de drukstbezette machines een kleine buffervoorraad hebben, zodat ze door kunnen werken. Voor de maximale totale bewerkingstijden wordt vaak een beginwaarde berekend, waarna experimenteel de beste waarde wordt bepaald (Land & Gaalman, 1996).

Voor het ontwikkelen van de vrijgaveregels voor het proces van Hulshof is gekeken naar de WLC-concepten van Bertrand (Bertrand, 1983) en Tatsiopoulos (Tatsiopoulos, 1993). Dit concept werd ontwikkeld voor een semiconductorfabriek, maar is ook toe te passen op een leerlooierij; het betreft in beide gevallen een product uit één onderdeel, dat op meerdere machines bewerkingen ondergaat in productiebatches. Er wordt in het concept van Bertrand op de volgende drie momenten gepland:

- **Vrijgave van orders** – van elk product is bekend hoeveel het bewerkt moet worden op welke machine. Een batch van 50 huiden die Trento moeten worden, wordt bijvoorbeeld drie keer verwerkt op het bewerkingsstation 311/367 en heeft dus in totaal zo'n 2:15 tot 2:45 uur aan machinetijd nodig. Er wordt een maximum gesteld aan de bewerkingstijd die alle orders in het systeem bij elkaar nog nodig hebben op een machine. Zo'n limiet is er voor elke machine die een beperkende factor of een bottleneck vormt. Eens per dag wordt bepaald hoeveel bewerkingstijd er vrij is op elke machine. Vervolgens worden de bovenste orders op de orderlijst één voor één vrijgegeven, tot er een machine aan zijn maximum zit. Daarna mogen alleen orders worden ingepland die niet van deze machine gebruikmaken. Als er geen orders meer kunnen worden ingepland, wordt er gewacht tot het volgende vrijgavemoment, de volgende dag. De precieze vrijgaveregels die toegepast kunnen worden bij Hulshof zijn te vinden in Bijlage I: Parameters WLC.
- **Orderlijst** – Alle geaccepteerde orders staan op een orderlijst. De volgorde van deze lijst bepaalt welke orders als eerste mogen worden vrijgegeven. De lijst wordt gesorteerd op het aantal dagen tot

leverdatum van de orders, minus de gemiddelde doorlooptijd van het betreffende product. De orders met het laagste aantal dagen speling worden als eerste vrijgegeven. Als er een order binnenkomt met topprioriteit, kan deze bovenaan de lijst worden gezet.

- **Acceptatie van orders** – Bij het aannemen van orders wordt de orderlijst gebruikt als planningmiddel: De hoeveelheid huizen in de orders op de lijst gedeeld door de productiecapaciteit van de fabriek bepaalt de datum waarop productie van nieuwe orders op zijn vroegst kan worden gestart. Hiermee wordt rekening gehouden met het bepalen van de leverdatum. Er kan een maximum worden ingesteld aan het aantal orders op de lijst om levertijden binnen de perken te houden.

Buiten deze drie planningmethoden wordt de productie in principe niet gepland. Wel is er in de productiehal een overzicht van alle orders in het systeem te zien, waar ze zich bevinden en wat de eerstvolgende bewerkingen zijn die moeten worden uitgevoerd. Op basis van dit overzicht kunnen medewerkers alvast walsen opwarmen, verf mengen of mensen inplannen voor orders die binnenkort bewerkt moeten worden. Een overzicht van de voorgestelde instellingen van het WLC-systeem is te vinden in Bijlage I: Parameters WLC.

5.3: IMPLEMENTATIEPLAN

Over het implementeren van een productieplanningssysteem gebaseerd op Workload Control is in de wetenschappelijke literatuur veel geschreven. Enkele onderzoekers ontwikkelden een implementatieplan voor het overgaan op de methode (Stevenson, Huang, Hendry, & Soepenbergh, 2011). Dit plan bestaat uit drie fasen, die zijn ingedeeld in meerdere activiteiten:

5.3.1: DIAGNOSEFASE

In deze fase wordt bepaald welke problemen er zijn binnen het bedrijf en of deze kunnen worden opgelost met behulp van een Workload Control-systeem. Vervolgens wordt bepaald hoe een dergelijk systeem kan worden ingevoerd. De diagnosefase bestaat uit de volgende stappen:

1. Bepaal of WLC een geschikte oplossing is voor het bedrijf
2. Onderzoek de prestaties van de productie en hoe deze eventueel verbeterd kunnen worden
3. Peil of het personeel bereid is om van planning en control-systeem te wisselen
4. Evalueer de planningprocedures
5. Breng de software en hardware binnen het bedrijf in kaart
6. Ontwikkel WLC-software voor het bedrijf

Een deel van de activiteiten in deze fase is reeds uitgevoerd binnen Hulshof, zoals is beschreven in dit verslag. Op het gebied van de productdoorlooptijd zijn er problemen die kunnen worden opgelost met behulp van een Workload Control-systeem, namelijk de overbelasting van de drukste machines en de lange wachttijden die dit tot gevolg heeft. Deze problemen worden voor het grootste deel veroorzaakt door de planningmethode die nu in gebruik is. Stappen 1 en 2 van de diagnosefas zijn dus al grotendeels uitgevoerd.

De volgende stappen in de diagnosefase beschrijven het ontwerpen van een nieuwe planningprocedure die rekening houdt met de problemen binnen Hulshof en deze oplost. Aangezien er binnenkort een nieuw ERP-systeem aangeschaft zal worden, hoeft stap vijf niet te worden uitgevoerd: beter is het de behoeftes van het bedrijf in kaart te brengen en ervoor te zorgen dat het nieuwe systeem hieraan voldoet. Zo moet er informatie beschikbaar zijn betreffende de orders op de productievloer en welke bewerkingen deze nog moeten ondergaan. Vervolgens kan er eventueel software worden ontwikkeld om de planning uit te voeren, of kan ervoor worden gekozen om dit handmatig te doen.

5.3.2: IMPLEMENTATIEPROCES

In dit deel van het proces wordt er overgegaan op de nieuwe planningmethode en wordt de informatievergaring op de productievloer in gang gezet. Eventueel kunnen machines geclusterd worden in

bewerkingsstations om de hoeveelheid werklastnormen kleiner te maken of kunnen er andere veranderingen aan de organisatie gedaan worden. De implementatiefase bestaat uit de volgende stappen:

1. Verander de organisatie van de productie waar nodig
2. Bepaal de regels en normen voor het WLC-systeem
3. Verwerk eventueel WLC-regels en normen in bestaande software
4. Kies en train de gebruikers van het systeem (planners, productieleiders)
5. Stel medewerkers op de hoogte van de verandering
6. Stel klanten en leveranciers op de hoogte van de verandering
7. Start het WLC-systeem op

Na het nemen van deze stappen kan het Workload Control-systeem worden gebruikt. Zoals in de stappen wordt gezegd, kan Workload Control zowel in bestaande software als in nieuwe software worden geïmplementeerd: het gaat bij dit systeem om het beperken van de hoeveelheid werk in het systeem en dat kan natuurlijk op verschillende manieren.

5.3.3: NA DE IMPLEMENTATIE

Als het WLC-systeem eenmaal is ingevoerd, kunnen de prestaties van het systeem geoptimaliseerd worden door het continu volgen van de volgende vier stappen:

1. Houd de prestaties van het bedrijf bij
2. Bevorder het blijven gebruiken van Workload Control
3. Bekijk of de parameters van het systeem beter kunnen worden ingesteld
4. Verbeter de informatiestroom en de hoeveelheid controle

De prestaties van een WLC-systeem hangen geheel af van de normen en regels die worden ingesteld: wat zijn de maximale werklasten en wanneer wordt er een nieuwe batch gestart? Door continu te zoeken naar verbetering kunnen de prestaties worden verbeterd. Dit verbeteren gebeurt vaak experimenteel, door waarden aan te passen en te kijken wat de effecten zijn (Land & Gaalman, 1996).

5.4: OMGAAN MET MOGELIJKE WEERSTAND

Zoals elke verandering binnen een organisatie brengt ook het invoeren van Workload Control soms weerstand met zich mee onder medewerkers die niet over willen gaan op het nieuwe planningsysteem. Om dit te voorkomen, zijn enkele voorzorgsmaatregelen te nemen (Hendry, Huang, & Stevenson, 2013):

- Licht het betrokken personeel voor over Workload Control en leg uit wat er precies gaat veranderen en waarom. Dit zal voor veel medewerkers de bezorgdheid doen afnemen als ze doorkrijgen dat hun baan niet op de tocht staat en dat ze niet harder hoeven te gaan werken.
- Betrek de uiteindelijke gebruikers van het systeem bij het project. Als de planners en productieleiders betrokken zijn bij het project om de nieuwe planningmethode in te voeren, kunnen ze er zelf hun invloed op uitoefenen en hun zorgen bespreken met de andere deelnemers. Dit maakt dat het systeem na implementatie beter gebruikt wordt en dat er minder weerstand ontstaat onder gebruikers
- Pas het systeem aan aan het bedrijf waar het wordt ingevoerd. Binnen elk bedrijf zijn er andere eisen en wensen aan een software-systeem voor productieplanning. Het kan geen kwaad om aan deze behoeften te voldoen bij het ontwerpen van de software. Zo is het een goed idee om medewerkers te vragen naar hun wensen voor het nieuwe programma.

