

Ontwerpen van een optimale onderhoudsmethode voor Remeha B.V.

Bachelor thesis



the feeling
of warmth

Naam:	Jelle Kerkdijk	
Studentnummer:	s1501887	
Datum:	01-09-2017	
Opleiding:	Bachelor Technische Bedrijfskunde	
Instelling:	Universiteit Twente	
Bedrijf:	Remeha B.V.	
Begeleider UT:	Matthieu van der Heijden	
Begeleiders Remeha:	Gert-Jan Versteeg	<i>Production Engineer</i>
	Jan Boksebeld	<i>Lead Production Engineer</i>

i. Voorwoord

Voor u ligt de thesis ‘Ontwerpen van een optimale onderhoudsmethode voor Remeha B.V’. Het onderzoek naar de optimale onderhoudsmethode is uitgevoerd bij Remeha B.V. te Apeldoorn. Deze thesis is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de bachelor opleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. In de periode van april 2017 tot en met juli 2017 ben ik bij Remeha B.V. bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van mijn thesis.

Ik heb genoten van mijn tijd bij Remeha en ik ben tot nieuwe inzichten gekomen. Ik hoop dat ik met dit onderzoek een positieve bijdrage kan leveren aan het continu verbeteren van Remeha en dat zij mijn aanbevelingen van harte in ontvangst nemen.

Allereerst gaat mijn dank uit naar mijn begeleider van de UT: Dr. Matthieu van der Heijden. Hij heeft mij tijdens het gehele traject ondersteunt en van de nodige feedback voorzien.

Verder wil ik mijn twee begeleiders van Remeha, Gert Jan Versteeg en Jan Boksebeld, hartelijk danken voor de tijd die zij voor mij hebben vrijgemaakt en de ondersteuning die zij mij hebben gegeven tijdens het onderzoek.

Als laatste wil ik mijn familie en vrienden bedanken. Zij hebben een essentiële rol gespeeld in het behalen van dit resultaat.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Jelle Kerkdijk

Enschede, 1 september 2017

ii. Managementsamenvatting

De afdeling Production Support van Remeha B.V. stelt vast dat de huidige onderhoudsmethodiek resulteert in een 88,3% machinebeschikbaarheid en dat hiermee de machines voldoende beschikbaar zijn, maar ziet graag de huidige situatie geanalyseerd om te zien waar op het gebied van onderhoudskosten mogelijk ruimte voor verbetering ligt. Na de probleemidentificatie wordt gesteld dat de huidige onderhoudsmethodiek onvoldoende is onderbouwd. Daarom is deze onderzoeksvraag opgesteld:

“Welke onderhoudsmethode is het meest geschikt om de Machinebeschikbaarheid van Remeha te optimaliseren?”

Het onderzoek begint met een analyse van de huidige situatie. Hierbij zijn drie gebieden geselecteerd die invloed hebben op de machinebeschikbaarheid. De analyses worden gedaan met data uit interne rapportages en storingsanalyses. Vervolgens is in de literatuur gezocht naar theoretische onderbouwing voor deze gebieden, om dit vervolgens toe te passen op de situatie voor Remeha B.V. om te komen tot een optimaal ontwerp van onderhoudsmethodiek. Dit heeft resulteert in de volgende bevindingen:

Machinebeschikbaarheid

De machinebeschikbaarheid wordt in de huidige situatie gemeten door de beschikbaarheid van alle machines, ongedacht de bezettingsgraad, met elkaar te vermenigvuldigen, daarmee komt het uit op een beschikbaarheid van 88,30%.

Het combineren van de bezettingsgraad met de machinebeschikbaarheid in de berekening biedt een oplossing voor het verbeteren van de beschikbaarheid. Met deze berekening komt de beschikbaarheid uit op 93,03% (ten opzichte van 88,30%), tevens geeft het meer inzicht in de werkelijke route over de assemblagelijijn.

