

Streven naar een tijdig productieproces door optimalisatie van de omschakel- en productietijd

Frederik LENS

promotor :
Prof. dr. Roger MERCKEN

Woord vooraf

Gedurende de laatste twee jaren van de opleiding handelsingenieur volgde ik een specialisatie in marketing. In deze cursus is uitgebreid aandacht besteed aan alle aspecten van de moderne marketing. Het nut van een tijdige levering aan klanten kwam echter niet uitvoerig aan bod. Dit is nochtans een belangrijke indicator voor de prestaties van de onderneming. Deze eindverhandeling is dan ook opgebouwd vanuit de vraag hoe een onderneming tijdig de bestelde producten aan klanten kan leveren.

Het werkstuk bestaat uit twee delen. In het eerste deel zijn de literatuur- en praktijkstudie besproken. De bijlagen van het onderzoek zijn in het tweede deel opgenomen. Ik kies hiervoor omwille van de duidelijkheid. Bij de technische bespreking van de praktijkstudie kunnen de geraadpleegde tabellen en figuren eenvoudig ter ondersteuning gebruikt worden. Hierdoor wordt het woord 'bijlage' terug in ere hersteld.

Mijn dankbaarheid gaat in de eerste plaats uit naar mijn promotor dr. Roger Mercken en mijn stagebegeleider Dhr. Tom Vets. Hun inbreng motiveerde me om het onderzoeksprobleem kritisch te benaderen. Ook is dit werkstuk mede dankzij hun correcte inbreng en ondersteuning gevormd en gesterkt. Dhr. Firmin Rentmeesters wil ik bedanken voor zijn richtlijnen bij het opstellen van de literatuurstudie.

Ook gaat mijn dank uit naar de werknemers van de onderneming Plastiflex Belgium. Vooral Dhr. Kerkhofs, Dhr. Vaes, Mevr. Gielen en Dhr. Vrachten wil ik bedanken voor hun inbreng bij het praktijkonderzoek. Door hen is het onderzoek een aangenaam en leerrijk proces geweest.

Tot slot wil ik mijn ouders, vriendin, familie en vrienden bedanken voor hun geduld, begrip en liefde gedurende de laatste 14 maanden en mijn volledige onderwijsopleiding.

Aan al deze mensen: hartelijk bedankt!

Samenvatting

Dit onderzoek is opgebouwd vanuit de vraag hoe een onderneming tijdig producten kan leveren aan klanten. Door het brede onderzoeksprobleem begint het onderzoek met een analyse van de tijdscomponenten waaruit de tijd bestaat die begint op het moment dat de klant een order plaatst en eindigt wanneer de klant de bestelde goederen ontvangt. Op basis van deze analyse beperk ik het onderzoeksprobleem tot de tijd waarin het order op de productieafdeling binnenkomt en de bestelde goederen de productieafdeling verlaten. Deze tijd wordt 'manufacturing lead time' genoemd. Er wordt voor deze verkleining van het onderzoeksprobleem gekozen omdat de bestelde producten gedurende deze tijd worden geproduceerd. De bestelling zou immers niet bestaan indien de onderneming niet in staat is de gevraagde goederen te produceren.

Door het onderzoek te concentreren op de manufacturing lead time verkleint het oorspronkelijke onderzoeksprobleem. Toch spelen nog altijd een groot aantal variabelen een belangrijke rol bij de analyse van enkel deze tijdscomponent. Hierdoor gaat de literatuurstudie verder met een analyse van de tijdscomponenten waaruit de manufacturing lead time bestaat. Ik besluit op basis van deze analyse om het onderzoeksprobleem te beperken tot de omschakel- en productietijd. Ik kies hiervoor omdat enkel gedurende deze twee tijden de noodzakelijke activiteiten worden uitgevoerd voor de afhandeling van het order.

De literatuurstudie behandelt vervolgens twee aspecten van de omschakeltijd. Ten eerste kan deze tijdscomponent gereduceerd worden door te produceren in grote product batches. Dit leidt echter tot excessieve voorraden. Deze voorraadvorming houdt verschillende nadelen in. Vooral voor ondernemingen met een onstabiele marktvraag is het produceren in grote batches af te raden. Bovendien vermelden verscheidene bronnen dat een productie in grote batches kan leiden tot een langere manufacturing lead time.

De omschakeltijd kan ook verkleind worden door een reductie van de tijd nodig voor de uitvoering van omschakeltijden. Deze analyse baseert zich op de 'single minute exchange of die' (SMED) – methode. De reden hiervoor is dat deze methode rekening houdt met de reorganisatie van werknemers. Voor een praktische toepassing van de methode in de praktijkstudie is een algoritme ontwikkeld. Hierin worden de knelpunten van het productieproces opgenomen. De effectiviteit van de SMED methode zal verhogen door eerst de stilstand van de bottleneck te minimaliseren. Een uur tijdsverlies op de knelpunten resulteert immers in een uur tijdsverlies van het gehele productieproces.

Tenslotte onderzoek ik in de literatuurstudie hoe de productietijd kan gereduceerd worden. Hierbij worden verschillende mogelijkheden vastgesteld. Ik kies ervoor om de productietijd te minimaliseren door een toename in beschikbaarheid en betrouwbaarheid van de knelpunten in het productieproces. Hiervoor wordt de onverwachte stilstand van de productie-installatie onderzocht. Er is in bovenstaande alinea vermeld dat de verloren productietijd door stilstand van de knelpunten niet kan gerecupereerd worden. Bovendien kan de ongeplande stilstand niet opgenomen worden in de productieplanning aangezien deze stilstand niet op voorhand is gekend. Ook verspilling bij de

knelpunten wordt in de analyse opgenomen. Onder het motto 'voorkomen is beter dan genezen' wordt de productietijd geoptimaliseerd vanuit het standpunt van het proactief onderhoud.

De analyse van begint met het vaststellen van de risicocomponenten van een productieproces. Bij de bespreking van het proactief onderhoud wordt enkel rekening gehouden met het risico eigen aan de productie – installatie. Eerst wordt de 'Total productive maintenance' filosofie besproken. Bij deze filosofie wordt de stilstand van het productieproces geminimaliseerd door alle werknemers te betrekken bij het onderhoud. De literatuurstudie behandelt vervolgens de 'Reliability centered maintenance' methodologie. Volgens deze methode kan risico eigen aan de productielijn geminimaliseerd worden door de uitvoering van een 'Failure mode and effect' (FMEA) – analyse. Ik kies ervoor de stilstand van de knelpunten van het productieproces te minimaliseren volgens Reliability Centered maintenance. In de FMEA – analyse kunnen immers alle risicocomponenten van het productieproces, en niet alleen het risico eigen aan de productie – installatie, worden opgenomen.

De praktijkstudie is uitgevoerd bij de productieonderneming Plastiflex, gevestigd te Beringen – Paal. In opdracht van Dhr. Vets, de productiemanager van het bedrijf, richt het onderzoek zich op het extrusieproces waarbij kunststof afvoerbuizen worden geproduceerd van het nieuwe Flexidrain® productgamma. De benodigde data voor dit onderzoek zijn verzameld op basis van persoonlijke observatie, interviews en interne documenten van de onderneming.

Bij de toepassing van het SMED – algoritme is vastgesteld dat de machines gedurende lange tijd stilstaan terwijl geen omschakelactiviteiten worden uitgevoerd. Deze tijdscomponent is echter niet in het SMED – algoritme opgenomen. In een bijkomende analyse van deze tijd zijn de verschillende oorzaken van stilstand vastgesteld. Door opname van deze factoren is het oorspronkelijke SMED – algoritme herschreven. Dit leidt tot een verhoogde daling van stilstand.

Het onderzochte productieproces bevindt zich in een ontwikkelingsfase. Er worden wekelijks nieuwe verbeteringen aan het proces aangebracht. Door de FMEA – analyse twee keer uit te voeren, is de analyse gebruikt als evaluatiedocument van de gedane aanpassingen. Nadien is de FMEA – analyse gebruikt voor de risico-evaluatie van het productieproces. Meer informatie over de bevindingen van het praktijkonderzoek zijn opgenomen in de conclusies van dit werkstuk.

Inhoudsopgave

Woord vooraf

Samenvatting

Inhoudsopgave

| | |
|--|---------------|
| Hoofdstuk 1: inleiding en probleemstelling | - 8 - |
| 1.1 Inleiding | - 8 - |
| 1.2 Praktijkprobleem..... | - 9 - |
| 1.3 Verfijning van het onderzoeksprobleem | - 10 - |
| 1.3.1 Algemene onderzoeksvraag | - 10 - |
| 1.3.2 Algemene deelvragen..... | - 10 - |
| 1.3.3 Analyse van de customer lead time (CLT) | - 11 - |
| 1.3.4 Analyse van de manufacturing lead time (MLT) | - 11 - |
| 1.3.5 Analyse van het productieproces | - 12 - |
| 1.4 Onderzoeksstrategie en centrale onderzoeksvraag (literatuurstudie) | - 13 - |
| 1.4.1 Bespreking van relevante bronnen..... | - 13 - |
| 1.4.2 Centrale onderzoeksvraag | - 14 - |
| 1.4.3 Deelvragen | - 14 - |
| 1.4.4 Definiëring van kernbegrippen | - 15 - |
| | |
| Hoofdstuk 2: Literatuurstudie | - 17 - |
| 2.1 Bepalen van de bottleneck | - 17 - |
| 2.2 Optimalisatie van de omschakeltijd | - 17 - |
| 2.2.1 Definitie | - 17 - |
| 2.2.2 Optimalisatie van de omschakeltijd: frequentie en batchgrootte | - 18 - |
| 2.2.3 Optimalisatie van de omschakeltijd: tijd benodigd voor omschakelactiviteiten | - 18 - |
| 2.3 Optimalisatie van de productietijd | - 21 - |
| 2.3.1 Verhogen van de productionele capaciteit: investeren | - 22 - |
| 2.3.2 Verhogen van de productionele capaciteit: optimaliseren..... | - 22 - |
| 2.4 Bespreking van de operationele ratio's..... | - 33 - |

| | |
|---|---------------|
| 2.4.1 Availability (beschikbaarheid)..... | - 33 - |
| 2.4.2 Reliability (betrouwbaarheid) | - 34 - |
| 2.4.3 Overall Equipment Effectiveness (OEE)..... | - 34 - |
| Hoofdstuk 3: Onderzoekopzet en situering praktijkstudie | - 36 - |
| 3.1 Bespreking van relevante bronnen | - 36 - |
| 3.2 Centrale onderzoeksvraag praktijkstudie..... | - 36 - |
| 3.3 Deelvragen praktijkstudie | - 37 - |
| 3.4 Situering praktijkstudie..... | - 37 - |
| 3.4.1 Plastiflex | - 37 - |
| 3.4.2 Flexidrain ®: De huidige markt van afvoersystemen | - 38 - |
| 3.4.3 Flexidrain ®: het productgamma..... | - 39 - |
| 3.4.4 Flexidrain ®: toekomstvisie | - 40 - |
| 3.4.5 Flexidrain ®: relevantie onderzoek | - 40 - |
| 3.4.6 Flexidrain ®: Continuous extrusion blow molding | - 40 - |
| 3.4.7 Bespreking van de productiebronnen | - 41 - |
| Hoofdstuk 4: Praktijkstudie..... | - 50 - |
| 4.1 Vaststellen van de machine met de grootste laadfactor (Bottleneck)..... | - 50 - |
| 4.2 Optimalisering van de omschakeltijd: Het SMED – algoritme | - 51 - |
| 4.2.1 Methode van uitvoering | - 51 - |
| 4.2.2 Bespreking van de analyse | - 52 - |
| 4.2.3 Optimalisatie van de omschakeltijd: bespreking resultaten | - 72 - |
| 4.3 Optimalisering van de productietijd: De FMEA – analyse | - 72 - |
| 4.3.1 Relevantie van het onderzoek | - 72 - |
| 4.3.2 Methode van uitvoering | - 73 - |
| 4.3.3 Samenstelling onderzoeksteam | - 74 - |
| 4.3.4 Toekenning van het risico: de schaalindeling van FMEA – criteria..... | - 74 - |
| 4.3.5 Resultaten van het onderzoek: de FMEA-tabellen..... | - 77 - |
| 4.3.6 Bespreking van de resultaten | - 94 - |

| | |
|--|----------------|
| Conclusies | - 100 - |
| Lijst van geraadpleegde werken..... | - 103 - |

Hoofdstuk 1: inleiding en probleemstelling

1.1 Inleiding

De opkomst van het internet heeft het koopgedrag van de moderne consument sterk beïnvloed. De impact op het koopgedrag is zelfs tweemaal groter dan de impact van televisie. Ook maken steeds meer consumenten gebruik van het internet voor het opzoeken van productinformatie. Tot deze conclusie kwam de onderneming Fleishman-Hillard Inc., één van de globale leiders op vlak van public relations, in de studie 'Digital Influence Index' (HarrisInteractive, 2008). Ook heeft het internet een grote impact op de organisatorische structuur van de onderneming. De opkomst van de virtuele onderneming is hier een duidelijk voorbeeld van. Bovendien stelt het internet bedrijven in staat op een goedkope manier producten te promoten en te verkopen op globale schaal.

We leven in een wereld van globalisering. Door de toenemende mate van technologie en het openen van internationale barrières is een onderneming in staat producten te promoten en te verkopen aan de globale consument. Dit houdt echter risico's in. De concurrentie is door globalisatie toegenomen. Een verzwakte marktpositie kan niet langer alleen door lokale maar ook door internationale concurrenten worden aangevallen. Bovendien gaat globalisering vaak gepaard met organisatorische problemen.

De opkomst van het internet en de stijgende mate van globalisering maken het leven van de moderne marketeer een stuk moeilijker. Ondanks deze veranderingen is de kerngedachte van de marketingleer onveranderd gebleven: zorg dat de noden van de consument gekend zijn en lever producten die beter aan deze noden voldoen in vergelijking met concurrerende producten. De productattributen, waarmee de onderneming beter dan de concurrentie aan de noden van de consument voldoet, worden kritische succesfactoren genoemd. Na uitvoering van een markt- en productanalyse worden de marketingkanalen vastgesteld waarlangs het product gepromoot en geleverd wordt aan de klant. De primaire rol van de moderne marketeer definieer ik dan ook als: *'het ontwikkelen en vaststellen van de marketingkanalen waarlangs het juiste product aan de juiste klant gepromoot en geleverd wordt'*.

Een belangrijk woord dat in bovenstaande definitie vaak vergeten wordt is het woord 'tijdig'. Hierdoor is de definitie in principe enkel toepasbaar op een onderneming die diensten aan de consument verleent. Dit kan op eenvoudige manier verklaard worden. Diensten worden geconsumeerd wanneer ze aan de klant geleverd worden. Ze zijn niet tastbaar en kunnen niet opgeslagen worden. Dit is echter niet het geval bij goederen. De tijd tussen productie van het goed en de werkelijke consumptie ervan is verschillend. Hierdoor kunnen de bestelde goederen laattijdig aan de consument geleverd worden. Dit heeft verschillende gevolgen voor de onderneming afhankelijk van het type goed. Bij een exclusief goed, bijvoorbeeld een auto van het merk Ferrari, zal de klant bereid zijn langer te wachten. Voor standaard goederen is de kans groot dat de consument overgaat tot de aankoop van een concurrerend product. En dit risico neemt toe door de het internet en globalisatie. Er zijn meer concurrenten aanwezig op de aanbodsmarkt en de consument kan gemakkelijk vaststellen waar gelijkaardige producten worden aangeboden. De voorgestelde definitie moet dan ook aangepast worden als: *'het ontwikkelen en vaststellen van de*

marketingkanalen waarlangs het juiste product aan de juiste klant gepromoot en tijdig geleverd wordt'. Dit werkstuk is opgebouwd vanuit de vraag hoe ondernemingen producten *tijdig* aan klanten kunnen leveren.

1.2 Praktijkprobleem

Deze eindverhandeling heeft als doel het verkorten van de tijd tussen de plaatsing van een order door de klant en ontvangst van de bestelde goederen. Vanuit dit standpunt kan geargumenteed worden dat het aanhouden van grote voorraden voordelig is. De bestelde producten zijn reeds geproduceerd. Hierdoor gaat geen tijd verloren na ontvangst van het order aan de productie van de bestelde goederen. Het aanhouden van voorraden is echter afhankelijk van de marktomgeving waarin de onderneming zich bevindt.

In een stabiele marktomgeving worden geen grote variaties in de marktvraag verwacht. Een monopoliepositie is hier een voorbeeld van. De onderneming is in staat de verwachte marktvraag in te schatten waardoor er op voorraad kan geproduceerd worden. Het aanhouden van excessieve voorraden houdt echter verschillende nadelen in. Ook wordt deze productiemethode gekenmerkt door een speculatief karakter. De productieplanning is gebaseerd op historische verkoop- en markt cijfers. De actuele vraag wijkt echter vaak af van de geprojecteerde vraag (Shingo en Dillon, 1989).

Voor een onderneming in een onstabiele marktomgeving is het nadelig om te produceren op voorraad. De lancering van een nieuw product is hier een voorbeeld van. De verwachte marktvraag is niet exact gekend. Hierdoor kan de onderneming niet produceren op voorraad omdat de kans bestaat dat er geen vraag is naar het product. Ook produceren steeds meer ondernemingen volgens 'mass-customization'. Hierbij worden producten op maat in grote hoeveelheden geproduceerd (Raessens, 2006). Produceren volgens mass-customization is dan ook enkel mogelijk door excessieve voorraden en de doorvoertijd van het productieproces te minimaliseren (Chandra en Kamrani, 2004). Dit stelt de onderneming in staat om snel op een veranderende marktvraag in te spelen.

In bovenstaande alinea's werd vermeld dat de productiemethode afhankelijk is van de marktsituatie waarin de onderneming zich bevindt. Dit werkstuk biedt geen antwoord op de vraag welke voorraden de onderneming moet aanhouden. Wel richt dit onderzoek zich tot het verhogen van de productionele capaciteit. Dit zal immers altijd leiden tot een tijdige levering van de bestelde goederen, ongeacht de marktsituatie waarin de onderneming zich bevindt.

Een tijdige levering biedt voor de onderneming verschillende voordelen. Vanuit marketingperspectief zal het tijdig ontvangen van de goederen door de klant leiden tot vertrouwen. Het ontstane vertrouwen bij de klant biedt vooral op lange termijn voordelen aan de onderneming. Dit is één van de steunpilaren waarop 'customer relationship management' is gebaseerd. Bovendien zal de onderneming nefaste reputatieschade vermijden. Klanten zijn snel geneigd om een negatieve ervaring te delen met anderen. Hierdoor kan een laattijdige levering leiden tot een

verlies van andere potentiële klanten. In de inleiding werd vermeld het aantal productsubstituten toeneemt door de aanwezigheid van internationale concurrenten op de aanbodsmarkt. Een stijgend aantal substituten leidt tot een lagere differentiatie tussen concurrenten. Hierdoor zal de klant sneller tot de aankoop van een andere goed overgaan bij een laattijdige levering (Best en van den Bosch, 2005).

Vanuit economisch standpunt stelt een tijdige levering de onderneming in staat om de gewonnen tijd om te zetten in winst. Een duidelijk voorbeeld hiervan is de mogelijkheid van de onderneming om additionele orders te verwerken. Dit leidt tot een stijging van de potentiële afzet en bijgevolg het marktaandeel van de onderneming.

1.3 Verfijning van het onderzoeksprobleem

1.3.1 Algemene onderzoeksvraag

Deze eindverhandeling is opgebouwd uit twee delen. In de literatuurstudie wordt onderzocht hoe een onderneming tijdig producten aan de klanten kan leveren. De algemene onderzoeksvraag van de literatuurstudie wordt geformuleerd als: **'Hoe kan de onderneming tijdig producten leveren aan de klant?'** Deze onderzoeksvraag heeft betrekking tot een zeer breed onderzoeksdomein. Het onderzoeksprobleem moet dan ook verfijnd worden. Hiervoor kunnen een aantal deelvragen worden opgesteld.

1.3.2 Algemene deelvragen

Voor de verfijning van het onderzoeksprobleem wordt de algemene onderzoeksvraag onderverdeeld in volgende deelvragen:

- 1. Tot welke tijdscomponenten gaat dit onderzoek zich richten?*

Gedurende de tijd tussen het plaatsen van een order door de klant en het ontvangen van de bestelde goederen worden diverse activiteiten uitgevoerd. Op basis van de uitgevoerde activiteiten kan de oorspronkelijke tijd worden ingedeeld. De vraag moet dan ook gesteld worden op welke tijdscomponenten dit onderzoek zich gaat toeleggen.

- 2. Tot welke componenten van het onderliggende proces gaat dit onderzoek zich richten?*

De vastgestelde tijdscomponenten hebben betrekking tot onderliggende processen. Deze processen bestaan op hun beurt uit verschillende componenten. Het is dan ook nuttig om te onderzoeken of de tijdscomponenten kunnen verkort worden door optimalisatie van het gehele proces of slechts enkele componenten ervan.

1.3.3 Analyse van de customer lead time (CLT)

De tijdsperiode tussen het plaatsen van een order en het ontvangen van de bestelde goederen door de klant wordt aangeduid met de term '**customer lead time**' (Hyer en Wemmerlöv). Deze tijdsperiode dient als basis voor de analyse van het tijdig leveren van goederen aan de klant. Volgens het boek 'Reorganizing the Factory: Competing Through Cellular Manufacturing' bestaat de customer lead time uit vier tijdscomponenten. Dit wordt weergegeven in figuur 1. Bij de bestelling van een nieuw product, of een product dat op aanvraag van de klant wordt aangepast, moet het bestelde product door de onderneming ontwikkeld worden. Na de ontwikkelingsfase wordt het ontvangen order verwerkt en doorgegeven aan de productieafdeling. Hier worden de bestelde goederen geproduceerd. Tenslotte worden de afgewerkte producten ingeladen en getransporteerd (Hyer en Wemmerlöv, 2002).

De customer lead time bestaat enkel uit deze vier tijdscomponenten wanneer de bestelde producten rechtstreeks aan de klant worden geleverd. Indien de producten verkocht worden via een tussenpersoon in de toeleveringsketen, bijvoorbeeld een groot- of kleinhandel, kan een vijfde tijdscomponent toegevoegd worden. Deze tijdscomponent omvat de periode waarbij de goederen aanwezig zijn in de verkooppunten maar nog niet door de consument werden afgehaald.

De totale customer lead time is gelijk aan de som van de vermelde tijdscomponenten. Dit werkstuk beperkt zich enkel tot de tijdscomponent waarin de goederen geproduceerd worden. Bij de overige tijdscomponenten worden immers ondersteunende activiteiten uitgevoerd. Ook zou de bestelling niet geplaatst zijn indien de onderneming de producten niet kan produceren. Een tijdsanalyse van de andere tijdscomponenten is echter nuttig en zal bijdragen tot het verkorten van de customer lead time. Deze analyse kan als aanvulling van dit werkstuk worden uitgevoerd.

1.3.4 Analyse van de manufacturing lead time (MLT)

In het boek 'Back to Basics: Your Guide to Manufacturing Excellence' wordt de **manufacturing lead time** gedefinieerd als '*de tijdsperiode waarin het order ontvangen wordt door de productieafdeling en alle operaties, die nodig zijn voor de voltooiing van het order, worden uitgevoerd*' (Melnyk en Christensen, 2000: 16). De MLT kan ingedeeld worden in operationele en inter-operationele tijdscomponenten. Deze indeling wordt weergegeven in figuur 2.

De operationele tijdscomponent omvat de tijd waarin de noodzakelijke activiteiten worden uitgevoerd voor het ontvangen order. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de productietijd en omschakeltijd. De omschakeltijd, ook wel 'setup time' genoemd, duidt op de tijdsperiode waarin de productielijn wordt omgeschakeld voor een nieuwe productbatch. De productietijd omvat de tijd benodigd voor de productie van de bestelde goederen.

De tijd waarbij geen activiteiten worden uitgevoerd voor het order, wordt de '*inter-operationele tijd*' genoemd. Deze tijdscomponent omvat zowel de rijtijd, wachttijd, voorbereidingstijd en postoperationele tijd. De rijtijd bestaat uit de tijd waarbij het order wacht aan een machine of operator voor verdere verwerking. De wachttijd is de tijdsperiode waarin de bestelde producten wachten voordat ze getransporteerd worden naar een andere machine. De tijd benodigd voor de

uitvoering van operaties zodat de producten kunnen verwerkt worden, noemt men de voorbereidingstijd. Het opruimen van een werkstation is hier een voorbeeld van. Tenslotte bestaat de postoperationele tijd uit de tijdsperiode na uitvoering van een operatie waarbij geen machinecapaciteit wordt gebruikt. De controle van afgewerkte producten is hier een voorbeeld van (Melynk en Christensen, 2000).

Dit werkstuk richt zich tot de operationele tijdscomponent. Gedurende deze tijdsperiode worden immers de noodzakelijke activiteiten uitgevoerd voor het ontvangen order. Ook zal de capaciteit van het productieproces toenemen wanneer meer tijd van de totale manufacturing lead time aan de productietijd wordt toegewezen. In het boek 'Time to market – Reducing Product Lead Time' wordt bovendien vermeld dat het verkorten van de omschakeltijd, samen met het verkleinen van de productbatches en reorganisatie, de grootste uitdaging vormen bij het reduceren van de totale customer lead time (Suzaki,1987; geciteerd door Charney en Mitchell, 1991).

Door deze verfijning van het onderzoeksprobleem kan een nieuwe onderzoeksvraag geformuleerd worden als: '**Hoe kan een onderneming de juiste producten tijdig leveren aan de juiste klanten door het reduceren van de omschakel- en productietijd?**'

1.3.5 Analyse van het productieproces

1.3.5.1 Knelpunten binnen het proces

In voorgaande paragraaf werd vastgesteld op welke tijdscomponent dit werkstuk zich gaat richten. Ik vraag me echter af of deze analyse moet toegepast worden op het gehele productieproces of op slechts enkele sleutelcomponenten. Deze vraag wordt beantwoord door intrede van de begrippen 'bottleneck' en 'capacity – constrained resource' (CCR).

Een **capacity – constrained resource** is een productiebron waarbij de bezettingsgraad zich dicht, maar niet volledig, bij de maximale capaciteit van de machine bevindt. Bijgevolg moet deze bron nauwgezet gepland en opgevolgd worden zodat de CCR niet in een bottleneck verandert (Chase et al., 2006).

Een **bottleneck** wordt gedefinieerd als 'een departement, faciliteit, machine of bron die opereert tegen maximale capaciteit waardoor geen additionele vraag kan verwerkt worden' (business dictionary, 2008). Toegepast op een productieproces wil dit zeggen dat de bottleneck de productiebron met de traagste doorlooptijd is. De productcyclustijd is met andere woorden het langst bij deze bron (NetMBA, 2007).

1.3.5.2 Optimalisatie van de knelpunten: de 'Theory of Constraints'

Omdat de bottleneck opereert tegen maximale capaciteit, beperkt hij de capaciteit van het volledige productieproces. Bijgevolg zal de optimalisatie van de bottleneck leiden tot optimalisatie van het gehele productieproces. Deze gedachte staat centraal bij de zogenaamde '**Theory of**

constraints'. Deze theorie werd ontwikkeld door Eliyahu M. Goldratt en voor het eerst onder de aandacht gebracht in het boek 'The goal'. In zijn boek onderscheidt Goldratt vijf basisstappen voor het optimaliseren van een systeem (Goldratt, 1986; geciteerd door Bruggeman en Everaert, 2006). Deze stappen zijn:

1. Identificeer het knelpunt van een systeem.
2. Benut dit knelpunt zo goed mogelijk.
3. Stem het gehele systeem af op het knelpunt.
4. Verwijder de beperking van het knelpunt.
5. Keer terug naar stap 1 indien het knelpunt is weggenomen.

In het boek 'Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels' wordt bovenstaand stappenplan toegepast op een productieproces waarbij de bottleneck een machine is. Vanuit een 'lean management' perspectief kan de onderneming slechts een 100% tijdige levering halen door het elimineren van verspilling. Vanuit deze gedachte ziet het bovenstaande stappenplan er als volgt uit:

1. Identificeer de bottleneck van het productieproces.
2. Verminder de stilstand en verspilling bij de bottleneck.
3. Elimineer verspilling bij de overige productiebronnen - zorg ervoor dat er steeds een voorraad bronnen bij de bottleneck aanwezig is.
4. Investeer in nieuwe machines of werk in meerdere ploegen.
5. Keer terug naar stap 1 indien de machine niet meer de beperking is van het productieproces (Pyzdek, 2003).

1.4 Onderzoeksstrategie en centrale onderzoeksvraag (literatuurstudie)

1.4.1 Bespreking van relevante bronnen

Zoals vermeld heeft de literatuurstudie als doel het vaststellen van de relevante theorieën en methoden voor het verkorten van de omschakel- en productietijd. Hiervoor werden voornamelijk secundaire bronnen gebruikt. Na het bestuderen van verschillende eindverhandelingen, die geschreven waren door afgestudeerde studenten aan de universiteit Hasselt en de Katholieke Universiteit Leuven, kwam ik tot de conclusie dat de benodigde informatie moest verzameld worden uit andere bronnen. Hiervoor werden boeken gebruikt die ik tijdens mijn opleiding als Handelsingenieur had aangekocht. Vooral het boek 'Operations management: for Competitive Advantage with Global Cases' leidde tot een duidelijk inzicht betreffende het onderzoeksprobleem.

Ook raadpleegde ik verschillende boeken uit de Stedelijke Bibliotheek Hasselt en de Universiteitsbibliotheek van Leuven. Relevante auteurs werden bovendien efficiënt vastgesteld door het gebruik van de online zoekmachine 'Google Books'. Deze tertiaire bron is mogelijk gemaakt

door de samenwerking van Google met bestaande bibliotheken. De universitaire bibliotheken van Harvard en Oxford zijn hier voorbeelden van. De zoekmachine kan geraadpleegd worden via het webadres: <http://books.google.com/>.

1.4.2 Centrale onderzoeksvraag

Dit onderzoek is opgebouwd uit twee delen. Het eerste deel is een literatuurstudie. Door de verfijning van het oorspronkelijke onderzoeksdomein, kan de centrale onderzoeksvraag van de literatuurstudie geformuleerd worden. Omdat dit onderzoek zich richt tot zowel de omschakel- en productietijd, definieer ik de centrale onderzoeksvraag als:

'Hoe kan een onderneming tijdig producten leveren aan klanten door optimalisatie van de bottleneck voor het verkorten van de omschakel- en productietijd?'

In de literatuurstudie worden bestaande theorieën en methoden, die betrekking hebben tot het verkorten van de omschakel- en productietijd, besproken. Hierbij wordt aandacht besteed aan de praktische toepassing van de vastgestelde theorieën.

Het tweede deel van deze eindverhandeling bestaat uit een praktijkstudie. De vastgestelde methoden voor het verkorten van de omschakel- en productietijd worden hierbij toegepast in een bestaande onderneming. Momenteel is het echter nog niet duidelijk hoe de omschakel- en productietijd in de praktijkstudie kunnen geoptimaliseerd worden. Bijgevolg worden zowel de centrale onderzoeksvraag en onderzoeksstrategie van de praktijkstudie, nadat de relevante methoden en theorieën in de literatuurstudie zijn vastgesteld, in dit onderzoek vermeld.

1.4.3 Deelvragen

De centrale onderzoeksvraag van de *literatuurstudie* kan onderverdeeld worden in volgende deelvragen:

1. *Hoe kan de bottleneck binnen een productieproces worden vastgesteld?*

De 'Theory of constraints' vermeldt dat de snelheid van een systeem afhankelijk is van de snelheid van het traagste knelpunt. Bijgevolg leidt optimalisatie van dit knelpunt tot optimalisatie van het gehele systeem. In dit onderzoek is het onderzochte systeem een productieproces. De vraag moet dan ook gesteld worden hoe het knelpunt, de zogenaamde bottleneck, binnen het productieproces kan worden vastgesteld.

2. *Op welke bestaande theorieën kan dit onderzoek zich richten met betrekking tot de optimalisatie van de omschakeltijd en productietijd?*

Bij de verfijning van het onderzoeksprobleem werd besloten om de omschakel- en productietijd te optimaliseren. Dit wordt later onderzocht in de praktijkstudie. Daarom moeten eerst de relevante theorieën met betrekking tot het verkorten van deze tijden worden vastgesteld. Hierbij wordt vooral de nadruk gelegd op de praktische implicaties van de relevante theorieën.

1.4.4 Definiëring van kernbegrippen

Dit werkstuk werd ontwikkeld vanuit de vraag hoe een onderneming tijdig producten aan een klant kan leveren. In de inleiding werd de relevantie vermeld van het onderzoek met betrekking tot de individuele consument. Door een laattijdige levering bestaat de kans dat deze klant overgaat tot de aankoop van concurrerende producten. Dit risico neemt bovendien toe wanneer de gezochte producten standaard goederen zijn. Bij de verfijning van het praktijkprobleem werd vervolgens besloten om de customer lead tijd te verkorten door optimalisatie van het productieproces. Hierdoor is het onderzoek zowel toepasbaar op klanten die niet alleen individuele consumenten maar ook organisaties zijn. Zo zal een laattijdige levering van producten aan een andere organisatie binnen de toeleveringsketen, de zogenaamde 'supply chain', leiden tot een verlies van vertrouwen. Bovendien bestaat het risico dat een organisatie, die herhaaldelijk in de problemen komt door een laattijdige levering van de benodigde producten en ondanks de hogere omschakelkost, toch op zoek gaat naar concurrerende leveranciers. Indien de organisatie geen geschikte leveranciers vindt, kan deze onderneming er ook voor kiezen om zelf de benodigde producten te produceren. Bijgevolg is dit onderzoek toepasbaar op iedere organisatie die producten voor individuele klanten ('business-to-consumer') of andere organisaties ('business-to-business') produceert.

Een **klant** wordt in kader van dit werkstuk gedefinieerd als 'een persoon of organisatie die een relatie met de onderneming onderhoudt en die (al dan niet tegen betaling) gebruik maakt van de producten van deze organisatie'. Deze definitie is een variant op de definiëring van het woord 'klant' in het boek 'Klantentevredenheid, de zin en onzin' (Thomassen, 2004).

Tijdens de verfijning van het onderzoeksdomein werd vastgesteld dat dit onderzoek zich gaat richten op de manufacturing lead time. Dit werkstuk is dan ook enkel van toepassing op de onderneming die de bestelde goederen produceert. Bijgevolg wordt een onderneming in kader van dit werkstuk gedefinieerd als: '*een organisatie die een relatie met een klant onderhoudt en die (al dan niet tegen betaling) de producten, waarvan de klant gebruik maakt, produceert*'. Door deze definitie kunnen de termen 'onderneming' en 'productieonderneming' als synoniemen van elkaar worden beschouwd.