Door medewerkers voor te lichten over het systeem, te betrekken bij het proces en te luisteren naar hun suggesties kan weerstand tegen een verandering van productieplanningmethode grotendeels worden voorkomen.

6: CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1: INLEIDING

In dit hoofdstuk worden conclusies getrokken uit de vorige hoofdstukken van het verslag. De hoofdvraag van het onderzoek wordt beantwoord aan de hand van de antwoorden die zijn gegeven op de deelvragen. Vervolgens worden er aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek of verbeteringen op de lange termijn die kunnen bijdragen aan het verminderen van de doorlooptijd binnen Hulshof.

6.2: CONCLUSIE

In dit verslag werd onderzoek gedaan om een antwoord te vinden op de hoofdvraag, die in hoofdstuk 1 is vastgesteld:

“Hoe kan de gemiddelde doorlooptijd van producten in het finishproces van Hulshof worden verminderd door veranderingen aan te brengen in de methode van productieplanning?”

Om antwoord te geven op deze vraag is onderzocht wat de gemiddelde doorlooptijd van producten binnen Hulshof is en hoe deze is opgebouwd: welke bewerkingen ondergaan producten, hoe lang duren deze en hoe lang staan producten gemiddeld te wachten voor machines? Deze vragen zijn beantwoord voor de acht meest geproduceerde leerproducten die in Lichtenvoorde worden gefinisht. Hieruit kwam naar voren dat de doorlooptijd van geschuurde artikelen voor meer dan 40% uit onnodige wachttijd bestaat. Voor volnerf leer is dit meer dan 15%. Deze wachttijden worden veroorzaakt door lange rijen voor de drukstbezette machines, de spuitlijnen. Omdat de spuitlijnen vaak meerdere keren worden gebruikt voor elke productiebatch en hoge omsteltijden hebben, kunnen ze minder producten verwerken dan andere machines in het proces. Een onderzoek naar de planning-module van het ERP-systeem van Hulshof, die nu wordt gebruikt om de productie te plannen, is gebleken dat de software geen rekening houdt met de lage capaciteit van de spuitlijnen. De snellere machines aan het begin van het proces worden gewoon volgepland, met als gevolg dat veel productieorders lang staan te wachten voor de spuitlijnen, die het tempo niet kunnen bijbenen.

Een groot deel van de doorlooptijd van Hulshofproducten wordt dus veroorzaakt door het snel na elkaar starten van veel orders die aan het eind van het productieproces allemaal dezelfde machines nodig hebben. Dit betekent dat de doorlooptijd van producten sterk kan worden verlaagd door het invoeren van een planningmethode die rekening houdt met de lagere capaciteit in de finishhal en de hoeveelheid werk op de productievloer beperkt om de wachttijden laag te houden. Er zijn meerdere alternatieve planningmethoden waarmee dit kan, waarvan Workload Control (WLC) de aantrekkelijkste is. Workload Control (Bijlage B: Workload Control en paragraaf 5.1: Beschrijving WLC) is een planningmethode die een maximum oplegt aan de hoeveelheid werk op de productievloer voor elke machine. Een restrictie kan bijvoorbeeld zijn dat alle orders in productie samen slechts 30 uur machinetijd op spuitmachine 312 nodig mogen hebben. Als dit maximum bereikt is, moeten nieuwe orders die gebruik maken van de machine wachten tot één van de orders op de vloer is bewerkt op de spuitmachine, waardoor er tijd vrijkomt. Eenmaal per dag wordt bepaald welke orders er vrijgegeven kunnen worden.

Aangezien Hulshof van plan is om het oude ERP-systeem te vervangen door nieuwe software, kan de nieuwe planningmethode het beste tegelijk met dit nieuwe programma worden geïmplementeerd. Zo kan er informatie uit het nieuwe systeem worden gebruikt als bron voor de Workload Control-berekeningen. Het WLC-systeem gebruikt namelijk informatie over de locatie van alle orders op de vloer, alsmede over welke bewerkingen al zijn uitgevoerd op de orders en welke nog niet. Als het nieuwe systeem de mogelijkheid biedt, zouden de WLC-berekeningen eventueel zelfs opgenomen kunnen worden als onderdeel van de software. Dit zou het invoeren van de nieuwe planningmethode veel gemakkelijker maken.

6.3: AANBEVELINGEN

Als de onnodige wachttijd voor machines is verlaagd door het invoeren van een nieuwe planningmethode, kan de doorlooptijd verder worden verminderd door aanpassingen aan het productieproces. Allereerst is in dit onderzoek duidelijk geworden dat het bewerkingsstation met de spuitmachine 311 en de drukmachine 367 een duidelijke flessenhals vormt voor het finishproces. Dit komt omdat de twee machines niet tegelijk gebruikt kunnen worden. Door ervoor te zorgen dat plamuurmachine 367 gemakkelijk voor beide droogtunnels geplaatst kan worden, kan de capaciteit van het gehele proces worden verhoogd en komt de bottleneck aan het begin van het proces te liggen, bij de vacuumeerlijn. Dit maakt het gemakkelijker om de wachtrijen in het systeem kort te houden en zorgt ervoor dat er niet te veel werk tegelijk wordt begonnen. Als de bottleneck aan het begin van het proces komt te liggen, kunnen de maxima aan de hoeveelheid werk voor de spuitmachines ook worden geschrapt, omdat die geen beperkende factor meer vormen.

Zoals gezien kan worden in paragraaf 3.2: Doorlooptijd, bestaat het grootste deel van de doorlooptijd uit bewerkingstijd en onnodige wachttijd. Daarna zijn de grootste delen batchtijd en omsteltijd. Deze twee onderdelen van de doorlooptijd kunnen worden verminderd door in kleinere batches te produceren en het machinepark flexibeler te maken. Op dit moment is het niet mogelijk om gemiddeld in kleinere batches te produceren: de omsteltijden zijn te hoog om nog aan orders te kunnen voldoen. Als in de toekomst echter geïnvesteerd wordt in nieuwe machines, wordt aanbevolen om flexibiliteit zwaar mee te laten wegen. Een wisselbare spuitcabine op de spuitlijnen zou er bijvoorbeeld voor zorgen dat deze machines slechts enkele minuten omsteltijd nodig zouden hebben. Dit zou het maken van kleine productiebatches mogelijk maken, waardoor het voorraadniveau in het eindmagazijn omlaag kan en de doorlooptijd van producten daalt.

Een groot deel van de doorlooptijdcomponent 'bewerkingstijd' bestaat uit ingeplande wachttijd. Deze wachttijd is nu standaard acht uur, wat inhoudt dat huden na spuit- of prentbewerkingen een hele dag moeten wachten. Als deze wachttijd omlaag kan naar bijvoorbeeld vier uur, zou dit een dag of in sommige gevallen zelfs meerdere dagen doorlooptijd kunnen schelen. Aanbevolen wordt dus om te onderzoeken of acht uur wachttijd na bewerking in alle gevallen nodig is. Zo nee, dan kan besloten worden om de wachttijd in bepaalde gevallen te verkorten.

GEBRUIKTE LITERATUUR

- Bechte, W. (1988). Theory and practice of load-oriented manufacturing control. *International Journal of Production Research* , 26, 375-395.
- Bertrand, J. W. (1983). The use of workload information to control job lateness in controlled and uncontrolled release production systems. *Journal of Operations Management* , 3(2), 79-92.
- Heerkens, H., & van Winden, A. (2012). *Geen Probleem: Een aanpak voor alle bedrijfskundige vragen en mysteries*.
- Hendry, L., Huang, Y., & Stevenson, M. (2013). Workload Control: A Successful implementation taking a contingency-based view of production planning and control. *International Journal of Operations and Production Management Vol. 33 No. 1* , 69-103.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2008). *Factory Physics*. Singapore: McGraw Hill.
- Hopp, W. J., Spearman, M. L., & Woodruff, D. L. (1990). Practical Strategies for Lead Time Reduction. *Manufacturing Review vol. 3, no. 2* , 78-84.
- Invensys International BV. (2001). *Finite Capacity Planning: Schedule Optimization*. London, United Kingdom.
- Krajewski, L. T., King, B. E., Ritzman, L. P., & Wong, D. S. (1987). Kanban, MRP, and Shaping the Manufacturing Environment. *Management Science* , vol. 33, No. 1, 39-57.
- Land, M., & Gaalman, G. (1996). Workload control concepts in job shops - A critical assessment. *International Journal of Production Economics* , 46-47 535-548.
- Little, J. D. (1961). A proof for the queuing formula: $L = \lambda W$. *Operations Research* , 383-387.
- Rahman, S.-U. (1998). Theory of constraints: a review of the philosophy and its applications. *International Journal of Operations & Production Management, vol. 28 no. 4* , 336-355.
- Riezebos, J. (2010). Design of POLCA material control systems. *International Journal of Production Research, 48:5* , 1455-1477.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See - Value-stream mapping to create value and eliminate muda*. Cambridge: Lean Enterprise Institute, Inc.
- Schrageheim, E., & Ronen, B. (1990). Drum-Buffer-Rope shop floor control. *Production and Inventory Management Journal, Third Quarter* , 18-22.
- Spearman, M. L., Woodruff, D. L., & Hopp, W. J. (1990). CONWIP: a pull alternative to kanban. *International Journal of Production Research* , vol 28, no. 5, 879-894.
- Stevenson, M., Hendry, L. C., & Kingsman, B. G. (2005). A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. *International Journal of Production Research* , Vol. 43, No. 5, 869-898.
- Stevenson, M., Huang, Y., Hendry, L. C., & Soepenbergh, E. (2011). The theory and practice of workload control: A research agenda and implementation strategy. *International Journal of Production Economics 131* , 689-700.
- Suri, R. (1998). *Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead Times*. Portland: Productivity, Inc.