Storingsanalyse

Voor aanvang van het onderzoek was het moeilijk om de impact van het uitgevoerde onderhoud op het optreden van storingen te analyseren omdat de storingsoorzaak niet afdoende bekend was. Om storingen te kunnen categoriseren, waardoor het mogelijk is deze te koppelen aan een bepaalde onderhoudsmethode, is er tijdens dit onderzoek een viertal storingstypen toegevoegd; slijtage, willekeurig, inspectie en werkzaamheden. Uit analyse van de storingsdata blijkt dat 64,5% van de storingen willekeurig optreedt en 29,2% is potentieel beïnvloedbaar door preventief onderhoud (inspecties en slijtage). De overige 6,3% van de storingstijd wordt veroorzaakt door werkzaamheden.

Onderhoud

Er is een zeswekelijkse schema door Product Support opgesteld op basis van ervaring waarbij elke week een andere assemblagelijijn wordt onderhouden. Binnen de onderhoudsweek voor een lijn is een schema opgesteld met onderhoudsmomenten voor elke machine van deze lijn, echter is het aantal onderhoudsmomenten per jaar voor een machine niet onderbouwd.

Uit dit onderzoek blijkt dat elk soort machine even vaak wordt onderhouden ongeacht het gebruik ervan. Op basis van dit onderzoek wordt gekeken naar de mogelijkheid om over te gaan van een tijd-gebaseerde planning naar een planning gebaseerd op gebruik. Hiervoor is momenteel echter nog onvoldoende informatie beschikbaar.

Om vast te kunnen stellen welke onderhoudsmethodiek geschikt is per storingscategorie is er met behulp van literatuur een stappenplan opgesteld wat de basis vormt voor de aanbevelingen voor de optimale onderhoudsmethodiek.

Het is aan het einde van dit onderzoek nog niet mogelijk om te komen tot concrete kwantitatieve besparingen door toepassen van een optimale onderhoudsmethodiek. Wel resulteerde dit onderzoek in een stappenplan en aanbevelingen om te komen tot een optimale onderhoudsmethodiek.

Aanbevelingen

De analyses zijn gedaan op basis van data van de Tzerra-baan uit 2016, gegeven dat er volgens het huidige onderhoudsschema wordt onderhouden. Op basis hiervan worden de volgende aanbevelingen gedaan:

Van tijd gebaseerd onderhoud naar gebruik gebaseerd onderhoud

Door de mate van onderhoud af te stemmen op het gebruik, het aantal geproduceerde ketels, is in te spelen op fluctuatie in de vraag naar producten. Hierdoor wordt onnodig onderhoud voorkomen in het laagseizoen, waar weinig wordt geproduceerd, en is er voldoende onderhoud gepleegd waardoor de machines beschikbaar zouden moeten zijn tijdens het hoogseizoen, de drukke periode.

Minder preventief onderhoud aan droogteststation DT41

Gegeven dat droogtestmachine DT41 een bezettingsgraad heeft van slechts 6,40% lijkt het onnodig om deze machine net zo vaak te onderhouden als andere machines met een bezettingsgraad die tweemaal zo hoog is. Door in plaats van tweemaal slechts één keer preventief te onderhouden kan informatie over het storingsgedrag worden verzameld welke gebruikt kan worden ter indicatie voor de overige stations. Op basis van deze gegevens wordt een voorspellende factor gezocht die naar mate er meer data beschikbaar is steeds nauwkeuriger wordt. Slechts 29% van de storingstijd is beïnvloedbaar door preventief onderhoud, daarom wordt gesteld dat er mogelijk teveel preventief wordt onderhouden. Door minder preventief onderhoud te plegen aan DT41 kan worden getoetst of deze hypothese juist is. Afhankelijk van de uitkomst van deze test kan de aanpassing worden doorgevoerd.

Toevoegen van een extra factor in de storingsanalyse

Door het toevoegen van een extra factor in de analyse van storingen in de vorm van storingstype; slijtage, inspectie, werkzaamheden of willekeurig wordt de data waardevoller doordat het de mogelijkheid geeft om de onderhoudsmethode te koppelen aan het desbetreffende storingstype.