In bovenstaande definities wordt bewust het woord 'diensten' niet vermeld. Dit onderzoek is immers niet van toepassing op organisaties die diensten leveren. Dit werd reeds tijdens de inleiding van het onderzoek besproken. Bijgevolg wordt een **product** gedefinieerd als: '*het geheel van materiële en immateriële eigenschappen van een goed*'. Deze definitie is gebaseerd op een definiëring van het woord 'product' in het boek 'Marketing Kernstof-A' (Smal en Tak, 2005).

De onderneming maakt gebruik van een bepaald proces om de producten, die door de klant gebruikt worden, te produceren. Vanuit micro-economisch standpunt wordt een productieproces gedefinieerd als 'een proces dat input omzet naar output' (Pindyck en Rubinfeld, 2005: 188). Dit wordt schematisch weergegeven in figuur 3.

Onder de input van een productieproces verstaat men de factoren die het productieproces nodig heeft voor het uitvoeren van zijn activiteiten. Deze productiefactoren kunnen onderverdeeld worden in arbeid, materialen en kapitaal (Pindyck en Rubinfeld, 2005). Arbeid wordt gedefinieerd als de totale menselijke inspanning, zowel lichamelijk als geestelijk, die gebruikt wordt bij de creatie van goederen (business dictionary, 2008). De materialen zijn alle componenten die in het productieproces worden omgezet in eindgoederen. Voorbeelden hiervan zijn ruwe grondstoffen of aangekochte productonderdelen.

De productiefactor kapitaal kan onderverdeeld worden in menselijk en fysisch kapitaal. Het fysisch kapitaal omvat in kader van dit werkstuk de materiële activa waarover de onderneming beschikt en die gebruikt worden bij de productie van de bestelde goederen. Voorbeelden hiervan zijn machines, gebouwen en voorraden. Menselijk kapitaal omvat 'de kennis, opleiding, ervaring en creativiteit van de werknemers die werkzaam zijn binnen het productieproces' (Ulrich et al., 1999: 54). Hoewel de productiefactoren apart vermeld worden, hebben ze een grote invloed op elkaar. Zo kan de arbeidsproductiviteit toenemen door te investeren in extra kapitaal.

Volgens de theorie van de productiefunctie wordt output geproduceerd door de omzetting van arbeid, kapitaal en materialen binnen een bepaalde technologie. Technologie is de kennis van de onderneming over de verschillende methoden die gebruikt worden om de input om te zetten tot output (Pindyck en Rubinfeld, 2005).

Bij de omzetting van input naar output vindt een waardecreatie plaats die zich vertaalt in de verkoop van producten. De input wordt namelijk omgezet naar iets wat meer aanleunt bij wat de klant wil en waarvoor de klant bereid is om te betalen. De output van het productieproces zijn de afgewerkte eindproducten die door het proces worden geproduceerd. In kader van dit onderzoek wordt een **productieproces** gedefinieerd als: '*een proces waarbij een waardecreatie plaatsvindt door de transformatie van input naar output*'.

Hoofdstuk 2: Literatuurstudie

2.1 Bepalen van de bottleneck

In het boek 'Operations management' worden twee manieren vermeld om de bottleneck binnen een productieproces vast te stellen. Het vinden van de bottleneck is afhankelijk van de nauwkeurigheid waarmee data betreffende het productieproces wordt vastgelegd. Het vaststellen van de bottleneck wordt grafisch weergegeven in figuur 4.

Indien geen of onnauwkeurige data over de laadfactor van de productiebronnen wordt vastgelegd, moet de bottleneck door kwalitatief onderzoek worden vastgesteld. Dit onderzoek gebeurt door middel van interviews met werknemers, huidige kennis van de observator en een analyse van het productieproces.

Wanneer er wel data beschikbaar is over de laadfactor van de productiebronnen kan de onderzoeker zich baseren op de zogenaamde 'capacity resource profiles'. Deze productiedocumenten vermelden de geplande laadfactor van de verschillende machines. De bottleneck is de productiebron die de hoogste laadfactor heeft. Alle machines met een laadfactor kleiner dan 100% zijn geen bottlenecks. In kader van dit onderzoek verdienen zij verder geen aandacht omdat een onvolledige machinebezettingsgraad resulteert in vrije tijd. (Chase et al., 2006) Bijgevolg zal het streven naar continuïteit van een niet - bottleneck enkel een verlies van energie inhouden (Visser en van Goor, 2004).

2.2 Optimalisatie van de omschakeltijd

2.2.1 Definitie

"reducing setup times, queues, and move times results in shorter lead times and decreases in inventory levels"

(Sanderson, 1997: 18.8)

De setuptijd bestaat uit de benodigde tijd om een productielijn in te stellen voor de productie van een nieuwe productbatch (the productivity development team, 1999). Een alternatieve definitie wordt in het boek 'Time to Market: Reducing Product Lead Time' vermeld als 'de tijdsperiode tussen de voltooiing van het laatst geproduceerde product en de voltooiing van het eerste product van de nieuwe batch' (Charney en Mitchell, 1991: 166).

De reductie van de omschakeltijd kan op twee manieren gebeuren. Ten eerste kan de onderneming trachten de frequentie van de omschakeltijd te verlagen. Dit hangt nauw samen met de batchgrootte van de geproduceerde producten. Een tweede mogelijkheid bestaat erin de benodigde tijd voor de uitvoering van omschakelactiviteiten te verkorten.

2.2.2 Optimalisatie van de omschakeltijd: frequentie en batchgrootte

"De grootste uitdaging voor vele productiemangers bestaat erin om een gediversifieerde productie in kleine batches te realiseren"

(Shingo en Dillon, 1985: 12).

Door te produceren in kleine batches moeten de omschakelactiviteiten frequent worden uitgevoerd. Dit leidt tot verschillende voordelen voor de onderneming. Ten eerste zal de voorraad goed-in-bewerking dalen. Omdat er minder geld in de voorraden wordt vastgezet, stijgt de winstgevendheid van het bedrijf (Charney en Mitchell, 1991). Bovendien vermijdt men de verspilling die gepaard gaat met het aanhouden van excessieve voorraden. De reductie van verspilling, ook wel gekend onder de Engelse term 'waste', is één van de steunpilaren waarop lean manufacturing is gebaseerd. Het is dan ook niet verwonderlijk dat kleine productbatches een belangrijke component zijn van verschillende 'lean' strategieën. Zoals vermeld stellen kleine productbatches de onderneming in staat om flexibel op de marktvraag inspelen.

Bij de bespreking van het praktijkprobleem werd vermeld dat een productie op voorraad sterk afhankelijk van de marktvraag. Het aanhouden van excessieve voorraden houdt echter verschillende nadelen in. Naarmate de voorraad toeneemt, wordt er steeds meer geld vastgezet voor de onderneming. De investering in de voorraad neemt toe. Ook de nood aan ruimte voor opslag kan leiden tot organisatorische problemen (Charney en Mitchell, 1991). Bovendien houden excessieve voorraden verhoogde kwaliteitsrisico's in. Zo kunnen productdefecten vlugger worden vastgesteld wanneer de producten niet onmiddellijk worden opgeslagen (Gross en McInnis, 2003). Tenslotte kan een productie in grote productbatches leiden tot de creatie van nieuwe bottlenecks (Chase et al., 2006). De capacity constrained resources (CCR) moeten daarom nauw opgevolgd worden tijdens productie.

De omschakelactiviteiten worden minder frequent uitgevoerd bij een productie in grote batches. Hierdoor daalt de totale omschakeltijd. De onderneming kan echter minder flexibel op de marktvraag. Dit kan leiden tot een langere customer lead tijd (Choudri, 2002). De onderliggende verklaring is dat de daling in omschakeltijd gepaard gaat met een toename van productietijd, rijtijd en wachttijd (Chase et al., 2006). Hierdoor kan een productie in grote batches leiden tot een langere customer lead time bij plotse fluctuaties in marktvraag. Omwille van bovenstaande redenen, met name de excessieve voorraden en de mogelijke laattijdige levering, wordt in dit onderzoek dan ook niet gekozen om de omschakeltijd te reduceren door te produceren in grote batches.

2.2.3 Optimalisatie van de omschakeltijd: tijd benodigd voor omschakelactiviteiten

2.2.3.1 Reductie van de omschakeltijd: stappenplan van Dhr. Charney en Dhr. Mitchell

Door te produceren in kleine batches neemt de frequentie waarmee de omschakelactiviteiten worden uitgevoerd toe. Het is dan ook essentieel dat de omschakelactiviteiten zo snel mogelijk

worden uitgevoerd. Bovendien is het verkorten van de tijd, die benodigd is voor het omschakelen van de productielijn, altijd voordelig. Zelfs indien de onderneming produceert op voorraad zal een kortere omschakeltijd leiden tot een kortere customer lead time. Bovendien kan een kortere omschakeltijd leiden tot een concurrentievoordeel. Het meest gekende voorbeeld hiervan is het Japanse bedrijf Toyota. Eind jaren 1970 werd er een zware concurrentieslag gevoerd tussen de Amerikaanse en Japanse autofabrikanten. Bij de omschakeling naar een ander type voertuig moest een 800ton zware drukpers worden ingesteld. Deze omschakelactiviteit duurde bij de Amerikaanse bedrijven gemiddeld zes uur. De Japanse werknemers hadden hier slechts 10 minuten voor nodig (Chase et al., 2006).

In het boek 'Time to market – Reducing Product Lead Time' wordt een stappenplan vermeld voor het reduceren van omschakeltijd. Dit plan is gebaseerd op het onderscheid tussen de interne en externe omschakeltijd. Gedurende de *interne omschakeltijd* moet de productie-installatie stilgelegd worden voor de uitvoering van omschakelactiviteiten. De interne setuptijd is op voorhand gekend en resulteert bijgevolg in verwachte of geplande stilstand. Bij de *externe omschakeltijd* worden activiteiten uitgevoerd terwijl het productieproces operationeel is. De omschakelactiviteiten die in beide tijdscomponenten worden uitgevoerd, worden respectievelijk interne en externe omschakelactiviteiten genoemd. Het voorgestelde stappenplan bestaat uit vier verschillende fasen. Deze fasen zijn:

1. Bepaal de interne en externe omschakelactiviteiten.
2. Maak zoveel mogelijk interne omschakelactiviteiten extern.
3. Reduceer waar mogelijk de interne omschakelactiviteiten.
4. Vereenvoudig de interne en externe omschakelactiviteiten.

Gedurende de eerste fase van het stappenplan worden de verschillende omschakelactiviteiten vastgesteld. Ze worden ingedeeld in interne en externe omschakelactiviteiten. Vervolgens worden de interne omschakelactiviteiten vastgesteld die uitgevoerd kunnen worden wanneer de productielijn operationeel is. Aangezien interne omschakeltijd leidt tot stilstand van de productielijn, zal de geplande stilstand tijdens de omschakeling dalen. In de derde fase worden de overgebleven interne omschakelactiviteiten onderzocht. Indien de uitvoering van overbodige activiteiten wordt vastgesteld, worden de interne activiteiten geëlimineerd. Tenslotte worden zowel de vastgestelde interne en externe omschakelactiviteiten waar mogelijk vereenvoudigd. In dit stappenplan houdt deze vereenvoudiging een standaardisatie van omschakelprocedures in (Charney en Mitchell, 1991).

Door de eenvoud van het stappenplan, is het goed toepasbaar in de praktijk. Een punt van kritiek is echter dat dit plan geen rekening houdt met de menselijke factor. Er wordt niets vermeld over een herstructurering met betrekking tot de huidige taakindeling van de werknemers die de onderhoudsactiviteiten uitvoeren. Hierdoor is het stappenplan van Dhr. Charney en Dhr. Mitchell enkel toepasbaar indien de onderhoudsactiviteiten worden uitgevoerd door één werknemer. Een andere methode, die wel rekening houdt met de menselijke factor bij de uitvoering van omschakelactiviteiten, is de SMED – methode.

2.2.3.2 Reductie van de omschakeltijd: de SMED – methode

De 'Single Minute Exchange of Die' (SMED)–methode werd ontwikkeld door de Japanse ingenieur Shigeo Shingo in de matrijzen- en stempelwereld. Door zeer consequent gebruik te maken van een methode- en tijdstudie slaagde Dhr. Shingo erin om drastisch omschakeltijden te reduceren (van der Bij et al., 2001). De SMED-methode wordt meestal uitgevoerd in het kader van lean management. Ondanks de eenvoudige toepassing en goede resultaten, toont onderzoek aan dat de methode veel te weinig wordt toegepast. De reden hiervoor is dat bedrijven zich vasthouden aan oude gewoonten. De meeste tijd en financiële middelen worden geïnvesteerd in training en opleidingen (Breukelen et al., 2000).

De SMED - methode kan volgens het boek '111 instrumenten voor kwaliteitsverbetering' worden uitgevoerd in drie algemene stappen. Deze stappen zijn:

1. Bepaal zowel de interne en externe omschakelactiviteiten
2. Herschik de omschakelactiviteiten
3. Herorganiseer het geheel omschakelproces

In de eerste fase worden de verschillende omschakelactiviteiten ingedeeld in interne en externe activiteiten. Dit is analoog aan de 1^{ste} fase van het eerste stappenplan. Ook wordt hierbij de tijdsduur van iedere handeling geregistreerd. In de tweede fase worden de verschillende omschakelactiviteiten geoptimaliseerd. Dit is analoog aan de overige fasen van Charney's en Mitchell's stappenplan. Tenslotte worden de omschakelactiviteiten gereorganiseerd in de derde fase (Oosterhoorn, 2004).

Het SMED – algoritme hecht belang aan de menselijke factor bij de optimalisatie van omschakelactiviteiten. De herstructurering van arbeid is immers in de 3^{de} fase van het stappenplan opgenomen. In de voorgaande paragraaf werd de menselijke factor niet vermeld in het stappenplan. Wanneer slechts één werknemer de omschakelactiviteiten uitvoert, zijn beide stappenplannen identiek aan elkaar. Indien er meerdere werknemers betrokken zijn bij de omschakeling van het productieproces, moet een nieuwe taakindeling worden toegekend door de reorganisatie van de omschakelactiviteiten. Deze reorganisatie van werknemers wordt opgenomen in het SMED – algoritme.

De knelpunten van een productieproces, namelijk de bottleneck en CCR, werden reeds besproken. Zoals vermeld zal het gehele productieproces stilliggen wanneer de bottleneck stilligt. Het reduceren van de omschakeltijd is dan ook vooral van belang op de machines die als knelpunt worden vastgesteld. Bovendien zal het reduceren van stilstand van een niet-bottleneck enkel leiden tot meer vrije tijd van deze productiebron. Het aantal bottlenecks kan echter dalen door uitvoering van het SMED – algoritme. Hierdoor stijgt de productiecapaciteit van de productielijn (Amelior, 2008). Het verkorten van de omschakeltijd van een bottleneck is dan ook altijd een goede investering (IMEC, 2008).

Gebaseerd op bovenstaande informatie kan een algoritme worden opgesteld voor de praktische implementatie van de SMED – methode. Dit SMED – algoritme wordt weergegeven in figuur 5. Door de knelpunten van het proces in het algoritme op te nemen, kan de onderneming er zichzelf van verzekeren dat de effectiviteit van uitvoering van de methode toeneemt. Ik pas dan ook volgend algoritme toe in de praktijkstudie:

1. Bepaal de machine met de grootste laadfactor binnen het productieproces (zie paragraaf 2.1 voor het vaststellen van de bottleneck). Indien de bottleneck reeds behandeld is door het algoritme, kan de manufacturing lead tijd niet verder verkort worden door optimalisatie van de omschakeltijd. De onderliggende gedachte is dat de minimalisatie van stilstand van een niet-bottleneck enkel een verlies van energie inhoudt. Het productieproces moet verder geoptimaliseerd worden door de overige fasen van het 'Theory of constraints'-stappenplan (zie paragraaf 1.3.5.2). Bij eliminatie van de bottleneck moet het algoritme opnieuw uitgevoerd worden.
2. Inventariseer de verschillende omschakelactiviteiten. Registreer zowel de benodigde tijd per individuele handeling en de totaal benodigde tijd voor de omschakeling van de machine. Stop met de uitvoering van het algoritme indien geen omschakelactiviteiten aan de vastgestelde bottleneck worden uitgevoerd.
3. Categoriseer de omschakelactiviteiten in interne – en externe activiteiten.
4. Maak zoveel mogelijk interne omschakelactiviteiten extern. Hierdoor zal de stilstand van de productiebron onder beschouwing dalen. Dit resulteert in een hogere beschikbaarheid van de machine.
5. Elimineer de interne omschakelactiviteiten die geen waarde toevoegen aan de omschakeling. Hierdoor zal de stilstand van de machine verder dalen.
6. Herorganiseer de omschakeling van de machine. Indien er meerdere werknemers deelnemen aan de omschakeling moet een nieuwe taakplanning worden opgesteld.
7. Documenteer de bevindingen van stap 3 tot en met 6.
8. Evalueer de verandering in omschakeltijd van de bottleneck. Ga terug naar stap 1 om eventuele nieuwe bottlenecks vast te stellen.

2.3 Optimalisatie van de productietijd

Zoals vermeld worden de noodzakelijke activiteiten voor het order uitgevoerd tijdens de productietijd. In kader van dit onderzoek betekent dit dat de productielijn operationeel is. Net zoals bij de omschakeltijd kunnen twee aspecten van de tijdscomponent worden geanalyseerd. Ten eerst kan de onderneming investeren in additionele capaciteit voor het productieproces. Omdat er meer producten in een bepaald tijdsinterval worden geproduceerd, zal de totale manufacturing lead time dalen. Ten tweede kan de onderneming de kans op calamiteiten met betrekking tot het productieproces minimaliseren. Door deze ongewenste gebeurtenissen kunnen de geproduceerde

eindproducten afwijken van de kwaliteitsnorm. Bij vaststelling van een foutieve productie kunnen de geproduceerde producten aangepast of weggegooid worden. Dit is afhankelijk van het soort defect dat het eindproduct vertoont. Indien de producten worden weggegooid, is dit een verspilling van zowel grondstoffen en energie. Bovendien kan de verloren productietijd niet door de onderneming gerecupereerd worden. Ook kunnen calamiteiten leiden tot stilstand van productiebronnen. Een mechanisch defect is hier een voorbeeld van.

2.3.1 Verhogen van de productionele capaciteit: investeren

Tijdens de beperking van de knelpunten van een productieproces werd de 'Theory of constraints' vermeld (zie paragraaf 1.3.5.2). Bij deze bespreking werd een stappenplan vermeld voor de optimalisatie van een systeem. Het verhogen van de productionele efficiëntie door te investeren in additionele capaciteit valt onder de 4^{de} fase van dit stappenplan. Door de verhoogde productiecapaciteit van de bottleneck zal de productcyclustijd dalen. Omdat dit de onderneming in staat stelt meer producten binnen een bepaalde tijd te produceren, zal de investering leiden tot een daling van de totale manufacturing lead time.

De optimalisatie van een productieproces door te investeren in additionele capaciteit wordt in dit werkstuk buiten beschouwing gelaten. Ik kies hiervoor omwille van verschillende redenen. Ten eerste is de investering in additionele capaciteit volgens de 'Theory of constraints' pas aangeraden nadat de bestaande bottleneck werd geoptimaliseerd. Door optimalisatie van het huidige productieproces kan de bestaande bottleneck immers verdwijnen. Bovendien is een investering in additionele productiecapaciteit een dure aangelegenheid voor de onderneming. Ook hierdoor is het voordelig voor de onderneming om eerst de huidige productie-installatie te optimaliseren. Indien de geoptimaliseerde bottleneck nog steeds de capaciteit van het productieproces beperkt, kan de onderneming overgaan tot een investering in extra capaciteit. Zoals vermeld resulteert een uur stilstand van de bottleneck in een uur stilstand van het gehele systeem. De verloren tijd kan niet meer gerecupereerd worden. Bovendien zal de stilstand van de bottleneck niet automatisch verdwijnen door te investeren in additionele capaciteit. Stel bijvoorbeeld dat de oude bottleneck een machine is die vaak stilstaat omwille van een slecht voorraadbeheer. Indien de onderneming investeert in een betere machine zal de dure machine eveneens stilstaan wanneer er geen grondstoffen voorradig zijn. Dit onderzoek richt zich dan ook tot de tweede fase van de 'Theory of constraints', namelijk het optimaliseren van de huidige bottleneck.

2.3.2 Verhogen van de productionele capaciteit: optimaliseren

"it is the unplanned downtime that has the severest impact on you, your users, clients, customers, partners and the reputation of your department and team"

(Holtsnider en Jaffe, 2000: 122).

Tijdens de analyse van de omschakeltijd kwam ik tot de conclusie om de stilstand van het productieproces te minimaliseren door toepassing van het SMED – algoritme. Dit resulteert in een daling van de geplande stilstand. Men spreekt hier van geplande stilstand omdat het management op voorhand weet dat het productieproces stilgelegd wordt. Andere voorbeelden van geplande stilstand zijn pauzes en de tijd benodigd voor de uitvoering van geplande onderhoudstaken.

In tegenstelling tot de bespreking van de omschakeltijd richt de analyse van de productietijd zich tot de ongeplande stilstand. Bij de ongeplande stilstand wordt de productielijn stilgelegd door het optreden van defecten of een tekort van ruwe materialen die nodig zijn in het productieproces (Gross en McInnis, 2003). Deze stilstand van het productieproces, of een component ervan, is niet op voorhand door de onderneming gekend. Ook bij deze gedachtegang spelen de knelpunten van het productieproces een belangrijke rol. Een uur verloren productie van de bottleneck is immers een uur verloren productie van het gehele productieproces. Aangezien dit tijdsverlies niet door de onderneming gecompenseerd kan worden, zal stilstand van de bottleneck leiden tot een langere manufacturing lead tijd.

Ook kunnen de geproduceerde eindproducten afwijken van de gewenste kwaliteitsnorm door het optreden van ongewenste gebeurtenissen. Dit leidt op verschillende manieren tot vertraging van het productieproces. De kans bestaat immers dat de productie-installatie, of een component ervan, moet stilgelegd worden. Dit is al in bovenstaande alinea besproken. De productietijd, voor het maken van de foutieve producten, kan bovendien niet of gedeeltelijk gecompenseerd worden. In de eerste situatie worden de foutieve eindproducten weggegooid. Dit leidt tot de verspilling van grondstoffen, energie en productietijd. Hierdoor stijgen de operationele kosten van de onderneming. Bovendien moeten de gewenste producten opnieuw geproduceerd worden. In de tweede situatie vertonen de eindproducten een defect dat door de onderneming kan hersteld worden. De producten zijn na herstelling terug bruikbaar voor verkoop. Hoewel de onderneming geen tijd verliest voor het produceren van nieuwe producten, verliest men tijd voor de herstelling van de foutieve producten. Bijgevolg zullen beide situaties leiden tot een langere manufacturing lead tijd.

De frequentie, waarmee onverachte gebeurtenissen optreden, is afhankelijk van het operationele risico van de onderneming. Dit risico wordt dan ook in de volgende paragraaf besproken.

2.3.2.1 Het operationeel risico: het productierisico

Aan ieder productieproces zijn risico's verbonden. Deze risico's hebben zowel een invloed op de betrouwbaarheid en de continuïteit van het proces. Dit wordt ook wel het operationele risico van het productieproces genoemd. Volgens het boek 'Risk-based Management: A reliability – centered approach' kan het operationele risico ingedeeld worden in drie categorieën. Een indeling wordt gemaakt tussen het risico eigen aan de productie-installatie, het risico verbonden aan de arbeiders van het productieproces en tenslotte het risico dat eigen is aan het productieproces (Jones, 1995). Deze indeling wordt weergegeven in figuur 6.

Het *risico eigen aan de productie-uitrusting* neemt toe met de ouderdom van de machines. Toch zullen twee identieke machines op een verschillend tijdstip stukgaan. De functionaliteit van de machine wordt immers beïnvloedt door uiteenlopende factoren. Voorbeelden hiervan zijn de specifieke werkomstandigheden van de machine of een onverwachte gebeurtenis waardoor een defect aan de machine optreedt (Willis, 2004). De verschillende oorzaken waardoor een defect aan een machine optreedt, kunnen ingedeeld worden in vijf categorieën. Deze categorieën zijn: het opereren van de machine in een omgeving waar hij niet voor ontworpen is (bijvoorbeeld hoge spanning of temperatuur), corrosie en erosie, een mechanische faling, fabricatie- of installatiefout en een foutieve herstelling van de machine (Noyes, 1992).

Ook is er een *risico verbonden aan de werknemers* binnen het productieproces. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen een technische fout, een ongewillige fout en een opzettelijke fout. Ongewillige fouten zijn simpelweg vergissingen die de werknemer kan begaan. Ze komen niet frequent voor en zijn bijna onmogelijk te voorspellen. Opzettelijke fouten zijn bewuste pogingen van een werknemer om het proces te onderbreken. Een menselijke fout met betrekking tot de procesprocedures wordt een technische fout genoemd. De frequentie waarmee deze fouten optreden, is sterk afhankelijk van de kwaliteit van de bedrijfsopleiding (Keller en Pyzdek, 2004).

Het derde *risico is eigen aan het productieproces* zelf. Deze risicocomponent omvat alle risico's die niet in de twee bovenstaande risicocomponenten zijn opgenomen. Een voorbeeld hiervan is het risico inherent aan de gebruikte grondstoffen in het productieproces. Ook is de functionaliteit van een productieproces afhankelijk van onderliggende factoren. Een voorbeeld hiervan is een laattijdige of foutieve levering van grondstoffen door een leverancier.

Wanneer faling voorkomt bij één van de drie vermelde risicocomponenten, zal dit een invloed hebben op zowel de output, de productkwaliteit, de klantenservice en de productiekost. Bovendien beïnvloeden de risicocomponenten elkaar. Zo kan een vergissing van een werknemer leiden tot een foutieve machinebewerking. Dit resulteert in een foutieve productie of verkorte levensduur van de productiebron (Moubray, 2001).

2.3.2.2 Minimalisatie van het productierisico

"Failure prevention has more to do with avoiding the consequences of failure than it has to do with preventing the failures themselves"

(J.Moubray,2001, geciteerd door Levitt, 2004)

Ik begin de analyse met het risico dat eigen is aan de productie-installatie. De onderhoudsdienst speelt hierbij een belangrijke rol. Een correcte uitvoering van onderhoudsactiviteiten zal immers leiden tot een verhoogde betrouwbaarheid en beschikbaarheid van het productieproces. De verschillende onderhoudsactiviteiten worden in volgende paragraaf besproken.

2.3.2.3 Classificatie van de onderhoudsactiviteiten

Ik deel de verschillende onderhoudsactiviteiten in naar analogie van het boek 'Reliability Maintenance and Logistic Support: a Life Cycle Approach' (Kumar et al., 1994). Deze indeling legt immers de nadruk tussen de onderhoudsactiviteiten en het soort stilstand dat aan deze onderhoudsactiviteiten is gerelateerd. De besproken onderhoudsactiviteiten worden weergegeven in figuur 7.

2.3.2.3.1 De geplande onderhoudsactiviteiten

De geplande onderhoudstaken zijn alle activiteiten die uitgevoerd worden tijdens vooraf bepaalde tijdsperioden. De uitvoering van deze activiteiten kan op voorhand in rekening worden gebracht bij het opstellen van de productieplanning. Indien deze onderhoudsactiviteiten het stilleggen van de productielijn vereisen, leidt dit tot geplande stilstand. Het voordeel van gepland onderhoud is dat kans op potentiële onderbrekingen van de productie-installatie wordt geminimaliseerd. Hierdoor worden de kosten, die de onderneming oploopt door onderbrekingen aan de productie-installatie, geminimaliseerd (Jones, 1995).

De geplande onderhoudsactiviteiten kunnen ingedeeld worden in preventieve en predicatieve onderhoudstaken. Preventieve onderhoudstaken worden uitgevoerd op vooraf gespecificeerde tijden (bv. machine-uren) of criteria (bv. aantal geproduceerde eindproducten). Het doel van deze onderhoudstaken is het minimaliseren van de kans op faling of degradatie van de productie-installatie (Kelly, 2006). De preventieve onderhoudstaken worden met een bepaalde frequentie uitgevoerd. De onderhoudstaken worden met andere woorden uitgevoerd ook al heeft de productie-installatie hier geen nood aan. Hierdoor kunnen machineonderdelen vervangen worden wanneer ze slechts een fractie van hun verwachte levensduur bereikt hebben. Omdat de onderhoudstaken geen rekening houden met de werkelijke conditie van de productie-installatie, heeft het onderhoudsteam geen controle over calamiteiten die optreden gedurende het tijdsinterval tussen de uitvoering van preventieve onderhoudstaken (Kumar et al., 1994).

De predicatieve of conditiegebaseerde onderhoudstaken worden uitgevoerd wanneer empirische data aantoont dat de uitvoering van de taken vereist is. Door de hoge kostprijs van het predicatief onderhoud, kunnen de onderhoudstaken het beste uitgevoerd worden op productiebronnen met een hoge kost van stilstand of onderliggend veiligheidsrisico (Humphrey, 1999). Ook vanuit dit perspectief kan de focus op de knelpunten van het productieproces beargumenteerd worden. Omdat de snelheid van het productieproces bepaald wordt door de snelheid van de bottleneck, zal stilstand van de bottleneck leiden tot een verlies van potentiële afzet. Deze verloren inkomsten moeten in rekening worden gebracht bij de evaluatie van de kost van stilstand. De predicatieve onderhoudsactiviteiten worden enkel uitgevoerd wanneer de productie-installatie er nood aan heeft. Hierdoor heeft het onderhoudsteam meer controle over potentiële defecten, ongeacht het tijdstip van optreden. Dit was niet zo bij het preventief onderhoud.

2.3.2.3.2 De ongeplande onderhoudsactiviteiten

De ongeplande onderhoudstaken bestaan uit alle onderhoudsactiviteiten waarvan het moment van uitvoering niet op voorhand is gekend. Hierdoor worden deze onderhoudsactiviteiten gekenmerkt door een reactief, in plaats van preventief, karakter.

Met betrekking tot de ongeplande omschakelactiviteiten wordt het correctief onderhoud vermeld. Het correctief onderhoud, ook wel 'breakdown maintenance' genoemd, omvat alle onderhoudstaken die worden uitgevoerd om de functionaliteit van een item of systeem te herstellen (Kumar et al., 2000). Dit houdt in dat de onderhoudsactiviteiten pas worden uitgevoerd nadat een defect is opgetreden. De onderhoudstaken worden meestal correctief uitgevoerd wanneer de onderhoudstaken lang duren of de vereiste, financiële bronnen voor een gepland onderhoudsprogramma niet beschikbaar zijn (Hassanain, et. al, 2003).

2.3.2.4 Optimaliseren van de onderhoudsactiviteiten

Het motto 'voorkomen is beter dan genezen' is door iedereen gekend. Toch moet de vraag gesteld worden of dit motto ook opgaat met betrekking tot de optimalisatie van het onderhoud. Om dit te onderzoeken moet de onderneming rekening houden met de kost voor uitvoering van onderhoudsactiviteiten en de kost die de onderneming oploopt indien de onderhoudstaken niet uitgevoerd worden. De kost, waar de opgetreden faling toe leidt, bestaat in de eerste plaats uit kosten die de onderneming eenvoudig kan vaststellen en voorspellen. Voorbeelden hiervan zijn kosten met betrekking tot een verloren productie, verloren inkomsten of legale kosten. Ook moeten kosten, die niet gemakkelijk te voorspellen en vast te stellen zijn door de onderneming, in de kost van faling worden opgenomen. Zo moet men rekening houden met de kost van verloren marktkansen of de kost van opgelopen reputatieschade (Wallace en Webber, 2004).

Indien faling van de productie-installatie resulteert in hoge kosten, zal de onderneming moeten investeren in een proactief onderhoudsprogramma. Indien deze kost relatief laag is, worden de onderhoudsactiviteiten vooral reactief uitgevoerd. Zo vermeldt Dhr. Moubray in zijn boek 'Reliability-centered maintenance' dat het uitvoeren van een proactieve taak steeds moet bekeken worden in functie van de kostprijs. Indien de kost voor het uitvoeren van de proactieve taak hoger ligt dan de kost van het potentiële defect en de geassocieerde herstellkost, kan het onderhoudsteam de onderhoudstaken het best reactief uitvoeren (Moubray, 2001).

Er wordt vastgesteld dat vele bedrijven sinds enkele decennia ernaar streven om hun onderhoudsbeleid proactief te maken in plaats van reactief (S.J. Thomas, 2005). Wanneer we de stelling van Dhr. Moubray in ons achterhoofd houden, kan dit als indicatie beschouwd worden dat faling vaak leidt tot hoge kosten. In dit onderzoek wordt dan ook geanalyseerd hoe het risico, dat eigen is aan de productie-installatie, kan geminimaliseerd worden vanuit een proactief onderhoudsperspectief. Twee belangrijke theorieën die betrekking hebben op deze gedachtegang zijn 'Total productive maintenance' (TPM) en 'Reliability - centered maintenance' (RCM). Beide methoden worden gebruikt voor de continue verbetering van de productie-installatie. Terwijl TPM

meer de nadruk legt op de werknemers binnen de onderneming, richt RCM zich tot de gebruikte productie-installatie binnen het productieproces (Jardine en Tsang, 2005).

2.3.2.4.1 Total productive maintenance (TPM)

a) DE TPM-filosofie

Het boek 'Lean manufacturing that works' definieert de TPM - filosofie als: '*iedere werknemer in de organisatie is verantwoordelijk voor het succes van de onderneming. Alle werknemers moeten samenwerken om de mechanische bronnen in perfecte conditie te houden voor het promoten van een omgeving van superieure kwaliteit met minimale variaties*' (Carreira, 2005: 279). Merk op dat deze managementfilosofie de actieve participatie van iedere werknemer, gaande van de arbeiders op de werkvloer tot het management van de organisatie, vereist.

Het management moet bereid zijn om een TPM-programma te promoten en ondersteunen. TPM is immers geen probleemoplossende methode die de onderneming kan gebruiken op korte termijn. Wel houdt TPM een verandering van bedrijfscultuur in, die op lange termijn zal leiden tot een verhoogde betrouwbaarheid en effectiviteit van de productie-installatie. Ook moet het management de vereiste, financiële bronnen vrijmaken. Een goede implementatie van TPM vereist immers de correcte werking van de productie-installatie. Bijgevolg is TPM gedoemd tot falen zonder de noodzakelijke ondersteuning en toewijding van het management (Smith en Hawkins, 2004).

b) Algemene TPM objectieven.