Takahashi, K., Myreshka, & Hirotsu, D. (2005). Comparing CONWIP, synchronized CONWIP, and Kanban in complex supply chains. *International Journal of Production Economics*, 93-94: 25-40.

Tatsiopoulos, I. P. (1993). Simplified production management software for the small manufacturing firm. *Production Planning & Control*, 4(1), 17-26.

BIJLAGEN

BIJLAGE A: CONWIP

In 1990 presenteerden Spearman, Woodruff en Hopp een nieuw systeem voor het beheersen van doorlooptijden en voorraden onderhanden werk: CONWIP (Spearman, Woodruff, & Hopp, 1990). CONWIP is een alternatief voor Kanban dat net als dat systeem werkt volgens het *Pull*-principe: productie vindt pas plaats als de planning hier opdracht voor geeft. In tegenstelling tot kanban, waarbij voor elk onderdeel wordt bepaald hoeveel exemplaren er op voorraad en in de productie aanwezig mogen zijn, wordt bij CONWIP de hoeveelheid onderhanden werk voor de gehele fabriek bepaald. Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen verschillende producten. Een voorwaarde voor het invoeren van CONWIP is dat alle producten in partijen gemaakt worden die ongeveer even groot zijn en ongeveer even lang duren om te bewerken. Elke partij krijgt dan aan bij het vrijgeven aan de productie een nummer of een kaart, die gekoppeld blijft aan de partij tot deze klaar is om verkocht of opgeslagen te worden. Op dat moment wordt het nummer weer gekoppeld aan een nieuwe partij. Door het aantal nummers te bepalen, kan de hoeveelheid onderhanden werk in de fabriek worden vastgelegd. Bij gelijkblijvende capaciteit wordt met de hoeveelheid onderhanden werk ook de doorlooptijd bepaald (Little, 1961).

Als producten worden opgebouwd uit verschillende onderdelen die in de fabriek worden geproduceerd, betekent de vrijgave van een productiebatch dat de verschillende productiefabrikanten die de benodigde onderdelen maken, een order krijgen voor het aantal benodigde onderdelen voor een productiebatch. Deze onderdelen worden vervolgens samengevoegd tot het eindproduct. Dit gehele proces krijgt één nummer of kaart. Onder het kanban-productiesysteem zou bij elke afdeling voor productie van onderdelen een supermarkt geplaatst moeten worden. Bij complexe productieketens leidt CONWIP dan ook tot lagere voorraden en doorlooptijden dan Kanban (Takahashi, Myreshka, & Hirotsu, 2005).

Een productiesysteem dat werkt met het CONWIP-systeem wordt bestuurd aan de hand van vier variabelen en een zogenaamde backlog-lijst. De vier variabelen bepalen de productiecapaciteit en de doorlooptijd van de fabriek, de backlog-lijst is bepalend voor de volgorde van de uit te voeren productieorders. De vier variabelen die gebruikt worden om het CONWIP-proces aan te sturen zijn als volgt:

- M , het aantal productienummers dat in gebruik is. De variabele m bepaalt de hoeveelheid onderhanden werk die in het systeem aanwezig mag zijn en bepaalt dus ook de doorlooptijd van producten en, tot aan een bepaald niveau, de productiecapaciteit.
- Q , het productiequotum. Q is het aantal producten dat per tijdseenheid geproduceerd worden in de gewenste situatie.
- N , de hoeveelheid producten die maximaal boven quotum gemaakt mogen worden. Als het aantal gemaakte producten in een periode boven $Q+N$ uit stijgt, wordt productie voor die periode stilgelegd.
- R , een variabele die bepaalt wanneer er extra capaciteit moet worden ingepland. Deze variabele kan op meerdere manieren worden ingezet. Een simpel voorbeeld is bijvoorbeeld dat er extra capaciteit wordt ingepland als de productie aan het eind van een periode kleiner is dan $Q-R$.

Naast de vier variabelen is er de backlog-lijst, een lijst met alle uit te voeren productie, verdeeld in productiebatches. Aan de hand van verschillende variabelen, zoals de afleverdatum, de prioriteit of bijvoorbeeld de benodigde omsteltijd bij een bepaalde volgorde wordt een indeling gemaakt die geoptimaliseerd is naar een bepaalde waardefunctie. Dit kan bijvoorbeeld een functie zijn om de kosten zo laag mogelijk te maken.

BIJLAGE B: WORKLOAD CONTROL

Workload Control (WLC) (Land & Gaalman, 1996) is een verzameling concepten die er, net als CONWIP, op gericht zijn om de hoeveelheid werk op de productievloer te beperken. De WLC-concepten kennen net als CONWIP een orderlijst met geaccepteerde productietaken, waarvan regelmatig een order naar de werkvloer gestuurd wordt. Wanneer welke order gestuurd wordt, is afhankelijk van bepaalde regels. Zo kunnen taken die eerder klaar moeten zijn, eerder de vloer op gestuurd worden. Wanneer er taken de productie in gaan, is afhankelijk van de lengte van de rij voor bepaalde machines. Deze mag niet te lang worden, om de doorlooptijd en de voorraad onderhanden werk zo laag mogelijk te houden. Een korte rij voor de druktbezette machine(s) dient om eventueel defecten of uitval op te vangen. Het eerste opvallende verschil tussen CONWIP en Workload Control is de toevoeging van een extra controlepunt: WLC dicteert dat bij het aldanniet accepteren van productietaken moet worden gelet op de capaciteit van de productie en de hoeveelheid taken in de orderlijst. Hiermee biedt WLC een completere oplossing voor het MTO-bedrijf (Stevenson, Hendry, & Kingsman, 2005): het zorgt ervoor dat er niet meer werk wordt geaccepteerd dan binnen de opgegeven periode gedaan kan worden.

WLC-concepten werken met beslissingen op drie verschillende niveaus (Land & Gaalman, 1996). Het laagste niveau is hierbij het kiezen van taken uit de rij voor een machine, wat meestal gedaan wordt volgens het FIFO (First In, First Out)-principe of een andere simpele keuzeregels. Het tweede niveau is de *sequencing*-beslissing, die bepaalt in welke volgorde taken worden vrijgegeven aan de productie, en de *release*-beslissing. Sequencing gebeurt meestal aan de hand van een keuzeregels die gebaseerd is op de afleverdatum van de taak, terwijl Release wordt bepaald aan de hand van de hoeveelheid werk in het systeem. Het derde en hoogste niveau is de selectiebeslissing, die bepaalt welke taken worden opgenomen in de orderlijst. Bij deze beslissing moet rekening worden gehouden met de maximale capaciteit van de productie en het aantal taken dat al in de lijst staat. Land & Gaalman beschrijven voor de drie meest bekende WLC-concepten hoe de verschillende beslissingen worden genomen:

BECHTE'S WLC-CONCEPT

De *release*-beslissing onder Bechte's systeem (Bechte, 1988) wordt genomen aan de hand van drie variabelen: een *release period*, een *time limit* en een *load limit*. De beslissing om taken vrij te geven wordt periodiek genomen, aan het begin van elke *release period*. Alle taken in de orderlijst worden gesorteerd aan de hand van hun geplande vrijgavedatum. Deze wordt bepaald door de doorlooptijdnorm van alle bewerkingsstations af te trekken van de leverdatum van de taak. Alle taken die binnen het *time limit* van de geplande vrijgavedatum vallen, komen in aanmerking voor vrijgave. Aan het begin van de *release period* worden de beschikbare taken in volgorde vrijgegeven, totdat de *load limit* van een station wordt overschreden. Daarna moeten alle taken die ook van dit station gebruik maken, wachten tot de volgende *release period*. *Load limits* van machines worden bepaald aan de hand van de productiecapaciteit van de machine, de lengte van de rij aan het begin van de *release period*, en de gewenste lengte van de rij aan het eind van de *release period*. Bechte gebruikt kansrekening om de verwachte lengte van de rij aan het einde van de periode uit te rekenen aan de hand van het aantal taken dat zich nu in de rij bevindt, het aantal taken dat op dit moment in productie is en nog langs de machine moet en het aantal taken dat vrijgegeven wordt. Deze verwachte lengte mag niet boven de gewenste rijlengte aan het einde van de periode komen.