Uitschakelen van DT41 en DT42 in het laagseizoen.

De twee stations DT41 en DT42 hebben slechts een bezettingsgraad in het laagseizoen van respectievelijk 5,0% en 12,6%. De planning voor het aantal te produceren ketels is aan het begin van de week bekend, hierdoor kan worden afgestemd of de capaciteit het toelaat om DT41 en DT42 uit te schakelen. Als de stations zijn uitgeschakeld zullen de willekeurige storingen niet optreden.

Er wordt aanbevolen om eerst bij een machine met de laagste bezettingsgraad minder preventief onderhoud te plegen om te zien wat het effect hiervan op de storingen is. Als de baten, meer uur beschikbaar voor de onderhoudsdienst voor verbeteringen, opwegen tegen de lasten (meer storingstijd) dan kan worden gekeken naar de mogelijkheden om dit ook bij de andere machines toe te passen.

Inhoudsopgave

1.	INLEIDING	8
1.1	ACHTERGROND	8
1.2	AANLEIDING	9
1.3	PROBLEEMIDENTIFICATIE	10
1.4	PROBLEEMAANPAK.....	12
1.5	DELIVERABLES.....	13
1.6	AFBAKENINGEN	14
	NAVIGATIE DOOR HET DOCUMENT	15
2.	HUDIGE SITUATIE.....	16
2.1	MACHINEBESCHIKBAARHEID	17
2.2	STORINGSANALYSE	19
2.3	ONDERHOUDSMETHODIEK	23
2.3.1	<i>Huidige onderhoudsinterval</i>	23
2.3.2	<i>Onderhoudswerkzaamheden</i>	23
	CONCLUSIE VAN DE HUDIGE SITUATIE.....	25
3.	LITERATUURONDERZOEK.....	26
3.1	THEORIEËN VOOR ONDERHOUD.....	26
3.2	ONDERHOUDSMETHODEN.....	29
3.2.1	<i>Gebruik-gebaseerd onderhoud (GGO)</i>	30
3.2.2	<i>Conditie-gebaseerd onderhoud (CGO)</i>	30
3.2.3	<i>Storing-gebaseerd onderhoud (SGO)</i>	30
3.2.4	<i>Redundantie</i>	30
3.3	STAPPENPLAN NAAR DE JUISTE ONDERHOUDSVORM	31
3.3.1	<i>Onderhoudsconcept</i>	33
	CONCLUSIE VAN HET LITERATUURONDERZOEK.....	37
4.	RESULTATEN VOOR REMEHA.....	38
4.1	MACHINEBESCHIKBAARHEID	38
4.2	STORINGSTIJDEN EN PRODUCTIE AANTALLEN.....	39
4.3	ONDSCHIED TUSSEN LAAG- EN HOOGSEIZOEN	39
4.4	ONDERHOUDSPLANNING	40
4.5	STAPPENPLAN NAAR DE GESCHIKTE ONDERHOUDSMETHODE.....	41
4.6	AANBEVELINGEN VOOR OPLOSSINGEN.....	42
	SAMENVATTING VAN DE RESULTATEN VOOR REMEHA.....	46
5.	CONCLUSIE.....	47
5.1	MACHINEBESCHIKBAARHEID	47
5.2	STORINGSANALYSE	47
5.3	ONDERHOUDSMETHODIEK	48
5.4	AANBEVELINGEN VOOR IMPLEMENTATIE.....	49
	BIBLIOGRAFIE	50
A.	APPENDIX	52

iii. Begrippenlijst

FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
Geheugenloosheid	Het hebben van een storing is een op zichzelf staande gebeurtenis die niet wordt beïnvloed door een voorafgaande storing.
LEAN	Lean management
LORA	Level of Repair analysis
Machinebeschikbaarheid	Het percentage van het aantal uur dat machines werkelijk beschikbaar zijn voor productie gedeeld door het aantal geplande productie-uren voor die dag.
OEE	Overall Equipment Effectiveness
RCA	Root Cause Analysis
RCM	Reliability Centered Maintenance
Storingsgraad	Relatieve uitval door storingen over tijd.
Takttijd	Takttijd is een maatstaf voor het tempo van het werk in een proces dat nodig is om aan de klantwens te voldoen.
TPM	Total Productive Maintenance



Figuur i: Voorbeelden van Remeha cv-ketels die op de onderzochte productiebaan gemaakt worden.

iv. Referentielijst

Verwijzingen naar de locatie van de gebruikte figuren en tabellen.