In het boek 'Uptime: Strategies for Excellence in Maintenance Management' worden drie primaire objectieven van TPM toegelicht. Deze objectieven zijn:

1. *Het maximaliseren van de productiviteit en effectiviteit van de productie-installatie.*
2. *Overname van onderhoudstaken door de machineoperatoren. Dit wordt ook wel autonoom onderhoud genoemd.*
3. *Streven naar een continue verbetering van de productie-installatie (Campbell, 2006).*

In de eerste plaats wordt TPM gebruikt voor het maximaliseren van de effectiviteit van de productie-installatie. Om dit objectief te halen, moet de onderneming de verschillende oorzaken van capaciteitsverlies trachten te elimineren. Deze verliezen worden veroorzaakt door stilstand (bij verstoring van de productie-installatie en omschakeling van de productielijn), door snelheidsverliezen (bij daling in snelheid van de productie-installatie of kleine stops van de machines) en door kwaliteitsverliezen (gedurende de opstartfase van het productieproces en door gebreken binnen het productieproces) (Oosterhoorn, 2004). Binnen de TPM - gedachte, moeten de machineoperatoren de vermelde oorzaken van verlies onmiddellijk noteren wanneer ze worden vastgesteld. Dit stelt de onderneming in staat de zogenaamde '*Overall Equipment Effectiveness (OEE)*' te berekenen. Deze gecombineerde meting wordt in kader van TPM gebruikt voor de evaluatie waarmee de bovenstaande vormen van verspilling worden geëlimineerd.

Het management moet ook financiële bronnen vrijmaken voor de opleiding van werknemers. TPM werd oorspronkelijk ontwikkeld vanuit het zogenaamde 'autonoom onderhoud'. Autonoom onderhoud wordt gedefinieerd als '*de transfer van verschillende onderhoudstaken van de onderhoudsdienst naar de machineoperatoren*' (Enkawa en Schvaneveldt, 2001: 553). De onderhoudsafdeling moet de operatoren opleiden in de uitvoering van dagelijkse onderhoudstaken. Het smeren of controleren van de productie-installatie zijn hier voorbeelden van. Omdat meerdere werknemers onderhoudsactiviteiten uitvoeren, zal de kans op faling dalen. Ook kunnen de machineoperatoren, aangezien zij werken met de productie-installatie, snel reageren indien faling optreedt. Dit resulteert in een reductie van verspilling waardoor minder variaties binnen het productieproces optreden.

Tenslotte is TPM geen korte-termijn, probleemoplossende methode. Net zoals bij lean manufacturing staat de continue verbetering van de bedrijfsprocessen centraal. Hiervoor worden cross – functionele teams, die bestaat uit werknemers van de productie-, onderhouds- en de ingenieursafdeling, opgericht. Deze teams staan in voor de continue evaluatie en optimalisatie van de productie-installatie (Campbell, 2006).

2.3.2.4.2 Reliability – centered maintenance (RCM)

a) Definitie en relevantie

Reliability – centered maintenance (RCM) wordt gedefinieerd als '*een systematisch proces voor het vaststellen van de activiteiten die uitgevoerd worden zodat de productie-installatie steeds voldoet aan de gewenste functies binnen de operationele context waarin de installatie operationeel is*' (Dhillon, 2002: 81). RCM is gebaseerd op het principe dat een preventieve onderhoudstaak enkel moet uitgevoerd worden indien de risicocomponenten, die leiden tot een verminderde veiligheid, beschikbaarheid of verhoogde productiekost van het productieproces, worden geminimaliseerd of geëlimineerd door de uitvoering van de activiteit (Moss, 1985). Dit houdt in dat de onderhoudstaken enkel worden uitgevoerd wanneer de productie-installatie er nood aan heeft. De vermelde nadelen van het preventief onderhoud zullen hierdoor geminimaliseerd worden. Bijgevolg zijn vele managers van mening dat de RCM methodologie de beste methode is voor het optimaliseren van het preventief onderhoud (Smith en Hinchcliffe, 2004). Bovendien is het RCM het meest geschikt voor de optimalisering van de onderhoudstaken met betrekking tot defecten die leiden tot ernstige gevolgen (Jones, 1995). Dit leunt aan bij de redenering van Dhr. Moubray dat onderhoudstaken enkel moeten uitgevoerd worden wanneer de kost van het niet uitvoeren van de onderhoudstaak hoger ligt dan de kost van uitvoering.

b) RCM: Moubray's zeven basisvragen

In het boek 'Reliability – centered maintenance' stelt Dhr. Moubray dat de implementatie van het RCM – proces gebaseerd is op *zeven basisvragen*. Deze basisvragen zijn:

1. *Wat zijn de functies van de machine?*
2. *Hoe faalt de machine in het uitvoeren van zijn functies?*
3. *Wat is de oorzaak van de functionele faling?*
4. *Wat gebeurt er wanneer faling optreedt?*
5. *Op welke manier is de faling belangrijk?*
6. *Wat kan er gedaan worden om de faling te voorspellen of voorkomen?*
7. *Wat indien geen gepaste, proactieve taak kan worden vastgesteld?* (Moubray, 2001)

De bovenstaande vragen moeten in groepsverband worden onderzocht. Bovendien moeten de onderzoeksleden werkzaam zijn binnen de verschillende afdelingen van de onderneming. Een typische samenstelling van het onderzoeksteam wordt weergegeven in figuur 8. Er zijn verschillende redenen waarom men in groepsverband naar een antwoord op de zeven basisvragen zoekt. Geen enkele werknemer bezit over voldoende informatie om alle onderzoeksvragen te beantwoorden. Een analyse in groepsverband zal bijgevolg leiden tot volledige en betrouwbare informatie. Ook zal het management op een systematische manier toegang krijgen tot de ervaring en kennis van de verschillende onderzoeksleden. Bovendien is het onderzoek leerrijk voor alle onderzoeksleden. De analyse zal immers leiden tot een beter inzicht van de groepsleden over de productie-installatie binnen de huidige operationele context (Moubray, 2001). Een laatste reden, die niet door Dhr. Moubray wordt vermeld, is dat de onderzoeksleden op nieuwe ideeën kunnen komen wanneer ze luisteren naar de ideeën van hun collega's. Hierdoor verkleint de kans dat belangrijke failure modes in de analyse vergeten worden.

c) Levitt's RCM-stappenplan

In het boek 'Managing factory maintenance' gaat Dhr. Levitt dieper in op de zeven basisvragen. Volgens hem kan de implementatie van het RCM proces worden opgedeeld in *vijf fasen*. Dit stappenplan moet per machine worden uitgevoerd.

In de eerste plaats moeten de verschillende functies van de machine onder beschouwing worden vastgesteld. Hierbij moet er een onderscheid gemaakt worden tussen de primaire, secundaire en veiligheidsfunctie van de machine. De primaire functie is de 'raison d'être' van de installatie. Het is met andere woorden de functie waardoor de machine in de eerste plaats wordt gebruikt. In additie van de primaire functie kunnen er verschillende secundaire functies worden vastgesteld. Stel bijvoorbeeld dat een machine gebruikt wordt voor het verplaatsen van goederen in bewerking. Het is duidelijk dat de primaire functie het transporteren van goederen inhoudt. Als secundaire functie kan bijvoorbeeld het opslaan van de goederen tijdens de verplaatsing worden vermeld. Indien de machine de goederen niet goed opslaat, kan dit leiden tot beschadiging van de getransporteerde producten. Dit kan ook een risico inhouden met betrekking tot de werknemers op de werkvloer. Tenslotte is een veiligheidsfunctie een functie die de goede werking van de primaire of secundaire functies waarborgt (Levitt, 2004). Door het toenemend aantal veiligheidsapparaten op de

productie-installatie mag deze functie niet vergeten worden bij de implementatie van het RCM – proces (Mannan en Lees,2005).

Nadat de verschillende functies van de machine onder beschouwing zijn vastgesteld, moeten de verschillende vormen van 'functionele faling' worden vastgesteld. In deze fase onderzoekt het onderzoeksteam hoe de machine zijn functionaliteit kan verliezen. Dit wordt onderzocht voor de vastgestelde primaire, secundaire en veiligheidsfuncties.

In de derde stap wordt de vastgestelde functionele faling verder geanalyseerd. Gedurende deze fase worden de zogenaamde 'failure modes' vastgesteld. Een failure mode wordt gedefinieerd als '*een ontwerpfout of verandering van een systeem waardoor het niet goed functioneert*' (Stamatis, 1997: 257). Dit wil zeggen dat de verschillende oorzaken van faling voor iedere vastgestelde functie worden onderzocht. Het is essentieel in deze fase dat de werkelijke oorzaak van de functionele faling wordt vastgesteld en niet een resulterende oorzaak (Levitt,2004). Merk het verschil op tussen de tweede en derde stap. In de tweede stap werd de vraag beantwoord: 'Hoe kan de machine zijn functionaliteit verliezen?'. De derde fase gaat dieper in op de vraag: 'Waarom verliest de machine zijn functionaliteit?'.
Levitt, 2004

De vierde fase richt zich tot de gevolgen van de verschillende oorzaken van faling. Iedere faling beïnvloedt de goede werking van het productieproces op een bepaalde manier. Het is niet zozeer de functionele faling die de onderneming moet vermijden maar wel de gevolgen waartoe de opgetreden faling leidt. Zo stelt Dhr. Moubray: '*RCM erkent dat de enige reden waarom een proactieve onderhoudstaak moet uitgevoerd worden, is niet zozeer het vermijden van de faling maar wel het reduceren of vermijden van de gevolgen ervan*'. (Moubray, 2001: 10) De verschillende gevolgen kunnen ingedeeld worden in vier categorieën. Deze gevolgen zijn:

- *Verborgene gevolgen (multiple failure):* gevolgen die voortvloeien uit een risicocomponent waartegen geen veiligheid is voorzien. Een voorbeeld hiervan zijn de gevolgen van een defect aan een veiligheidstoestel van de productie-installatie.
- *Duidelijke gevolgen met betrekking tot de veiligheid van werknemers en omgeving:* in tegenstelling tot verborgen gevolgen is er een veiligheid voor 'duidelijke gevolgen' voorzien. Gevolgen hebben hier betrekking tot de veiligheid van de werknemer en de opgelegde wettelijke bepalingen.
- *Duidelijke operationele gevolgen:* gevolgen met een economische impact op het productieproces; gevolgen hebben een invloed op de kwaliteit van de geproduceerde eindproducten (Wikoff, 2008).
- *Duidelijke niet – operationele gevolgen:* gevolgen met een economische impact op het productieproces; gevolgen hebben geen invloed op de kwaliteit van de geproduceerde eindproducten. Een voorbeeld hiervan is schade aan de productie-installatie (Mannan en Lees, 2005).

In de eerste vier fasen van Levitt's stappenplan wordt de benodigde informatie voor de praktische implementatie van de RCM – methodologie verzameld. Merk op dat de eerste vier fasen van het stappenplan overeenkomen met Moubray's eerste vijf basisvragen.

Gedurende de laatste fase worden de oude onderhoudsactiviteiten opnieuw ingedeeld. Ook moeten, indien nodig, nieuwe onderhoudstaken worden opgesteld. Indien er geen gepaste onderhoudstaak kan worden vastgesteld, voor het elimineren van gevolgen betreffende de veiligheid van de werknemers of omgeving, moet het productieproces opnieuw worden ingericht. Het doel van deze reorganisatie is om enkel onderhoudstaken uit te voeren die de potentiële falingspreventief kunnen vaststellen of de gevolgen ervan voorkomen (Levitt, 2004).

Levitt's stappenplan is een eenvoudige manier om het RCM proces toe te passen in de organisatie. De vijf stappen behandelen het gehele proces van brainstorming tot de reorganisatie van oude taken. Zoals vermeld zullen nieuwe onderhoudstaken ontwikkeld worden indien het huidige onderhoudsprogramma geen rekening houdt met bepaalde failure modes. Merk op dat de implementatie van de nieuwe onderhoudstaken niet wordt opgenomen in het stappenplan. Toch kunnen hierbij zowel organisatorische als ook praktische problemen opduiken. Door een continue evaluatie van het productieproces kunnen bovendien nieuwe failure modes worden vastgesteld. Men kan niet veronderstellen dat alle mogelijke oorzaken van falingspreventief in het stappenplan zijn opgenomen. Een verklaring hiervoor is dat het onderzoek binnen een bepaalde tijdsperiode wordt uitgevoerd en de kennis van de onderzoeksleden beperkt is. Door deze continue evaluatie wordt het doel van RCM, met name het streven naar een continue verbetering van het productieproces door optimalisatie van de onderhoudstaken, gewaarborgd (Jardine en Tsang, 2005). Ik stel dan ook voor om twee additionele fasen aan Levitt's stappenplan toe te voegen. Dit wordt weergegeven in figuur 9. In deze figuur worden ook Moubray's basisvragen gerelateerd aan Levitt's stappenplan. De figuur kan dan ook als samenvatting beschouwd worden van deze paragraaf.

d) RCM in de praktijk

De RCM-methode heeft als doel de kans op falingspreventief binnen een productieproces te minimaliseren. Aangezien dit leidt tot een hogere beschikbaarheid en betrouwbaarheid van de productie-installatie, zal de totale manufacturing lead tijd dalen. Bijgevolg zal dit leiden tot het oorspronkelijke opzet van dit onderzoek, namelijk het verkorten van de totale customer lead tijd. Dit stelt de onderneming immers beter in staat de bestelde producten tijdig te leveren.

Nadat het onderzoeksteam de eerste vier fasen van het RCM-stappenplan heeft afgehandeld, moeten de preventieve onderhoudstaken geoptimaliseerd worden. Ook moeten nieuwe onderhoudstaken worden ontwikkeld voor oorzaken van falingspreventief met ernstige gevolgen. In deze fase moet het onderzoeksteam bijgevolg praktische vragen beantwoorden zoals:

- *Hoe kan men zo efficiënt mogelijk de onderhoudstaken reorganiseren?*
- *Wanneer zijn de gevolgen van de functionele falingspreventief ernstig?*
- *Wanneer moeten nieuwe onderhoudstaken ontwikkeld worden?*
- *Hoe kunnen de oorzaken van falingspreventief worden vastgesteld?*
- *Hoe regelmatig moeten de preventieve onderhoudstaken worden uitgevoerd?*
- ...

Voor het oplossen van deze vragen wordt binnen de RCM-methodologie standaard gebruik gemaakt van een zogenaamde '**Failure Mode and Effect Analysis**' (FMEA- analyse). Doormiddel van deze

analyse kan het onderzoeksteam op een gestructureerde manier de mogelijke oorzaken van faling, die eigen zijn aan de productie-installatie, vaststellen. Bovendien wordt op een eenvoudige manier het risico gesimuleerd dat geassocieerd wordt met een bepaalde failure mode. Een andere sterkte van de FMEA-analyse is dat het de verschillende oorzaken van faling rangschikt op basis van hun toegekend risico. Hierdoor kan het onderzoeksteam op een efficiënte manier vaststellen aan welke failure modes het team eerst aandacht moet geven (Gygi, et al., 2007).

Om de verschillende failure modes in te delen naar prioriteit wordt aan iedere oorzaak van faling een algemene risicoquotering toegekend. Deze risicoquotering, ook wel 'risk priority number' (RPN) genoemd, wordt op systematische wijze vastgesteld door de FMEA-analyse. In de eerste plaats onderzoekt het RCM-team in welke mate de oorzaak van faling voorkomt. Indien de failure mode regelmatig optreedt, krijgt hij een hoge risicotoekenning. Vervolgens wordt onderzocht hoe ernstig de gevolgen zijn waar de oorzaak van faling toe leidt. Failure modes die leiden tot ernstige gevolgen, bijvoorbeeld schade aan de machine of werknemer, krijgen een hoge risicoscore toegekend. Zoals vermeld door Dhr. Moubray ligt de focus bij risicomangement niet zozeer op het vermijden van failure modes maar wel op het vermijden of minimaliseren van de gevolgen ervan. Tenslotte wordt nagegaan of de oorzaak van faling gemakkelijk kan vastgesteld worden. Des te sneller de detectie van de mogelijke failure mode, des te lager het risiconummer.

Het definitieve RPN wordt bekomen door de drie individuele risicotoekenningen te vermenigvuldigen. Zo zal een failure mode die vaak voorkomt, moeilijk detecteerbaar is en leidt tot ernstige gevolgen een hoge risico inhouden. Wanneer een failure mode bijna nooit voorkomt, onmiddellijk kan vastgesteld worden en niet leidt tot ernstige gevolgen, zal het een laag RPN toegekend krijgen. De reorganisatie van de onderhoudstaken gebeurt zo efficiënt mogelijk wanneer de failure modes met een hoge risicoquotering het eerst worden behandeld (Moubray, 2001).

Merk op dat de FMEA-analyse binnen de 'reliability-centered maintenance' methodologie enkel gebruikt wordt voor minimalisatie van het risico dat eigen is aan de productie-installatie. Dit geldt ook voor de TPM-filosofie. De overige risicomponenten binnen het productierisico, namelijk het risico eigen aan de arbeiders binnen het productieproces en eigen aan het productieproces zelf, worden hierdoor buiten beschouwing gelaten. Deze risicomponenten kunnen echter opgenomen worden in de FMEA-analyse. Dit is mogelijk door additionele vragen voor te leggen aan het onderzoeksteam. Voorbeelden van deze vragen zijn:

- Hoe kunnen de machines hun functionaliteit verliezen door een verkeerde menselijke handeling?
- Door welke menselijke handeling kan de output afwijken van de vereiste kwaliteitsnorm?
- ...

Op deze manier worden de relaties tussen de verschillende risicomponenten niet in de FMEA-analyse buiten beschouwing gelaten. Er is vermeld dat de risicomponenten elkaar beïnvloeden. Een verkeerde handeling van een operator kan immers leiden tot beschadiging van de productie-installatie. Het is dan ook belangrijk dat bij uitvoering van een FMEA-analyse, de relaties tussen de elementen binnen een systeem, worden opgenomen in de analyse (Gygi, et al., 2007).

Het is deze analyse; met name een FMEA-analyse die ontwikkeld is vanuit een RCM-perspectief en waarbij de risicomponenten, die een invloed hebben op de output en productie-installatie, worden opgenomen; die in de praktijkstudie gaat uitgevoerd worden.

2.4 Bespreking van de operationele ratio's

Door optimalisatie van het productieproces, met behulp van het SMED-algoritme en een additionele FMEA-analyse, zullen diverse operationele ratio's beïnvloed worden. De belangrijkste ratio's en hun relevantie in dit werkstuk worden daarom kort in deze paragraaf besproken. Deze bespreking is gebaseerd op het boek 'Uptime: Strategies for Excellence in Maintenance Management', geschreven door Dhr. John Dixon Campbell.

2.4.1 Availability (beschikbaarheid)

De beschikbaarheid van het productieproces is de totale tijd waarin de productielijn beschikbaar is voor gebruik. Bijgevolg zal een hoge beschikbaarheid van het productieproces een hoge machinebezettingsgraad inhouden. Wanneer deze maatstaf gekend is, weet men ook de tijd waarin het productieproces stilstaat. Deze tijd is beter gekend onder de naam 'downtime'. De tijd waarin het productieproces operationeel is, wordt 'uptime' genoemd.

Beschikbaarheid (Campbell, 2006: 160) =

$$\frac{\text{Geplande uptime (min)} - \text{totale downtime (gepland + ongepland) (min)}}{\text{Geplande uptime (min)}}$$

Beschikbaarheid (alternatieve notatie) =

$$\frac{\text{Totale tijd waarin de productielijn operationeel was binnen de geplande uptime (min)}}{\text{Geplande uptime (min)}}$$

Deze ratio 'beschikbaarheid' zal toenemen door optimalisatie van zowel de omschakel- en productietijd. Door het SMED-algoritme zal de productielijn minder lang stilstaan gedurende de omschakeling. Dit resulteert in een daling van geplande stilstand. Bovendien zal de betrouwbaarheid van het productieproces toenemen door de uitvoering van de FMEA-analyse. Hierdoor daalt de ongeplande stilstand waarbij onverwachte onderhoudsactiviteiten worden uitgevoerd. Aangezien de productielijn minder stilstaat binnen een bepaald tijdsinterval, kunnen meer eindproducten geproduceerd worden. Dit stelt de onderneming beter in staat om tijdig producten te leveren aan de klanten.

2.4.2 Reliability (betrouwbaarheid)

De betrouwbaarheid van het productieproces meet de frequentie waarmee het productieproces stilstaat. Dit geeft trouwens een goede indicatie voor de gemiddelde tijd tussen het optreden van onverwachte gebeurtenissen aan de productie-installatie. Dit wordt ook wel 'Mean Time Between Failure' (MTBF) genoemd.

Betrouwbaarheid (Campbell, 2006: 160) =

$$\frac{\text{Totale, operationele tijd (uptime)}}{\text{Totaal aantal oorzaken van faling die optreden terwijl de productielijn operationeel is}}$$

Bij de optimalisatie van de productietijd, doormiddel van een FMEA-analyse, kunnen potentiële failure modes vermeden worden. Hierdoor daalt de frequentie waarmee de verschillende oorzaken van faling optreden. De MTBF zal bijgevolg dalen. Ook leidt dit tot lagere kosten van de onderneming. De FMEA-analyse richt zich immers tot het minimaliseren van verstoringen aan de productielijn. Hierdoor wordt de kans op mogelijke failure modes, en de vormen van verspilling waar ze toe leiden, gereduceerd. Aangezien verspilling enkel geld kost voor de onderneming, zonder waarde toe te voegen, zal dit onderzoek leiden tot een reductie van kosten. Merk op dat deze gedachtegang ook centraal staat bij 'lean' manufacturing.

2.4.3 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Zoals vermeld wordt deze ratio gebruikt bij de TPM-filosofie voor de evaluatie van de verschillende oorzaken van capaciteitsverlies. In deze gecombineerde ratio wordt zowel rekening gehouden met de beschikbaarheid van het productieproces (zie paragraaf 2.4.1), de snelheid waarmee producten geproduceerd worden en de kwaliteit van de geproduceerde producten. Hierdoor betekent een hoge score op deze ratio niet alleen een hoge mate van machinebezetting maar ook dat de productie-installatie werkt zoals verwacht.

Overall Equipment Effectiveness (OEE) (Campbell, 2006: 161):

$$\text{Beschikbaarheid (zie paragraaf 2.4.1)} \times \frac{\text{Verwachte product cyclus tijd} \times \text{Aantal geproduceerde, goedgekeurde eindproducten}}{\text{Actuele product cyclus tijd} \times \text{Totaal aantal geproduceerde eindproducten}}$$

Door dit onderzoek zal de beschikbaarheid van het productieproces toenemen. Ook worden de verschillende oorzaken van faling, waardoor de snelheid van de productie-installatie daalt of een

verkeerde output geproduceerd wordt, opgenomen bij uitvoering van de FMEA-analyse. Bijgevolg zal dit onderzoek, net zoals TPM, streven naar een hoge waarde op de ratio OEE.

Hoofdstuk 3: Onderzoeksopzet en situering praktijkstudie

3.1 Bespreking van relevante bronnen

Voor de situering van het praktijkonderzoek is gebruik gemaakt van secundaire bronnen. Toch is de praktijkstudie, in tegenstelling tot de literatuurstudie, vooral gebaseerd op primaire bronnen. De primaire bronnen kunnen onderverdeeld worden in persoonlijke observatie (gevalstudie), interviews met bevoorrechte getuigen en interne bedrijfsdocumenten. De bronnen worden in deze paragraaf kort toegelicht. De methode van uitvoering, voor het vaststellen van de bottleneck en voor de analyse van het SMED – algoritme en de FMEA – analyse, wordt immers besproken in de praktijkstudie.

De functies van de machines, die als basis dienen voor de uitvoering van de FMEA – analyse, zijn vastgesteld door observatie van de productiebronnen gedurende productie. Hierbij is vooral aandacht besteed aan de werking van de verschillende machineonderdelen. Nadien zijn de functies van de machines geformuleerd en ingedeeld zoals vermeld tijdens de bespreking van de RCM – methode in de literatuurstudie. Vervolgens valideerde dhr. Vaes, het hoofd van de onderhoudsdienst bij Plastiflex Belgium, de vastgestelde functies.

Het vaststellen van de bottleneck gebeurde op basis van een persoonlijk interview met dhr. Vets, observatie van de extrusielijn gedurende productie (voor het vaststellen van de 'product cyclus tijd' (PCT)) en interne bedrijfsdocumenten.

De relevante omschakelactiviteiten zijn vastgesteld doormiddel van persoonlijke observatie. De omschakeling van de productielijn is hiervoor vier maal geobserveerd. Nadien valideerde dhr. Vets de verschillende mogelijkheden, die zijn vastgesteld bij uitvoering van het SMED – algoritme, voor het verkorten van de omschakeltijd.

Tijdens het observeren van de productielijn, stelde ik verschillende 'failure modes' vast. Ook controleerde ik de afgekeurde eindproducten gedurende de eerste week waarin de gevalstudie is uitgevoerd. Deze controlebatch bestond uit ongeveer 250 stuks. Op basis van aantekeningen kon ik tijdelijke fault – tree diagrammen opstellen. Deze diagrammen zijn tijdens de uitvoering van de FMEA – analyse door bevoorrechte getuigen gevalideerd en aangevuld. Nadien is het 'risk priority number' vastgesteld doormiddel van persoonlijke interviews.

3.2 Centrale onderzoeksvraag praktijkstudie

In de literatuurstudie stelde ik vast dat de omschakeltijd het beste kan geoptimaliseerd worden via de SMED – methode. Deze methode houdt immers rekening met de menselijke reorganisatie na optimalisatie van de omschakelactiviteiten. Voor de uitvoering van de praktijkstudie is hiervoor een

algoritme opgesteld. Nadien is er gekozen voor de uitvoering van een FMEA – analyse met betrekking tot de optimalisatie van de productietijd. Deze analyse stelt de onderneming in staat om alle mogelijke risicofactoren, met betrekking tot ongewenste stilstand van de productie-installatie en kwaliteitsvariaties bij de eindproducten, vast te stellen.

In de praktijkstudie wordt de invloed van beide analyses onderzocht op de omschakel- en productietijd binnen de onderneming Plastiflex. De centrale onderzoeksvraag van dit gedeelte luidt dan ook als volgt: '***In welke mate worden de vastgestelde omschakel- en productietijd gereduceerd, door optimalisatie van de bottleneck, bij uitvoering van het SMED – algoritme en een bijkomende FMEA – analyse?***'.

3.3 Deelvragen praktijkstudie

De centrale onderzoeksvraag van de praktijkstudie kan onderverdeeld worden in volgende deelvragen:

1. *Wat is de bottleneck binnen het productieproces onder beschouwing?*

In dit onderzoek worden de omschakel- en productietijd geoptimaliseerd door optimalisatie van de bottleneck. Er moet dan ook worden vastgesteld wat de bottleneck is binnen het productieproces.

2. *Worden er belangrijke factoren buiten beschouwing gelaten bij uitvoering van de praktijkstudie?*

De praktijkstudie is gebaseerd op relevante theorieën die werden vastgesteld tijdens de literatuurstudie. De vraag moet dan ook gesteld worden of deze theorieën belangrijke factoren buiten beschouwing laten. Indien dit wordt vastgesteld, zullen de relevante theorieën worden aangepast zodat alle factoren met betrekking tot de minimalisatie van de omschakel- en productietijd in rekening worden gebracht.

3. *Welke invloed heeft de praktijkstudie op de omschakel- en productietijd?*

Het doel van dit onderzoek is de optimalisatie van de omschakel- en productietijd. Na uitvoering van het SMED – algoritme en de FMEA – analyse moet dan ook onderzocht worden in welke mate beide tijdscomponenten worden beïnvloed.

3.4 Situering praktijkstudie

3.4.1 Plastiflex

De multinational Plastiflex is al meer dan 50 jaar gekend om zijn kunststof buizen en slangen van hoogstaande kwaliteit. Hun breed aanbod van producten wordt gebruikt in verschillende sectoren gaande van de zwembadbouw tot de medische wereld. Na de oprichting kende het Amerikaanse bedrijf een onverwacht succes waardoor het op globale schaal kon uitbreiden. Momenteel beschikt

de onderneming over 10 productiefaciliteiten die verspreid zijn over Europa, de Verenigde Staten en Centraal-Amerika. Plastiflex kan zich dan ook met trots één van de globale marktleiders noemen binnen de sector van kunststof buizen en slangen (Publimat News, 2008).

De Belgische productievestiging van Plastiflex is gelegen te Beringen – Paal. Deze productiefaciliteit is bevoegd met het produceren van kunststof buizen met een hoge, internationale prioriteit binnen het aangeboden gamma van Plastiflex. Met meer dan 100 werknemers in dienst worden dan ook producten geproduceerd voor bekende bedrijfsgiganten zoals IKEA en Miele.

Mijn praktijkonderzoek voerde ik uit in opdracht van Dhr. Vets, de Belgische productiemanager van Plastiflex. Onder zijn begeleiding analyseerde ik het productieproces van het nieuwe productgamma Flexidrain ®.

3.4.2 Flexidrain ®: De huidige markt van afvoersystemen

Met het productgamma Flexidrain ® richt Plastiflex zich voor het eerst op de markt van de doe-het-zelver. Het huidige aanbod van afvoersystemen kan opgedeeld worden in twee productcategorieën: afvoerbuizen die uit verschillende onderdelen bestaan en flexibele afvoerbuizen die uit één geheel bestaan.

Het grootste deel van de markt bestaat uit afvoerbuizen waarbij de rechte stukken en bochten individueel verkocht worden. Door de verschillende onderdelen kan het installeren van het afvoersysteem een ingewikkeld en tijdrovend werk zijn. Buiten dit ongemak voor de doe-het-zelver zijn er verschillende risico's verbonden aan deze producten. Zo zal de kans op lekkage toenemen naarmate het aantal individuele onderdelen waaruit het systeem bestaat toeneemt. Omdat de buizen bovendien niet beweegbaar zijn, kan een grote spanning op de bochten plaatsvinden.

Naast de vermelde afvoersystemen kan de doe-het-zelver ook kiezen voor flexibele producten. Deze buizen bestaan uit verschillende flexibele zones, de zogenaamde profielen. In tegenstelling tot de andere afvoersystemen worden deze buizen in één geheel verkocht. Dit vergemakkelijkt de installatie en verlaagt de kans op lekken. Bovendien zorgt het profiel ervoor dat spanning over de gehele buis verspreid wordt en niet alleen in de bochten ontstaat. Toch zijn deze afvoerbuizen nog niet dominant op de markt. Een verklaring hiervoor kan zijn dat het huidige aanbod van flexibele afvoersystemen gemaakt is uit weke polyvinylchloride (PVC) waardoor de producten niet goed drukbestendig zijn. Hierdoor kunnen de producten niet gebruikt worden in betonnen vloeren. Ook zorgt de weke PVC ervoor dat de buizen niet goed bestand zijn tegen hitte. (Van den Bulcke, 2008: 7)

Na deze vaststelling besloot dhr. Van den Bulcke, de verkoopsmanager van Plastiflex en bedenker van het Flexidrain ® gamma, te onderzoeken naar welke consumenten Plastiflex het nieuwe productgamma moest marketen. Hij vertelde me dat er twee nieuwe marktsegmenten werden vastgesteld waar de huidige markt niet op inspeelde.

Het eerste marktsegment bestaat uit vrouwen die zelf afvoersystemen installeren. Door het stijgend aantal echtscheidingen wonen steeds meer vrouwen alleen. Aangezien er geen man in het

huishouden aanwezig is, moeten zij zelf zorgen voor het onderhouden van de woning. Voor deze vrouwen is het belangrijk dat de installatie van afvoersystemen eenvoudig kan gebeuren.

Het tweede marktsegment bestaat uit personen die, omwille van financiële redenen, genoodzaakt zijn zelf de afvoerbuizen te installeren. Door de stijgende prijs van de vastgoedsector bezitten mensen na de aankoop of aanbouw van een nieuwe woning over een kleiner budget. Ze moeten besparen op verdere onderhoudswerken die aan het huis moeten uitgevoerd worden. Dit houdt in dat deze personen genoodzaakt zijn om zelf werken uit te voeren in plaats van een gespecialiseerde firma in te huren. Voor dit marktsegment is het belangrijk dat het nieuwe productgamma beschikbaar is tegen een verkoopprijs die competitief is met het huidige aanbod afvoersystemen op de markt.

De boodschap voor dhr. Van de Bulcke is duidelijk: de installatie van het nieuwe afvoersysteem moet eenvoudig zijn en de prijs competitief met concurrerende producten op de markt. Bovendien moet het product betrouwbaar zijn. Wanneer er lekken optreden bij de consument, zal dit onherroepelijk leiden tot reputatieschade van de gehele onderneming. Het product kan bijgevolg niet verkocht worden in verschillende onderdelen. Het probleem met de huidige flexibele afvoersystemen is echter dat ze niet goed bestand zijn tegen hitte en een hoge externe druk. Met deze gedachte in het achterhoofd werd het revolutionaire productgamma Flexidrain ® ontwikkeld.

3.4.3 Flexidrain ®: het productgamma

Het Flexidrain ® gamma bestaat uit twee producten: flexibele afvoerbuizen en driedimensionale, beweegbare sifons. Tijdens mijn stage onderzocht ik het productieproces van de afvoerbuizen. Deze worden geproduceerd uit polypropyleen (PP) en polyvinylchloride (PVC). De afvoerbuizen uit PP kunnen vergeleken worden met het huidige aanbod van flexibele afvoersystemen op de markt. Dit kan niet gezegd worden van de afvoerbuizen uit PVC. Door jarenlange ervaring in de productie van industriële kunststoffen is Plastiflex erin geslaagd om als eerste afvoerbuizen te produceren in harde PVC. Hierdoor zijn de gepatenteerde afvoerbuizen bestand tegen hoge hitte en druk. Het zijn dan ook meteen de eerste producten op de markt die in beton gelegd kunnen worden. Bovendien zijn deze harde buizen beweegbaar van 0° tot 110° in de bochten. Dit vergemakkelijkt de installatie van het afvoersysteem (Publimat News, 2008).

De Flexidrain ® buizen zijn beschikbaar in verschillende uitvoeringen. Zo kan de consument kiezen tussen afvoerbuizen met een diameter van 32, 40 en 50mm. De producten worden geproduceerd in één of twee meter en de wanddikte bedraagt 1.8 of 3mm. Bij een lengte van één meter bestaat de afvoerbuis uit twee profielen. Bij een lengte van twee meter bevat het product vier profielen. Gedurende de observatieperiode werden enkel afvoerbuizen geproduceerd met een lengte van twee meter en een diameter van 1.8mm. Wel werden de producten geproduceerd uit PVC en PP bij de drie verschillende diameters. Ook verschilt de toepassing van het product naargelang het materiaal waaruit het bestaat. Zo zal de doe-het-zelver de afvoerbuizen uit PVC moeten vastlijmen. Hiervoor is een zogenaamde lijmmof voorzien. Bij PP bestaat ieder product uit een dubbele mof waarin een rubberen ring voorzien is. Deze afvoerbuizen kunnen in elkaar geschoven worden.

Tenslotte kan men kleurstoffen toevoegen aan de chemische samenstelling van grondstoffen zodat het product beschikbaar is in het wit, grijs of zwart.

In figuur 10 wordt het zijaanzicht van een Flexidrain ® afvoerbuïs getoond met een lengte van twee meter. Deze figuur geeft de positie aan van het geprinte label waarmee ieder eindproduct is voorzien. Deze print vermeldt de technische specificaties van de afvoerbuïs, de naam 'Plastiflex Flexidrain ®', de datum wanneer het product werd geproduceerd, de vermelding '100% recyclable / 100% re-usable' en een barcode waardoor het product in de winkel kan gescand worden.