BERTRANDS WLC-CONCEPT

Het WLC-concept van Bertrand (Bertrand, 1983) werd ontwikkeld voor een semiconductorfabriek. Het concept gaat niet in op het bepalen van de volgorde van taken, maar vooral op het bepalen van de normen voor de hoeveelheid werk. De *release*-beslissing wordt periodiek genomen en het vrijgeven van taken wordt toegestaan zolang de hoeveelheid werk bij elk station onder de normwaarde blijft. Onder Bertrand wordt deze norm voor een station niet bepaald door de rijlengte, maar door de totale verwachte bewerkingstijd op het station van alle taken in het systeem die het nog moeten passeren. De norm bestaat uit twee delen: ten eerste

de geplande productie van het station gedurende de *release period*, en ten tweede de verwachte hoeveelheid werktijd op het station die nodig is om de taken in het systeem te verwerken. Aan de hand van de hoeveelheid werk die nu in het systeem zit, de verwachte output van het station, en de gewenste hoeveelheid werk dat aan het einde van de *release period* nog langs het station moet, wordt de totale werktijd bepaald die de vrij te geven taken mogen gebruiken. De verwachte bewerkingstijden bepaalt Bernard in zijn voorbeeld aan de hand van gemiddelden. De daadwerkelijke positie van taken in het systeem ten opzichte van het station wordt niet meegenomen in de berekeningen.

TATSIPOULOS' WLC-CONCEPT

Tatsiopoulos (Tatsiopoulos, 1993) ontwikkelde een WLC-concept voor een kleine onderdelenfabrikant. Het concept is verder uitgewerkt door andere wetenschappers. Er zijn in dit concept drie manieren om taken vrij te geven: ten eerste de meest gebruikelijke *push release*, die zoals bij de overige twee beschreven concepten periodiek plaatsvindt, ten tweede de *intermediate push release*, die afgedwongen kan worden door orders waar haast bij is of door orders waarvoor geen materialen beschikbaar zijn en dus even stil moeten staan, en ten derde de *intermediate pull release*. Deze laatste kan door een voorman worden ingezet als hij ziet dat zijn station ongepland zonder werk zit en als dit tot verdere vertraging kan leiden als er niet alvast ander werk wordt gedaan. De *sequencing*-beslissing wordt net als bij Bechte gedaan door geplande vrijgavedata, met het verschil dat onder Tatsiopoulos een gemiddelde bewerkingstijd wordt gebruikt om deze datum te berekenen. Op alle *release*-mechanismen is een *load limit* van toepassing, dat ze niet mogen overschrijden. Deze norm wordt, net als bij Bertrand, bepaald aan de hand van de bewerkingstijden van de taken in het systeem en in de orderlijst, met als toevoeging dat de bewerkingstijd van taken die het station reeds gepasseerd zijn, ook is opgenomen in de *load limit*.

CONCLUSIE

Naast de drie hier beschreven concepten zijn er nog vele anderen. Land & Gaalman geven enkele voorbeelden van *sequencing*- en *release*-regels die door andere wetenschappers zijn voorgesteld. Zo zijn er concepten die een focus leggen op het bezig houden van het druksbezette station en het zo veel mogelijk verdelen van taken over verschillende machines. Het lijkt er dus op dat voor elke mogelijke situatie een WLC-concept te bedenken is dat bij de indeling van de productie past. Hierin ligt meteen een deel van de sterkte van WLC (Stevenson, Hendry, & Kingsman, 2005). Een zwakte is de hoeveelheid aannames die moeten worden gedaan om het systeem te kunnen invoeren: zo moet de vraag naar het product redelijk stabiel zijn en moet de mix van verschillende producten overeenkomen met de voorspelling die is gedaan om de norm te bepalen. Dit maakt dat bedrijven goed moeten kijken welke aannames gedaan kunnen worden in hun situatie en welk WLC-concept hier het beste bij past.

BIJLAGE C: THEORY OF CONSTRAINTS

De Theory of Constraint is een filosofie die in de jaren '70 en '80 is ontwikkeld door E.M. Goldratt en gepubliceerd in de vorm van een roman getiteld *The Goal*. Het concept kan als volgt worden samengevat (Rahman, 1998):

- Elk proces heeft tenminste één beperkende factor (*Constraint*)
- Het bestaan van constraints betekent een mogelijkheid voor verbetering.

Goldratt bedacht dat elk proces in principe beperkt wordt door één of enkele factoren, die in de weg staan van het nog succesvoller worden van het proces. Deze factoren, constraints, kunnen zwakke of trage machines zijn, maar ook beperkte vraag naar producten of het ontbreken van technologie. Door het wegnemen van deze constraints kan het gehele proces worden verbeterd.

De Theory of Constraint van Goldratt laat zich vertalen naar een logistiek besturingsmodel, dat is gebaseerd op het bestaan van een Constraint. Dit is meestal de machine met de hoogste bezetting of, in het geval van een continuë stroom van producten, de machine met de laagste capaciteit. Het besturingsmodel binnen de TOC, ook wel het Drum-Buffer-Rope-systeem genoemd, is er dan ook op gericht om de machine die de Constraint vormt zo efficiënt mogelijk te laten produceren. Stilvallen van productie bij een andere machine die geen constraint vormt is niet erg, zo lang het knelpunt in de productie maar door kan draaien. Het gehele proces is er dan ook op gericht om dit mogelijk te maken.

Niet lang na het verschijnen van het boek van Goldratt werd het Drum-Buffer-Rope-systeem (DBR) beschreven in een wetenschappelijke publicatie (Schrage & Ronen, 1990): het systeem DBR kan aan de hand van de drie woorden beschreven worden die de naam van het systeem uitmaken. Ten eerste Drum: dit woord verwijst naar een trom die het tempo van productie aangeeft. Dit tempo wordt in een DBR-systeem bepaald door de constraint: alle bewerkingen in het systeem gebeuren volgens het maximale tempo dat door de constraint wordt bepaald. Dit kan allerlei vormen aannemen: het tempo waarin materialen beschikbaar komen, de langzaamste of drukstbezette machine, of het beleid van het management kunnen het tempo bepalen.

Een buffervoorraad zorgt ervoor dat de constraint maximaal benut kan blijven worden. Mocht bijvoorbeeld een drukbezette machine de constraint vormen en er valt een machine uit die in het proces vóór de constraint staat, dan is het handig om een buffervoorraad voor de constraint-machine te hebben staan, zodat deze gewoon door kan produceren. Op deze manier gaat er geen tijd verloren, mits de defecte machine op tijd gerepareerd wordt om de buffer weer aan te vullen. Door de grootte van de buffer te bepalen kan de doorlooptijd van producten worden gereguleerd, alsmede het risico op tijdverspilling bij de constraint.

Rope: van oudsher werd een touw gebruikt om in sommige fabrieken signalen door te geven. In het geval van DBR is het touw een systeem dat ervoor zorgt dat alle onderdelen van het systeem volgens het tempo van de constraint werken, en dus niet meer doen dan nodig. Dit kan bijvoorbeeld door een schema op te stellen voor het vrijgeven van taken of materialen, zodat er niet sneller taken worden vrijgegeven dan de constraint ze kan verwerken.

Het DBR-systeem kent in principe een vaste voorraad onderhanden werk vóór de constraint en een vaste capaciteit bij de constraint, en daarmee ook een vaste gemiddelde doorlooptijd tot aan de constraint. Als er nog bewerkingen plaatsvinden na de constraint, hoeven deze niet gepland of gereguleerd te worden. Zij zijn immers niet bepalend voor de capaciteit en de efficiëntie van het proces. Het DBR-systeem lijkt erg op CONWIP, met als grootste verschil dat bij CONWIP de voorraad onderhanden werk over het gehele proces vastligt, terwijl dat bij DBR alleen tot aan de constraint het geval is. Een ander verschil is dat het bewerkingstempo bij CONWIP niet vastligt; alleen de voorraad onderhanden werk ligt vast onder dit systeem. De ontwikkelaars van CONWIP stellen daarom dat hun systeem beter presteert als de data over capaciteit niet

goed kloppen (Spearman, Woodruff, & Hopp, 1990). Verder stellen ook zij dat de systemen sterk op elkaar lijken.