Figuren

FIGUUR 1: ORGANIGRAM VAN DE AFDELING OPERATIONS BINNEN REMEHA	8
FIGUUR 2: PROBLEEMKLUWEN VAN DE HUIDIGE ONDERHOUDSMETHODIEK	10
FIGUUR 3: VISUELE WEERGAVE VAN DE PROBLEEMAANPAK.....	12
FIGUUR 4: PLATTEGROND VAN DE TZERRA-BAAN	16
FIGUUR 5: VISUELE WEERGAVE VAN HET EFFECT VAN DE HOEEVEELHEID PREVENTIEF ONDERHOUD TEN OPZICHTE VAN DE KOSTEN.....	21
FIGUUR 6: WEERGAVE VAN DE GESTAPELDE STORINGSTIJDEN PER MACHINE VOOR DE CATEGORIEËN INSPECTIE EN SLIJTAGE.....	22
FIGUUR 7 VOORBEELD VAN EEN PARETO-ANALYSE.....	28
FIGUUR 8: WEERGAVE VAN DE LINK TUSSEN ONDERHOUD EN PRODUCTIE (GITS, 1992)	29
FIGUUR 9: WEERGAVE VAN HET STORINGSGEDRAG IN DRIE VORMEN: AFNEMEND, CONSTANT EN TOENEMEND (KLUTKE, 2003).	29
FIGUUR 10: STAPPENPLAN VOOR HET KIEZEN VAN DE GESCHIKTE ONDERHOUDSMETHODE	31
FIGUUR 11: STAPPENPLAN VOOR HET GENEREN VAN ONDERHOUDSREGELS OP BASIS VAN DE THEORIE VAN C.W. GITS (1992)	34
FIGUUR 12: STAPPENPLAN VOOR HET EVALUEREN VAN HET ONDERHOUDSCONCEPT IN FIGUUR 9.	36
FIGUUR 13: OVERZICHT VAN DE MACHINEBESCHIKBAARHEID EN DE BEZETTINGSGRAAD PER MACHINE VAN DE TZERRA-BAAN OVER 2016	38
FIGUUR 14: OVERZICHT VAN DE SPREIDING VAN DE STORINGSTIJD TEN OPZICHTE VAN HET AANTAL GEPRODUCEERDE KETELS VOOR ELKE MACHINE.....	39
FIGUUR 15: NIEUWE ONDERHOUDSPANNING VOOR DE DROOGTESTMACHINES BIJ REMEHA	40
FIGUUR 16: HUIDIGE ONDERHOUDSPANNING VOOR DE DROOGTESTMACHINES BIJ REMEHA IN 2016.....	41
FIGUUR 17: OVERZICHT VAN HET EFFECT VAN DE PARAMETERS OP DE TOTALE STORINGSKOSTEN MET BEHULP VAN EEN GEVOELIGHEIDSANALYSE	52
FIGUUR 18: STANDARD OPERATING PROCEDURE (SOP) - FORMULIER VOOR PREVENTIEF ONDERHOUD DOOR DE ONDERHOUDSDIENST.	54
FIGUUR 19: LEERPUNTEN VAN DE STANDARD OPERATING PROCEDURES (LP-SOP) - FORMULIER MET LEERPUNTEN VOOR PREVENTIEF ONDERHOUD DOOR DE ONDERHOUDSDIENST	54
FIGUUR 20: TPM OPERATING PROCEDURE (TOP) - FORMULIER VOOR PREVENTIEF ONDERHOUD VOOR BAANMEDEWERKER.	55
FIGUUR 21: LEERPUNT TPM OPERATING PROCEDURE (LP-TOP) - FORMULIER MET LEERPUNTEN VOOR PREVENTIEF ONDERHOUD VOOR BAANMEDEWERKER. TOELICHTING OP TOP-FORMULIER.....	55