3.4.4 Flexidrain ®: toekomstvisie

De huidige distributie van de Flexidrain ® afvoerbuïzen wordt uitbesteed aan Scala Plastics en Plieger. (PUBILMAT NEWS, 2008) Zij leveren de producten rechtstreeks aan industriële klanten en aan verschillende doe-het-zelf zaken. Hoewel de producten goed verkopen in de B2B markt, wacht Plastiflex op een grote doorbraak bij de individuele consument. Het management heeft dan ook de goedkeuring gegeven voor een nationale marketingcampagne om het Flexidrain ® gamma te promoten. Deze campagne, die als doel heeft de consument op de hoogte te brengen van het nieuwe product, start in september .

3.4.5 Flexidrain ®: relevantie onderzoek

Momenteel bestaat er nog geen hoge marktvraag voor de Flexidrain ® afvoerbuïzen. Gezien de huidige marktsituatie heeft dit onderzoek dan ook geen hoge prioriteit voor Plastiflex. Dit kan echter veranderen. In de maand september start de onderneming met een nationale marketingcampagne om het Flexidrain ® productgamma te promoten. Ook tonen verschillende landen waaronder Frankrijk en Spanje nu al interesse voor het nieuwe productgamma. Bovendien worden de afvoerbuïzen geproduceerd op dezelfde productielijn als het product Preflex ®. Hiervan worden maandelijks zo'n 40000 stuks geproduceerd voor de firma IKEA. Er kan bijgevolg besloten worden dat het marktpotentieel, van het Flexidrain ® productgamma, hoog is. Naarmate de marktvraag toeneemt, zal ook het belang van dit onderzoek toenemen. Bovendien zal dit onderzoek nu al leiden tot een daling van de kosten die gerelateerd zijn aan stilstand en verspilling van de productielijn. Tenslotte vertelde Dhr. Vets me dat dit onderzoek, meer bepaald de uitvoering van het SMED – algoritme, toepasbaar is op meerdere extrusieprocessen binnen de onderneming.

3.4.6 Flexidrain ®: Continuous extrusion blow molding

De kunststof afvoerbuïzen worden geproduceerd via het proces 'blow molding'. Blow molding, ook wel gekend als injectieblazen, is een vormgevingsproces waarbij holle producten worden gevormd onder toevoeging van warmte en geperste lucht (Rufe, 2002). Er bestaan drie soorten injectieblazen: 'extrusion blow molding', 'injection blow molding' en 'stretch blow molding'. Bij

injection blow molding worden twee verschillende gietvormen gebruikt. Deze worden ook molds genoemd. De massa grondstoffen die in de gietvorm gegoten wordt, is het parison of extrudaat. Terwijl de eerste gietvorm vorm geeft aan het eindproduct wordt de tweede gebruikt bij het uitblazen van het parison tot de definitieve eindvorm. Bij extrusion blow molding komt het parison in een systeem van twee gesloten halve gietvormen. Hierin wordt de vloeibare massa uitgeblazen door toevoeging van geperste lucht zodat het extrudaat de vorm van de twee gietvormen aanneemt (Carraher ,2003). Het parison wordt bij stretch blow molding axiaal uitgetrokken voor of tijdens het uitblazen ervan (Ebnesajjad, 2003).

De producten van het Flexidrain ® gamma worden geproduceerd volgens 'continuous extrusion blow molding'. Deze vormgevingstechniek stelt de onderneming in staat producten met een hoge kwaliteit tegen een lage kostprijs te produceren. Omdat de extrusie continu gebeurt, zijn de gietvormen steeds in beweging. Het gehele proces van extrusion blow molding, samen met de verschillende machines die hierbij betrokken zijn, wordt tijdens de bespreking van de productie-installatie besproken.

3.4.7 Bespreking van de productiebronnen

3.4.7.1 De extruder

a) Werking

De extruder is een machine waarin de grondstoffen worden omgezet tot een homogene semi-vaste massa. Een werknemer, de menger genoemd, heeft de taak om de machine bij te vullen met grondstoffen via een vultrechter. De grondstoffen PVC en PP worden door de leverancier geleverd in de vorm van pellets. Dit wil zeggen dat de grondstoffen geleverd worden in vaste korrelvorm. Hoewel de PVC rechtstreeks in de vultrechter van de extruder wordt gegoten, moet de menger de samenstelling van het geleverde PP granulaat aanpassen voor gebruik. Onder andere stabilisatoren en kleurstoffen worden aan het granulaat toegevoegd.

De werking van de extruder wordt weergegeven in figuur 11. De grondstoffen in de vultrechter komen via een opening aan de bovenkant van de extruder, de hopper genaamd, in de extruderbarrel binnen. Dit is een verwarmde metalen cilinder waarin de extruderschroef ronddraait. De barrel wordt verwarmd door vier 'heaters'. Deze verwarmingselementen zijn op de buitenkant van de barrel geplaatst. Naast de heaters bevinden zich de thermokoppels. Deze sensoren registreren de temperatuur in de extruderbarrel. Het is belangrijk dat de temperatuur constant blijft bij extrusie. Bij een te lage temperatuur zouden de pellets niet genoeg smelten. Een te hoge temperatuur zou leiden tot een vloeibare massa kunststof. In beide situaties zou het parison een verkeerde fysische samenstelling hebben. De temperatuur wordt dan ook geregeld door een integrator. De thermokoppels registreren de temperatuur en sturen de gemeten waarde door naar de integrator. Deze kijkt vervolgens hoe de gemeten temperatuur afwijkt van de ingestelde waarde. Indien de geregistreerde temperatuur te hoog is, stuurt de integrator een commando naar vier externe ventilatoren. Deze ventilatoren zuiveren de lucht uit de productieomgeving en blazen deze over de verhitte extruderbarrel. Wanneer de geregistreerde

temperatuur in de extruderbarrel te laag is, zal de integrator een signaal doorsturen naar de heaters waardoor ze opwarmen. Een temperatuurschema van de integrator wordt weergegeven in figuur 12.

De draaibeweging van de extruderschroef vervult twee functies. Wanneer het granulaat in de extruderbarrel binnenkomt wordt het door de draaiende schroef naar het kopstuk van de extruder getransporteerd. Vervolgens verkleint de diameter van de barrel waardoor de pellets dichter op elkaar geduwd worden. Door de draaiing van de schroef wrijven de korrels over elkaar. Hierbij komt er energie vrij in de vorm van warmte. Zowel deze wrijvingsenergie als de verwarmde extruderbarrel zorgen ervoor dat de pellets beginnen smelten.

Vervolgens wordt de semi-vaste massa grondstoffen door een breaker plate geperst. Dit is een geperforeerde metalen cilinder die zich tussen de extruderbarrel en het die – systeem bevindt. De kleinere openingen van de breaker plate zorgen ervoor dat er in de extruderbarrel een zogenaamde 'back pressure' ontstaat. Deze druk stimuleert de homogenisering van de pellets in de extruderbarrel. De breaker plate kan ook gebruikt worden voor het verwijderen van onzuiverheden in de grondstoffen (Patrick, 2005).

Aan het uiteinde van de extruder wordt de semi-vaste massa door het nauwe die–systeem geperst. Dit die–systeem bestaat uit een 'male die' die in een 'female die' geplaatst wordt. Dit wordt weergegeven in de figuren 13 en 14. Deze figuur toont de verschillen tussen de gebruikte die's bij de productie met PVC en PP. Bij PVC wordt de semi-vaste massa over een fijne punt geduwd (male die zone B). De gesmolten PVC pellets vormen een dikke massa die eerst verspreidt moet worden voordat het door de die's gaat. Het is de ruimte tussen de male en female die (aangeduid met 18mm) waarmee de holle buis gevormd wordt.

Wanneer het parison de extruder verlaat, wordt het rechtstreeks opgevangen in een gesloten systeem van twee gietvormen. Door toevoeging van geperste lucht in de male die wordt het extrudaat in de gietvormen uitgeblazen. Hierdoor neemt het parison de definitieve eindvorm aan van het product.

b) Functies

Nu de werking van de extruder besproken is, kunnen de verschillende functies van de machine vastgesteld worden. Deze functies dienen als uitgangspunt bij het uitvoeren van de FMEA – analyse.

De primaire functie van de extruder definieer ik als 'het generen van een correcte, continue en gelijkmatige stroom semi-vaste kunststof' Met een correcte output bedoel ik dat het parison zowel de juiste chemische als fysische samenstelling moet hebben.

Ter ondersteuning van deze primaire functie kunnen twee secundaire functies vastgesteld worden. De eerste functie is 'het transporteren van de pellets van de hopper naar het kopstuk van de extruder'. De tweede functie kan gedefinieerd worden als 'het omzetten van het vaste granulaat tot een semi-vaste massa kunststof.' Zoals vermeld speelt de draaibeweging van de extruderschroef bij beide functies een belangrijke rol. Naast deze functies kan er nog een secundaire functie worden vastgesteld. Deze definieer ik als: 'het uitblazen van het parison in de gietvormen door toevoeging van geperste lucht.'

Tot slot is er ook een veiligheidsfunctie in de extruder ingebouwd.. De machine wordt automatisch stilgelegd wanneer de druk in de extruderbarrel een waarde van 450bar overschrijdt. De veiligheidsfunctie is enkel actief tijdens de productie van afvoerbuizen uit PVC. De druk in de extruderbarrel wordt niet geregistreerd tijdens de productie met PP. Door de lagere werkingstemperatuur van PVC (185 – 190°C ten opzichte van 235°C bij PP) houdt de productie van PVC afvoerbuizen een verhoogd risico in. Hier wordt aandacht aan besteed bij de bespreking van de FMEA – analyse. De verschillende functies van de extruder worden in tabel 1 getoond.

3.4.7.2 De Corrugator

a) Werking

De corrugator is de machine waarin de halve gietvormen ronddraaien. Een halve gietvorm wordt ook wel een 'mold block' genoemd (figuur 15.a). Wanneer de twee gietvormen tegen elkaar worden geplaatst vormen ze een gesloten systeem. De ruimte tussen de twee gietvormen bepaalt de definitieve vorm van de afvoerbuis (figuur 15.b).

Het gesloten systeem van twee halve gietvormen vormt slechts een klein gedeelte van het totale eindproduct. De verschillende mold blocks worden dan ook in twee ketens vastgezet zodat de hele afvoerbuis gevormd wordt. Deze twee ketens draaien steeds rond omdat de extrusie continu gebeurt. Figuur 16 toont een bovenaanzicht van de corrugator met geplaatste mold blocks. De figuur toont een rij van twee halve gietvormen die samenkomen in het midden van de corrugator. De dekplaten die op de machine zijn bevestigd, worden weergegeven in figuur 17.

Bij de beweging wrijven de metalen mold blocks tegen de metalen machine. Hierbij komt er wrijvingsenergie vrij in de vorm van warmte. Aangezien metalen voorwerpen uitzetten bij opwarming en krimpen bij afkoeling, moeten de gietvormen steeds afgekoeld worden. Dit is echter niet de enige reden waarom de mold blocks worden afgekoeld. Zoals vermeld wordt het verhitte parison uitgeblazen in de draaiende gietvormen. Wanneer het parison de gewenste vorm van de afvoerbuis aanneemt, moet het afkoelen. Door de afkoeling van de mold blocks hardt het parison. Hierdoor produceert de corrugator vaste buizen in de gewenste eindconfiguratie.

In de linker keten gietvormen bevindt zich een mold block waarbij een opening in het bovenoppervlak is aangebracht. Boven deze keten bevindt zich een metaaldetector. Wanneer het vermelde mold block de metaaldetector passeert, wordt de detectie onderbroken. De corrugator stuurt automatisch een signaal naar de extruder waardoor de druktoevoer in het die – systeem wordt verhoogd. Hierdoor wordt het dikkere uiteinde van de afvoerbuis, de zogenaamde mof, correct uitgeblazen.

Een zogenaamde 'encoder' registreert de snelheid waarmee de gietvormen bewegen in de corrugator. De geregistreeerde snelheid wordt uitgedrukt in m/min. Het is deze snelheid waarmee de andere machines in het productieproces worden gesynchroniseerd.

Een laatste onderdeel van de corrugator waar rekening mee moet gehouden worden, is de zogenaamde 'seiling as' (zie figuur 18). Deze as bevindt zich gedurende productie in het midden van de corrugator, in de gesloten systemen van ronddraaiende mold blocks. Op deze aluminium as

worden rubberen dichtingen geplaatst. Hierdoor wordt het glijmiddel opgevangen dat uit de afgekoelde afvoerbuis komt.

b) Functies

De corrugator heeft als primaire functie 'het continu bewegen van de ketens gietvormen tegen een constante snelheid'. Zoals in paragraaf 4.1 zal vastgesteld worden, wordt de snelheid van de corrugator bepaald door de maximale hoeveelheid output (in kg/uur) van de extruder. Deze snelheid varieert met de diameter van de afvoerbuis en het materiaal waaruit de afvoerbuis is samengesteld.

De primaire functie van de corrugator houdt in dat de twee ronddraaiende ketens mold blocks niet mogen stilstaan. Een ondersteunende functie van de primaire functie is dan ook: 'het continu afkoelen van de gietvormen en de corrugator'. Indien er geen afkoeling was, zouden de metalen mold blocks en corrugator uitzetten waardoor de machine blokkeert. Naast deze ondersteunende functie heeft de corrugator twee andere secundaire functies. Deze zijn 'het registreren en verzenden van de snelheid van de corrugator' en 'het registreren en signaleren van de mold block waarbij de hoeveelheid geperste lucht in het die – systeem moet verhoogd worden'.

Net zoals bij de extruder is er een veiligheidsfunctie ingebouwd in de corrugator. De corrugator wordt automatisch stilgelegd wanneer deze in werking treedt. In tegenstelling tot de extruder is deze functie actief bij de productie van afvoerbuisen uit zowel PVC en PP. De vraag is nu wanneer de veiligheidsfunctie geactiveerd wordt. Ten eerste mag de geregistreeerde temperatuur niet hoger zijn dan 40°C. Tijdens de FMEA – analyse zal bovendien aangetoond worden dat ook een te lage temperatuur (15°C) aanleiding geeft tot het stilvallen van de corrugator. Naast de temperatuur wordt het verbruik van de motor gemeten. Bij een normale werking van de corrugator situeert het verbruik zich rond 4.6A. Indien deze waarde stijgt tot boven 6A wordt de machine automatisch uitgeschakeld. De verschillende functies van de corrugator worden weergegeven in tabel 2.

3.4.7.3 De koeler

a) Werking

Nadat de buis in de corrugator gevormd is, komt het terecht in de koeler. Hierin wordt, zoals de naam doet vermoeden, de buis verder afgekoeld. De machine bestaat uit 32 spuitkoppen waaruit gekoeld water over de slang wordt gespoten. Deze spuitkoppen zijn per vier in acht verschillende rijen over de machine verspreid. Terwijl twee spuitkoppen de bovenkant van de slang afkoelen, spuiten twee spuitkoppen gekoeld water over de onderkant van de slang. Het gekoelde water wordt preventief gezuiverd door een additionele filter op de machine.

In tegenstelling tot het gekoelde water van de corrugator komt dit water van de open koelinstallatie. Dit is het centrale watersysteem van Plastiflex. Het water wordt bij de verschillende productielijnen gerecycleerd en getransporteerd naar de installatie. Indien het water niet gerecycleerd zou worden, zou dit leiden tot een immense waterkost voor de onderneming. Het is belangrijk om dit te vermelden aangezien hier rekening bij gehouden moet worden tijdens het toepassen van de FMEA – analyse.

b) Functies

De koeler heeft als primaire functie 'het continu bespuiten van de slang met gekoeld water'. Zoals vermeld is het niet de koeler maar de open koelinstallatie die het water koelt. Aangezien echter alle mogelijke oorzaken van falen, zoals een defect aan de open koelinstallatie, moeten overwogen worden bij de FMEA – analyse wordt dit vermeld in de primaire functie. Indien de buis enkel door de corrugator gekoeld wordt, leidt dit tot een verschillende nakrimp van de afvoerbuis.

De secundaire functie van de koeler definieer ik als 'het zuiveren van het gekoelde water'. De twee functies van de koeler worden weergegeven in tabel 3.

3.4.7.4 De droger

a) Werking

De volgende machine in het productieproces is de drooginstallatie. Dit wordt kortweg de droger genoemd. De slang wordt gedroogd door acht verschillende openingen waaruit gedrukte lucht komt. Net zoals bij de koeler zijn de acht openingen in twee rijen geplaatst. Door het drogen van de slang vermijdt men vorming van waterplassen op de werkvloer. Bovendien is de printer niet in staat om het label af te drukken op een natte slang.

De droger is aangesloten op het centrale druksysteem van Plastiflex. Hierbij verzorgt een compressor de toevoer van gedrukte lucht voor de gehele productieafdeling.

b) Functies

De enige functie van de droger is 'het continu drogen van de afvoerbuis door toevoeging van geperste lucht'. Ik vermeld in de primaire definitie dat de slang gedroogd wordt met geperste lucht. Hierdoor zullen eventuele defecten aan de compressor niet vergeten worden tijdens de FMEA – analyse. Dit wordt weergegeven in tabel 4.

3.4.7.5 De puller

a) Werking

Na de droger wordt de slang vastgezet in de puller. Dit is een machine die bestaat uit twee systemen van drie ronddraaiende wielen. Rond de drie wielen is een rubberen band geplaatst waarin de slang wordt vastgezet. Dit wordt weergegeven in figuur 19. Wanneer de afvoerbuis tussen de twee roteerbare systemen komt, wordt deze manueel aangezet. Hierdoor bewegen de twee systemen zich automatisch naar elkaar toe waardoor de buis vastgezet wordt. Bij het uitschakelen van de machine gebeurt het omgekeerde. Het is belangrijk dat de puller de afvoerbuis stabiliseert. Hevige vibraties van de slang kunnen immers resulteren in een foutieve printafdruk van de printer (zie paragraaf 3.4.7.6). Ook zal de slang foutief doorgesneden worden door de cutter (zie paragraaf 3.4.7.7).

Gelijktijdig met het vastklemmen van de slang zal de motor starten bij activering van de machine. Hierdoor beginnen de zes wielen te draaien. Door de draaiende beweging van de zes roterende wielen wordt de afvoerbuis vanuit de corrugator doorheen de koeler en droger getrokken. De rotatiesnelheid van de wielen is gesynchroniseerd met de snelheid van de corrugator. Een verschillende snelheid tussen beide machines zou immers resulteren in een verschillende wanddikte en diameter van het eindproduct (Moser, 2001). De puller ontvangt het synchronisatiesignaal via de cutter.

b) Functies

De puller moet twee verschillende functies uitvoeren. Ten eerste moet de puller de afvoerbuis vastzetten. Ten tweede moet de puller de slang doortrekken van corrugator door de puller en droger. Omdat dit de essentiële taken van de puller zijn, worden beide functies als primaire functies beschouwd. Dit wordt weergegeven in tabel 5.

3.4.7.6 De printer

a) Werking

Plastiflex gebruikt een industriële Inkjet printer voor het afdrukken van een label op de afvoerbuisen. Deze bevindt zich boven het uiteinde van de puller. Zoals bij alle Inkjet printers worden minuscule druppels inkt rechtstreeks op de afvoerbuis gespoten. De machine is voorzien van een gebruiksvriendelijke interface waar de gewenste parameters worden ingegeven. Bij iedere nieuwe productiebatch zullen deze instellingen manueel moeten aangepast worden. Verdere informatie omtrent de inhoud van het label is reeds vermeld bij de bespreking van het Flexidrain® productgamma (zie paragraaf 3.4.3).

De cutter (zie paragraaf 3.4.7.7) is de enige machine die de exacte positie op de afvoerbuisen registreert tijdens de productiefase. Deze machine stuurt dan ook een signaal door naar de printer wanneer het label gedrukt moet worden. De snelheid van de printer is echter niet gesynchroniseerd met de andere machines van het productieproces. De gevolgen van deze vaststelling zullen toegelicht worden tijdens de FMEA – analyse.

b) Functies

De printer moet op iedere afvoerbuis een printlabel afdrukken. Dit label moet inhoudelijk juist zijn. Zo verschilt de barcode bij de Flexidrain® afvoerbuisen met verschillende technische specificaties. Door een verkeerde barcode zullen de eindproducten verkocht worden tegen een foutieve verkoopprijs. Ook moet het label correct afgedrukt worden. Dit betekent dat het label in de gewenste vorm wordt afgedrukt. De relatie tussen de printsnelheid en vervorming van het label wordt tijdens de FMEA – analyse besproken. Ook houdt een correcte print in dat de printer het label op de juiste positie van het eindproduct afdrukt. Zo zal een printafdruk op het profiel van de afvoerbuis niet geregistreerd kunnen worden tijdens de verkoopfase.

Gebaseerd op bovenstaande informatie definieer ik de primaire functie van de printer als 'het correct afdrukken van het juiste label op het eindproduct'. Dit wordt weergegeven in tabel 6.

3.4.7.7 De 'moving rotary cutter'

a) Werking

De cutter is een machine die de aaneenschakeling van afvoerbuizen doorzaagt in individuele producten. Anders gezegd betekent dit dat de cutter de onafgebroken slang om de twee meter doorzaagt. Merk op dat in dit werkstuk enkel eindproducten van twee meter worden besproken. Bij de productie van Flexidrain ® afvoerbuizen uit één meter zou deze bewerking iedere meter worden uitgevoerd.

Aan het begin van de cutter bevindt zich een klemming. Deze sluit zich automatisch wanneer de cutter de afvoerbuis doorsnijdt. Achter de klemming bevindt zich een metalen cilinder waarin de afvoerbuis gecentreerd wordt. Hierop bevindt zich ook een laser detector. De detectie wordt onderbroken wanneer het profiel onder de scanner doorgaat. Hierdoor is de cutter de enige machine die de exacte positie op de afvoerbuizen registreert tijdens de productiefase.

Vervolgens komt de afvoerbuis binnen in het centrale gedeelte van de cutter. Omdat extrusie een continu productieproces is, moet de cutter tijdens het snijden meebewegen met een snelheid gelijk aan die van de slang. De cutter is gesynchroniseerd met de corrugator. Indien de cutter met een andere snelheid dan de corrugator zou bewegen, worden de afvoerbuizen niet loodrecht doorgesneden. Omdat de eindproducten ontworpen zijn om in elkaar te passen, zou het verkeerd doorsnijden van de slang kunnen leiden tot lekkages.

Door de beweging van de cutter wordt het mes op de afvoerbuis geplaatst. Het volledige systeem van mes en stabilisaties wordt getoond in figuur 20. Dit systeem bevindt zich in een holle cilinder. Naarmate de beweging van de cutter vordert, verkleint de diameter van deze cilinder. Hierdoor zal het vermelde systeem beginnen ronddraaien. Gelijktijdig met deze draaibeweging worden drie metalen bussen in de richting van de afvoerbuis geduwd. Op deze metalen bussen zijn twee stabilisaties en het mes gemonteerd. De stabilisaties zijn rubberen wieltjes die de afvoerbuis vastzetten tijdens het snijden.

b) Functies

Zoals de naam doet vermoeden is de primaire functie van de cutter 'het doorsnijden van de slang in individuele eindproducten'.

Naast deze primaire functie heeft de cutter nog verschillende secundaire functies. Ten eerste moet de cutter tijdens het snijden meebewegen in de richting van de slang. Deze functie definieer ik als 'het meebewegen van de cutter in de richting van de slang gedurende het uitvoeren van de primaire functie'. Ook moet de corrugator de slang vastklemmen gedurende hij snijden ervan. De tweede secundaire functie is dan ook: 'het vastzetten en centreren van de afvoerbuis gedurende het uitvoeren van de primaire functie'. Zowel de klemming aan het begin van de cutter en de stabilisaties naast het mes zetten de afvoerbuis vast. De metalen cilinder achter de klemming zorgt ervoor dat de afvoerbuis gecentraliseerd wordt tijdens het snijden. De twee vermelde secundaire functies zijn ondersteunende functies van de cutter. Naast deze ondersteunende functies voert de cutter nog een laatste secundaire functie uit. Deze wordt gedefinieerd als: 'het registreren van de exacte positie op de afvoerbuis'. Zoals vermeld gebeurt deze registratie door

middel van een laser detector. De verschillende functies van de cutter worden weergegeven in tabel 7. Na de cutter worden de eindproducten automatisch opgeslagen in een tijdelijke voorraad. De centrale productiefase wordt hiermee afgesloten.

3.4.7.8 De arbeider

Nu de centrale productiefase besproken is, worden de arbeiders in het productieproces vermeld. De eerste werknemer onder beschouwing is de extrusie-operator. Deze arbeider wordt in dit werkstuk ook wel lijnoperator of extrudeur genoemd. Hij is verantwoordelijk voor de goede werking van meerdere productielijnen. Bovendien moet hij de extruder omschakelen en de sealing as voor de corrugator aanmaken tijdens het omschakelen van de productielijn.

Een tweede arbeider, ook wel controle operator genoemd, is verantwoordelijk voor de eventuele afwerking van de afvoerbuizen. Zijn primaire taak bestaat uit het controleren van de afvoerbuizen. Hierbij worden zowel de diameter (van de mof), de printafdruk en beide uiteinden van de buis gecontroleerd. Oorspronkelijk was gepland om de controle iedere 15 minuten uit te voeren. Vele afgewerkte producten voldeden echter niet aan de gewenste kwaliteitsnormen. Hierdoor besloot het management dat iedere geproduceerde afvoerbuis moest gecontroleerd worden.

De inspectie van de diameter gebeurt aan de hand van een zogenaamde 'go/no go' beslissing. Een metalen cilinder wordt in de mof geduwd (zie figuur 21). Op dit meetinstrument is een insnijding aangebracht. Indien de afvoerbuis niet tot tegen de inham kan geduwd worden, is de binnendiameter te klein. Soms zal de afvoerbuis zonder veel wrijving tot ver over de insnijding geschoven worden. In deze situatie moet een gelijkaardig meetinstrument worden gebruikt met een grote diameter. Indien dit meetinstrument in de afvoerbuis kan geschoven worden, moet het product afgekeurd worden.

De twee uiteinden van de afvoerbuis worden gecontroleerd om na te gaan of de cutter het product correct heeft doorgesneden. Bij de inspectie van het printlabel wordt enkel de vorm van het eindproduct nagekeken.

De inspectie van de afvoerbuizen wordt verder besproken tijdens de FMEA – analyse. Omdat de extrusielijn enkel winstgevend is wanneer de lijn constant operationeel is, werkt Plastiflex met een drie schiften systeem. De eerste shift loop van zes uur 's morgens tot twee uur 's middags. De tweede van twee uur 's middags tot tien uur 's avonds. Tenslotte werkt de nachtploeg van tien uur 's avonds tot zes uur 's ochtends.

3.4.7.9 De secundaire cutter

De secundaire cutter is een machine die gebruikt wordt voor de afwerking van de afvoerbuis. De afwerking gebeurt bij de mof van de afvoerbuis om de drie geproduceerde producten. De reden hiervoor is dat de ketenlengte van de gietvormen niet exact overeenkomt met de lengte van het eindproduct.

In paragraaf 4.1 wordt vastgesteld dat de secundaire cutter geen bottleneck is. Bij de omschakeling naar een nieuwe productielijn moet enkel een centrale bus vervangen worden. Deze bus wordt vervangen gedurende de opstartfase van het productieproces.

3.4.7.10 De verpakkingsmachine

Nadat de werknemer de geproduceerde output heeft gecontroleerd, worden de producten door een industriële verpakkingsmachine gebundeld. De arbeider legt de goedgekeurde afvoerbuis bovenop de machine. Door een hellend oppervlak rolt het product onder een scanner door. Bij detectie van het nieuwe product wordt de teller op de machine verhoogd met één eenheid. Hetzelfde proces herhaalt zich totdat er tien afvoerbuisen geteld zijn. Op dat moment worden de buizen automatisch gebundeld. Nadat deze bewerking is voltooid, worden de producten uit de machine geschoven. De arbeider, verantwoordelijk voor de afwerking en controle van de eindproducten, neemt de afvoerbuisen uit de machine en stockeert ze. De producten zullen later opgehaald worden in het magazijn.

Net zoals de secundaire cutter wordt de machine enkel voor de volledigheid van het werkstuk vermeld. Zoals in paragraaf 4.2.3 wordt vastgesteld, is de machine geen bottleneck. Ook vereist de machine geen omschakelactiviteit.

Hoofdstuk 4: Praktijkstudie

4.1 Vaststellen van de machine met de grootste laadfactor (Bottleneck)

Omdat het extrusieproces zich in de ontwikkelingsfase bevindt, zijn geen 'capacity resource profiles' beschikbaar. De bottleneck moet bijgevolg door kwalitatief onderzoek worden vastgesteld. Het vaststellen van de bottleneck werd in de literatuurstudie besproken.

Bij onze eerste ontmoeting vroeg ik Dhr. Vets welke machine volgens hem de bottleneck van het productieproces is. Dit was volgens hem de extruder. De snelheid van deze machine beperkt immers de snelheid van de hele productielijn. De afvoerbuizen worden geproduceerd door een continu productieproces gaande van de extruder tot de cutter. Hierdoor kan het systeem bestaande uit de extruder, corrugator, koeler, droger, puller, printer en cutter beschouwd worden als één geheel. Ik noem dit systeem de 'centrale productiefase'. De overige productiebronnen, namelijk de controle operator, secundaire cutter en verpakkingsmachine, noem ik de 'externe productiefase'. Door de aanwezigheid van de voorraad goed in bewerking voor de extruder en na de cutter, kunnen beide productiefasen onafhankelijk van elkaar opereren.

Doormiddel van observatie besluit ik de productcyclustijd van de verschillende productiefasen te controleren. De observatiedata bevestigen het vermoeden dat de extruder, en bijgevolg de gehele centrale productiefase, de bottleneck van het productieproces is.

De gemiddelde productcyclustijd (PCT) van de centrale productiefase bij een productie van 40mm PVC afvoerbuizen is gelijk aan 29s. De observatie is driemaal uitgevoerd en wordt gebaseerd op de output van de cutter. Vervolgens is de gemiddelde PCT van de verpakkingsmachine gemeten. Deze machine bundelt de afvoerbuizen per tien stuks. De PCT van de machine omvat de totale tijd nodig voor controle en afwerking van de eindproducten door zowel de arbeider, secundaire cutter en verpakkingsmachine. De vastgestelde PCT is gelijk aan 22s. Dit is 7s sneller dan de PCT van de interne productiefase. Bij de productie van 40mm PVC afvoerbuizen kan besloten worden dat de centrale productiefase de bottleneck van het productieproces is.

De PCT van de centrale productiefase varieert naargelang de diameter en materiaalsamenstelling van het eindproduct. Op basis van interne bedrijfsdocumenten, van de afdeling Quality Assurance, is vastgesteld dat de snelheid van de corrugator het hoogste is bij een productie van 32mm PVC afvoerbuizen. Deze snelheid is gelijk aan 6.2m/s. Hierdoor is een gelijkaardige observatie uitgevoerd bij de productie van afvoerbuizen uit 32mm PVC. De PCT van de centrale productiefase is gedaald tot 23s. Aangezien dit nog steeds hoger is dan de PCT van de externe productiefase, kan ik besluiten dat het systeem van de extruder tot en met de cutter, ongeacht de karakteristieken van de geproduceerde afvoerbuizen, de bottleneck is binnen het productieproces.

4.2 Optimalisering van de omschakeltijd: Het SMED – algoritme

4.2.1 Methode van uitvoering

De relevante informatie voor toepassing van het SMED – algoritme is verzameld door middel van persoonlijke observatie. Hierbij zijn de relevante omschakelactiviteiten vastgelegd. Ook is de benodigde tijd voor de uitvoering van iedere activiteit geregistreerd. De omschakeling van het productieproces is geobserveerd op 24 juni, 30 juni, 3 juli en 10 juli. Aangezien de observatie van 24 juni enkel diende om een duidelijk beeld te vormen van de omschakelactiviteiten, zijn geen tijden vastgesteld gedurende de waarneming. Deze observatie wordt dan ook niet in dit werkstuk vermeld. De verzamelde informatie uit de overige observaties zijn opgenomen in de bijlage D.

Verschillende literaire bronnen raden aan om de omschakelactiviteiten te registreren door gebruik te maken van een videocamera. Ik heb hier echter niet voor gekozen. Door het gebruik van de videocamera is het duidelijk voor de arbeider dat hij geobserveerd wordt. Dit kan ertoe leiden dat de arbeider zich ongemakkelijk voelt. Hierdoor kan hij meer vergissingen begaan of de activiteiten trager uitvoeren. Ook het tegenovergestelde is mogelijk. De arbeider kan het gevoel hebben dat hij geobserveerd wordt in plaats van de omschakelactiviteiten. Bijgevolg zal hij proberen de activiteiten sneller uit te voeren. In beide situaties geven de vastgelegde data geen realistisch beeld weer van de omschakeltijd.

Ik heb ervoor gekozen om een digitaal horloge aan mijn rechterpols te bevestigen. Aangezien dit mijn schrijfhand is, kon ik tijdens het noteren ongemerkt het tijdstip vastleggen. Ook melde ik aan de werknemers, die de machines omschakelden, dat ik enkel de uitgevoerde omschakelactiviteiten registreerde. Door beide maatregelen geven de vastgelegde observatiedata een realistisch beeld van de werkelijkheid.

Na registratie van de omschakelactiviteiten, zijn deze activiteiten gegroepeerd in verschillende posten. Deze indeling gebeurde op basis van het machineonderdeel waarvoor de omschakelactiviteit werd uitgevoerd. Vervolgens zijn de overige activiteiten ingedeeld naargelang hun functie. Hierbij is een aparte post opgericht waarbij geen omschakelactiviteiten aan de machine worden uitgevoerd. Na de indeling kreeg iedere post een code toegekend. Voor een hoge transparantie van dit werkstuk werd deze codering ook aangebracht bij de observatiedata. Op deze manier kan de lezer op eenvoudige wijze de opgenomen omschakelactiviteiten per post vaststellen. Tenslotte zijn de posten opgenomen in samenvattende tabellen. Deze tabellen dienen als uitgangspunt voor de toepassing van het SMED – algoritme.

4.2.2 Bespreking van de analyse

In voorgaande paragraaf is vastgesteld dat de centrale productiefase de bottleneck is van het extrusieproces. Hierdoor moeten de omschakelactiviteiten onderzocht worden van de machines waaruit deze productiefase bestaat. Ik begin de analyse met een bespreking van de corrugator. Dit vergemakkelijkt de analyse van de overige machines aangezien verscheidene vaststellingen van de corrugator ook van toepassing zijn op de andere productiebronnen.