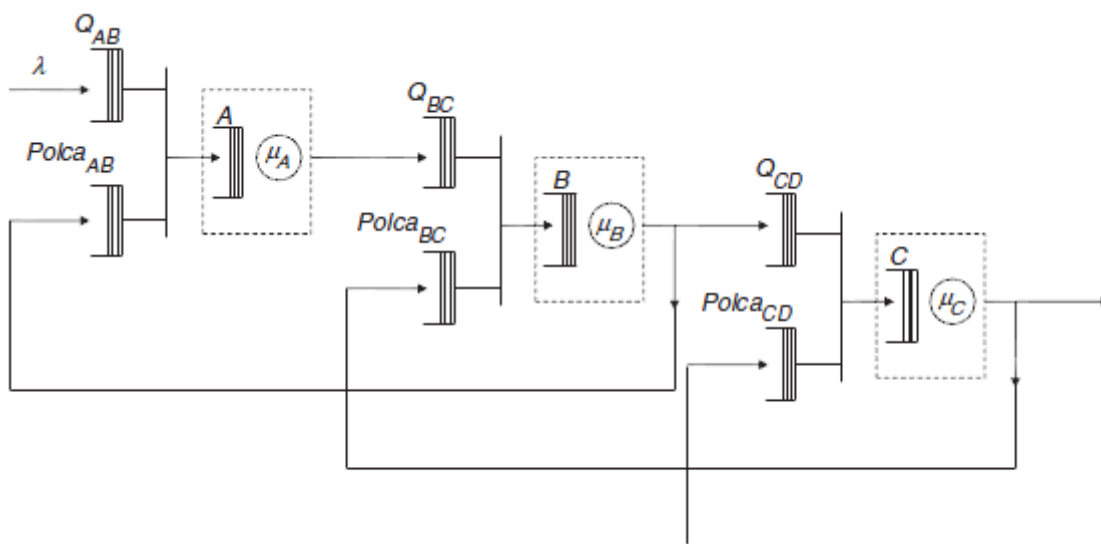
BIJLAGE D: POLCA

POLCA is een afkorting van Paired-cell Overlapping Loops of Cards Authorization, een systeem dat in 1998 werd geïntroduceerd door Rajan Suri als onderdeel van zijn managementtheorie genaamd Quick Response Manufacturing (Suri, 1998). Het systeem is erop gericht om doorlooptijden te verkorten door de hoeveelheid onderhanden werk vast te leggen. Hierin lijkt het systeem dus op CONWIP. Het verschil is echter dat de maximale voorraad onderhanden werk niet alleen voor het gehele systeem wordt vastgelegd: onder POLCA wordt de productie verdeeld in cellen. Deze cellen zijn bewerkingsstations die bepaalde bewerkingen kunnen uitvoeren. Een cel kan bestaan uit één machine, maar ook uit meerdere machines of alleen opslagruimte. Voor elke mogelijke route tussen twee cellen wordt de hoeveelheid onderhanden werk vervolgens aan banden gelegd door het gebruiken van kaarten. Elke route tussen twee cellen heeft een maximaal aantal kaarten, waardoor er een maximum is aan het aantal taken dat zich tussen twee cellen mag bevinden. De verschillende manieren die zijn beschreven om een POLCA-systeem te ontwerpen dat bij bepaalde typen productie past, worden samengevat door Riezebos (Riezebos, 2010). Hij identificeert drie categorieën waarin keuzes moeten worden gemaakt: Routing, Release en Facilities. Voor elk van deze categorieën zullen de toepasselijke technieken nu worden beschreven.

ROUTING

Riezebos identificeert in deze categorie twee zaken die bedrijven moeten ontwerpen als ze het POLCA-systeem willen invoeren: de kaarten en de routes tussen cellen. Ten eerste de kaarten: deze moeten een duidelijk visueel signaal vormen. Dit kan bijvoorbeeld door kleurcodes te gebruiken: elke bewerkingscel krijgt een kleur en elke kaart twee kleuren: één van de cel waar hij vandaan komt en één van de cel waar hij heen gaat. Zo is duidelijk te zien bij welke route een kaart hoort.

Ten tweede de cellen en de routes daartussen. In de onderstaande figuur is een POLCA-cellenverdeling te zien met de routes die ertussen lopen.



FIGUUR 4: POLCA-CELLEN MET WACHTRIEN

Orders die worden vrijgegeven komen eerst in Q_{AB} terecht, waar ze wachten tot er een kaart vrijkomt. Het soort kaart dat ze nodig hebben wordt bepaald door de route die de kaarten door de fabriek volgen. In figuur 2 is er sprake van een vaste route, dus is er per bewerkingscel slechts één soort kaart. Zodra er een AB-kaart

vrijkomt, wordt deze gekoppeld aan de eerste order in de rij voor AB. Deze order kan dan meteen bewerkt worden zodra de machine vrijkomt. Als er maar één AB-kaart beschikbaar is, zal de machine altijd vrij zijn, omdat de kaart pas vrijkomt als de order bij machine een nieuwe kaart krijgt. Als er meerdere AB-kaarten zijn, kan het zijn dat een order even moet wachten. Zodra de bewerking in cel A klaar is, wordt de order naar cel B gereden. Daar wacht hij in de rij BC, voor producten die in cel B bewerkt moeten worden en daarna naar cel C moeten, tot er een BC-kaart vrijkomt. Zodra er een BC-kaart vrij is, wordt de AB-kaart verwisseld voor de BC-kaart en kan er een nieuwe order toegelaten worden in cel A. De gemiddelde doorlooptijd van het systeem wordt in een POLCA-systeem bepaald door het aantal kaarten per route. Het gewenste aantal kan worden bepaald door het gebruiken van de wet van Little (Riezebos, 2010):

$$n_{AB} = (L_A + L_B + W_{Polca_{AB}} + W_{Q_{BC}} + T_{AB} + T_{BA}) * \lambda$$

De termen tussen de haakjes staan hierbij respectievelijk voor de bewerkingstijd in cel A, de bewerkingstijd in cel B, de wachttijden voor cellen A en B, en de transporttijden tussen A en B. De wachttijd voor A betekent alleen de wachttijd na het toewijzen van een AB-kaart aan de order en de wachttijd voor B alleen de wachttijd totdat de order een BC-kaart krijgt. De transporttijden slaan op het transport van de order van A naar B en het transport van de AB-kaart die moet worden teruggebracht van cel B naar cel A. De termen tussen de haakjes slaan dus op de totale gemiddelde tijd die een Polca-kaart niet beschikbaar is voor toewijzing als gevolg van het koppelen aan een bepaalde order. De λ staat voor de hoeveelheid orders per tijdseenheid er van A naar B worden getransporteerd (en dus ook de hoeveelheid die de cellen verwerken). n_{AB} is het aantal kaarten dat beschikbaar is voor de route tussen A en B.

RELEASE

Het vrijgeven van taken onder het POLCA-systeem gebeurt als volgt: de productieplanner voert een order in in het systeem en geeft voor elke bewerkingscel die de order moet passeren een vroegste begindatum aan. De cel mag de order niet aanraken tot deze begindatum. De planner kan geen invloed uitoefenen op de echte bewerkingsdatum, deze wordt bepaald door de medewerkers en de polca-kaarten. Elke bewerkingscel kan op een beeldscherm of bord de orders zien die de komende tijd de betreffende cel gaan passeren, gesorteerd op vroegste begindatum. Op basis hiervan kunnen ze beslissen aan welke order ze een Polca-kaart willen toewijzen. Hiervoor kunnen regels worden opgesteld zoals FIFO of 'vroegste begindatum eerst'.

FACILITIES

Een zeer sterke eigenschap van pull-planningsystemen is hun vermogen om zeer snel te reageren op een veranderde situatie op de werkvloer. Soms gebeuren er echter dingen waar het POLCA-kaartensysteem niet goed op kan reageren, bijvoorbeeld het stilleggen van een bepaalde order of het samenkomen van twee onderdelen in een assemblage. Voor deze gevallen moeten, zo stelt Riezebos, maatregelen worden genomen (Riezebos, 2010). In het geval van een order die wordt stilgelegd kan het bijvoorbeeld handig zijn om tijdelijk een extra Polca-kaart aan het systeem toe te voegen, zodat het op dezelfde manier door kan draaien. Zodra de order weer verder mag, kan de extra kaart worden weggehaald.