Tabellen

TABEL 1: MACHINEBESCHIKBAARHEID PER STATION TZERRA-BAAN 2016.....	17
TABEL 2: BEREKENING VAN DE KOSTEN DOOR MACHINESTILSTAND TZERRA-BAAN IN 2016	18
TABEL 3: OVERZICHT VAN HET AANTAL STORINGEN EN DE TOTALE STORINGSTIJD IN HET LAAG- EN HOOGSEIZOEN VAN DE TZERRA-BAAN IN 2016.....	19
TABEL 4: DE VERHOUDING TUSSEN HET AANTAL UUR PRODUCTIE EN HET AANTAL UUR STORING VOOR HET LAAG- EN HOOGSEIZOEN IN 2016	19
TABEL 5: OVERZICHT VAN DE STORINGSTIJDEN UITGESPLITST IN DE CATEGORIEËN: MECHANISCH, ELEKTRISCH, SOFTWARE EN ICT	20
TABEL 6: OVERZICHT VAN DE TOTALE STORINGSTIJD VAN DE CATEGORIEËN PER TYPE STORING EN DE BIJ BEHORENDE KOSTEN VOOR DEZE STORINGSTIJDEN.....	21
TABEL 7: VERGELIJKING TUSSEN 2015 EN 2016 VOOR ENKELE CATEGORIEËN VOOR UREN REGISTRATIE	21
TABEL 8: SCHEMA VOOR ONDERHOUD PER BAAN VOOR ELKE 6 WEKEN (2016)	23
TABEL 9: HUIDIGE ONDERHOUDSPANNING VOOR DE TZERRA-BAAN 2016	24
TABEL 10: ONDERHOUDSMETHODEN UITGESPLITST IN TIMING EN INHOUD VAN DE ONDERHOUDSACTIVITEIT (ARTS, 2017).....	31
TABEL 11: HYPOTHETISCHE KOSTENBERAMING VOOR VERBETERINGEN DOOR EXTRA TPM-WERKZAAMHEDEN	43
TABEL 12: OVERZICHT VAN DE STORINGSTIJD EN HET AANTAL STORINGEN PER MACHINE VAN DE TZERRA-BAAN IN 2016	53

1. Inleiding

1.1 Achtergrond

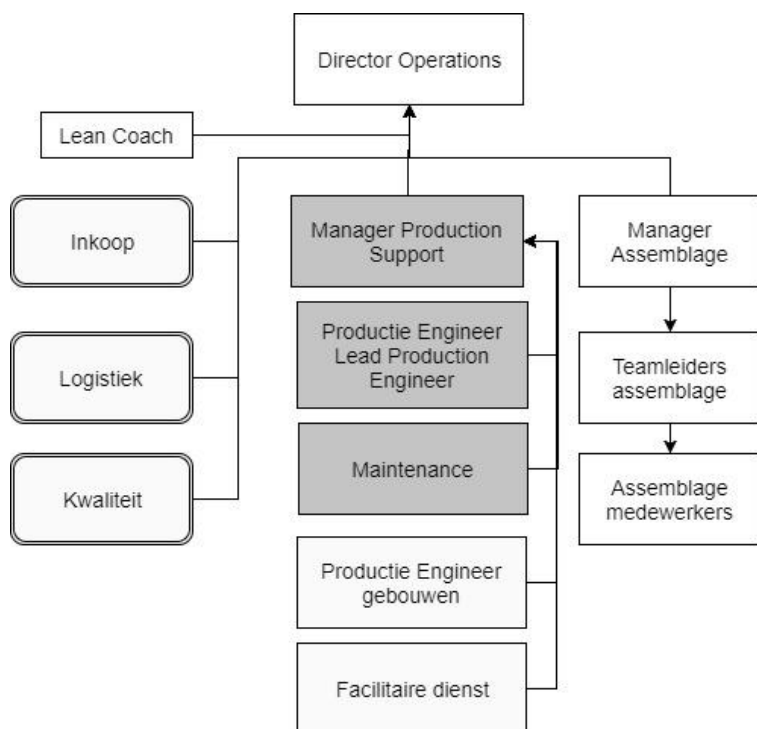
In het kader van de afronding van mijn bacheloropleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente heb ik onderzoek gedaan bij Remeha B.V. (wordt verder aangeduid als Remeha) te Apeldoorn. Het onderzoek omvat een analyse van de huidige onderhoudsmethodiek met als doel mogelijkheden te zoeken om door middel van theoretisch onderzoek de onderhoudsmethodiek te verbeteren. De bevindingen van het onderzoek zijn beschreven in dit rapport.