4.2.2.1 Optimalisatie omschakeltijd corrugator

De observatie van de omschakelactiviteiten werd drie keer uitgevoerd. Ik koos hiervoor omdat de mold blocks drie keer op een verschillende manier werden vervangen. Tijdens de observatie van 30 juni werden slechts drie centrale dekplaten van de machine opengelegd. Hierdoor kon steeds een klein gedeelte van de keten vervangen worden. Wel daalde de tijd nodig voor het openleggen van de machine. Tijdens de observatie van 3 juli werden alle centrale dekplaten opengelegd. Hierdoor nam de tijd voor het openleggen en afsluiten van de machine toe. De ketens mold blocks konden wel vlugger vervangen worden. Door de corrugator volledig open te leggen kon immers een groter deel van de keten vervangen worden zonder de geplaatste ketens te moeten verplaatsen. Gedurende beide observaties werd de machine vervangen door één werknemer van de onderhoudsdienst. Dit was niet het geval tijdens de observatie van 10 juli. De omschakelactiviteiten werden uitgevoerd door twee onderhoudsmannen waarbij alle centrale dekplaten werden opengelegd.

1. Stap 1: categorisering van de omschakelactiviteiten

In tabel 8 wordt de indeling van de omschakelactiviteiten weergegeven. Het procentueel aandeel van de vastgestelde posten wordt weergegeven in de grafieken 1.a, 1.b en 1.c. Alle geobserveerde activiteiten worden intern uitgevoerd tenzij anders vermeld.

2. Stap 2: omzetting van interne naar externe omschakelactiviteiten

a. Omschakelactiviteiten met betrekking tot de sealing as (post A)

Tijdens de omschakeling wordt de sealing as losgekoppeld van de extruder en uit de corrugator verwijderd. Op dit moment kan het onderhoudsteam beginnen aan het omschakelen van de corrugator. Vervolgens wordt de as gedemonteerd, de oude onderdelen verwijderd en wordt de as opnieuw samengesteld. Tenslotte wordt de sealing as ingevet en opnieuw aangesloten op de extruder. Deze activiteiten zijn opgenomen in tabel 8 onder de post A. Merk op dat de post voor een groot aandeel bestaat uit de tijd nodig voor het vervangen van de sealing as (post A2). Gebaseerd op de tabel komt men tot een gemiddeld aandeel van 73.24%¹

¹ (1247/1683 + 712/878 + 951/1474) / 3

Reeds voor mijn praktijkstudie werd een reserve sealing as besteld. Hierdoor kan de sealing as preventief worden aangemaakt. De onderhoudsdienst beschikt immers over de verschillende metalen bussen. Ook de nieuwe dichtingen worden door de dienst aangemaakt. Door het extern aanmaken van de nieuwe sealing as, kan de oude as gedemonteerd worden nadat de productielijn terug operationeel is. Hierdoor wordt de volledige post A2 geëlimineerd.

b. Omschakelactiviteiten met betrekking tot de dekplaten (B)

Door gesprekken met de onderhoudsdienst kwam ik tot het besluit dat de centrale dekplaten van de corrugator extern konden verwijderd en geplaatst worden. Dit is echter niet toegestaan omwille van veiligheidsvoorschriften.

Tijdens de omschakeling van de productielijn op 3 juli werden de beschermende dekplaten en de dekplaten op de bochten losgedraaid en vastgezet. Deze activiteiten worden uitgevoerd wanneer de nieuwe productiebatch bestaat uit afvoerbuizen met een verschillende materiaalsamenstelling (PVC of PP). Bij deze omschakeling moet het kopstuk van de extruder vervangen worden. Door de beperkte ruimte tussen de corrugator en de extruder kan deze activiteit enkel worden uitgevoerd wanneer de vermelde dekplaten losgedraaid zijn.

In de observatiedata van 3 juli stelt men vast dat het extruder kopstuk werd verwijderd om 9.17.23u. Het losdraaien van de buitenste dekplaten is pas geregistreerd om 9.31.14u. Deze inconsistentie kan enkel verklaard worden door een foutieve observatie. Waarschijnlijk zijn de buitenste dekplaten op het einde van de corrugator opengelegd. De buitenste dekplaten op het begin van de machine waren al verwijderd. Dit is niet door mij vastgesteld. Het openleggen van de buitenste dekplaten op de achterkant van de corrugator is echter een overbodige activiteit. Aangezien het openleggen van de dekplaten aan de voorkant of achterkant van de machine dezelfde handeling inhoudt, kan de vastgestelde tijdscomponent behouden worden. De foutieve observatie zal met andere woorden niet leiden tot een ander resultaat bij toepassing van het SMED – algoritme.

c. Omschakelactiviteiten met betrekking tot de nieuwe onderdelen

De nieuwe keten mold blocks wordt iedere vrijdag gedurende de nachtdienst geconfigureerd. Hierbij kan het onderhoudsteam de keten extern zuiveren en inspecteren. Ook kan de nieuwe keten klaargezet worden voor de geplande omschakeling van de productielijn.

d. Omschakelactiviteiten met betrekking tot het instellen van de procesparameters (I1)

De procesparameters van de corrugator werden op 30 juni intern ingesteld. Deze activiteit werd extern uitgevoerd tijdens de overige observaties. Dit is mogelijk omdat het extrusieproces bij de opstart een bepaalde tijd nodig heeft voordat de geproduceerde afvoerbuizen aan de nodige kwaliteitsvoorwaarden voldoen. Het instellen van de corrugator kan bijgevolg extern worden uitgevoerd.

e. Omschakelactiviteiten met betrekking tot zoeken (F)

Het zoeken naar gereedschap en onderdelen bedraagt gemiddeld 3,07%² van de tijd benodigd voor het uitvoeren van de omschakelactiviteiten. Door het gebruik van een checklist kunnen de posten F1 en F2 geëlimineerd worden. De post F3 omvat de tijd nodig voor het zoeken naar twee specifieke mold blocks in de oude ketenconfiguratie. Deze mold blocks worden op controledocumenten als startpunt van de ketens vermeld. Het elimineren van deze activiteit zal ervoor zorgen dat de onderhoudsdienst problemen ondervindt bij het samenstellen van een nieuwe ketenconfiguratie. De post F3 wordt dan ook op aanraden van Dhr. Vets behouden.

f. Omschakelactiviteiten met betrekking tot opruimen (G)

Tijdens de observaties is vastgesteld dat gemiddeld 0.66%³ van de tijd besteed wordt aan het opruimen van de werkplaats (G1). Deze post kan volledig geëlimineerd worden. De werknemers moeten er enkel voor zorgen dat het oppervlak van de machine voor aanvang van de omschakelactiviteiten vrijgemaakt is. Ook het verzamelen en wegbrengen van materialen naar het magazijn kan gebeuren nadat de productielijn terug operationeel is. Bovendien zal de post G2 volledig verdwijnen uit de tabel door het preventief aanmaken van de sealing as. De reden hiervoor is dat de sealing as extern, en niet meer intern, aangemaakt wordt.

3. Stap 3: eliminatie van interne omschakelactiviteiten

a. Omschakelactiviteiten met betrekking tot de werkmethode

Tijdens de observatie van 3 juli trad de veiligheidsfunctie van de corrugator meermaals in werking gedurende de omschakeltijd. Er zijn verschillende factoren die hiertoe konden leiden. Oorspronkelijk dacht men dat de speling op de keten mold blocks foutief was ingesteld. Nadien werd aangenomen dat de koeling van de corrugator te snel was opgezet. Door de lage temperatuur kon de metalen machine vervormd zijn. Dit zou aanleiding geven tot een hoge mate van wrijving tussen de machine en de ronddraaiende ketens mold blocks. Uiteindelijk bleek dat twee mold blocks in de verkeerde richting waren geplaatst. Door een verkeerde configuratie van de nieuwe keten viel de machine automatisch stil.

Omdat de productie van Flexidrain ® afvoerbuizen een nieuwe aangelegenheid is voor Plastiflex, is het normaal dat onvoorziene omstandigheden optreden. Het is echter belangrijk hoe de werknemers met deze onvoorziene omstandigheden omgaan. Het controleren van de speling is een correcte activiteit aangezien deze oorzaak tot stilval bekend is. Ook zijn de werknemers op de hoogte dat een foutieve configuratie van de keten zal leiden tot de activering van de veiligheidsfunctie. Deze factor werd pas 4 uur nadat de corrugator voor de eerste keer vastliep onderzocht. Het vroegtijdig opzetten van de koeling was nieuw en bijgevolg niet bekend bij de werknemers.

Een zeer groot aandeel van de omschakelactiviteiten kan geëlimineerd worden door een andere werkmethode. Bij een onvoorziene omstandigheid is het aangewezen eerst de bekende oorzaken te

² (0 + (3.11+3.08) +3.01) / 3

³ (0 + 1.65 + 0.33) / 3

onderzoeken. Indien geen exacte oorzaak wordt vastgesteld, kan een nieuwe hypothese ontwikkeld worden. Bovendien zal het registreren van de verschillende oorzaken bijdragen tot een beter inzicht in de machine. Dit zal aanleiding geven tot een sneller leerproces bij de werknemers.

b. Omschakelactiviteiten met betrekking tot het invetten van de mold blocks

Bij het vervangen van de mold blocks moeten de gietvormen ingesmeerd worden. Hierdoor treedt minder wrijving op tussen de ronddraaiende ketens en de machine. Het verbruik van de motor zal laag blijven zodat de veiligheidsfunctie niet geactiveerd wordt. Het insmeren gebeurt zowel langs de zijkanten van de gietvormen wanneer ze vervangen worden (C2) en langs de bovenkant nadat ze geplaatst zijn (C3).

Tijdens de observatie van 30 juni werden de zijkanten van de nieuwe mold blocks niet ingesmeerd. Gedurende de hele productierun viel de machine echter niet stil. Ik vraag me dan ook af of het nodig is de zijkanten van de mold blocks in te smeren. Na overleg met mr. Vets bleek deze activiteit noodzakelijk te zijn. Het insmeren van de mold blocks zal bijgevolg opgenomen worden bij de definitieve taakindeling van de corrugator.

c. Omschakelactiviteiten met betrekking tot menselijke fouten

Tijdens de observatie van 30 juni werd de nieuwe sealing as geplaatst voordat de as ingesmeerd was. Hierdoor moest de as opnieuw verwijderd worden uit de machine. Ook controleerde het onderhoudspersoneel de speling op de keten mold blocks terwijl de gietvormen vervangen werden. Op dit moment waren nog mold blocks van de vorige productierun in de machine aanwezig. Aangezien deze gietvormen nog vervangen worden, verandert de speling op de keten. De uitgevoerde activiteit heeft bijgevolg geen nut.

De overbodige omschakelactiviteiten zullen vanzelf verdwijnen naarmate de productielijn wordt omgeschakeld. Het elimineren van interne activiteiten met betrekking tot menselijke fouten wordt dan ook enkel voor de volledigheid van het onderzoek vermeld.

4. Bespreking van de resultaten van stap 2 en 3 van het SMED – algoritme

Door toepassing van stap 2 en 3 van het SMED – algoritme kan ik een projectie maken van de verwachte omschakeltijd. Deze projectie wordt weergegeven in tabel 9. De resterende activiteiten worden in de oorspronkelijke observatiedata aangeduid met het teken (*).

Door vergelijking van tabel 8 met tabel 9, kan de verwachte tijdsreductie bij het uitvoeren van de omschakelactiviteiten worden vastgesteld. De tijdsreductie wordt zowel berekend voor de benodigde tijd van de omschakelactiviteiten als voor de totale tijdsperiode waarin de machine is geobserveerd. De resultaten worden weergegeven in tabel 10.

Door toepassing van het SMED – algoritme daalt de totale tijd die besteed wordt aan het uitvoeren van omschakelactiviteiten met gemiddeld 38.51%⁴. Dit is gelijk aan een gemiddelde tijdsreductie

⁴ $(36.10 + 48.21 + 31.23) / 3$ (zie tabel 10)

van 42 minuten en 26 seconden (2546s⁵). De tijdsreductie is het grootst bij de observatie van 3 juli. Door eerst te zoeken naar de bekende oorzaken van faling zal de veiligheidsfunctie van de corrugator minder frequent in werking treden.

De gemiddelde daling in totale observatietijd bedraagt slechts 13.89%⁶. Dit percentage wijkt sterk af van de tijdsreductie met betrekking tot de omschakelactiviteiten. De reden hiervoor is dat de machine gedurende lange tijd stilstaat zonder dat er omschakelactiviteiten worden uitgevoerd. Deze activiteiten zijn gegroepeerd onder de post H. In tabel 8 stelt men vast dat de post H een gemiddeld aandeel van 66.56%⁷ inneemt van de totale observatieperiode. Dit wil zeggen dat er geen omschakelactiviteiten aan de corrugator worden uitgevoerd gedurende 66.56% van de geobserveerde stilstand. In tabel 9 neemt deze post een aandeel in van 75.99%⁸. Bijgevolg is het aandeel van de post H in vergelijking met de oorspronkelijke observatiedata gestegen. Dit is logisch aangezien het SMED – algoritme de tijd voor het uitvoeren van omschakelactiviteiten reduceert met 38.51%. Het algoritme houdt echter geen rekening met de post H. Enkel bij de observatieperiode van 3 juli daalt de totale tijd waarin er geen omschakelactiviteiten worden uitgevoerd met 894s⁹. De reden is dat de veiligheidsfunctie slechts één keer in werking treedt (H7). Ook zal het onderhoudspersoneel niet wachten tot de corrugator is opgewarmd wanneer vastgesteld wordt dat een foutieve plaatsing van de mold blocks de machine blokkeert (H4).

Ik kan besluiten dat de tijd besteed aan het uitvoeren van omschakelactiviteiten daalt met 38.51% door toepassing van het SMED – algoritme. De invloed op de totale tijd waarin de machine stilstaat is echter beperkt. Dit wordt verklaard door de grote hoeveelheid tijd waarin er geen omschakelactiviteiten aan de machine worden uitgevoerd. Omdat deze post bijna niet door het SMED – algoritme wordt beïnvloed, voeg ik een 4^{de} stap toe in het voorgestelde algoritme.

5. Stap 4: Analyse van de tijd waarin er geen omschakelactiviteiten aan de machine worden uitgevoerd (H).

Er zijn verschillende oorzaken waardoor de machine kan stilstaan wanneer er niet aan gewerkt wordt. In deze paragraaf worden deze oorzaken besproken en waar mogelijk geëlimineerd.

a. Omschakelactiviteiten worden aan de overige machines uitgevoerd (H1)

In de eerste plaats zal de corrugator stilstaan wanneer omschakelactiviteiten worden uitgevoerd aan andere machines van de productielijn. Er werd reeds vastgesteld dat het SMED – algoritme de tijd, waarin de onderhoudsdienst omschakelactiviteiten uitvoert, sterk vermindert. Deze tijdscomponent zal bijgevolg dalen door toepassing van het algoritme. Bovendien kan de post H1 niet geëlimineerd worden. Deze invloed van het algoritme op deze tijdscomponent wordt dan ook verder besproken tijdens de definitieve taakindeling.

⁵ $(1884 + 4401 + 1353) / 3$ (zie tabel 10)

⁶ $(9.33 + 19.62 + 12.70) / 3$ (zie tabel 10)

⁷ $(74.17 + 66.18 + 59.33) / 3$ (zie tabel 8)

⁸ $(81.79 + 78.21 + 67.96) / 3$ (zie tabel 9)

⁹ $(17865 - 16971)$ (vergelijking tabel 8 en tabel 9)

b. Overleg tussen werknemers (H2)

Deze tijdscomponent omvat de tijd waarin geen omschakelactiviteiten worden uitgevoerd wanneer een werknemer overlegt met zijn of haar collega. Het overleg tussen de werknemers is eigen aan het nieuwe van het productieproces. Naarmate de omschakelactiviteiten worden uitgevoerd, zullen de werknemers een beter inzicht krijgen in de verwachte taken. Deze tijdscomponent zal met andere woorden vanzelf verdwijnen. Voor verdere toepassing van het SMED – algoritme wordt het overleg tussen werknemers buiten beschouwing gelaten.

c. De werknemer is genoodzaakt andere activiteiten uit te voeren (H3)

Gedurende een groot deel van de omschakeltijd staat de machine stil omdat een werknemer een andere activiteit moet uitvoeren. Het personeel van de onderhoudsdienst is verantwoordelijk voor de goede werking van alle productielijnen. Dit wil zeggen dat de omschakelactiviteiten worden stopgezet wanneer een andere productielijn vastloopt. Ook de lijnoperator is verantwoordelijk voor drie productielijnen. Hierdoor moet hij regelmatig de overige productielijnen controleren.

De post H3 kan geëlimineerd worden door het aanpassen van de arbeidsplanning of door aanwerving van personeel. Gedurende de uitvoering van mijn onderzoeksstudie werd een nieuwe werknemer van de onderhoudsdienst aangenomen. Ook zijn er momenteel drie nieuwe lijnoperatoren in opleiding. Hierdoor werd in overleg met Dhr. Vets vastgesteld dat de productielijn voortaan kan worden omgeschakeld door twee werknemers van de onderhoudsdienst en één lijnoperator. Bij het stilvallen van een andere productielijn kan één onderhoudsman doorgaan met de omschakelactiviteiten. Ook zal een lijnoperator voortaan beroep kunnen doen op een collega voor het controleren van de productielijnen. Dit kan volgens Dhr. Vets zonder problemen gepland worden. Hierdoor kan hij onafgebroken tijd besteden aan de omschakeling van de extruder en corrugator. Deze factoren zijn vooral belangrijk bij het opstellen van de definitieve taakindeling.

d. Het opwarmen of afkoelen van de machine (H4)

Er werd vermeld dat het onderhoudspersoneel geen omschakelactiviteiten aan de corrugator uitvoerde omdat men dacht dat de machine moest opwarmen. Dit bleek achteraf een foutieve veronderstelling. Het opwarmen van de corrugator wordt in dit werkstuk dan ook buiten beschouwing gelaten.

e. Pauze (H5)

Tijdens de eerste twee observaties gingen de werknemers van de ochtendshift in pauze. Het is logisch dat deze pauze werd toegestaan. De arbeiders van de ochtendshift eindigden immers hun dienst om 14.00u. Op dit moment was de stilstaande productielijn nog niet omgeschakeld. Door toepassing van het SMED – algoritme zal de totale omschakeltijd dalen. Hierdoor wordt pas bij de definitieve taakindeling vastgesteld of de arbeiders recht hebben op een pauze tijdens de omschakeling.

f. Geen uitvoering van omschakeltijden door overname van activiteiten (H6)

Op 10 juli werden geen omschakelactiviteiten uitgevoerd nadat de centrale dekplaten van de machine waren vastgedraaid. De werknemer van het onderhoudsteam was klaar met de corrugator en begon aan de omschakeling van de cutter. Enkel de sealing as moest nog door de lijnoperator worden aangemaakt. Dit werd door de lijnoperator van de namiddagploeg gedaan. Omdat hij verantwoordelijk is voor meerdere productielijnen controleert de lijnoperator deze processen voor aanvang van de omschakelactiviteiten. Deze tijdscomponent wordt dan ook opgenomen onder de post H3.

In de observatiedata van 10 juli werd vastgesteld dat de lijnoperator van de voormiddagploeg klaar was met de omschakeling van de extruder om 13.43.01u. Er werden geen verdere omschakelactiviteiten aan de extruder uitgevoerd tot 14.00.00u. De lijnoperator vertelde me dat zijn collega van de namiddagploeg de overige omschakelactiviteiten moest uitvoeren. Hij kon echter de sealing as tijdens dit tijdsinterval aanmaken.

Bij de bespreking van de post H3 werd vermeld dat een lijnoperator voortaan beroep zal kunnen doen op zijn collega's voor het controleren van de overige productielijnen. Hierdoor kan hij onafgebroken werken aan de omschakeling van de productielijn. Dit houdt in dat er geen reden meer bestaat waarom de lijnoperator zou stoppen met de uitvoering van omschakelactiviteiten voordat zijn dienst erop zit. Hierdoor zal de post H6 verdwijnen. Een goede opvolging van het toezicht is dan ook aangeraden betreffende het vroegtijdig stoppen van de omschakelactiviteiten.

g. In werking treden van de veiligheidsfunctie (H7)

Bij het vastlopen van de corrugator werden geen omschakelactiviteiten uitgevoerd. Deze tijdscomponent werd reeds besproken in stap 2 en 3 van het SMED – algoritme.

h. Wachten op nieuwe onderdelen (H8)

Tijdens de observatie van 3 juli werd vastgesteld dat het onderhoudsteam moest wachten met de uitvoering van omschakelactiviteiten. De reden hiervoor was dat nieuwe onderdelen moesten aangemaakt worden. In stap 2 en 3 van het SMED – algoritme werd het gebruik van een checklist vermeld. Hierdoor kan men de tijd besteed aan het zoeken naar materialen en onderdelen elimineren. In deze checklist kan men ook de benodigde machineonderdelen voor de volgende productierun opnemen. Door het gebruik van de checklist zal de onderhoudsdienst voor aanvang van de omschakelactiviteiten beschikken over de nodige onderdelen. De post H8 kan hierdoor volledig worden geëlimineerd. Verdere opvolging door het management betreffende het gebruik van de checklist is dan ook noodzakelijk.

6. Bespreking van de resultaten van stap 4 van het SMED – algoritme

Door toepassing van de 4^{de} stap in het SMED – algoritme kunnen alle H posten, met uitzondering van H1 en H5, herleid worden tot 0. De overgebleven posten worden verder onderzocht bij de

definitieve taakindeling. De gevolgen van de 4^{de} stap van het algoritme worden weergegeven in tabel 11.

Door toepassing van de 4^{de} stap daalt de totale observatietijd verder met gemiddeld 23.50%. Deze daling is gelijk aan een gemiddelde tijdsreductie van 1 uur, 2 minuten en 24 seconden¹⁰. De oorspronkelijke observatietijd daalt dus in het totaal met 37.39%¹¹. Dit komt overeen met een gemiddelde tijdswinst van 1 uur, 56 minuten en 28 seconden (6588s¹²).

7. Stap 5: optimalisatie van de omschakelactiviteiten

Op 30 juni werden enkel drie centrale dekplaten van de corrugator verwijderd. Deze activiteit werd uitgevoerd met behulp van een inbussleutel. Op 3 juli werden alle centrale dekplaten doormiddel van dezelfde inbussleutel verwijderd. De activiteiten, met betrekking tot de dekplaten en het vervangen van de mold blocks, werden bij beide observaties uitgevoerd door één werknemer.

Gedurende de observatie van 10 juli verwijderden twee personeelsleden van het onderhoud alle centrale dekplaten. Hierbij werd zowel gebruik gemaakt van een inbussleutel als van een aangepaste boormachine. Slechts één werknemer monteerde de centrale dekplaten met behulp van de machine. Het vervangen van de ketens mold blocks werd uitgevoerd door twee personen. De benodigde tijd voor de uitvoering van deze omschakelactiviteiten wordt weergegeven in tabel 12.

Het is aan te raden aan het onderhoudsteam om alle centrale dekplanten van de corrugator tijdens de omschakeling te verwijderen. Dit kan men vaststellen door de observatie van 30 juni te vergelijken met de observatie van 3 juli. De tijdswinst die gewonnen wordt door slechts 3 dekplaten te verwijderen, is kleiner dan het tijdsverlies bij het vervangen van de ketens mold blocks. Omdat niet alle dekplaten worden opengelegd, kan slechts een klein deel van de keten vervangen worden. Hierdoor moet het onderhoudspersoneel de ketens vaker verplaatsen in de machine. Bijgevolg moeten alle centrale dekplaten worden opengelegd. Indien deze activiteit wordt uitgevoerd door 1 arbeider, die gebruik maakt van een boormachine met een gemonteerde inbussleutel, bedraagt de tijdscomponent voor het openen en sluiten van de centrale dekplaten 310s¹³. Indien deze activiteiten worden uitgevoerd door twee werknemers van het onderhoudspersoneel, bedraagt de tijdscomponent 170s¹⁴.

Opmerkelijk in de tabel is dat de tijd nodig voor het vervangen van de ketens mold blocks op 10 juli langer duurde dan op 3 juli. Op 3 juli werden de mold blocks immers vervangen door twee arbeiders. Hiervoor zijn verschillende verklaringen mogelijk. Omdat de nieuwe werknemer van het onderhoud in opleiding was, werden de verschillende stappen tijdens de omschakeling besproken. Ook werden bepaalde activiteiten tijdens de omschakeling herhaald. De eerste arbeider verwijderde de oude mold blocks. Nadien plaatste hij de nieuwe mold blocks in de corrugator. De

¹⁰ Gemiddelde tijdsdaling is 3477s (zie tabel 11)

¹¹ 23.50 + 13.89 (zie bespreking resultaten stap 2 en 3)

¹² (3477 (zie tabel 11) + ((1884 + 5295 + 1353) / 3 (zie tabel 10))

¹³ 155*2, zie tabel 12

¹⁴ 85*2, zie tabel 12

tweede arbeider haalde de nieuwe mold blocks uit de machine, vette ze in en plaatste ze vervolgens opnieuw terug. Hierdoor worden de nieuwe mold blocks twee maal geplaatst in de machine en één maal verwijderd. Dit zijn bijgevolg inefficiënte handelingen. De eerste onderhoudsman kan beter de nieuwe mold blocks op een kar plaatsen. Hierdoor kan de tweede werknemer ze invetten en onmiddellijk plaatsen in de machine. Ook staan beide arbeiders stil wanneer de mold blocks in de machine worden verplaatst.

Gebaseerd op tabel 5 kan ik besluiten dat slechts één arbeider de mold blocks moet vervangen. De definitieve taakindeling wordt bijgevolg gebaseerd op één werknemer van het onderhoud die de mold blocks vervangt. De vereiste tijd is gelijk aan 1655s. Verder onderzoek voor het vervangen van de mold blocks door twee arbeiders is echter aangeraden.

Op basis van bovenstaande bevindingen kan tabel 13 worden opgesteld. In deze tabel wordt de verwachte, gemiddelde tijd benodigd voor de omschakeling van de corrugator vastgesteld. Indien de centrale dekplaten worden verwijderd en geplaatst door één werknemer, is de tijd gelijk aan 2798s. Indien twee werknemers voor het onderhoud de activiteit uitvoeren, bedraagt de tijd 2658s.

4.2.2.2 Optimalisatie omschakeltijd 'moving rotary cutter'.

Het onderhoudsteam moet een beperkt aantal omschakelactiviteiten aan de cutter uitvoeren. Deze activiteiten werden daarom slechts één maal geregistreerd op 10 juli 2008.

Er worden vier primaire omschakelactiviteiten aan de cutter uitgevoerd. De klemming aan de ingang van de machine moet vervangen en aangepast worden aan de diameter van de nieuwe productiebatch afvoerbuizen. Achter de klemming bevindt zich een metalen cilinder waarin de afvoerbuizen wordt gecentraliseerd. Ook deze centralisering wordt bij de omschakelactiviteiten vervangen. Vervolgens moet het gehele systeem van mes en stabilisatieringen worden aangepast. Indien het mes of de stabilisatieringen verouderd zijn, worden deze vervangen. Bovendien wordt de positie van de mobiele metalen bussen aangepast naargelang de diameter van de afvoerbuizen. Tenslotte wordt via een interface de exacte positie ingegeven waar de afvoerbuizen wordt doorgesneden. Dit wordt gedaan tijdens de opstartfase van het productieproces. Omdat het productieproces terug operationeel is, wordt deze externe omschakelactiviteit niet opgenomen in de tabellen. Dhr. Vets vertelde me dat de opstart naar schatting 30 minuten duurt. Hierdoor heeft het onderhoudsteam voldoende tijd voor de uitvoering van omschakelactiviteiten gedurende deze tijdsperiode. Dit werd bevestigd door dhr. Vaes. Hij vermeldde dat de uitvoering van omschakelactiviteiten, die uitgevoerd worden gedurende de opstartfase, slechts weinig tijd in beslag neemt.

1. Stap 1: categorisering van de omschakelactiviteiten

De indeling van omschakelactiviteiten aan de cutter wordt weergegeven in tabel 14. Het procentueel aandeel van de vastgestelde posten is weergegeven in de grafiek 2. Alle geobserveerde activiteiten worden intern uitgevoerd tenzij anders vermeld.

2. Stap 2: omzetting van interne naar externe omschakelactiviteiten

a. Omschakelactiviteiten betreffende zoeken (E)

Tijdens het omschakelen van de cutter wordt 28.59% van de totale omschakeltijd besteed aan het zoeken naar gereedschap en testmateriaal. Door het gebruik van een checklist kan deze post volledig geëlimineerd worden. Dit werd reeds vermeld bij de bespreking van de corrugator.

b. Omschakelactiviteiten betreffende het repareren van onderdelen (B2)

Tijdens de omschakeling van de cutter werd 12.81% van de tijd besteed aan het repareren van de nieuwe centralisatie. De nieuwe ring was door de onderhoudsdienst foutief gemonteerd. Bij de bespreking van de corrugator werd vermeld dat nieuwe machineonderdelen in de checklist moeten opgenomen worden. Door een tweede kolom aan de checklist toe te voegen kan bovendien de goede werking van de onderdelen worden gecontroleerd. Hierdoor kunnen de activiteiten, die opgenomen zijn onder de post B2, voortaan extern worden uitgevoerd.

3. Stap 3: eliminatie van interne omschakelactiviteiten

a. Aanpassen van het nieuwe systeem van mes en stabilisaties (A2)

Wanneer de onderhoudsdienst beschikt over een reserve systeem van mes en stabilisaties, kan het systeem preventief in elkaar worden gezet. Hierdoor moet de onderhoudsman enkel het oude systeem verwijderen en het nieuwe systeem plaatsen. Bovendien kunnen de stabilisaties extern worden geïnspecteerd (post D1).

Een tweede systeem van mes en stabilisaties vereist echter een investering van de onderneming. De investering is enkel nuttig wanneer het leidt tot een vermindering van de totale stilstand van de machine. Dit zal pas duidelijk zijn bij het opstellen van de definitieve taakindeling. Indien een vermindering van totale stilstand van de productielijn wordt vastgesteld, kan een eenvoudige kosten – baten analyse worden opgesteld. Omdat het systeem door het onderhoudsteam kan ontwikkeld worden, bedraagt de kostencomponent zowel de materiaalkost van het systeem als de arbeidskost van de werknemer die het systeem vervaardigt. De batencomponent bestaat uit de verwachte winstmarge per individueel eindproduct vermenigvuldigd

met het aantal eindproducten die geproduceerd worden in de tijdreductie van 6 minuten en 47 seconden (407s¹⁵)

4. Analyse van de resultaten van stap 2 en 3 van het SMED – algoritme

Door toepassing van stap 2 en 3 van het SMED – algoritme kunnen de interne omschakelactiviteiten opnieuw in posten worden onderverdeeld. Dit wordt weergegeven in tabel 15. Deze tabel is niet gebaseerd op een additionele investering in een tweede systeem van mes en stabilisatieringen. Zoals vermeld kan pas bij de definitieve taakindeling worden vastgesteld of deze investering nuttig is. De resterende activiteiten worden in de oorspronkelijke observatiedata aangeduid met het teken (*).

De verwachte tijdsreductie kan worden vastgesteld door tabel 14 met tabel 15 te vergelijken. De totale omschakeltijd van de cutter daalt met 1173s¹⁶. Dit wil zeggen dat de tijd besteed aan het uitvoeren van de omschakelactiviteiten daalt met 41.40%. De machine staat niet stil wanneer er geen omschakelactiviteiten worden uitgevoerd. Door toepassing van het SMED – algoritme bedraagt de totale omschakeltijd van de cutter 27 minuten en 40 seconden.

4.2.2.3 Optimalisatie omschakeltijd 'koeler'.

Het onderhoudsteam moet slechts een beperkt aantal omschakelactiviteiten aan de koeler uitvoeren. Deze activiteiten werden daarom slechts één maal geregistreerd op 30 juni 2008. In de eerste plaats moet de filter verwijderd, gezuiverd en teruggeplaatst worden. Het gekoelde water wordt door verschillende productielijnen gebruikt. Hierdoor bevat het water vele onzuiverheden. Indien nodig moeten ook de 32 spuitopeningen vervangen, gezuiverd, gedroogd en gemonteerd worden. Ondanks de geplaatste filter stapelen onzuiverheden zich op in de spuitopeningen. Hierdoor geraken de spuitopeningen van de koeler regelmatig verstopt.

1. Stap 1: categorisering van de omschakelactiviteiten

De omschakelactiviteiten van de koeler worden weergegeven in tabel 16. Het procentueel aandeel van de vastgestelde posten wordt weergegeven in de grafiek 3. Alle geobserveerde activiteiten worden intern uitgevoerd tenzij anders vermeld.

2. Stap 2: omzetting van interne naar externe omschakelactiviteiten

Gebaseerd op tabel 8 stel ik vast dat geen omschakelactiviteiten van de koeler extern kunnen worden uitgevoerd.

¹⁵ 386 + 21 (posten A2 en D1 in tabel 14)

¹⁶ 2833 – 1660 (vergelijking totaal tabel 14 en tabel 15)

3. *Stap 3: eliminatie van interne omschakelactiviteiten*

a. *Omschakelactiviteiten betreffende de spuitopeningen*

De tijd vereist voor het verwijderen, zuiveren, drogen en installeren van de spuitopeningen bedraagt 33 minuten en 39 seconden (2019s). Wanneer hierbij de tijd voor de verplaatsing tussen de productieafdeling en de technische dienst wordt opgeteld, bekomt men de totale tijd nodig voor het vervangen van de spuitopeningen. Deze tijdscomponent bedraagt 35 minuten en 53 seconden (2153s¹⁷). Deze tijdscomponent kan op verschillende manieren worden gereduceerd. Door de aankoop van reserve spuitopeningen kunnen de oude spuitopeningen extern gezuiverd en gedroogd worden. Ook treedt er geen misvorming van het eindproduct op wanneer de afvoerbuis door slechts 8 spuitopeningen wordt gekoeld. Dit werd vastgesteld door Dhr. Vaes, het diensthoofd van de onderhoudsafdeling. Hierdoor zal de totale tijdscomponent voor het vervangen van de spuitopeningen slechts 10 minuten en 39 seconden bedragen (639s¹⁸). De tijdsreductie bedraagt 25 minuten en 14 seconden. Dit is een daling van 70.32%¹⁹. Bovendien vereist deze methode geen additionele investering van de onderneming. Bij Plastiflex heeft het management voor een derde optie gekozen. Er is een nieuwe filter voor de koeler aangekocht. Sinds de installatie van de nieuwe filter zijn de spuitopeningen niet meer vervuild geraakt. De gehele post B wordt hierdoor geëlimineerd.

4. *Analyse van de resultaten van stap 2 en 3 van het SMED – algoritme*

Door toepassing van stap 2 en 3 van het SMED – algoritme kunnen de interne omschakelactiviteiten opnieuw in posten worden onderverdeeld. Dit wordt weergegeven in tabel 17. De resterende activiteiten worden in de oorspronkelijke observatiedata aangeduid met het teken (*).