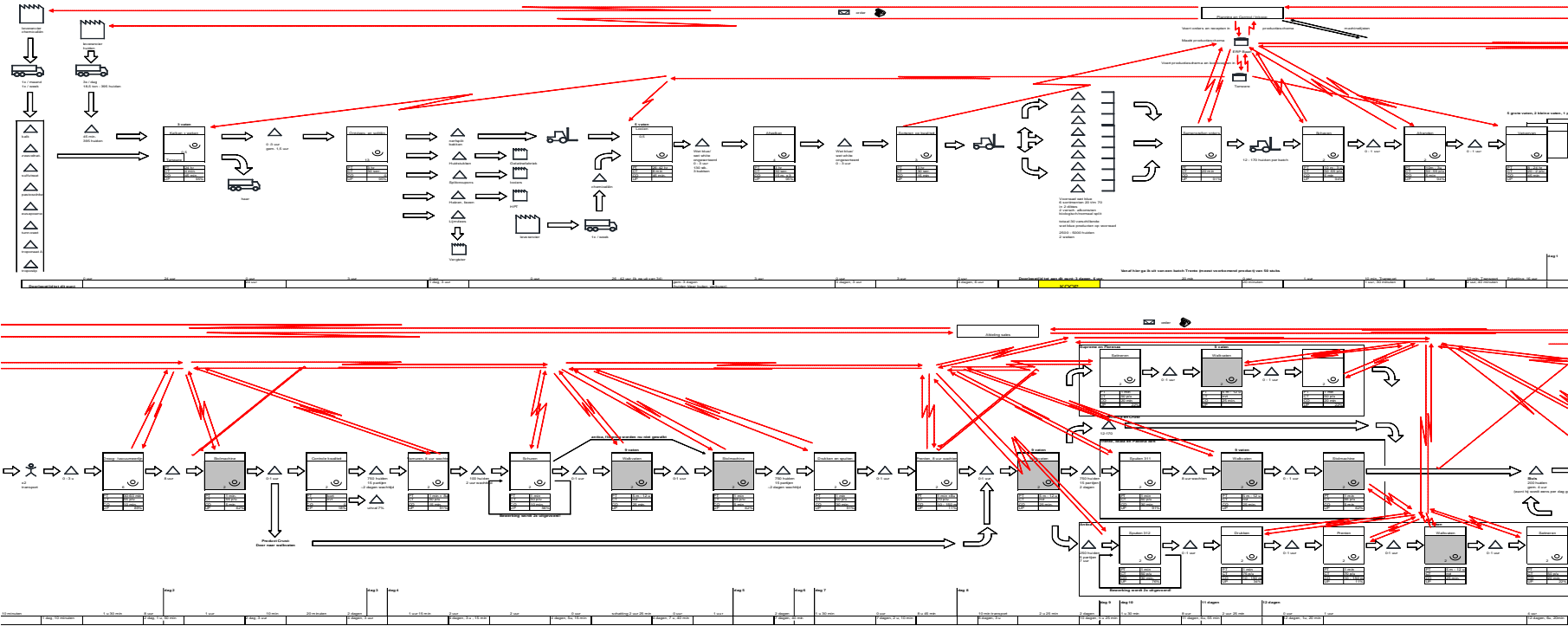
BIJLAGE E: MRP

MRP is een systeem gebaseerd op push waarbij de vraag naar producten voorspeld wordt, waarna een schema wordt berekend om aan de voorspelde vraag te voldoen met behulp van de productiemiddelen die aanwezig zijn. Zo wordt er een schema gemaakt voor alle machines, medewerkers en materialen in het bedrijf. MRP-software wordt doorgaans ontworpen om bruikbaar te zijn voor vele verschillende productiesystemen en – inrichtingen en wordt vaak aangeboden in combinatie met andere software voor het beheren van bijvoorbeeld klantrelaties of financiën (Stevenson, Hendry, & Kingsman, 2005). Door gebruik van deze software kunnen alle medewerkers van het bedrijf beschikken over informatie betreffende de situatie op de productievloer of de orders die op dit moment in het systeem staan.

Make-to-orderbedrijven gebruiken minder vaak MRP-systemen dan bedrijven met eentoniger producten of voorspelbare vraag, maar toch heeft 34% van ondervraagde make-to-orderbedrijven een MRP-pakket aangeschaft (Stevenson, Hendry, & Kingsman, 2005). De helft van deze bedrijven heeft dit gedaan omdat een grote afnemer de mogelijkheid wilde hebben om elektronisch te handelen. Omdat MRP-systemen doorgaans erg duur zijn om aan te passen en standaardpakketten niet altijd bruikbaar zijn voor make-to-orderbedrijven, stellen Stevenson *et al.* dat een dergelijk systeem in veel gevallen de hoge kosten niet waard is. Dit is vooral het geval voor bedrijven met zeer diverse productassortimenten.

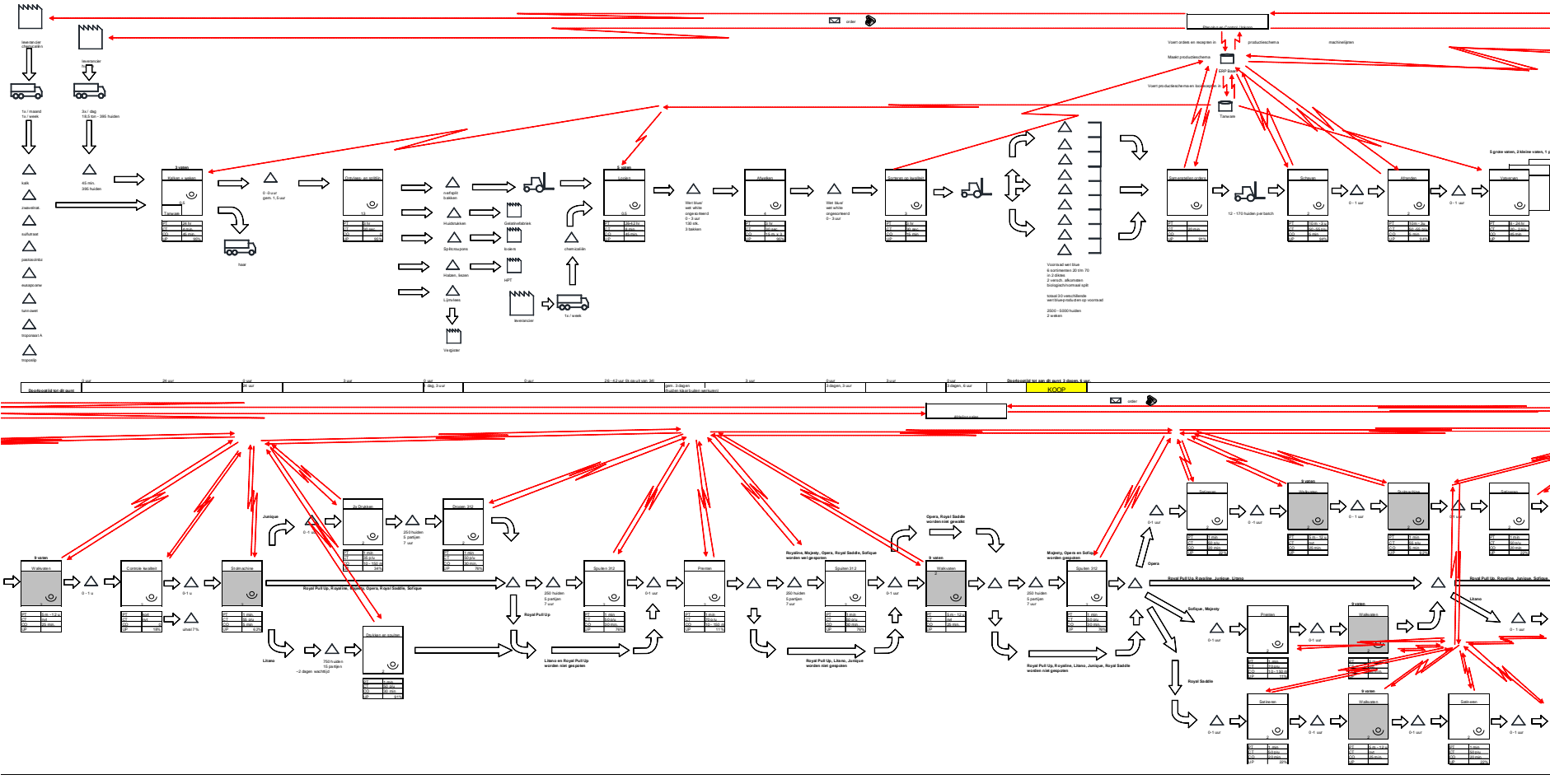
BIJLAGE F: VALUE STREAM MAP GESCHUURD LEER

Hieronder is de Value Stream Map afgedrukt die is gemaakt voor de productcategorie 'geschuurd leer'. De Value Stream Map is zeer uitgebreid en kan in een A4-verslag niet leesbaar worden uitgeprint. Daarom zal bij dit verslag ook een grote versie van deze Value Stream Map worden ingeleverd en kan op verzoek een digitale versie worden ingezien.



BIJLAGE G: VALUE STREAM MAP VOLNERF LEER

Hieronder is de Value Stream Map afgedrukt die is gemaakt voor de productcategorie 'volnerf leer'. De Value Stream Map is zeer uitgebreid en kan in een A4-verslag niet leesbaar worden uitgeprint. Daarom zal bij dit verslag ook een grote versie van deze Value Stream Map worden ingeleverd en kan op verzoek een digitale versie worden ingezien.



BIJLAGE H: BEREKENING OPBOUW DOORLOOPTIJD

In deze bijlage staan de berekeningen van de doorlooptijden van de verschillende finish-producten die zijn gebruikt in paragraaf 3.3. De berekeningen worden per product weergegeven.

TRENTO

	Bewerking	Omstel	Transport	Buffer	Onderdelen	Batchtijd	Gem. Doorlooptijd
samenst	0:20:00		0:05:00				
schaven	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
afranden	0:01:00		0:05:00			0:15:00	
vatverven	7:15:00	0:45:00	0:10:00				
drooglijn	0:30:00	0:10:00				1:00:00	
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
stollen	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
controle	0:10:00		0:10:00	0:30:00			
plamuren	0:01:00	0:15:00		16:15:00		0:15:00	
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
schuren	0:02:00	0:10:00	0:05:00	2:00:00		0:30:00	
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
stollen	0:01:00	0:05:00	0:10:00			0:15:00	
drukkenspuiten	0:01:00	0:30:00	0:05:00	16:15:00		0:15:00	
prenten	0:50:00						
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
spuiten 311	0:50:00	0:30:00	0:05:00	16:15:00			
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
stollen	0:01:00	0:05:00	0:10:00			0:15:00	
sluis			0:10:00			4:00:00	
controle	0:08:00						
meetmachine	0:01:00	0:08:00				0:15:00	
	40:13:00	4:03:00	2:10:00	52:15:00	0:00:00	7:30:00	106:11:00

SUPREME

	Bewerking	Omstel	Transport	Buffer	Onderdelen	Batchtijd	Gem. Doorlooptijd
samenst	0:20:00		0:05:00				
schaven	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
afranden	0:01:00		0:05:00			0:15:00	
vatverven	7:15:00	0:45:00	0:10:00				
drooglijn	0:30:00	0:10:00				1:00:00	
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
stollen	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
controle	0:10:00		0:10:00	0:30:00			
plamuren	0:01:00	0:15:00		16:15:00		0:15:00	
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
schuren	0:02:00	0:10:00	0:05:00	2:00:00		0:30:00	
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
stollen	0:01:00	0:05:00	0:10:00			0:15:00	
drukkenspuiten	0:01:00	0:30:00	0:05:00	16:15:00		0:15:00	
prenten	0:50:00						
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
satineren	0:01:00		0:05:00			0:15:00	
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
satineren	0:01:00		0:05:00			0:15:00	
sluis			0:10:00			4:00:00	
controle	0:08:00						
meetmachine	0:01:00	0:08:00				0:15:00	
	39:24:00	3:28:00	2:05:00	36:00:00	0:00:00	7:45:00	88:42:00

SCALA

	Bewerking	Omstel	Transport	Buffer	Onderdelen	Batchtijd	Gem. Doorlooptijd
samenst	0:20:00		0:05:00				
schaven	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
afranden	0:01:00		0:05:00			0:15:00	
vatverven	7:15:00	0:45:00	0:10:00				
drooglijn	0:30:00	0:10:00				1:00:00	
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
stollen	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
controle	0:10:00		0:10:00	0:30:00			
plamuren	0:01:00	0:15:00		16:15:00		0:15:00	
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
schuren	0:02:00	0:10:00	0:05:00	2:00:00		0:30:00	
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
stollen	0:01:00	0:05:00	0:10:00			0:15:00	
drukkenspuiten	0:01:00	0:30:00	0:05:00	16:15:00		0:15:00	
prenten	0:50:00						
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
spuiten 311	0:50:00	0:30:00	0:05:00	16:15:00			
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
stollen	0:01:00	0:05:00	0:10:00			0:15:00	
sluis			0:10:00			4:00:00	
controle	0:08:00						
meetmachine	0:01:00	0:08:00				0:15:00	
	40:13:00	4:03:00	2:10:00	52:15:00	0:00:00	7:30:00	106:11:00

ROYAL PULL UP

	Bewerking	Omstel	Transport	Buffer	Onderdelen	Batchtijd	Gem. Doorlooptijd
samenst	0:20:00		0:05:00				
schaven	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
afranden	0:01:00		0:05:00			0:15:00	
vatverven	7:15:00	0:45:00	0:10:00				
drooglijn	0:30:00	0:10:00				1:00:00	
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
stollen	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
controle	0:10:00		0:10:00	0:30:00			
stollen	0:01:00	0:05:00	0:10:00			0:15:00	
drukken	0:02:00		0:05:00			0:30:00	
drogen 312	0:01:00					0:15:00	
wachttijd	8:00:00						
prenten	0:50:00						
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
sluis			0:10:00			4:00:00	
controle	0:08:00						
meetmachine	0:01:00	0:08:00				0:15:00	
	37:21:00	2:08:00	1:35:00	1:30:00	0:00:00	7:00:00	49:34:00

JUNIQUE

	Bewerking	Omstel	Transport	Buffer	Onderdelen	Batchtijd	Gem. Doorlooptijd
samenst	0:20:00		0:05:00				
schaven	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
afranden	0:01:00		0:05:00			0:15:00	
vatverven	7:15:00	0:45:00	0:10:00				
drooglijn	0:30:00	0:10:00				1:00:00	
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
stollen	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
controle	0:10:00		0:10:00	0:30:00			
stollen	0:01:00	0:05:00	0:10:00			0:15:00	
drukken	0:02:00		0:05:00			0:30:00	
drogen 312	0:01:00					0:15:00	
wachttijd	8:00:00						
spuiten 312	0:01:00	0:30:00	0:05:00	7:00:00		0:15:00	
prenten	0:50:00						
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
sluis			0:10:00			4:00:00	
controle	0:08:00						
meetmachine	0:01:00	0:08:00				0:15:00	
	37:22:00	2:38:00	1:40:00	8:30:00	0:00:00	7:15:00	57:25:00

AUTOMOTIVE

	Bewerking	Omstel	Transport	Buffer	Onderdelen	Batchtijd	Gem. Doorlooptijd
samenst	0:20:00		0:05:00				
schaven	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
afranden	0:01:00		0:05:00			0:15:00	
vatverven	7:15:00	0:45:00	0:10:00				
drooglijn	0:30:00	0:10:00				1:00:00	
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
stollen	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
controle	0:10:00		0:10:00	0:30:00			
plamuren	0:01:00	0:15:00		16:15:00		0:15:00	
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
schuren	0:02:00	0:10:00	0:05:00	2:00:00		0:30:00	
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
stollen	0:01:00	0:05:00	0:10:00			0:15:00	
drukkenspuiten	0:01:00	0:30:00	0:05:00	16:15:00		0:15:00	
prenten	0:50:00						
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
sluis			0:10:00			4:00:00	
controle	0:08:00						
meetmachine	0:01:00	0:08:00				0:15:00	
	37:22:00	3:03:00	1:50:00	36:00:00	0:00:00	7:15:00	85:30:00

LITANO

	Bewerking	Omstel	Transport	Buffer	Onderdelen	Batchtijd	Gem. Doorlooptijd
samenst	0:20:00		0:05:00				
schaven	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
afranden	0:01:00		0:05:00			0:15:00	
vatverven	7:15:00	0:45:00	0:10:00				
drooglijn	0:30:00	0:10:00				1:00:00	
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
invochten	0:01:00	0:05:00	0:05:00			0:15:00	
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
controle	0:10:00		0:10:00	0:30:00			
stollen	0:01:00	0:05:00	0:10:00			0:15:00	
drukkenspuiten	0:01:00	0:30:00	0:05:00	16:15:00		0:15:00	
prenten	0:50:00						
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
stollen	0:01:00	0:05:00	0:10:00			0:15:00	
sluis			0:10:00			4:00:00	
controle	0:08:00						
meetmachine	0:01:00	0:08:00				0:15:00	
	29:20:00	2:43:00	1:45:00	17:15:00	0:00:00	6:45:00	57:48:00

ANTICA

	Bewerking	Omstel	Transport	Buffer	Onderdelen	Batchtijd	Gem. Doorlooptijd
samenst	0:20:00		0:05:00				
schaven	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
afranden	0:01:00		0:05:00			0:15:00	
vatverven	7:15:00	0:45:00	0:10:00				
drooglijn	0:30:00	0:10:00				1:00:00	
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
stollen	0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:30:00		0:15:00	
controle	0:10:00		0:10:00	0:30:00			
plamuren	0:01:00	0:15:00		16:15:00		0:15:00	
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
schuren	0:02:00	0:10:00	0:05:00	2:00:00		0:30:00	
stollen	0:01:00	0:05:00	0:10:00			0:15:00	
drukkenspuiten	0:01:00	0:30:00	0:05:00	16:15:00		0:15:00	
prenten	0:50:00						
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
2x spuiten 312	0:02:00	0:30:00	0:05:00	7:00:00		0:30:00	
drukken	0:00:40		0:05:00			0:15:00	
prenten	0:50:00						
wachttijd	8:00:00		0:10:00				
walken	2:00:00	0:25:00	0:05:00				
satineren	0:01:00		0:05:00			0:15:00	
sluis			0:10:00			4:00:00	
controle	0:08:00						
meetmachine	0:01:00	0:08:00				0:15:00	
	46:15:40	3:33:00	2:15:00	43:00:00	0:00:00	8:15:00	103:18:40

BIJLAGE I: PARAMETERS WLC

Het succes van een Workload Control-planningmethode staat of valt met de instelling van het systeem: welke maxima worden er voor de machines gehanteerd, in welke volgorde moeten orders worden vrijgegeven en welke leverdata worden er aan orders gegeven? In deze bijlage wordt berekend hoe een Workload Control-systeem binnen Hulshof moet worden ingesteld voor goede prestaties. Daarna kunnen de maxima eventueel worden aangepast als dit nodig blijkt te zijn.

Onder Workload Control wordt op drie verschillende momenten gepland in de productie. Deze momenten zijn besproken in Bijlage B: Workload Control en in Paragraaf 5.1: Beschrijving WLC. Voor elke soort planning zal nu worden besproken hoe deze kan worden gereguleerd.

I.1: VRIJGAVE ORDERS

De beperking aan het vrijgeven van orders onder WLC is bedoeld om overbelasting van machines te voorkomen. Om die reden wordt er een maximum opgelegd aan de hoeveelheid werktijd die alle orders in het systeem in totaal nodig hebben op elke machine. Of aan elke machine een maximum moet worden gekoppeld, is afhankelijk van de inrichting van het productieproces. Bij Hulshof volgen alle producten aan het begin van het proces dezelfde route door het proces. Na het wet blue-magazijn worden huden geschaafd, afgerand, gevatverfd en nagelood en gedroogd op de vacuumeerlijn. De huden komen na het drogen niet meer terug in dit deel van proces, wat het onnodig maakt om voor alle machines afzonderlijk een maximum in te stellen. Beter is het om voor de machine met de laagste capaciteit een maximum te hanteren. Dit kan, afhankelijk van de grootte van productiebatches, de vacuumeerlijn of de vatververij zijn. Er moeten dus twee maxima worden ingesteld: één voor de vatververij en één voor de vacuumeerlijn.