Door tabel 16 met tabel 17 te vergelijken, krijgt men een duidelijk beeld van de verwachte tijdsreductie. Dit wordt weergegeven in tabel 18. Door de aanwezigheid van de nieuwe filter worden de spuitopeningen niet meer vervangen. Hierdoor daalt de totale tijd vereist voor het uitvoeren van omschakelactiviteiten met 80.40%. De totale observatietijd waarin de machine stilstaat, daalt slechts met 7.24%. Dit wordt verklaard door het grote aandeel van de tijd waarin er geen omschakelactiviteiten aan de stilstaande machine worden uitgevoerd. Dit wordt getoond in grafiek 3. Er worden geen omschakelactiviteiten aan de machine uitgevoerd gedurende 91% van de geobserveerde omschakeltijd. Net zoals bij de corrugator wordt deze tijdscomponent opgenomen in het SMED – algoritme.

¹⁷ 134 + 2019 (zie tabel 16)

¹⁸ (2019 / 32) * 8 + 134 (zie tabel 16)

¹⁹ (1 - 639 / 2153) * 100

5. *Stap 4: Analyse van de tijd waarin er geen omschakelactiviteiten aan de machine worden uitgevoerd (H).*

Er worden geen omschakelactiviteiten uitgevoerd wanneer het onderhoudspersoneel aan andere productielijnen moet werken. Ook staat de machine volledig stil wanneer de andere machines van het productieproces worden omgeschakeld. Deze twee tijdscomponenten werden reeds besproken bij de analyse van de corrugator. Op basis van analoge bevindingen, wordt tabel 19 opgesteld.

Indien twee werknemers van het onderhoud zijn tewerkgesteld, zal de totale observatietijd dalen met 6865s. Deze tijdsreductie vertegenwoordigt 24.88% van de verwachte, totale observatietijd. In vergelijking met de oorspronkelijke observatie daalt de totale omschakeltijd met 32.12%²⁰.

4.2.2.4 *Optimalisatie omschakeltijd 'drooginstallatie'.*

Nadat de productielijn is stilgezet, worden de dekplaten van de drooginstallatie opengezet. De exacte tijd voor het uitvoeren van deze activiteit werd niet geregistreerd. Ik stel deze tijd gelijk aan de tijd nodig voor het openen van de dekplaten van de koeler. De koeler is immers langer dan de drooginstallatie en bevat meer dekplaten. Omdat dezelfde handelingen moeten uitgevoerd worden bij het openen van de dekplaten van beide machines, zal de tijd van 63s ruim voldoende zijn.

Vervolgens wordt de extruder herstart na omschakeling van de productielijn. Tijdens de opstartfase wordt de positie van de openingen, waaruit de geperste lucht komt, aangepast. Vervolgens worden de dekplaten gesloten. Aangezien deze activiteiten worden uitgevoerd wanneer het productieproces terug operationeel is, worden ze extern uitgevoerd. Ze worden dan ook in dit werkstuk buiten beschouwing gelaten.

4.2.2.5 *Optimalisatie omschakeltijd 'puller'.*

Wanneer de productielijn wordt stilgelegd, wordt de puller geopend en uitgezet. Dit neemt naar schatting 10 seconden in beslag. Wanneer het productieproces terug operationeel is, wordt de machine geactiveerd en gesloten. Het sluiten en activeren van de machine zijn dan ook externe activiteiten. Door de lange opstartfase worden deze activiteiten in het onderzoek buiten beschouwing gelaten.

4.2.2.6 *Optimalisatie omschakeltijd 'printer'.*

De instellingen van de printer worden pas aangepast nadat het productieproces operationeel is. Deze activiteit wordt dan ook niet opgenomen in het onderzoek.

²⁰ 7.24% (zie tabel 18) + 24.88% (zie tabel 19)

4.2.2.7 Optimalisatie omschakeltijd extruder

De omschakelactiviteiten van de extruder werden drie keer geobserveerd. Deze activiteiten verschillen naargelang de materiaalsamenstelling van de oude en nieuwe batch afvoerbuizen. De terminologie die gebruikt wordt bij de bespreking van de extruder, is gebaseerd op figuur 22.

1. Omschakeling van PVC naar PVC (verandering diameter) (30 juni 2008)

De extruder is de enige machine waarbij alle omschakelactiviteiten worden uitgevoerd door de extrudeur. Op 30 juni werd de productielijn omgeschakeld van 32mm PVC naar 50mm PVC. Enkel de diameter van de nieuwe productiebatch was verschillend.

Wanneer PVC stilstaat in een verwarmde extruderbarrel leidt dit tot verbranding van het materiaal. Hierbij komen chloor6-gassen vrij. Deze gassen zijn zowel schadelijk voor de arbeiders als voor de productie-installatie. Omwille van dit risico moet de temperatuur op de extruderbarrel worden verlaagd van 185°C tot 150°C. Tijdens de afkoeling blijft de machine output produceren. Zoals vermeld zal stilstand van het granulaat leiden tot verbranding. Door de continue output van de machine kunnen geen omschakelactiviteiten worden uitgevoerd tijdens het afkoelen van de extruder.

De snelheid waarmee de extruder afkoelt, is afhankelijk van de ingestelde temperaturen. Bovendien zullen de metalen onderdelen met een hoge massa trager afkoelen. De ontwerpingenieur, Dhr. Kerkhofs, vertelde me dat de omschakelactiviteiten pas kunnen uitgevoerd worden wanneer de registreerde temperatuur 2°C afwijkt van de gewenste temperatuur. Deze regel moet gelden voor alle zones van de extruder. De tijd nodig voor de afkoeling van de extruder is niet geregistreerd. Dit is een zeer belangrijk gegeven voor de definitieve taakindeling. De observatiedata begint immers op het moment wanneer de werknemers beginnen met de omschakelactiviteiten. Het afkoelen van de machine is bijgevolg niet in de observatiedata opgenomen. Door gesprekken met Dhr. Vets kwam ik tot de conclusie dat de afkoeling ongeveer een uur duurt. Dit werd bevestigd door andere werknemers van de onderneming. De tijdsperiode waarin de machine afkoelt, wordt dan ook gelijkgesteld aan 3600s.

De vereiste tijd voor het opwarmen van de extruder bij een nieuwe productiebatch afvoerbuizen uit PVC kan afgeleid worden uit de oorspronkelijke observatiedata. Op 30 juni werden de temperaturen van de extruder ingesteld om 15.56.46u door de lijnoperator. Pas om 16.35.34u was de machine opgewarmd. De opwarming van de machine duurde bijgevolg 38 minuten en 48 seconden (2328s). Analoog aan de afkoeling moet de extruder output genereren tijdens de opwarming van de machine.

De totale tijd voor het opwarmen en afkoelen van de extruder bedraagt 1 uur, 38 minuten en 48 seconden. De onderneming kan deze tijdscomponent laten dalen door te investeren in heaters met een hoger thermisch vermogen. Hierdoor zal de machine immers sneller opwarmen. Ook een ander ontwerp of materiaalsamenstelling van het extruderkopstuk kunnen leiden tot een kortere tijd benodigd voor het opwarmen en afkoelen. Dit vereist echter een hoge investering van de onderneming. Zoals vermeld valt dit onder de 4^{de} fase van het stappenplan dat toegepast wordt in

kader van de 'Theory of constraints'. Omdat dit onderzoek de stilstand van de huidige productie-installatie tracht te minimaliseren, wordt deze mogelijkheid buiten beschouwing gelaten. Bijgevolg moet de tijd, die vereist is voor het opwarmen of afkoelen van de machine, als een constante waarde worden beschouwd. Wel zal de totale omschakeltijd dalen door zoveel mogelijk omschakelactiviteiten uit te voeren gedurende deze tijdsperiode.

2. Omschakeling van PP naar PP (verandering diameter) (10 juli)

Gedurende de observatie van 10 juli is de productielijn omgeschakeld van PP naar PP. De nieuwe productbatch bestond uit afvoerbuizen met dezelfde materiaalsamenstelling maar een andere diameter. Zoals vermeld heeft PP een hogere werkingstemperatuur dan PVC. Hierdoor verbrandt het granulaat niet bij de ingestelde temperatuur van 235°C. Er wordt bijgevolg geen tijd verloren aan het opwarmen of afkoelen van de extruder. De omschakelactiviteiten kunnen onmiddellijk worden uitgevoerd wanneer de machine wordt stilgelegd.

3. Omschakeling van PVC naar PP (verandering diameter en materiaalsamenstelling) (3 juli 2008)

Op 3 juli werd de het extrusieproces omgeschakeld van afvoerbuizen uit PVC naar afvoerbuizen uit PP. De twee materialen zijn onverenigbaar op atomair niveau. Hierdoor zal de aanwezigheid van PVC bij een productie van afvoerbuizen uit PP, en visa versa, leiden tot porositeit van de eindproducten. Indien dit niet wordt vastgesteld door de controleoperator, zal dit leiden tot lekkage bij de eindgebruiker. Dit leidt niet alleen tot reputatieschade maar ook tot mogelijke juridische kosten. Bij de omschakeling naar een nieuwe productbatch, die bestaat uit een andere materiaalsamenstelling, moeten bijgevolg additionele omschakelactiviteiten worden uitgevoerd. Bij deze omschakelactiviteiten worden de verschillende onderdelen van de extruder vervangen of gezuiverd. Dit resulteert in een langere stilstand van de productielijn.

Na mijn praktijkonderzoek investeerde Plastiflex in een tweede productielijn. Deze was identiek aan het geobserveerde extrusieproces. De investering stelde de onderneming in staat om de productie van Flexidrain ® afvoerbuizen uit een verschillende materiaalsamenstelling van elkaar te scheiden. Het verhoogde risico, dat eigen is aan de atomaire onverenigbaarheid van de materialen, werd hierdoor geminimaliseerd. Merk op dat het risico werd geminimaliseerd en niet geëlimineerd. De productie van Flexidrain ® afvoerbuizen bevindt zich momenteel in de ontwikkelingsfase. Omdat het om een nieuw productgamma gaat, is er nog geen hoge marktvraag aanwezig. De productie van afvoerbuizen uit een verschillende materiaalsamenstelling kan hierdoor gescheiden worden. Indien de marktvraag toeneemt, bestaat de mogelijkheid echter dat er tijdens piekperioden afvoerbuizen met een verschillende materiaalsamenstelling op dezelfde productielijn worden geproduceerd.

Gebaseerd op bovenstaande informatie richt dit werkstuk zich uitsluitend tot de omschakeling naar een productbatch met dezelfde materiaalsamenstelling. Gezien de huidige marktsituatie, worden de productiebuizen uit verschillende materialen afzonderlijk geproduceerd. Een bijkomende analyse van de omschakelactiviteiten, die betrekking hebben tot de productie van afvoerbuizen met een verschillende materiaalsamenstelling op één productielijn, is echter aangeraden wanneer de marktvraag toeneemt. De observatiedata van 3 juli worden dan ook voor de volledigheid van het

werkstuk vermeldt. Dit stelt de onderneming in staat een gelijkaardige analyse van de omschakelactiviteiten uit te voeren indien nodig.

1. Stap 1: categorisering van de omschakelactiviteiten

De indeling van geobserveerde omschakelactiviteiten, met betrekking tot de extruder, wordt weergegeven in tabel 20. Het procentueel aandeel van de vastgestelde posten wordt weergegeven in de grafieken 4.a,4.b en 4.c. Alle geobserveerde activiteiten worden intern uitgevoerd tenzij anders vermeld.

2. Stap 2: omzetting van interne naar externe omschakelactiviteiten

a. Omschakelactiviteiten met betrekking tot het die – systeem

Bij de bespreking van het extrusieproces werd vermeld dat een verschillend die – systeem wordt gebruikt bij de productie van afvoerbuizen uit PVC en PP. De verschillende die – systemen worden weergegeven in figuur 12 en 13. Ter ondersteuning van deze paragraaf wordt aangeraden om gebruik te maken van figuur 22.

Het die – systeem bij de productie van afvoerbuizen uit PP omvat de male die (A), de female die (A) en de female die (B). Het die - systeem wordt op het kopstuk van de machine vastgehouden door de middenring (A). Bij het vervangen van de die's wordt eerst de oude female die (A) verwijderd. Vervolgens haalt de extrudeur de male die (A) van het kopstuk. Tenslotte worden de schroeven (A) losgedraaid. Hierdoor kunnen zowel de middenring (A) en female die (B) worden verwijderd.

Indien men beschikt over een tweede middenring (A), kan de tijd nodig voor het uitvoeren van deze omschakelactiviteiten worden gereduceerd. Het gehele die – systeem kan immers preventief in elkaar gezet worden. Door de investering zouden minder interne omschakelactiviteiten worden uitgevoerd. Wanneer de schroeven (A) worden losgedraaid, kan het oude die – systeem volledig worden verwijderd. Ook kan het nieuwe die – systeem in één keer worden geplaatst samen met de middenring (A). Deze vaststelling werd bevestigd door dhr. Kerhofs. De investering is enkel nuttig wanneer het leidt tot een daling in de totale omschakeltijd. Dit werd reeds besproken bij de toepassing van het SMED – algoritme op de omschakelactiviteiten van de cutter.

Of de investering nuttig is, zal pas blijken bij de definitieve taakindeling.

In tegenstelling tot de afvoerbuizen uit PP, kan het die – systeem bij PVC afvoerbuizen niet preventief worden aangemaakt. De reden hiervoor is de aanwezigheid van de male die (B). Door de aanwezigheid van dit onderdeel moet de middenring (B) worden losgedraaid tijdens de omschakeling. In tegenstelling tot de middenring (A), waar enkel het die – systeem door de middenring wordt vastgezet, zet de middenring (B) ook een deel van het kopstuk van de extruder vast. Bijgevolg zou een deel van het kopstuk, samen met de nodige heaters, moeten aangekocht

worden voor het verkorten van de omschakeltijd. Dit vereist een zeer grote investering van de onderneming. Gezien de huidige marktsituatie wordt deze mogelijkheid dan ook buiten beschouwing gelaten.

b. Omschakelactiviteiten met betrekking tot zoeken (J)

Het zoeken naar gereedschap en onderdelen kan vermeden worden door gebruik van een checklist. Dit werd reeds behandeld bij de bespreking van de corrugator.

c. Omschakelactiviteiten met betrekking tot het zuiveren van onderdelen

Tijdens de omschakeling worden de verschillende onderdelen van de extruder, waaronder het die – systeem, gezuiverd. Deze onderdelen worden nadien vervangen en opgeslagen. De vraag moet dan ook gesteld worden of het onderhoud de onderdelen extern kan zuiveren. Na overleg met de onderhoudsdienst kwam ik tot de conclusie dat de activiteit intern moest uitgevoerd worden. Door niet onmiddellijk de componenten te zuiveren, zal het semi – vaste extrudaat harden. Hierdoor wordt het zeer moeilijk om de onderdelen te zuiveren na omschakeling van de productielijn. De activiteiten met betrekking tot het zuiveren van de onderdelen worden bijgevolg beschouwd als interne omschakelactiviteiten. Wel kan men een tijdsreductie realiseren door het opstellen van een nieuwe taakindeling. Dit wordt verder in dit werkstuk behandeld.

3. Stap 3: eliminatie van interne omschakelactiviteiten

Van de geobserveerde omschakelactiviteiten, die intern worden uitgevoerd, kunnen geen activiteiten worden geëlimineerd. Wel kunnen bepaalde omschakelactiviteiten, zoals de omschakelactiviteiten met betrekking tot de druktoevoer (post A), worden uitgevoerd terwijl de extruder opwarmt of afkoelt. Het extrudaat moet immers in deze tijdsperiode niet meer worden uitgeblazen in de gietvormen. Dit vergt een reorganisatie van omschakeltaken en wordt daarom besproken bij de definitieve taakindeling.

4. Analyse van de 2^{de} en 3^{de} stap van het SMED – algoritme.

Door toepassing van de 2^{de} en 3^{de} stap van het SMED – algoritme, kan ik een projectie maken van de verwachte omschakeltijd. Deze projectie wordt weergegeven in tabel 21. Merk op dat de omschakeling van PVC naar PP niet in deze tabel is opgenomen. Door de investering in een tweede productielijn kan men gezien de huidige marktsituatie de productie van afvoerbuizen, die bestaan uit een verschillende materiaalsamenstelling, scheiden. De resterende activiteiten worden in de oorspronkelijke observatiedata aangeduid met het teken (*).

Door tabel 20 met tabel 21 te vergelijken kan de invloed van de 2^{de} en 3^{de} stap van het algoritme worden vastgesteld. Dit wordt weergegeven in tabel 22. Op basis van tabel 22 kan er besloten

worden dat de tijd vereist voor de uitvoering van omschakelactiviteiten daalt met gemiddeld 16.45%²¹. De totale observatietijd daalt slechts met een gemiddelde tijd van 5.11%.²² Deze kleine invloed kan worden verklaard door de lange tijdsperiode waarin geen omschakelactiviteiten worden uitgevoerd. Deze tijdsperiode bedraagt gemiddeld 58.12%²³ van de totale, geobserveerde omschakeltijd. Door optimalisatie van de tijd, die nodig is voor de uitvoering van omschakelactiviteiten, bedraagt de verwachte tijdsperiode waarin geen omschakelactiviteiten worden uitgevoerd gemiddeld 61.51%²⁴. Door het grote aandeel van deze tijdscomponent vermindert de invloed van het SMED – algoritme. Analoog aan de bespreking van de corrugator wordt hierdoor een 5^{de} stap aan het algoritme toegevoegd.

5. Stap 4: Optimalisatie van de tijd waarin geen omschakelactiviteiten worden uitgevoerd.
(post L)

De post L in tabel 20 en 21 is gelijk aan de post H bij de bespreking van de corrugator. Omdat deze tijdscomponent reeds uitvoerig is besproken, wordt er hier slechts kort op ingegaan. De posten L2 en L3 kunnen op analoge wijze worden geëlimineerd als de posten H2 en H3 in tabel 8 en tabel 9. Ook wordt de post L1, net zoals de post H1, behouden. De invloed op deze post van de 2^{de} en 3^{de} stap van het SMED – algoritme, kan immers nu nog niet worden vastgesteld.

Tijdens de omschakeling van PVC naar PVC stellen we vast dat de extruder een bepaalde tijd nodig heeft om op te warmen. Er werd reeds vermeld dat deze tijd als een constante waarde moet worden beschouwd. De post L4 blijft bijgevolg behouden. Ook de post L7 kan niet worden geëlimineerd omdat de extrudeur de sealing as niet op de extruder kan aansluiten terwijl de machine output produceert.

6. Analyse van de 4^{de} stap op de verwachte omschakeltijd

Na uitvoering van de 4^{de} stap van het SMED – algoritme, kan tabel 23 worden opgesteld. De tabel toont dat de geobserveerde omschakeltijden verder dalen met gemiddeld 25.72%. Deze daling is gelijk aan een gemiddelde tijdsdaling van 2250s. Bijgevolg is de totale, verwachte daling in observatietijd gelijk aan 30.83%²⁵.

4.2.2.8 Algemene invloed van het SMED – algoritme op de centrale productiefase

Nu alle omschakelactiviteiten van de centrale productiefase zijn geanalyseerd, kan tabel 24 worden opgesteld. In deze tabel wordt de definitieve invloed van de 2^{de} en 3^{de} stap van het SMED –

²¹ $(23.34 + 9.55) / 2$ (zie tabel 22)

²² $(8.83 + 1.39) / 2$ (zie tabel 22)

²³ $(62.15 + 54.08) / 2$ (zie tabel 20, post L)

²⁴ $(68.17 + 54.85) / 2$ (zie tabel 21, post L)

²⁵ 5.11 (zie voetnoot 22) + 25.72 (zie tabel 23)

algoritme onderzocht op de totale tijd benodigd voor het uitvoeren van omschakelactiviteiten. Zo toont de tabel dat de totale tijd benodigd voor de uitvoering van omschakelactiviteiten, bij een productie van PVC naar PVC, daalt met 47.30%. Dit is gelijk aan een tijdsbesparing van 1 uur 35 minuten en 35 seconden (5735s). Bij de productie van PP naar PP is de tijdsreductie gelijk aan 49 minuten en 53 seconden (2993s). In vergelijking met de geobserveerde tijd voor de uitvoering van omschakelactiviteiten, is dit een daling van 34.46%.

4.2.2.9 Optimalisatie omschakeltijd 'externe productiefase'

Er worden geen omschakelactiviteiten aan de verpakkingsmachine uitgevoerd bij de omschakeling naar een nieuwe productbatch. Enkel de centralisatie van de secundaire cutter moet worden vervangen. Deze activiteit wordt uitgevoerd door de onderhoudsdienst gedurende de opstartfase. Omdat de opstartfase gemiddeld 30 minuten duurt, heeft men genoeg tijd om deze omschakelactiviteit uit te voeren.

4.2.2.10 Opstellen van een definitieve taakindeling

Door toepassing van het SMED – algoritme daalt de tijd, die nodig is voor de uitvoering van interne omschakelactiviteiten, met gemiddeld 40.88%²⁶. Toch kan de totale omschakeltijd verder gereduceerd worden door het opstellen van een nieuwe taakindeling. Hierbij wordt rekening gehouden met twee mogelijke situaties. In het ergste geval loopt een andere productielijn vast. Hierdoor is één van de twee onderhoudsmannen genoodzaakt om de uitvoering van omschakelactiviteiten te staken. De andere onderhoudsman kan echter doorgaan met de omschakeling. In de meest gunstige situatie gaat er niets mis bij de andere productielijnen. Hierdoor kunnen de omschakelactiviteiten gelijktijdig worden uitgevoerd door het onderhoudspersoneel. De extrudeur zal in beide situaties ongestoord kunnen verder werken aangezien een collega tijdens de omschakeling zijn productielijnen controleert.

a) Taakindeling bij omschakeling van PVC naar PVC (verandering diameter)

De definitieve taakindeling voor de omschakeling van PVC naar PVC, waarbij de nieuwe productbatch bestaat uit een verschillende diameter, wordt weergegeven in tabel 25. In deze tabel wordt de meest pessimistische situatie weergegeven. Zoals vermeld houdt dit in dat slechts één werknemer van de onderhoudsdienst de omschakelactiviteiten uitvoert. Merk op dat tabel 25 reeds de tijd benodigd voor het stilleggen, opwarmen en afkoelen van de extruder bevat. Wanneer de definitieve taakindeling vergeleken wordt met de vastgestelde observatiedata, moet men met deze tijdsperiode rekening houden.

Betreffende de tijd, waarin de extruder afkoelt en opwarmt, is vermeld dat deze tijdsperiode als een vaste waarde wordt beschouwd. Hierdoor duurt de uitvoering van omschakelactiviteiten door de extrudeur het langst. Het is dan ook aan te raden aan de onderhoudsman om de verwijderde

²⁶ $(34.46 + 47.30) / 2$ (zie tabel 24)

die's en middenringen te zuivert. Dit resulteert in een additionele tijdsbesparing van 245s (zie figuur 25). De verwachte, totale stilstand van de productielijn tijdens de omschakeling bedraagt volgens deze taakindeling 2 uur, 1 minuut en 37 seconden.

In figuur 25 wordt een taakindeling bij de meest pessimistische situatie weergegeven. Niet de omschakeltaken van de onderhoudsdienst, maar wel die van de extrudeur, duren het langst. Hierdoor zal een parallelle uitvoering van omschakelactiviteiten door de onderhoudsdienst enkel resulteren in een langere stilstand van de corrugator, cutter en koeler. Dit wil zeggen dat de totale omschakeltijd van de productielijn, in zowel de pessimistische en optimistische situatie, hetzelfde is.

b) Taakindeling bij omschakeling van PP naar PP (verandering diameter)

In tegenstelling tot de taakindeling bij PVC, is de pessimistische situatie verschillend van de optimistische. De reden hiervoor is dat de omschakelactiviteiten van de extrudeur, door de afwezigheid van de tijdsperiode waarin de extruder opwarmt en afkoelt, het snelst uitgevoerd worden.

De taakindeling waarbij slechts één werknemer van de onderhoudsdienst de omschakelactiviteiten uitvoert, wordt weergegeven in tabel 26. Deze tabel toont de lange tijdsperiode waarin de extrudeur wacht voor hij kan verdergaan met de uitvoering van omschakelactiviteiten. De verwachte, totale stilstand van de productielijn is gelijk aan 1 uur, 25 minuten en 3 seconden. De stilstand daalt tot 1 uur, 18 minuten en 16 seconden wanneer de onderhoudsdienst een reserve systeem van mes en stabilisatieringen aanmaakt. Enkel in deze situatie, namelijk de omschakeling van PP naar PP waarbij slechts één werknemer van de onderhoudsdienst de omschakelactiviteiten uitvoert, zal de investering leiden tot een tijdsreductie. Hiermee moet de onderneming rekening houden bij het opstellen van de vermelde kosten-baten analyse (zie paragraaf 4.2.2.2). Tenslotte heeft de investering in een tweede middenring (A), waardoor het die-systeem volledig kan verwijderd worden, geen zin. De extrudeur is immers sneller klaar dan zijn collega's.

Tabel 27 toont de meest optimistische situatie bij de omschakeling van PP naar PP. Dezelfde omschakelactiviteiten, die in tabel 26 zijn vermeld, worden door de extrudeur uitgevoerd. Voor de duidelijkheid toont deze tabel enkel de laatste omschakelactiviteiten van de extrudeur. De reden hiervoor is dat deze werknemer sneller klaar is dan de twee werknemers van de onderhoudsdienst. Merk ook op in tabel 27 dat de tweede werknemer van de onderhoudsdienst 30s moet wachten voordat de sealing as van de extruder is losgekoppeld (zie tabel 26). In de beste situatie verwacht ik dat de productielijn slechts 49 minuten en 33 seconden stilstaat tijdens de omschakeling.

In de tabellen 25, 26 en 27 wordt geen pauze toegekend. De reden hiervoor is dat de maximale, verwachte stilstand, bij omschakeling van de productielijn, iets meer dan twee uur bedraagt. De opstartfase van het productieproces duurt ongeveer 30 minuten. Hierdoor kan de totale tijd, die nodig is voor het uitvoeren van omschakelactiviteiten, nooit langer zijn dan 2 uur en 30 minuten. Door deze korte omschakeltijd wordt geen pauze toegekend aan de werknemers gedurende de uitvoering van omschakelactiviteiten.

4.2.3 Optimalisatie van de omschakeltijd: bespreking resultaten

In tabel 28 worden de oorspronkelijke observatiedata vergeleken met de tijd, die nodig is voor de uitvoering van omschakelactiviteiten volgens de nieuwe taakindelingen. De belangrijkste resultaten betreffende de optimalisatie van de omschakeltijd, door toepassing van het SMED-algoritme, zijn (zie tabel 28):

- De stilstand van de productielijn, gedurende de omschakeling van PVC naar PVC met een verschillende diameter, daalt met 78.20%.
- De totale omschakeltijd, met betrekking tot de omschakeling van PVC naar PVC met een verschillende diameter, daalt met 70.61%.
- De stilstand van de productielijn, gedurende de omschakeling van PP naar PP met een verschillende diameter, daalt met 71.70%.
- De totale omschakeltijd, met betrekking tot de omschakeling van PP naar PP met een verschillende diameter, daalt met 53.41%.
- De totale tijd voor de uitvoering van omschakelactiviteiten, met betrekking tot de omschakeling van PVC naar PVC met een verschillende diameter, daalt met gemiddeld 47.30% (zie tabel 24).
- De totale tijd voor de uitvoering van omschakelactiviteiten, met betrekking tot de omschakeling van PP naar PP met een verschillende diameter, daalt met gemiddeld 34.46% (zie tabel 24).

Deze resultaten worden verder besproken bij de definitieve conclusie van het werkstuk.

4.3 Optimalisering van de productietijd: De FMEA – analyse

4.3.1 Relevantie van het onderzoek

Voordat de FMEA – analyse uitgevoerd wordt, kan de vraag gesteld worden of de analyse nuttig is. In de literatuurstudie is vermeld dat dit onderzoek tracht om de productietijd te optimaliseren door de ongewenste stilstand en de productie van 'verkeerde' eindproducten te minimaliseren. De analyse heeft dan ook weinig nut indien de machines nooit onverwachts stilstaan en enkel producten, die voldoen aan de gewenste kwaliteitsnorm, produceren.

Bij stilstand van de corrugator wordt het hele productieproces automatisch stilgelegd. Deze machine is dan ook voorzien van een urenteller op het controlepaneel. Hierdoor beschikt de onderhoudsdienst over een indicatie van de totale tijd waarin het productieproces operationeel is.

De geobserveerde productie van de Flexidrain ® afvoerbuizen begon op maandag 23 juni 2008 en eindigde op dinsdag 15 juli 2008. Op 15 juli is de urenstand van de corrugator door observatie vastgesteld. Deze was gelijk aan 6386 uur. De urenstand op 23 juni kon ik vaststellen op basis van

controledocumenten van de onderhoudsdienst. De productie van Flexidrain ® afvoerbuizen begon met een urenstand van 6170 uur. Op basis van deze gegevens is tabel 29 opgesteld. Deze tabel toont de beschikbaarheid van het productieproces. Dit wordt in het Engels aangeduid met de term 'availability'. Op basis van deze informatie, samen met de snelheid van de extruder (in kg/uur) en het gemiddeld gewicht per eindproduct, kunnen verschillende ratio's berekend worden. Een voorbeeld is het percentage geproduceerde eindproducten die niet aan de kwaliteitsnorm voldoen.

Tabel 29 toont dat de productielijn slechts 56.25% operationeel was gedurende de weken waarin de praktijkstudie is uitgevoerd. Dit komt overeen met 168 uren stilstand. De geplande stilstand gedurende alle omschakelingen van de productielijn, bedraagt naar schatting 33 uur²⁷. Deze twee cijfers verschillen sterk van elkaar. Bijgevolg kan men aannemen dat de productielijn vaak stilstaat gedurende de uitvoering van de praktijksituatie. Dit kan als indicatie beschouwd worden dat de uitvoering van een FMEA-analyse nuttig is voor de minimalisatie van ongeplande stilstand.

De berekende ratio is echter niet correct. Omdat het productieproces zich in de ontwikkelingsfase bevindt, worden regelmatig testen door de ingenieursafdeling uitgevoerd. Bij testen met grondstoffen van andere leveranciers, wordt enkel de extruder geactiveerd. De tijdsperioden, waarin de ingenieursafdeling de testen uitvoert, worden niet vastgelegd. Ze zijn opgenomen in de 168 uren stilstand. Omdat de exacte tijden van productie en stilstand niet worden vastgelegd, zijn de vermelde data niet betrouwbaar. Gebaseerd op het grote tijdsverschil kan men enkel vermoeden dat de FMEA-analyse, met betrekking tot het verhogen van de beschikbaarheid van het productieproces, nuttig is. Deze paragraaf moet dan ook als kantopmerking bij de analyse worden geïnterpreteerd.

4.3.2 Methode van uitvoering

In het kader van RCM moesten eerst de verschillende functies van de productie-installatie worden vastgesteld. Deze functies werden vastgelegd doormiddel van persoonlijke observatie van de operationele productielijn. Nadien werden de vastgestelde functies ter validatie voorgelegd aan Dhr. Vaes, het hoofd van de onderhoudsdienst. De verschillende functies van de machines waaruit het centrale productieproces bestaat, worden weergegeven in de tabellen 1 tot en met 7. Er werd reeds vermeld in paragraaf 3.1 dat het systeem, gaande van de extruder tot en met de cutter, de bottleneck is van het extrusieproces.

Tijdens de eerste weken van mijn praktijkstudie werd vooral aandacht besteed aan de oorzaken waardoor de productie-installatie onverwachts stilstond. Ook werd er onderzocht hoe de eindproducten van de gewenste kwaliteitsnorm konden afwijken. Dit werd vastgesteld door persoonlijke observatie, persoonlijke controle van de afgekeurde eindproducten en gesprekken met de aanwezige werknemers gedurende de observatie. De verzamelde informatie werd nadien

²⁷ 33480s (PVC naar PVC, zie tabel 28) * 2 (schatting voor omschakeling van 24 juni) + 10507s (PP naar PP, zie tabel 28) *2 (schatting voor omschakeling van 8 juli) + 30521s (observatiedata en correctie voor afkoeling) *1 = 118495s

opgenomen in verschillende fault – tree diagrammen. Hierin werden de potentiële failure modes per machine opgenomen. Deze diagrammen dienden als vertrekpunt van de FMEA – analyse.

De FMEA – analyse werd uitgevoerd op basis van persoonlijke interviews. Bij aanvang van het gesprek werd het opzet van het onderzoek verklaard. Vervolgens werden de fault – tree diagrammen samen met de ondervraagde doorlopen. Hierbij werd aan de geïnterviewde werknemers gevraagd of de opgestelde diagrammen correct waren. Ook werden ze tijdens het interview aangemoedigd om failure modes, die nog niet waren opgenomen, te vermelden.

Binnen de onderneming Plastiflex worden risicoanalyses, zoals de FMEA – analyse, vaak uitgevoerd doormiddel van persoonlijke interviews. Zo vertelde Dhr. Vets me dat het onderzoek sneller kan uitgevoerd worden doormiddel van individuele gesprekken. Wel houdt deze methode van uitvoering een risico in. Het zogenaamde 'synergie – effect' kan immers verloren gaan. Hierbij bedoel ik personen op nieuwe ideeën komen door te luisteren naar ideeën van hun medewerkers. Eventuele aanpassingen werden daarom direct na het gesprek opgenomen in de analyse. Deze aanpassingen werden nadien opnieuw voorgelegd aan personen die reeds geïnterviewd waren. Hierdoor kon ik mezelf ervan verzekeren dat geen relevante informatie verloren ging bij de uitvoering van het onderzoek.

Op basis van de verzamelde informatie uit de individuele gesprekken, werden de definitieve FMEA – tabellen opgesteld. De individuele interviews leidden echter tot een verschillende toekenning van het 'risk priority number' (RPN) bij de ondervraagde personen. Bij de toekenning van het RPN in de definitieve FMEA – tabellen werd steeds gekozen voor het meest pessimistische, met andere woorden het hoogste, RPN. Deze toekenning gebeurde op aanraden van Plastiflex's preventie – adviseur, Dhr. Boons. Hij vertelde me dat een onderzoeker steeds moet kiezen voor het meest pessimistische resultaat bij een risicoanalyse. Deze toekenning wordt bovendien standaard toegepast binnen de onderneming bij het uitvoeren van de zogenaamde Kinney – methode. Deze methode analyseert het risico eigen aan gevaarlijke stoffen op de werkplaats (VUB – wijzer, 2005).

4.3.3 Samenstelling onderzoeksteam

In de literatuurstudie is vermeld dat verschillende departementen van de organisatie moeten deelnemen aan een FMEA – analyse. Hierdoor wordt immers een breed spectrum van mogelijke failure modes behandeld. Tabel 31 geeft de onderzoeksleden weer, die aan deze analyse hebben meegewerkt. Ook de relevantie van hun inbreng in het onderzoek is in de tabel opgenomen.

4.3.4 Toekenning van het risico: de schaalindeling van FMEA – criteria.

4.3.4.1 Plastiflex's FMEA – criteria

De sterkte van de FMEA – analyse hangt nauw samen met de criteria waarop het risk priority number (RPN) wordt gebaseerd. In figuur 23 wordt een voorbeeld gegeven van de risicotoeckenning van het criteria 'ernst' (severity) waarop vroegere FMEA - analyses binnen de onderneming zijn

gebaseerd. Persoonlijk vind ik deze schaalindeling te ruim. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat de definitieve risicotoekenning wordt beïnvloed door persoonlijke interpretatie van de onderzoeksleden. Stel bijvoorbeeld dat het onderzoeksteam de risicoquotering 'gemiddeld' aan een failure mode toekent. Bijgevolg situeert het risiconummer zich tussen de waarden '4' en '6'. De gebruikte schaalindeling vermeldt echter niet het onderscheid tussen deze waarden. Hierdoor kan persoonlijke interpretatie van de onderzoeksleden een invloed hebben op de toekenning van het definitieve risiconummer. Ik kies dan ook voor een kleinere schaalindeling in mijn onderzoek.

4.3.4.2 Gebruikte FMEA – criteria

De gebruikte schalen bij de FMEA – analyse worden weergegeven in de tabellen 32, 33 en 34. Deze schaalindeling is opgesteld in samenwerking met Dhr. Vets. De ruimte voor persoonlijke interpretatie is sterk verkleind omdat de risiconummers worden toegekend aan een specifieke gebeurtenis. De opgenomen gebeurtenissen en hun toegekende volgorde zijn bovendien aangepast aan het nieuwe productieproces.

1. Frequentie waarmee de failure modes optreden (Occurence)

In tabel 32 wordt de risicotoekenning van het FMEA – criteria 'frequentie' weergegeven. Er is voor deze indeling gekozen omdat het extrusieproces van de Flexidrain ® afvoerbuizen een nieuwe aangelegenheid is. Hierdoor treden failure modes vaker voor dan bij andere productielijnen van de onderneming. De toegekende volgorde van de risicocriteria is logisch. De ongewenste gebeurtenissen die het frequentst optreden krijgen het hoogste risiconummer. Naarmate de kans op calamiteit afneemt, daalt de toegekende risicoscore.

2. Ernst van de gevolgen van de functionele falng (Severity)

Tabel 33 toont de risicoquotering van het criteria 'ernst'. De hoogste risicoscore wordt toegekend aan failure modes waarbij schade aan de werknemer of permanente schade aan de productie-installatie optreedt. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de gevolgen van failure modes met of zonder waarschuwing. Ook krijgen de failure modes een hoge risicoquotering wanneer ze leiden tot een functionele falng van het eindproduct bij de klant. Dit houdt immers in dat er water lekt uit de afvoerbuizen na installatie. Dit zal leiden tot beschadiging van de vloer waarin de afvoerbuizen werden geïnstalleerd en eventuele juridische kosten. Deze risiconummers krijgen dan ook de quotering 'Gevaarlijk – zeer ernstig' toegekend.

Dit werkstuk heeft als doel de totale customer lead time te verkorten. In de literatuurstudie werd vermeld dat stilstand van de bottleneck resulteert in een niet – recupereerbaar tijdsverlies. Ook zal de customer lead time toenemen wanneer het productieproces afvoerbuizen produceert die door de kwaliteitscontrole worden verworpen. Dit resulteert bovendien in verspilling van grondstoffen en energie. Deze gevolgen van de opgetreden failure modes vallen dan ook onder de risicoquotering 'Hoge mate van ernst'. Hierin verschillen de gebeurtenissen die leiden tot een herstelbaar

functioneel defect van de afvoerbuis. Men kan immers een deel van de verloren productietijd en verspilling recupereren door de afvoerbuis manueel te herstellen.

De failure modes die niet leiden tot functionele defecten aan de eindproducten, bijvoorbeeld een verkeerde printafdruk, vallen onder de risicoquotering 'niet – zo ernstig'. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen het verwachte percentage van eindgebruikers die het defect vaststellen. Tenslotte krijgen de failure modes die niet leiden tot een merkbaar defect de risicoquotering 'niet ernstig' toegekend.

3 Detectie van de failure mode en gerelateerde functionele falings (Detection)

De risicotoekening van het criteria 'detectie' wordt weergegeven in tabel 34. Indien de gebeurtenis wordt vastgesteld voor het kan optreden, kan de failure mode vermeden worden. Dit krijgt dan ook de laagste risicoscore toegekend.

De ongewenste gebeurtenissen krijgen de waarde 'zeer hoge kans op detectie' toegekend, wanneer de productielijn stilvalt of de eindproducten een zichtbare vervorming tonen. Ook wordt er een onderscheid gemaakt tussen het stilvallen van de productielijn met of zonder signalisatie. Gedurende de laatste dagen van mijn praktijkonderzoek was er geen controle operator aanwezig. De afvoerbuisen werden rechtstreeks op voorraad geproduceerd. Hierdoor bestaat de kans dat stilstand niet onmiddellijk wordt vastgesteld indien er geen veiligheidsfunctie geactiveerd wordt. Bij activering van de veiligheidsfunctie, van de corrugator of extruder, zal immers de sirene van de corrugator afgaan.

De failure modes die leiden tot de productie van afvoerbuisen, die de kwaliteitsnorm niet halen en waarbij geen zichtbare vervorming van het eindproduct optreedt, krijgen de risicoscores 5,6,7 of 8 toegekend. De diameter van de geproduceerde afvoerbuis wordt door de controle operator geëvalueerd op basis van een go / no-go beslissing. Hiervoor maakt hij gebruik van controle-instrumenten. Door het gebruik van ondersteunende instrumenten neemt de kans op detectie toe. Deze gebeurtenis krijgt dan ook het risiconummer 5 toegekend. Bij de risiconummers gaande van 6 tot en met 8, heeft de controle operator geen ondersteuning van controle-instrumenten. Bijgevolg is de beslissing, of de afvoerbuis goed- of afgekeurd moet worden, in grote mate afhankelijk van de persoonlijke opinie van de controle operator. De toekenning van het definitieve risiconummer bij deze gebeurtenis wordt nog steeds beïnvloedt door de persoonlijke opinie van de ondervraagde persoon.

Het hoogste risiconummer wordt toegekend aan gebeurtenissen waarbij geen detectie mogelijk is. Ook krijgen gebeurtenissen, waarbij preventieve detectie aanwezig is maar de oorzaak tot falings en gerelateerde failure mode niet vermijden, een hoge risicoscore. In deze situatie heeft de onderneming immers al geïnvesteerd in een controlesysteem waarbij falings nog altijd voorkomt.

4.3.5 Resultaten van het onderzoek: de FMEA-tabellen

In deze paragraaf worden de resultaten van het onderzoek, namelijk de uiteindelijke FMEA-tabellen, getoond. Deze tabellen kan men het beste interpreteren met ondersteuning van de opgestelde fault-tree diagrammen (bijlage C) en uitleg over de verschillende failure modes en de gevolgen waartoe ze leiden (bijlage D.2). De fault-tree diagrammen zijn opgesteld met het gratis softwareprogramma 'Diagram Designer'²⁸.

²⁸ Dit programma kan gratis gedownload worden via het webadres: <http://meesoft.logicnet.dk/DiagramDesigner/>

Failure mode en effect analyse (FMEA - analyse)

Project: Extrusieproces Flexidrain ®, risicoanalyse bottleneck

FMEA team: Onderhoud - Engineering – Quality Assurance - Supervisie

Vorbereid door: Lens Frederik

Datum: Juni 2008

Legenda:

| Codering faling' | 'Gevolg functionele |
|------------------|--|
| F1 | Eindproduct voldoet niet aan de gewenste specificaties |
| F2 | Bij vaststelling failure mode wordt het productieproces manueel stilgelegd |
| F3 | Bij optreden failure mode wordt het productieproces automatisch stilgelegd |
| F4 | Bij optreden failure mode treedt onherstelbare schade op aan productie-installatie |
| F5 | Bij optreden failure mode treedt schade op aan werknemer |
| F6 | Productie kan niet gestart worden |
| F7 | Geen invloed van failure mode op Flexidrain ® productieproces |

| Kleurtoekenning aan vastgestelde factoren | |
|---|---|
| | Failure mode volgt uit een machinaal defect |
| | Failure mode volgt uit het foutief of niet uitvoeren van een menselijke handeling |
| | Failure mode volgt uit een verkeerde werkprocedure |

| Item onder beschouwing | Functionele faling | Gevolg functionele faling | Ernst (SEV) | Oorzaak functionele faling | Freq. (OCC) | Huidige proces controle | Detectie (DET) | RPN (1000) |
|--------------------------|--------------------|---------------------------|-------------|---|-------------|----------------------------------|----------------|------------|
| Vorraadbeheer | Geen output | F6 | 7 | Geen correcte ingave waste | 9 | Geen controle aanwezig | 10 | 630 |
| Menger | Foutieve output | F3, F4, F5 | 10 | Vultrechter met PVC in plaats van PP gevuld tijdens omschakeling | 5 | Geen veiligheidsfunctie | 10 | 500 |
| Extrudeur (Ext.) | Geen output | F3, F4, F5 | 9 | Verkeerde parameters ingesteld (PP inst. Bij PVC) | 5 | Effectiviteit veiligheidsfunctie | 9 | 405 |
| Extrudeur (Extr.) | Geen output | F3, F4, F5 | 9 | Beschadiging draden extruderkopstuk (PVC) | 5 | Effectiviteit veiligheidsfunctie | 9 | 405 |
| Leverancier grondstoffen | Foutieve output | F1, F2 | 7 | Verkeerde samenstelling bestelde grondstoffen | 5 | Geen controle aanwezig | 10 | 350 |
| Onderhoud (Printer) | Foutieve output | F1 | 4 | Snelheid printer niet aangepast bij omschakeling | 8 | Geen controle aanwezig | 10 | 320 |
| Onderhoud (Printer) | Foutieve output | F1 | 4 | Verkeerd ingesteld logo printer | 7 | Geen controle aanwezig | 10 | 280 |
| Cutter | Verkeerde output | F1, F2 | 6 | Slijtage mes | 9 | Controle operator | 4 | 216 |
| Onderhoud (Corr.) | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Foutieve configuratie mold blocks | 6 | Controle operator | 6 | 216 |

| Item onder beschouwing | Functionele faling | Gevolg functionele faling | Ernst (SEV) | Oorzaak functionele faling | Freq. (OCC) | Huidige proces controle | Detectie (DET) | RPN (1000) |
|--------------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------|--|-------------|--|----------------|------------|
| Corrugator | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Parameters (T1, T2) niet aangepast | 7 | Controle operator (go / no - go beslissing) | 5 | 210 |
| Extruder | Foutieve output | F1, F2 | 6 | PVC opstapelings breaker plate | 7 | Controle operator | 5 | 210 |
| Extruder | Geen output | F1, F2 | 7 | Brugvorming PVC | 10 | Extrudeur - controle operator | 3 | 210 |
| Printer | Geen output | F3 | 7 | Verlies spanning op printer | 5 | Preventieve detectie - Controle operator / onderhoud | 6 | 210 |
| Koeler | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Vervuiling spuitopeningen | 7 | Controle operator (go / no - go) | 5 | 210 |
| Onderhoud (Printer) | Foutieve output | F1 | 4 | Printer niet centraal geplaatst bij omschakeling | 5 | Geen controle aanwezig | 10 | 200 |
| Onderhoud (Droger) | Foutieve output | F1, F2 | 7 | Openingen drooginstallatie niet aangepast tijdens opstart | 7 | Controle operator | 4 | 196 |
| Cutter | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Vervuiling laser (PVC gasvorming) | 8 | Controle operator | 4 | 192 |
| Onderhoud (Cutter) | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Foutieve instelling klemming | 8 | Controle operator | 4 | 192 |
| Alle machines (onderhoud / operator) | Foutieve output | F1,F2 | 6 | Exacte instelling machine niet gekend | 6 | Controle operator (go / no - go) | 5 | 180 |

| Item onder beschouwing | Functionele faling | Gevolg functionele faling | Ernst (SEV) | Oorzaak functionele faling | Freq. (OCC) | Huidige proces controle | Detectie (DET) | RPN (1000) |
|------------------------|--------------------|---------------------------|-------------|---|-------------|---|----------------|------------|
| Extruder | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Opstapeling van PVC in druktoevoer | 6 | Controle operator (go / no - go beslissing) | 5 | 180 |
| Printer | Geen output | F3 | 6 | Solvent niet tijdig aangevuld | 5 | Controle operator | 6 | 180 |
| Cutter | Verkeerde output | F1, F2 | 6 | Slijtage stabilisatieringen | 7 | Controle operator | 4 | 168 |
| Extruder | Foutieve output | F3, F4, F5 | 9 | Defect ventilator extruderbarrel (stilstand PVC) | 2 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 9 | 162 |
| Onderhoud (Extr.) | Geen output | F3 | 9 | Foutieve plaatsing PIC (PVC) | 2 | Effectiviteit veiligheidsfunctie | 9 | 162 |
| Onderhoud (Corr.) | Verkeerde output | F1, F2, F4 | 10 | Foutieve plaatsing metaaldetector | 3 | Controle operator (go / no - go) | 5 | 150 |
| Menger | Foutieve output | F1,F2 | 6 | Vultrechter met PP in plaats van PVC gevuld tijdens omschakeling | 6 | Extruder - Controle operator (go / no - go) | 4 | 144 |
| Onderhoud (Corr.) | Geen output | F1, F2 | 6 | Koeling te snel geopend | 6 | Controle operator (go / no-go) | 4 | 144 |
| Menger (Extr.) | Foutieve output | F1, F2 | 7 | Vergeeten door menger (niet vullen vultrechter) | 6 | Menger - extruder - controle operator | 3 | 126 |

| Item onder beschouwing | Functionele faling | Gevolg functionele faling | Ernst (SEV) | Oorzaak functionele faling | Freq. (OCC) | Huidige proces controle | Detectie (DET) | RPN (1000) |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------|-------------|--|-------------|---|----------------|------------|
| Onderhoud (Cutter - Puller) | Verkeerde output | F1, F2 | 7 | Verkeerde opstartprocedure | 6 | Controle operator | 3 | 126 |
| Cutter | Geen output | F3 | 10 | Oude mold block niet vervangen | 6 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 120 |
| Extrudeur (Extr.) | Geen output | F3, F4, F5 | 6 | Beschadiging draden extruderkopstuk (PP) | 5 | Effectiviteit veiligheidsfunctie | 4 | 120 |
| Onderhoud (Cutter) | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Verkeerd systeem van mes en s.r. geplaatst (PP mes bij PVC) | 5 | Controle operator | 4 | 120 |
| Onderhoud (Cutter) | Geen output | F2, F4 | 10 | Verkeerde centralisatie ring geplaatst | 6 | Controle operator (verplaatsing cutter) | 2 | 120 |
| Menger (Extr.) | Foutieve output | F1, F2 | 7 | Tijdsgebrek (niet vullen vultrechter) | 5 | Menger - extrudeur - controle operator | 3 | 105 |
| Voorraadbeheer (Extr.) | Geen output | F3 | 7 | Foutieve ingave voorraadmutatie | 5 | Menger - magazijnier | 3 | 105 |
| Onderhoud (Extr.) | Geen output | F3, F4 | 10 | Verkeerde die's geplaatst | 5 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 100 |
| Corrugator | Geen output | F3 | 7 | Opstapeling van onzuiverheden | 7 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 98 |

| Item onder beschouwing | Functionele faling | Gevolg functionele faling | Ernst (SEV) | Oorzaak functionele faling | Freq. (OCC) | Huidige proces controle | Detectie (DET) | RPN (1000) |
|------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------|---|-------------|--|----------------|------------|
| Corrugator | Geen output | F3 | 7 | Parameters niet aangepast (niet T1, T2) | 7 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 98 |
| Onderhoud (Koeler) | Foutieve output | F1 / F2 (enkel bij opstart PP) | 6 | Filter niet gereinigd | 3 | Controle operator (go / no - go) | 5 | 90 |
| Onderhoud (Koeler) | Foutieve output | F1 | 6 | Wartoevoer koeler niet geopend | 3 | Controle operator (go / no - go) | 5 | 90 |
| Onderhoud (Corr.) | Geen output | F3 | 7 | Foutieve richting geplaatste mold blocks | 6 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 84 |
| Onderhoud (Corr.) | Geen output | F3 | 7 | Wartoevoer corrugator niet / te traag geopend | 6 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 84 |
| Extruder | Geen output | F3 | 9 | Malfunctie integrator (PVC - stilstand) | 1 | Effectiviteit veiligheidsfunctie | 9 | 81 |
| Cutter | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Slijtage spindel | 3 | Controle operator | 4 | 72 |
| Menger | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Foutieve samenstelling PP | 3 | Controle operator (go / no - go) | 4 | 72 |
| Onderhoud (Droger) | Foutieve output | F1 | 6 | Druktoevoer niet geopend | 3 | Controle operator | 4 | 72 |
| Magazijnier (Extr.) | Foutieve output | F1, F2 | 7 | Tijdelijke voorraad niet aangevuld | 3 | Menger - extrudeur - controle operator | 3 | 63 |

| Item onder beschouwing | Functionele failing | Gevolg functionele failing | Ernst (SEV) | Oorzaak functionele failing | Freq. (OCC) | Huidige proces controle | Detectie (DET) | RPN (1000) |
|------------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------|---|-------------|----------------------------------|----------------|------------|
| Extruder | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Defect ventilator extruderbarrel bij stilstand (PP) | 2 | Controle operator | 4 | 48 |
| Onderhoud (Extr.) | Geen output | F3 | 6 | Foutieve plaatsing PIC (PP) | 2 | Effectiviteit veiligheidsfunctie | 4 | 48 |
| Onderhoud (Cutter) | Geen output | F3 | 6 | Verkeerde klemming geplaatst | 2 | Controle operator | 4 | 48 |
| Cutter | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Parameters niet aangepast | 2 | Controle operator | 4 | 48 |
| Puller | Geen output | F3 | 7 | Slijtage band | 2 | Controle operator | 3 | 42 |
| Onderhoud (Cutter) | Foutieve output | F7 | 1 | Verkeerd systeem van mes en s.r. geplaatst (PVC mes bij PP) | 5 | Controle operator | 8 | 40 |
| Printer | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Mechanisch defect printer | 1 | Controle operator | 6 | 36 |
| Koeler | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Defect pompen open koelinstallatie | 1 | Controle operator (go / no - go) | 5 | 30 |
| Koeler | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Defect ventilatoren open koelinstallatie | 1 | Controle operator (go / no - go) | 5 | 30 |
| Extruder | Geen output | F3 | 7 | Ophoping van vuil in filter op ventilator (motor) | 2 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 28 |
| Droger - Extruder - Puller -Cutter | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Defect centrale compressor | 1 | Controle operator (go / no - go) | 4 | 24 |
| Extruder | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Malfunctie integrator (PP) | 1 | Controle operator (go / no - go) | 4 | 24 |
| Extruder | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Malfunctie integrator (PVC, productie) | 1 | Extrudeur - controle operator | 4 | 24 |

| Item onder beschouwing | Functionele faling | Gevolg functionele faling | Ernst (SEV) | Oorzaak functionele faling | Freq. (OCC) | Huidige proces controle | Detectie (DET) | RPN (1000) |
|------------------------|--------------------|---------------------------|-------------|--|-------------|---|----------------|------------|
| Koeler | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Lek in aanvoerbuizen | 1 | Controle operator | 4 | 24 |
| Printer | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Inkt niet tijdig aangevuld | 4 | Preventieve detectie - controle operator | 1 | 24 |
| Puller | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Defect relais | 1 | Controle operator | 4 | 24 |
| Puller - Cutter | Geen output | F3 | 7 | Defect motor (wear and tear) | 1 | Controle operator (geen output) | 3 | 21 |
| Onderhoud (Cutter) | Geen output | F2, F4 | 10 | Verkeerd ingesteld systeem van mes en s.f. | 1 | Controle operator | 2 | 20 |
| Onderhoud (Extr.) | Geen output | F3, F4 | 10 | Verkeerde extruderschroef geplaatst bij omschakeling | 1 | Extrudeur - controle operator | 2 | 20 |
| Corrugator | Geen output | F3 | 7 | Defect encoder | 1 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 14 |
| Corrugator | Geen output | F3 | 7 | Defect pompen gesloten koelinstallatie | 1 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 14 |
| Corrugator | Geen output | F3 | 7 | Laag waterpeil in gesloten koelinstallatie | 1 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 14 |
| Extruder - Corrugator | Geen output | F3 | 7 | Defect motor (wear and tear) | 1 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 14 |
| Extruder | Geen output | F3 | 7 | Defect motorriem (wear and tear) | 1 | Geluid door slijtage - Signalisatie veiligheidsfunctie (ext.) | 1 | 7 |

Failure mode en effect analyse (FMEA - analyse)

Project: Extrusieproces Flexidrain ®, risicoanalyse bottleneck

FMEA team: Onderhoud - Engineering – Quality Assurance - Supervisie

Vorbereid door: Lens Frederik

Datum: December 2008

Legenda:

| Codering faling' | 'Gevolg functionele |
|------------------|--|
| F1 | Eindproduct voldoet niet aan de gewenste specificaties |
| F2 | Bij vaststelling failure mode wordt het productieproces manueel stilgelegd |
| F3 | Bij optreden failure mode wordt het productieproces automatisch stilgelegd |
| F4 | Bij optreden failure mode treedt onherstelbare schade op aan productie-installatie |
| F5 | Bij optreden failure mode treedt schade op aan werknemer |
| F6 | Productie kan niet gestart worden |
| F7 | Geen invloed van failure mode op Flexidrain ® productieproces |

| Kleurtoekenning aan vastgestelde factoren | |
|---|---|
| | Failure mode volgt uit een machinaal defect |
| | Failure mode volgt uit het foutief of niet uitvoeren van een menselijke handeling |
| | Failure mode volgt uit een verkeerde werkprocedure |

| Item onder beschouwing | Functionele faling | Gevolg functionele faling | Ernst (SEV) | Oorzaak functionele faling | Freq. (OCC) | Huidige proces controle | Detectie (DET) | RPN (1000) |
|------------------------|--------------------|---------------------------|-------------|---|-------------|--|----------------|------------|
| Voorraadbeheer | Geen output | F6 | 7 | Geen correcte ingave waste | 9 | Geen controle aanwezig | 10 | 630 |
| Extruder (Extr.) | Geen output | F3, F4, F5 | 9 | Beschadiging draden extruderkopstuk (PVC) | 5 | Effectiviteit veiligheidsfunctie | 9 | 405 |
| Onderhoud (Corr.) | Foutieve output | F1,F2 | 6 | Foutieve configuratie mold blocks | 6 | Controle operator | 6 | 216 |
| Corrugator | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Parameters (T1, T2) niet aangepast | 7 | Controle operator (go / no - go beslissing) | 5 | 210 |
| Printer | Geen output | F3 | 7 | Verlies spanning op printer | 5 | Preventieve detectie - Controle operator / onderhoud | 6 | 210 |
| Onderhoud (Cutter) | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Foutieve instelling klemming | 8 | Controle operator | 4 | 192 |
| Printer | Geen output | F3 | 6 | Solvent niet tijdig aangevuld | 5 | Controle operator | 6 | 180 |
| Extruder | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Opstapeling van PVC in druktoevoer | 6 | Controle operator (go / no - go beslissing) | 5 | 180 |
| Onderhoud (Printer) | Foutieve output | F1 | 7 | Printer niet centraal geplaatst bij omschakeling | 5 | Geen controle aanwezig | 5 | 175 |
| Cutter | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Slijtage mes | 7 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 4 | 168 |

| Item onder beschouwing | Functionele failing | Gevolg functionele failing | Ernst (SEV) | Oorzaak functionele failing | Freq. (OCC) | Huidige proces controle | Detectie (DET) | RPN (1000) |
|-----------------------------|---------------------|----------------------------|-------------|--|-------------|---|----------------|------------|
| Extruder | Foutieve output | F3, F4, F5 | 9 | Defect ventilator extruderbarrel stilstand (PVC) | 2 | Signallisatie veiligheidsfunctie | 9 | 162 |
| Extrudeur (Ext.) | Geen output | F3, F4, F5 | 9 | Verkeerde parameters ingesteld (PP inst. Bij PVC) | 2 | Effectiviteit veiligheidsfunctie | 9 | 162 |
| Onderhoud (Extr.) | Geen output | F3 | 9 | Foutieve plaatsing PIC (PVC) | 2 | Effectiviteit veiligheidsfunctie | 9 | 162 |
| Corrugator (Engineering) | Foutieve output | F1, F2 | 10 | Foutieve plaatsing metaaldetector | 3 | Controle operator (go / no-go) | 5 | 150 |
| Onderhoud (Corr.) | Geen output | F1, F2 | 6 | Koeling te snel geopend | 6 | Controle operator (go / no-go) | 4 | 144 |
| Onderhoud (Cutter - Puller) | Verkeerde output | F1, F2 | 7 | Verkeerde opstartprocedure | 6 | Controle operator | 3 | 126 |
| Extrudeur (Extr.) | Geen output | F3, F4, F5 | 6 | Beschadiging draden extruderkopstuk (PP) | 5 | Effectiviteit veiligheidsfunctie | 4 | 120 |
| Onderhoud (Cutter) | Geen output | F2, F4 | 10 | Verkeerde centralisatieing geplaatst | 6 | Controle operator (verplaatsing cutter) | 2 | 120 |

| Item onder beschouwing | Functionele faling | Gevolg functionele faling | Ernst (SEV) | Oorzaak functionele faling | Freq. (OCC) | Huidige proces controle | Detectie (DET) | RPN (1000) |
|------------------------|--------------------|---------------------------|-------------|---|-------------|---|----------------|------------|
| Cutter | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Slijtage stabilisatieringen | 5 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 4 | 120 |
| Corrugator | Geen output | F3 | 10 | Oude mold block niet vervangen | 6 | Controle operator (verplaatsing cutter) | 2 | 120 |
| Menger (Extr.) | Foutieve output | F1, F2 | 7 | Tijdsgebrek (niet vullen vultrechter) | 5 | Menger - extrudeur - controle operator | 3 | 105 |
| Onderhoud (Printer) | Foutieve output | F1 | 7 | Verkeerd ingesteld logo printer | 3 | Geen controle aanwezig | 5 | 105 |
| Voorraadbeheer (Extr.) | Geen output | F3 | 7 | Foutieve ingave voorraadmutatie | 5 | Menger | 3 | 105 |
| Onderhoud (Extr.) | Geen output | F3, F4 | 10 | Verkeerde die's geplaatst | 5 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 100 |
| Corrugator | Geen output | F3 | 7 | Opstapeling van onzuiverheden | 7 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 98 |
| Corrugator | Geen output | F3 | 7 | Parameters niet aangepast (niet T1, T2) | 7 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 98 |
| Menger | Foutieve output | F3,F4, F5 | 10 | Vultrechter met PVC in plaats van PP gevuld tijdens omschakeling | 1 | Effectiviteit veiligheidsfunctie | 9 | 90 |
| Onderhoud (Koeler) | Foutieve output | F1 - F2 bij PP | 6 | Filter niet gereinigd | 3 | Controle operator (go / no - go) | 5 | 90 |

| Item onder beschouwing | Functionele faling | Gevolg functionele faling | Ernst (SEV) | Oorzaak functionele faling | Freq. (OCC) | Huidige proces controle | Detectie (DET) | RPN (1000) |
|------------------------|--------------------|---------------------------|-------------|---|-------------|--|----------------|------------|
| Onderhoud (Koeler) | Foutieve output | F1 | 6 | Watertoevoer koeler niet geopend | 3 | Controle operator (go / no - go) | 5 | 90 |
| Onderhoud (Corr.) | Geen output | F3 | 7 | Foutieve richting geplaatste mold blocks | 6 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 84 |
| Onderhoud (Corr.) | Geen output | F3 | 7 | Watertoevoer corrugator niet / te traag geopend | 6 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 84 |
| Extruder | Geen output | F3 | 9 | Malfunctie integrator (PVC - stilstand) | 1 | Effectiviteit veiligheidsfunctie | 9 | 81 |
| Cutter | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Slijtage spindel | 3 | Controle operator | 4 | 72 |
| Menger | Foutieve output | F1,F2 | 6 | Foutieve samenstelling PP | 3 | Controle operator (go / no - go) | 4 | 72 |
| Onderhoud (Droger) | Foutieve output | F1 | 6 | Druktoevoer niet geopend | 3 | Controle operator | 4 | 72 |
| Magazijnier (Extr.) | Foutieve output | F1, F2 | 7 | Tijdelijke voorraad niet aangevuld | 3 | Menger - extrudeur - controle operator | 3 | 63 |

| Item onder beschouwing | Functionele faling | Gevolg functionele faling | Ernst (SEV) | Oorzaak functionele faling | Freq. (OCC) | Huidige proces controle | Detectie (DET) | RPN (1000) |
|--------------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------|---|-------------|----------------------------------|----------------|------------|
| Koeler | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Vervuiling spuitopeningen | 2 | Controle operator (go / no - go) | 5 | 60 |
| Alle machines (onderhoud / operator) | Foutieve output | F1,F2 | 6 | Exacte instelling machine niet gekend | 2 | Controle operator (go / no - go) | 5 | 60 |
| Leverancier grondstoffen | Foutieve output | F1, F2 | 1 | Verkeerde samenstelling bestelde grondstoffen | 5 | Geen controle aanwezig | 10 | 50 |
| Cutter | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Parameters niet aangepast | 2 | Controle operator | 4 | 48 |
| Extruder | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Defect ventilator extruderbarrel (PP) | 2 | Controle operator | 4 | 48 |
| Onderhoud (Extr.) | Geen output | F3 | 6 | Foutieve plaatsing PIC (PP) | 2 | Effectiviteit veiligheidsfunctie | 4 | 48 |
| Onderhoud (Cutter) | Geen output | F3 | 6 | Verkeerde klemming geplaatst | 2 | Controle operator | 4 | 48 |
| Puller | Foutieve output | F1, F2 | 7 | Slijtage band | 2 | Controle operator | 3 | 42 |
| Onderhoud (Cutter) | Foutieve output | | 1 | Verkeerd systeem van mes en s.r. geplaatst (PVC mes bij PP) | 5 | Controle operator | 8 | 40 |

| Item onder beschouwing | Functionele faling | Gevolg functionele faling | Ernst (SEV) | Oorzaak functionele faling | Freq. (OCC) | Huidige proces controle | Detectie (DET) | RPN (1000) |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------|-------------|---|-------------|----------------------------------|----------------|------------|
| Cutter | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Vervuiling laser (PVC gasvorming) | 2 | Controle operator | 3 | 36 |
| Printer | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Mechanisch defect printer | 1 | Controle operator | 6 | 36 |
| Onderhoud (Printer) | Foutieve output | F1 | 7 | Snelheid printer niet aangepast bij omschakeling | 1 | Geen controle aanwezig | 5 | 35 |
| Koeler | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Defect pompen open koelinstallatie | 1 | Controle operator (go / no - go) | 5 | 30 |
| Koeler | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Defect ventilatoren open koelinstallatie | 1 | Controle operator (go / no - go) | 5 | 30 |
| Extruder | Geen output | F3 | 7 | Ophoping van vuil in filter op ventilator (motor) | 2 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 28 |
| Extruder | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Malfunctione integrator (PP) | 1 | Controle operator | 4 | 24 |
| Droger - Extruder - Printer | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Defect centrale compressor | 1 | Controle operator (go / no - go) | 4 | 24 |
| Extruder | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Malfunctione integrator (PVC, productie) | 1 | Extrudeur - controle operator | 4 | 24 |
| Koeler | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Lek in aanvoerbuizen | 1 | Controle operator | 4 | 24 |
| Menger | Foutieve output | F1,F2 | 6 | Vultrechter met PP in plaats van PVC gevuld tijdens omschakeling | 1 | Extrudeur - Controle operator | 4 | 24 |

| Item onder beschouwing | Functionele faling | Gevolg functionele faling | Ernst (SEV) | Oorzaak functionele faling | Freq. (OCC) | Huidige proces controle | Detectie (DET) | RPN (1000) |
|------------------------|--------------------|---------------------------|-------------|--|-------------|---|----------------|------------|
| Printer | Foutieve output | F1, F2 | 6 | Inkt niet tijdig aangevuld | 4 | Preventieve detectie - controle operator | 1 | 24 |
| Puller | Foutieve output | F1,F2 | 6 | Defect relais | 1 | Controle operator | 4 | 24 |
| Extruder | Geen output | F1, F2 | 7 | Brugvorming PVC | 1 | Extrudeur - controle operator | 3 | 21 |
| Puller - Cutter | Geen output | F3 | 7 | Defect motor (wear and tear) | 1 | Controle operator (geen output) | 3 | 21 |
| Onderhoud (Cutter) | Geen output | F2, F4 | 10 | Verkeerd ingesteld systeem van mes en s.r. | 1 | Controle operator | 2 | 20 |
| Onderhoud (Extr.) | Geen output | F3, F4 | 10 | Verkeerde extruderschroef geplaatst bij omschakeling | 1 | Extrudeur - controle operator | 2 | 20 |
| Corrugator | Geen output | F3 | 7 | Defect encoder | 1 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 14 |
| Corrugator | Geen output | F3 | 7 | Defect pompen gesloten koelinstallatie | 1 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 14 |
| Corrugator | Geen output | F3 | 7 | Laag waterpeil in gesloten koelinstallatie | 1 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 14 |
| Extruder - Corrugator | Geen output | F3 | 7 | Defect motor (wear and tear) | 1 | Signalisatie veiligheidsfunctie | 2 | 14 |
| Extruder | Geen output | F3 | 7 | Defect motorriem (wear and tear) | 1 | Geluid door slijtage - Signalisatie veiligheidsfunctie (ext.) | 1 | 7 |

4.3.6 Bespreking van de resultaten

4.3.6.1 Evaluatie van veranderingen aan het productieproces

Het productieproces, waarmee de Flexidrain ® afvoerbuizen geproduceerd worden, bevindt zich nog in de ontwikkelingsfase. Hierdoor worden regelmatig aanpassingen aan de productielijn doorgevoerd. Deze aanpassingen hebben een directe invloed op de FMEA-analyse. Vastgestelde failure modes kunnen verdwijnen. Dit is een indicatie voor een goede aanpassing van het productieproces. De oorzaak van een functionele faling is immers verdwenen. Bovendien kunnen ook nieuwe failure modes opduiken in het streven naar een betrouwbaar productieproces. Tenslotte kunnen de toegekende 'risk priority numbers' gewijzigd worden door veranderingen in het productieproces.