Na het drogen op de vacuumeerlijn volgt elk product een andere route door de finishhal, maar deze verschillende routes komen op veel punten overeen. Dit is ook te zien in de Value Stream Maps uit bijlagen F en G. Opvallend is dat de meeste machines maximaal één keer worden bezocht en dat de spuitmachines, de walkvaten en de stolmachine een uitzondering vormen op deze regeling. Er zijn echter meerdere walkvaten en de stolmachine is snel omstelbaar, terwijl de spuitmachines de langste omsteltijd van alle machines hebben. Dit maakt dat alleen op de spuitmachines een maximum hoeft te komen. De andere machines zullen dan niet overbelast raken, tenzij er nieuwe producten worden ontwikkeld die vaker worden gedrukt of geprent dan gespoten. Omdat de de bewerkingstijden en machinetijd op de spuitmachine van de producten van Hulshof dicht bij elkaar liggen, is het mogelijk om hier een regel uit het WLC-concept van Tatsiopoulos te gebruiken (Tatsiopoulos, 1993). De aannames hierbij zijn dat de leerproducten in het finishproces redelijk uniform verdeeld zijn over het gehele proces en dat de gemiddelde grootte van een productiebatch ongeveer gelijk blijft aan de huidige situatie of hier niet veel van afwijkt. De hoge omsteltijd vlak de machinetijd van orders erg af, waardoor deze aanname veilig kan worden gedaan. Het maximum aan het aantal orders in het systeem is dan gelijk aan de volgende formule:

$$\text{Maximaal aantal orders} = \frac{\left(\frac{\text{Gemiddeld aantal spuitbeurten per order}}{\text{Gewenste totale doorlooptijd}} \right)}{\text{Machinetijd per spuitbeurt}}$$

De ordervrijgave moet dus gebeuren met de volgende regels:

Aan het begin van elke dag mag de bovenste order op de orderlijst worden vrijgegeven, mits wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:

- Er is een vat vrij om de order in te nalooien en te vatverven
- Er is de volgende dag genoeg capaciteit beschikbaar om de order te vacuumeren (dit betekent een maximum van ca. 450 á 500 huden per dag)

- Een order geschuurd leer mag alleen worden vrijgegeven als er minder dan $(2,525 / 59:16) / 1:00 = 24$ orders geschuurd leer in productie zijn
- Een order volnerf leer mag alleen worden vrijgegeven als er minder dan $(1,42 / 26:45) / 1:00 = 27$ orders volnerf leer in productie zijn

Het onderscheid tussen geschuurd en volnerf leer is gemaakt omdat geschuurd leer alleen op spuitmachine 311 wordt gespoten en volnerf leer alleen op spuitmachine 312. In plaats van voor elke order het spuitrecept te bekijken, kan dus gebruik worden gemaakt van dit onderscheid.

Als na vrijgave van de bovenste order nog steeds wordt voldaan aan de voorwaarden, mag ook de volgende order worden vrijgegeven. Als de bovenste order niet voldoet aan de voorwaarden, maar één van de volgende orders wel, mag die al worden vrijgegeven. Om orders aan deze voorwaarden te kunnen toetsen, is het belangrijk dat er informatie wordt bijgehouden over welke orders zich in productie bevinden en wanneer elke bewerking wordt uitgevoerd. Aangezien dit nu al gebeurt binnen Hulshof, wordt dit niet als een bezwaar gezien. Belangrijk is dat in de finishhal zichtbaar is welke orders zich waar bevinden, zodat er alvast walsen gewisseld kunnen worden en verf kan worden gemengd. Ook belangrijk om te noemen is dat als de bottlenecks in het proces bij andere bewerkingen komen te liggen, bijvoorbeeld als plamuurmachine 367 een eigen droogtunnel krijgt of ingezet kan worden op beide droogtunnels, de vrijgaveregels moeten worden aangepast. Het heeft immers alleen zin om maxima op te leggen aan de drukstbezette machines in het proces.

I.2: ORDERLIJST EN KLANTENCONTACTFASE

Zoals bekend bepaalt de volgorde van de orderlijst welke orders als eerste worden vrijgegeven. Orders worden daarom gesorteerd op hun startdatum: leverdatum minus gemiddelde bewerkingstijd. De orders met de laagste waarden staan bovenaan in de lijst. Orders met topprioriteit krijgen een vroege leverdatum en komen daardoor bovenaan in de lijst te staan, zodat ze als eerste worden vrijgegeven.

Om ervoor te zorgen dat leverdata realistisch worden geschat, is het belangrijk dat er niet meer orders worden ingepland met een bepaalde leverdatum dan de productie kan maken. Elke startdatum heeft daarom een maximaal aantal orders dat erop mag worden ingepland. Dit aantal is gebonden door de capaciteit van de vacuumeerlijn en die van de vatververij: er mogen niet meer orders worden ingepland dan er verfvaten zijn en er mogen niet meer orders worden ingepland dan de vacuumeerlijn kan verwerken. De verkoopafdeling moet deze regel in ere houden bij het accepteren en inplannen van orders.

BIJLAGE J: SCHATTING VARIABELEN VUT

De lengte van de wachtrij voor de spuitmachines wordt geschat door middel van de VUT-vergelijking (Hopp & Spearman, Factory Physics, 2008). Met deze vergelijking kan de wachttijd voor een machine (CT_q) worden berekend aan de hand van de bewerkingstijd (inclusief omstellen) t_e , de bezettingsgraad u en de gekwadrateerde variatiecoëfficiënten van de bewerkingstijd (c_e^2) en de tijd tussen aankomsten van batches (c_a^2). De variatiecoëfficiënt van een proces is de standaarddeviatie van het proces σ gedeeld door de gemiddelde procestijd t . De VUT-vergelijking luidt:

$$CT_q(G|G|1) = \left(\frac{c_e^2 + c_a^2}{2} \right) \left(\frac{u}{1-u} \right) t_e$$

De variabelen die nodig zijn om de VUT-berekening te kunnen uitvoeren, schatten we aan de hand van informatie uit het ERP-systeem van Hulshof en uit dit verslag. Alle variabelen die in tijd worden uitgedrukt, worden in uren genoteerd.

De variabiliteit van bewerkingstijden inclusief omstellen, c_e^2 , wordt berekend door de gekwadrateerde standaarddeviatie van de bewerkingstijd σ_e^2 te delen door de gekwadrateerde gemiddelde bewerkingstijd t_e^2 . t_e^2 is bekend en is gelijk aan $(3/4)^2$ uur per batch. σ_e^2 kan worden berekend met de volgende formule:

$$\sigma_e^2 = \sigma_0^2 + \sigma_s^2$$

De standaarddeviatie van de bewerkingstijd van een batch σ_0 is erg laag, omdat de machine op een vast tempo werkt. Deze wordt daarom geschat op 5 minuten. Omdat omstellen (het schoonmaken van de machine) tussen de 10 en de 45 minuten kan duren afhankelijk van de gradatie van de gebruikte kleur, schatten we de standaarddeviatie op 15 minuten. Deze twee standaarddeviaties zijn onafhankelijk van elkaar en mogen dus gekwadrateerd bij elkaar worden opgeteld. De gekwadrateerde standaarddeviatie van de bewerkingstijd komt hiermee uit op $\sigma_e^2 = 0.0694$. De gekwadrateerde variatiecoëfficiënt c_e^2 wordt dan gelijk aan $0,0694/(3/4)^2 = 0,123$.

De variabele c_a^2 hangt af van de tijd tussen aankomsten van productiebatches. Bij spuitmachine 1 komen deze batches van drie verschillende machines af en is er dus geen stroom van producten. Dit zorgt ervoor dat er veel variabiliteit ontstaat. Omdat het productiesysteem onder WLC een stabiele hoeveelheid orders bevat, zullen er per dag gemiddeld evenveel orders aankomen als er verwerkt worden: we nemen aan dat dit er acht zijn, wat het gemiddelde aantal is dat de machine per dag kan verwerken. Deze acht orders kunnen voor spuitmachine 1 van drie verschillende machines af komen. Het is dus aannemelijk dat er soms orders tegelijk aankomen en dat er soms meerdere uren moet worden gewacht op een order. c_a wordt daarom geschat op 1, waardoor $c_a^2 = 1$.

De bezettingsgraad van spuitmachine 1 plus de plamuurmachine is berekend in paragraaf 3.1 en is gelijk aan 0,9.

De bewerkingstijd inclusief omstellen is uit het ERP-systeem van Hulshof overgenomen en bedraagt gemiddeld 45 minuten, oftewel 0,75 uur.

Door deze waarden in te vullen in de VUT-vergelijking, kan de gemiddelde wachttijd voor een spuitmachine worden berekend. Deze bedraagt 3 uur en 47 minuten.