Aan het productieproces zijn gedurende de praktijkstudie volgende aanpassingen doorgevoerd:

- De onderneming Plastiflex heeft geïnvesteerd in een twee, identieke productielijn. Hierdoor kan de productie van PVC en PP gescheiden worden. De vermelde risico's betreffende het gebruik van de twee grondstoffen in eenzelfde productieproces worden hierdoor sterk gereduceerd.
- Onder invloed van dit onderzoek is een nieuwe encoder voor de printer aangekocht. Hierdoor verkleint de kans dat de eindproducten voorzien zijn van een onleesbare barcode.
- Onder invloed van dit onderzoek is een scanner aangekocht voor het lezen van de afgedrukte barcode. Dit stelt de controle operator in staat een eventuele, onzichtbare vervorming van de barcode vast te stellen.
- Bij aanvang van de praktijkstudie moesten de werknemers van de onderhoudsdienst de verschillende elementen van de printafdruk individueel selecteren. Hierdoor stelde men soms een verkeerd logo in op de interface van de printer. Momenteel zijn de verschillende elementen van het logo gegroepeerd. Hierdoor moeten de werknemers slechts één element, namelijk de gewenste printafdruk, selecteren.
- Analoog aan de vorige alinea moesten de werknemers van de onderhoudsdienst verschillende posities ingeven op de interface van de cutter. Nu moeten ze enkel nog de machine instellen voor een productiebatch bestaande uit één of twee meter. Hierdoor daalt de kans dat foutieve procesparameters worden ingegeven bij omschakeling van de productielijn.
- Zoals vermeld bij de bespreking van de failure modes, heeft Plastiflex geen controle over de chemische samenstelling van de geleverde grondstoffen (zie bijlage D.2, failure mode nr. 5). Hierdoor is Dhr. Vets, in samenwerking met het Vlaams Kunststof Centrum, begonnen met de ontwikkeling van een chemische vingerafdruk, de zogenaamde fingerprint, van de grondstoffen. Hierdoor krijgt de onderneming een beter inzicht in de chemische eigenschappen van de geleverde pellets. Dit zal de onderneming beter in staat stellen kwalitatieve eindproducten te produceren met de geleverde grondstoffen.

- De breaker plate is uit het kopstuk van de extruder verwijderd. Dit machineonderdeel had immers geen invloed op de kwaliteit van de geproduceerde eindproducten. Tot deze conclusie kwam de ingenieursafdeling in samenwerking met externe extrusiespecialisten. Door het verwijderen van de breaker plate, kan het PVC-granulaat niet meer vastzitten in het extruderkopstuk. De failure mode is dan ook uit de definitieve FMEA-tabel verwijderd.
- Oorspronkelijk was de menger verantwoordelijk voor het vullen van de hopper aan de extruder. Door een rechtstreekse verbinding te maken tussen de tijdelijke voorraad en de vultrechter, komen de pellets automatisch in de extruderbarrel terecht. Bovendien komt brugvorming bijna niet meer voor bij de grondstoffen. De onderliggende verklaring is dat de pellets onderaan de tijdelijke voorraad, waar de externe druk het hoogste is, continu in bewerking zijn door de rechtstreekse verbinding.
- Plastiflex heeft een nieuwe filter aangekocht voor de koeler. Dit is reeds vermeld bij de bespreking van het SMED-algoritme. Sinds de installatie van de filter raakten de spuitopeningen van de koeler niet meer geblokkeerd.
- Een nieuwe droogring is aangekocht voor de drooginstallatie. Deze droogring heeft de functie overgenomen van de openingen waaruit geperste lucht komt. Bijgevolg moet de onderhoudsafdeling de droogopeningen niet meer aanpassen aan de diameter van het goed-in-bewerking.
- Door testen van de ingenieursafdeling zijn een nieuw, standaard mes en nieuwe stabilisatieringen in de cutter geïnstalleerd. Deze machineonderdelen zijn beter bestand tegen de externe druk die erop geplaatst wordt. Hierdoor moeten de onderdelen minder frequent vervangen worden. Bovendien wordt nu een standaard mes gebruikt voor de productie van zowel PVC en PP. Bijgevolg is het niet meer mogelijk dat de onderhoudsdienst een verkeerde mes in de cutter installeert bij omschakeling van de productielijn.

Door de FMEA-tabellen twee keer op te stellen, kunnen de aanpassingen van het productieproces opgenomen worden in de analyse. De gewijzigde failure modes worden weergegeven in de tabellen doormiddel van een dikkere afdruk. Door beide tabellen te vergelijken, wordt vastgesteld dat vooral failure modes met een hoge risicotoekenning door de aanpassingen beïnvloed worden. Dit is een indicatie dat de verbeteringen, en eventuele investeringen, over het algemeen efficiënt zijn. De bijdrage, van de meest kritische oorzaken van faling binnen het productieproces, tot het totale productierisico wordt immers geminimaliseerd. Ook stelt men grote wijzigingen vast bij de veranderde failure modes. Dit is een indicatie dat de aanpassingen effectief zijn geweest. Een grote daling in risiconummer duidt immers op een verlaagde frequentie, minder ernstige gevolgen of een betere detectie van de failure mode. Enkel de failure mode 'slijtage van het mes' blijft een hoge risicoscore behouden. Deze failure mode wordt, samen met de overgebleven oorzaken van faling, behandeld in de volgende paragraaf.

4.3.6.2 Evaluatie van het productierisico.

De huidige failure modes, en hun toegekende risicoquotering, worden weergegeven in de tweede FMEA-tabel. Zoals vermeld in de literatuurstudie moeten niet alle failure modes verder onderzocht worden. Door het onderzoek te richten op failure modes met de hoogste risicoquotering, zullen immers de grootste bijdragers tot het totale productierisico worden behandeld. Dit werd bevestigd door Dhr. Vets. Hij vertelde me dat het Plastiflex management, bij uitvoering van een FMEA-analyse, standaard de 10 failure modes onderzoekt met de hoogste risicoscore. Wanneer de risiconummers van deze failure modes binnen accepteerbare limieten wordt teruggedrongen, gaat men verder met de analyse van de volgende 10 failure modes. Dit proces blijft men herhalen totdat het totale productierisico acceptabel is. Naar analogie van Plastiflex's werkwijze worden de eerste 10 failure modes geanalyseerd. Een analyse van de overige failure modes moet als aanvulling van dit onderzoek worden onderzocht.

In deze paragraaf worden de 10 failure modes met het hoogste risiconummer besproken. De vermelde maatregelen, die genomen kunnen worden voor de minimalisatie van het risico, zijn ter validatie aan Dhr. Vets voorgelegd.

1. Foutieve afboeking van waste (zie bijlage D.2, failure mode nr. 3)

De ingenieursafdeling moet bij het uitvoeren van testen het tijdstip noteren waarop de testen worden uitgevoerd. Ook de snelheid van de extruder moet worden vastgelegd. Aangezien deze snelheid wordt uitgedrukt in kg/minuut, en de exacte tijdstippen worden vastgesteld, kent men het werkelijke verbruik van grondstoffen. Vervolgens moeten deze gegevens doorgeven worden aan de persoon, die verantwoordelijk is voor het voorraadbeheer. Hierdoor kan de gebruikte hoeveelheid grondstoffen in het geautomatiseerde voorraadsysteem worden ingegeven. Dit zal ervoor zorgen dat het exacte verbruik van grondstoffen door de onderneming wordt vastgelegd. De kans op een laattijdige levering van bestelde grondstoffen daalt hierdoor. Bovendien zullen de operationele ratio's, die door de onderneming worden vastgesteld, een realistisch beeld van de werkelijkheid geven.

2. Beschadiging draden extruderkopstuk (zie bijlage D.2, failure mode nr. 9)

Er zijn twee mogelijkheden om het toegekende risiconummer te laten dalen. Door de ingenieursafdeling kan bijkomend onderzoek worden verricht met betrekking tot de veiligheidsfunctie van de extruder. Dhr. Kerkhofs vertelde me dat de ingestelde waarde van 450p niet grondig is onderzocht. Hierdoor is men niet zeker dat activering van de veiligheidsfunctie het zelfonderhoudend verbrandingsproces van PVC kan stoppen. Bovendien wordt de extruderschroef automatisch stilgelegd bij activering van de veiligheidsfunctie. Bijgevolg zullen de grondstoffen stilstaan in de verwarmde extruderbarrel. Dit leidt tot een snellere verbranding van de pellets. Zoals vermeld wordt de verbranding van PVC als hypothese in dit onderzoek vermeld. Toch zijn er verschillende indicaties dat het vermelde verbrandingsproces realistisch is. Ten eerste delen bijna alle ondervraagde werknemers binnen de onderneming dezelfde mening als Dhr. Kerkhofs. Ook zijn

de meeste industriële extruders voorzien van secundaire exits waarlangs druk kan ontsnappen. Indien de ingenieursafdeling vaststelt dat het zelfonderhoudend karakter van de verbranding van PVC wordt stilgelegd door activering van de veiligheidsfunctie, leidt dit enkel tot mogelijke beschadiging van het die-systeem door aantasting van de vrijgekomen chloorgassen.

Een tweede mogelijkheid is dat de extrudeur na omschakeling de kabels op het extruderkopstuk controleert. Indien wordt vastgesteld dat de kabels beschadigd zijn, moeten ze hersteld worden. Deze maatregel is eenvoudig toe te passen en vermijdt de beschadiging van het die-systeem door de vorming van chloorgassen. Merk ook op dat het risico op verbranding daalt door de toepassing van het SMED-algoritme. Door de kortere omschakeltijd, en dus ook een kortere stilstand van de extruder, zal er minder PVC granulaat kunnen verbranden.

3. Foutieve configuratie van geplaatste mold blocks bij omschakeling van de productielijn (zie bijlage D.2, failure mode nr. 33)

De mold blocks worden met een verkeerde volgorde geïnstalleerd in de corrugator gedurende de omschakeling. Dit kan verklaard worden door twee verschillende factoren. Het is mogelijk dat de nieuwe ketens mold blocks verkeerd worden geconfigureerd in de onderhoudsafdeling. Ook een menselijke vergissing, bij het vervangen van de gietvormen, zal aanleiding geven tot een afgekeurde productie. Bij de analyse van het SMED-algoritme is reeds het nut van een checklist vermeld. Doormiddel van deze controlelijst moet de onderhoudsdienst de juiste configuratie van de mold blocks, terwijl ze zich nog in de onderhoudsafdeling bevinden, controleren. Ook kan de onderhoudsman de configuratie van de geplaatste ketens controleren bij een omschakeling van PVC naar PVC. Door de nieuwe taakindeling heeft hij immers voldoende tijd om deze handeling uit te voeren.

4. De parameters van de corrugator (T1, T2) worden niet aangepast bij omschakeling (zie bijlage D.2, failure mode nr. 29)

Het instellen van de procesparameters T1 en T2 wordt regelmatig vergeten gedurende de opstartfase van het productieproces. Toch zijn zowel de extrudeur, alsook het onderhoudspersoneel, op de hoogte van deze activiteit. Indien vergeten wordt de parameters in te stellen, leidt dit niet alleen tot een langere manufacturing lead tijd maar ook tot een verspilling van grondstoffen.

De reden waarom de parameters niet worden ingesteld, is eigen aan de ontwikkelingsfase van het productieproces. Naarmate de werknemers de productielijn omschakelen, zal de kans dalen dat de omschakelactiviteit vergeten wordt. Toch kan dit leerproces versneld worden. Hiervoor kan een tweede checklist opgesteld worden. In tegenstelling tot de checklist van het SMED-algoritme, waar de checklist gebruikt wordt voor het reduceren van geplande stilstand, wordt deze checklist gebruikt voor de reductie van ongeplande stilstand. In deze paragraaf is vermeld dat ook de kabels van het extruderkopstuk moeten gecontroleerd worden. Beide activiteiten kunnen opgenomen

worden in de controlelijst. Het management moet het gebruik van deze lijst opvolgen. Deze controle wordt minder belangrijk naarmate de productielijn wordt omgeschakeld.

5. De printer staat niet onder permanente spanning (zie bijlage D.2, failure mode nr. 56)

Indien de printer niet onder permanente spanning staat, zal hij zichzelf niet reinigen. Dit leidt tot beschadiging van de machine. De arbeiders binnen de productieafdeling zijn hiervan meermaals op de hoogte gebracht. Toch wordt de machine niet ingestoken wanneer het verlies van spanning wordt vastgesteld door de arbeiders. Dit melde Dhr. Vaes me. Hoewel het probleem moeilijk oplosbaar lijkt, is de uiteindelijke oplossing simpel. De printer moet rechtstreeks aangesloten worden op het elektriciteitsnetwerk. Hierdoor kan de machine niet ontkoppeld worden. Dit logische idee kwam van Dhr. Vets. Door de machine rechtstreeks aan te sluiten op het elektriciteitsnetwerk, kan de machine enkel nog door het optreden van uitzonderlijke gebeurtenissen spanning verliezen.

6. De klemming vooraan aan de cutter wordt verkeerd ingesteld door de onderhoudsdienst gedurende de omschakeling (zie bijlage D.2, failure mode nr. 66)

De klemming bestaat momenteel uit twee individuele componenten die door toevoeging van gesterkte druk naar elkaar toe bewegen. Omdat verschillende componenten van dit systeem bewegen, neemt de kans toe dat het goed-in-bewerking niet stevig wordt vastgehouden. Dit risico kan verkleind worden door verder onderzoek uit te voeren met een klemming die bestaat uit slechts één beweegbare component. Door de vaste aanslag heeft enkel de diameter van de beweegbare component een invloed op mate waarin de afvoerbuis wordt vastgehouden. Deze mogelijke oplossing is aangereikt door Dhr. Vets en kan verder onderzocht worden.

7. Het solvent van de printer wordt niet tijdig aangevuld (zie bijlage D.2, failure mode nr. 55)

Indien de printer geen solvent bezit, zal de machine beschadigd geraken. Deze schade is herstelbaar. Omdat een externe firma ingehuurd wordt voor deze herstelling, zal beschadiging van de machine leiden tot een lange manufacturing lead tijd. Het aanwezige solvent in printer kan vastgesteld worden op de interface van de machine. Momenteel wordt dit sporadisch gecontroleerd door de onderhoudsdienst. In overleg met Dhr. Vets en Dhr. Vaes is besloten om deze onderhoudsactiviteit op te nemen in het wekelijks, preventief onderhoudsprogramma.

8. Opstapeling van PVC in de druktoevoer (zie bijlage D.2, failure mode nr. 21)

De opstapeling van vloeibare grondstoffen, in de druktoevoer van het extruderkopstuk, kan niet preventief vastgesteld worden. Deze ongewenste gebeurtenis kan op twee manieren vermeden worden. In de eerste plaats is de ingenieursafdeling bezig met de ontwikkeling van een nieuw kopstuk voor de extruder. Een alternatieve vorm van druktoevoeging kan hierbij onderzocht

worden. Ook kan de druktoevoer eenvoudig gezuiverd worden tijdens de opstartfase van het productieproces. Deze preventieve onderhoudsactiviteit kan opgenomen worden in de controlelijst van de opstartfase. Opname in het wekelijks preventieprogramma is niet nuttig aangezien de druktoevoer gedurende productie niet losgekoppeld kan worden.

9. Printer wordt niet centraal geplaatst tijdens de omschakeling van de productielijn (zie bijlage D.2, failure mode nr. 58)

De positie van de printer kan tijdens de opstartfase gecontroleerd worden. Het nut van een controlelijst gedurende de opstartfase is in bovenstaande alinea's al vermeld. Merk bovendien op dat deze failure mode oorspronkelijk een lagere risicoquotering had. De reden hiervoor is dat de foutieve barcode niet kon gedetecteerd worden. Zoals vermeld maakt de controle operator momenteel gebruik van een scanner voor het lezen van de barcode. Hierdoor zal het kwaliteitsverlies onmiddellijk worden vastgesteld.

10. Het mes van de cutter moet vervangen worden bij slijtage van het machineonderdeel (zie bijlage D.2, failure mode nr. 63)

Door een nieuw mes in de cutter te plaatsen, is het 'risk priority number' gedaald van 216 tot 168. De onderliggende verklaring is dat het oude mes dagelijks vervangen wordt bij een productie in drie ploegen. Het nieuwe mes moet echter wekelijks vervangen worden bij een continue productie. Dit melde Dhr. Vaes me.

Ondanks de daling in RPN treedt slijtage aan het machineonderdeel regelmatig op. Omdat het mes enkel bij stilstand van het productieproces kan vervangen worden, resulteert dit in ongeplande stilstand. Ook moeten nieuwe messen aangekocht worden door de onderneming. Dit resulteert in een additionele aankoopkost van onderdelen. Verder onderzoek van de ingenieursafdeling naar een duurzamer mes is dan ook aan te raden.

Conclusies

In de literatuurstudie is een SMED-algoritme opgesteld voor het verkorten van de omschakeltijd. Dit algoritme is in de praktijkstudie toegepast op een extrusieproces binnen de onderneming Plastiflex Belgium. Bij uitvoering van het algoritme is vastgesteld dat de productiebronnen gedurende lange tijd stilstaan terwijl de geobserveerde machines niet worden omgeschakeld. Deze tijdsperiode wordt echter niet door het opgestelde algoritme behandeld. Om de exacte oorzaken van stilstand vast te stellen is daarom een additionele analyse van deze tijdsperiode uitgevoerd. Dit is bij de bespreking van het SMED-algoritme opgenomen in de '4^{de}' stap. Deze analyse leidt tot de vaststelling van onderliggende factoren die de omschakeltijd beïnvloeden. Voorbeelden hiervan zijn de onderbemanning van het onderhoudspersoneel of een te ruim takenpakket van de extrudeur. Deze operator is immers verantwoordelijk voor verschillende productielijnen. Hierdoor stopt hij regelmatig met de omschakeling van de stilstaande productie-installatie voor het controleren van andere productielijnen.

Een belangrijke vraag die moet gesteld worden is of de bijkomstige tijdsanalyse nuttig is. Het opgestelde algoritme houdt enkel rekening met de vastgestelde omschakelactiviteiten. Hierdoor maakt het algoritme abstractie van de tijdsperiode waarin de machines stilstaan gedurende de omschakeling van de productielijn. Bijgevolg zullen de resultaten van het SMED-algoritme gelijk zijn aan de resultaten van het uitgevoerde onderzoek. Een groot punt van kritiek op het algoritme is echter dat het de onderliggende oorzaken van stilstand niet vaststelt. Hierdoor zal de verwachte omschakeltijd, die bekomen wordt bij het opstellen van de definitieve taakindeling, niet hetzelfde zijn als de werkelijke omschakeltijd. Omdat belangrijke knelpunten, zoals de onderbemanning van het onderhoudspersoneel, niet opgenomen worden in het algoritme, zal de productie-installatie nog altijd onbemand stilstaan wanneer een andere productielijn vastloopt.

Door opname van de additionele tijdsanalyse in het onderzoek, zijn de onderliggende factoren van stilstand steeds op een gestructureerde wijze vastgelegd. Ook is vastgesteld hoe de onderneming deze knelpunten kan elimineren. Een tweede extrudeur, die tijdelijk de productielijnen overneemt van de operator die de machines omschakelt, is hier een voorbeeld van. Hierdoor zullen minder praktische en onverwachte problemen opduiken bij de implementatie van de nieuwe taakindelingen (zie tabel 25,26 en 27). Het is bijgevolg nuttig om de additionele tijdsanalyse op te nemen in het oorspronkelijke SMED-algoritme. Het aangepaste algoritme wordt weergegeven in figuur 23. Dit algoritme is identiek aan het vermelde SMED-algoritme, indien de machines niet stilstaan zonder dat er omschakelactiviteiten worden uitgevoerd. Indien men vaststelt dat de machines wel gedurende lange tijd stilstaan, zal het aangepaste algoritme leiden tot het opstellen van een realistische taakindeling waarbij de werkelijke omschakeltijd zich dicht bij de geschatte omschakeltijd bevindt.

Door uitvoering van het aangepaste SMED-algoritme is de omschakeltijd sterk verminderd. Zo daalt de geplande stilstand van de productielijn, bij de omschakeling naar een productbatch met een verschillende diameter en gelijke materiaalsamenstelling aan de vorige productbatch, met

gemiddeld 4 uur, 40 minuten en 59 seconden²⁹. Dit is gelijk aan een gemiddelde daling van 74.95%³⁰. Binnen deze tijdscomponent daalt de tijd, die nodig is voor de uitvoering van interne omschakelactiviteiten, met 40.88%³¹. De totale omschakeltijd daalt met gemiddeld 62.01%³². De reden dat de procentuele daling in omschakeltijd lager ligt dan de procentuele daling in stilstand, is dat de opstartfase opgenomen wordt bij de omschakeltijd. Bovenstaande tijdsreducties moeten echter binnen de huidige bedrijfscontext geïnterpreteerd worden. De productie van Flexidrain ® afvoerbuizen is een nieuwe aangelegenheid voor de onderneming Plastiflex Belgium. Door de huidige, zwakke marktvraag kent deze productielijn dan ook geen hoge prioriteit.

Voor de optimalisering van de productietijd is gebruik gemaakt van een FMEA-analyse. Deze analyse stelt systematisch de factoren vast die bijdragen tot het totale productierisico. De risicoschalen, die binnen de analyse gebruikt worden voor de toekenning van risiconummers aan failure modes, zijn hiervoor aan het geobserveerde productieproces aangepast. Door aan ieder risiconummer een specifieke gebeurtenis toe te kennen, is het subjectieve karakter van deze analyse zo goed mogelijk geminimaliseerd.

Omdat de extrusielijn zich in de ontwikkelingsfase bevindt, worden regelmatig aanpassingen aan het productieproces doorgevoerd. Deze aanpassingen hebben een rechtstreekse invloed op de vastgestelde FMEA-tabel. Ook leidde de FMEA-analyse tot de aankoop van een encoder voor de printer en is het takenpakket van de controle operator uitgebreid. Door de analyse twee keer uit te voeren, zijn de aanpassingen opgenomen in de toegekende risiconummers. Door de twee tabellen met elkaar te vergelijken kan men op kwalitatieve wijze deze aanpassingen evalueren. Exacte data worden immers niet vastgelegd betreffende de frequentie waarmee oorzaken van faling optreden. Hierdoor kan de onderneming het nut de aanpassingen niet kwantitatief vaststellen.

Door beide tabellen te vergelijken stelt men vast dat de risiconummers, met uitzondering van de failure modes 'slijtage mes' en 'slijtage stabilisatieringen', sterk dalen. Bovendien worden voornamelijk failure modes met een hoog RPN beïnvloed door de aanpassingen binnen het productieproces. Vooral het veiligheidsrisico, dat inherent is aan de verschillende chemische en fysische eigenschappen van de twee grondstoffen, is sterk gedaald door te investeren in een tweede, identieke productielijn. Bijkomend is het aan te raden om verdere testen uit te voeren voor het vaststellen van een duurzamer mes voor de cutter.

Bij het gebruik van de FMEA, voor de evaluatie van de huidige failure modes, is vastgesteld dat vooral menselijke vergissingen gedurende de omschakeling van de productielijn en een verkeerde afboeking van grondstoffen een grote impact hebben op het totale productierisico. Door de reorganisatie van preventieve onderhoudstaken en het opstellen van een controlelijst, die kan gebruikt worden tijdens de opstartfase, zal de frequentie waarmee de oorzaken van faling optreden, dalen. Het exacte verbruik van grondstoffen tijdens de testruns moet bovendien door de ingenieursafdeling vastgelegd worden.

²⁹ $(26183s + 7534s) / 2 = 16859s$ (zie tabel 28)

³⁰ $(78.20\% + 71.70\%) / 2$ (zie tabel 28)

³¹ $(47.30\% + 34.46\%) / 2$ (zie tabel 24)

³² $(70.61\% + 53.41\%) / 2$ (zie tabel 28)

Dit werkstuk is ontwikkeld vanuit de vraag hoe de onderneming tijdig producten aan klanten kan leveren. Door het gebruik van het aangepaste SMED-algoritme is de omschakeltijd sterk gedaald. Omdat de productielijn sneller omgeschakeld wordt, kan de onderneming meer afvoerbuizen produceren binnen een bepaalde tijdsperiode. Bovendien zijn de belangrijkste oorzaken van faling, waardoor de productie-installatie onverwacht stilstaat of eindproducten produceert die niet aan de kwaliteitsnorm voldoen, in de FMEA-analyse vastgesteld. Omdat minder verstoringen van de productie-installatie optreden en minder eindproducten afgekeurd worden, stelt deze analyse de onderneming beter in staat tijdig producten te leveren aan klanten. Het nut van dit onderzoek zal stijgen naarmate de marktvraag zich ontwikkelt.

Naast een snellere levertijd leidt dit onderzoek tot additionele voordelen voor de onderneming. Zo zullen de productiekosten dalen omdat minder verspilling optreedt gedurende zowel de productietijd alsook de omschakeltijd. De stilstaande extruder wordt immers voortdurend opgewarmd bij de omschakeling van de productielijn. Ook daalt de totale recyclagekost voor de onderneming door een hogere betrouwbaarheid van het productieproces. De bevindingen van dit onderzoek zijn bovendien toepasbaar op verschillende productielijnen binnen de onderneming. Zo vertelde Dhr. Vets me dat door dit onderzoek niet alleen de kosten van de geobserveerde productielijn zullen dalen, maar ook van de overige, identieke extrusieprocessen binnen de onderneming.

Lijst van geraadpleegde werken

Amelior (2008), '*SMED omsteltijdreductie*' (online) (geraadpleegd op 25 april 2008).

Dit document is consulteerbaar op het volgende webadres

<URL:<http://www.amelior.be/ndl/opleidingen/training-open.asp?s=open&c=2&sc=54&t=20&tc=1>>

Best, R.J. en van den Bosch, M. (2005) *Marktgericht management: strategisch werken aan waarde en winst* (4^e druk), Amsterdam: Pearson Prentice Hall.

Breukelen, Q.H., Koolhaas, C.B., Kumpe, T. (2000) *Benchmarken van industriële processen*, Assen: Van Gorcum.

Business Dictionary (2008) '*Bottleneck*' (online) (geraadpleegd op 14 maart 2008).

Dit document is consulteerbaar op het volgende webadres

<URL:<http://www.businessdictionary.com/definition/bottleneck.html>>

Business Dictionary (2008) '*Labor*' (online) (geraadpleegd op 20 maart 2008).

Dit document is consulteerbaar op het volgende webadres

<URL:<http://www.businessdictionary.com/definition/labor.html>>

Campbell, J.D. (2006) *Uptime: Strategies for Excellence in Maintenance Management*, 2^e ed., New York: Productivity Press

Carracher, C.E.Jr. (2003) *Giant Molecules: Essential Materials for Everyday Living and Problem Solving*, 2^e ed., Hoboken: John Wiley & Sons

Carreira, B. (2005) *Lean Manufacturing that Works: Powerful Tools for Dramatically Reducing Waste and Maximizing Profits*, New York: Amacom

Chandra, C. en Kamrani, A. K. (2004) *Mass customization: A Supply Chain Approach*, New York: Kluwer academic / Plenum publishers.

Charney, C. en Mitchell, P.E. (1991) *Time to market: Reducing Product Lead Time*, Dearborn: Society of Manufacturing Engineers.

Chase, R.B., Jacobs, F.R., Aquilano, N.J. (2006) *Operations Management for Competitive Advantage with Global Cases*, 11^e ed., New York: McGraw-Hill Irwin.

Choudri, A. (2002) 'Lean Manufacturing' in ReVelle J.B. (Red.), *Manufacturing Handbook of Best Practices: An Innovation, Productivity, and Quality Focus*, Boca Raton: CRC Press, pp. 169 – 193.

Ebnesajjad, S. (2003) *Melt processible fluoropolymers: the definitive user's guide and databook*, Norwich: Plastics Design Library

Encyclopaedia Britannica (2008) 'screw-type extruder' (online) (geraadpleegd op 17 mei 2008)

Dit document is consulteerbaar op het volgende webadres

<URL:<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/529917/screw-type-extruder>>

Enkawa, T. en Schvaneveldt, S.J. (2001) 'Just-in-Time, Lean Production and Complementary Paradigms' in Salvendy, G. (red.) *Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management*, 3^e ed., New York, Wiley-Interscience, pp. 544-561.

Goldratt, E.M. and Cox, J. (1986) *The Goal*, New York: The North River Press

Gross, J.M. en McInnis, K.R. (2003) *Kanban Made Simple: Demystifying and Applying Toyota's Legendary Manufacturing Process*, New York: American Management Association.

Gygi, C., DeCarlo, N., Williams, B. (2007) *Six Sigma voor Dummies*, Amsterdam: Pearson Education Benelux.

HarrisInteractive (2008), 'New Research Shows the Impact of the Internet on Consumer Behaviour in Europe', (online) (geraadpleegd op 6 december 2008).

Dit document is consulteerbaar op het volgende webadres

<URL: <http://www.harrisinteractive.com/NEWS/allnewsbydate.asp?NewsID=1314>>

Hassanain, M.A., Froese, T. M., Vanier, D. J. (2003) 'Operations and maintenance management' in Best, R. et al (red.) *Strategies And Facilities Management: Building In Value*, Oxford: Butterworth-Heinemann, pp. 177 – 202.

Holtsnider, B. en Jaffe, B.D. (2000) *IT Manager's Handbook: Getting Your New Job Done*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.

Humphrey, J.E. (1999) 'Predictive Maintenance Plan' in Lewis, B.T. (Red.) *Facility Manager's Operation and Maintenance Handbook*, New York, McGraw-Hill Professional, pp. 6.1-6.25.

Hyer, N.L. en Wemmerlöv, U. (2002) *Reorganizing the Factory: Competing Through Cellular Manufacturing*, Portland: Productivity Press.

IMEC (2008) '*Reducing Set-up Times: A Foundation for Lean Manufacturing*' (online) (geraadpleegd op 25 april 2008)

Dit document is consulteerbaar op het volgende webadres

<URL:http://www.imec.org/imec.nsf/All/Solutions_Source_Reducing_Setup_Times?OpenDocument>

Jones, R.B. (1995) *Risk-based Management: A reliability – centered approach*, Houston: Gulf Professional Publishing.

Keller, P.A. en Pyzdek, T. (2004) *Six Sigma Demystified: A Self-Teaching Guide*, New York: McGraw-Hill Professional.

Kelly, A. (2006) *Strategic Maintenance Planning*, Oxford: Butterworth-Heinemann.

Kumar, D., Crocker, J., Knezevic, J., El-Haram, M.A. (2000) *Reliability, Maintenance and Logistic Support: a Life Cycle Approach*, Boston: Kluwer Academic Publishers.

Lees, F.P. en Mannon, S. (2005) *Lee's Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment, and Control (Vol. 1)*, 3^e ed., Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann

Levitt, J. (2004) *Managing Factory Maintenance*, 2^e ed., New York: Industrial Press INC.

Melnyk, S.A. en Christensen, R.T. (2000) *Back to Basics: Your Guide to Manufacturing Excellence*, Boca Raton: CRC Press.

Moser, A.P. (2001) *Buried Pipe Design*, 2^e ed., New York: McGraw-Hill Professional.

Moss, M.A. (1985) *Designing for Minimal Maintenance Expense: The Practical Application of Reliability and Maintainability*, New York: Marcel Dekker Inc.

Moubray, J. (2001) *Reliability-centered Maintenance*, 2^e ed., New York: Industrial Press Inc.

NetMBA: Business Knowledge Center (2007) '*Process Analysis*' (online) (geraadpleegd op 14 maart 2008).

Dit document is consulteerbaar op het volgende webadres

<URL: [http:// www.netmba.com/operations/process/analysis/](http://www.netmba.com/operations/process/analysis/)>

Noyes, R. (1992) *Handbook of Leak, Spill, and Accidental Release Prevention Techniques*, New York: William Andrew Publishers.

Oosterhoorn, A.D. (2004) *111 instrumenten voor kwaliteitsverbetering: ingedeeld volgens de Six Sigma-verbetercyclus*, Deventer: Kluwer.

Patrick, S.G. (2005) *Practical Guide to Polyvinyl Chloride*, Shawbury: Rapra Technology Limited.

Pindyck, R.S. en Rubinfeld, D.L. (2005) *Microeconomics, 6^e ed.*, New Jersey: Pearson Education Inc.

Publimat News (2008) '*Innovatie en comfort gaan samen in flexible concept*', Publimat News, nr. 45 april - mei, p.7.

Pyzdek, T. (2003) *The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*, New York: McGraw-Hill Professional.

Raessens B. (2006) *E-business your business: van website tot strategie* (3^e druk), Amsterdam: Boom Onderwijs, Hoofdstuk 11.

Rufe, P.D. (2002) *Fundamentals of Manufacturing, 2^e ed.*, Dearborn: Society of manufacturing engineers.

Sanderson, G.A (1997) '*Inventory control records and practices*' in Greene, J. H. (Red.) *Production and Inventory Control Handbook*, 3^e ed., New York: McGraw-Hill, pp. 18.3-18.46.

Shah, V. (2002) '*Characterization and identification of plastics*' in Kutz, M. (red) *Handbook of Materials Selection*, New York: John Wiley & Sons, pp. 591 - 614

Shingo, S. en Dillon A.P. (1985) *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*, Stamford: Productivity Press

Shingo, S. en Dillon A.P. (1989) *A Study of the Toyota Production System*, Portland: Productivity Press, Hoofdstuk 5.

Smal, J.C.A en Tak, A.A.M.M. (2005) *Marketing kernstof-A* (5^e druk), Groningen: Wolters Noordhoff.

Smith, A.M. en Hinchcliffe, G.R. (2004) *RCM: Gateway to World Class Maintenance*, Oxford, Elsevier Butterworth-Heinemann.

Smith, R. en Hawkins, B. (2004) *Lean Maintenance: Reduce Costs, Improve Quality, and Increase Market Share*, Oxford: Butterworth-Heinemann.

Stamatis, D.H. (1997) *TQM Engineering Handbook*, New York: Marcel Dekker Inc.

Suzaki, K. (1987) *The New Manufacturing Challenge*, New York: Free Press.

The productivity development team (1999) *OEE for operators: overall equipment effectiveness*, Portland: Productivity Press.

Thomas, S. J. (2005) *Improving Maintenance & Reliability Through Cultural Change*, New York: Industrial Press.

Thomassen, J-P. R. (2004) *Klanttevredenheid, de zin en onzin: grotere winstgevendheid door sturing op de waarde van en voor de klant*, Deventer: Kluwer.

Ulrich, D., Zenger, J., Zenger, J.H., Smallwood, W.N. (1999) *Results-based Leadership: How Leaders Build the Business and Improve the Bottom Line*, Boston: Harvard Business School Press

Van der Bij, H., Broekhuis, M., Gieskens, J. (2001) *Kwaliteitsmanagement in beweging: van blauwdruk naar contingenties en dynamiek* (2^e druk), Deventer, Kluwer

Visser H.M. en van Goor A.R. (2004) *Werken met logistiek* (4^e druk), Groningen, Noordhoff Uitgevers B.V.

Wallace, M. en Webber, L. (2004) *The Disaster Recovery Handbook: A Step-by-step Plan to Ensure Business Continuity and Protect Vital Operations, Facilities, and Assets*, New York: Amacom.

Wikoff, D. (2008) 'Reliability-Centered Maintenance' in Mobley, R.K. (red.) *Maintenance engineering handbook*, 7e ed., New York, McGraw-Hill Companies, pp. 2.35-2.40.

Willis, H.L. (2004) *Power Distribution Planning Reference Book*, 2e ed., New York, Marcel Dekker Inc.

Wireman, T. (2005) *Developing Performance Indicators for Managing Maintenance*, 2e ed., New York, Industrial Press Inc.