Remeha is een Nederlandse producent van centrale verwarming- en warmwaterinstallaties. Het hoofdkantoor is gevestigd in Apeldoorn, hier vindt tevens de productie plaats voor nationale en internationale markt. Remeha staat voor innovatie, kwaliteit en service op het gebied van onder andere cv-ketels en systemen, thermostaten en (zonne)boilers. In 80 jaar is Remeha uitgegroeid tot een internationaal bedrijf met ruim 500 werknemers en een jaaromzet van circa 300 miljoen euro.

In 2004 nam Remeha de Franse cv-fabrikant De Dietrich Thermique over en vijf jaar later het Engels-Italiaanse Baxi Group, waarna sinds 2009 de groep BDR Thermea is gevormd. Door de krachten te bundelen is BDR Thermea, met haar jaaromzet van circa 1,8 miljard euro, uitgegroeid tot de twee na grootste speler in de Europese markt op het gebied van verwarming- en sanitair warmwatersystemen.

Dit onderzoek zal gaan over de onderhoudsmethodiek van de assemblagelijnen. In de productiehal in Apeldoorn heeft Remeha de beschikking over zes verschillende assemblagelijnen; Tzerra, Quinta Ace, Gas 310, Calenta, Quinta en de Avanta. Van deze lijnen is de Tzerra-baan het meest geavanceerd.

Om context te geven aan de opdracht binnen organisatie van Remeha is het organigram in Figuur 1 toegevoegd. De stakeholders van het onderzoek zijn grijs gearceerd.



Figuur 1: Organigram van de afdeling Operations binnen Remeha

1.2 Aanleiding

Remeha hanteert sinds anderhalf jaar Total Productive Maintenance (TPM) en streeft daarmee naar het continu verbeteren van haar processen. De afdeling Production Support stelt dat de machines van de Tzerra-baan met 88,30% machinebeschikbaarheid voldoende beschikbaar zijn, echter er is mogelijk nog ruimte voor verbetering. Een bepalende factor in de machinebeschikbaarheid is het aantal storingen. Storingen kunnen mogelijk voorkomen worden of de schade van storingen beperkt worden door adequaat onderhoud. De afdeling ziet daarom graag de huidige manier van onderhoud geanalyseerd om te zien of dit de juiste is of dat er mogelijkheden zijn tot verbetering. Op basis van ervaring voert de afdeling Maintenance preventief onderhoud uit aan de hand van een vast patroon, waarbij om de zes weken één baan wordt behandeld. De huidige onderhoudsmethodiek zal in Hoofdstuk 2 worden toegelicht.

De manager Production Support en de Director Operations zien graag geanalyseerd of Remeha momenteel het juiste onderhoudsinterval hanteert en of ze wel de juiste onderdelen preventief vervangen. Zij zien mogelijkheden om dit te analyseren met de methode Level of Repair Analyses (LORA). In Hoofdstuk 3 zal de toepasbaarheid van onder andere deze theorie worden besproken. Het doel van dit onderzoek vanuit Remeha sluit aan bij de strategische doelstellingen die de afdeling Production Support hanteert:

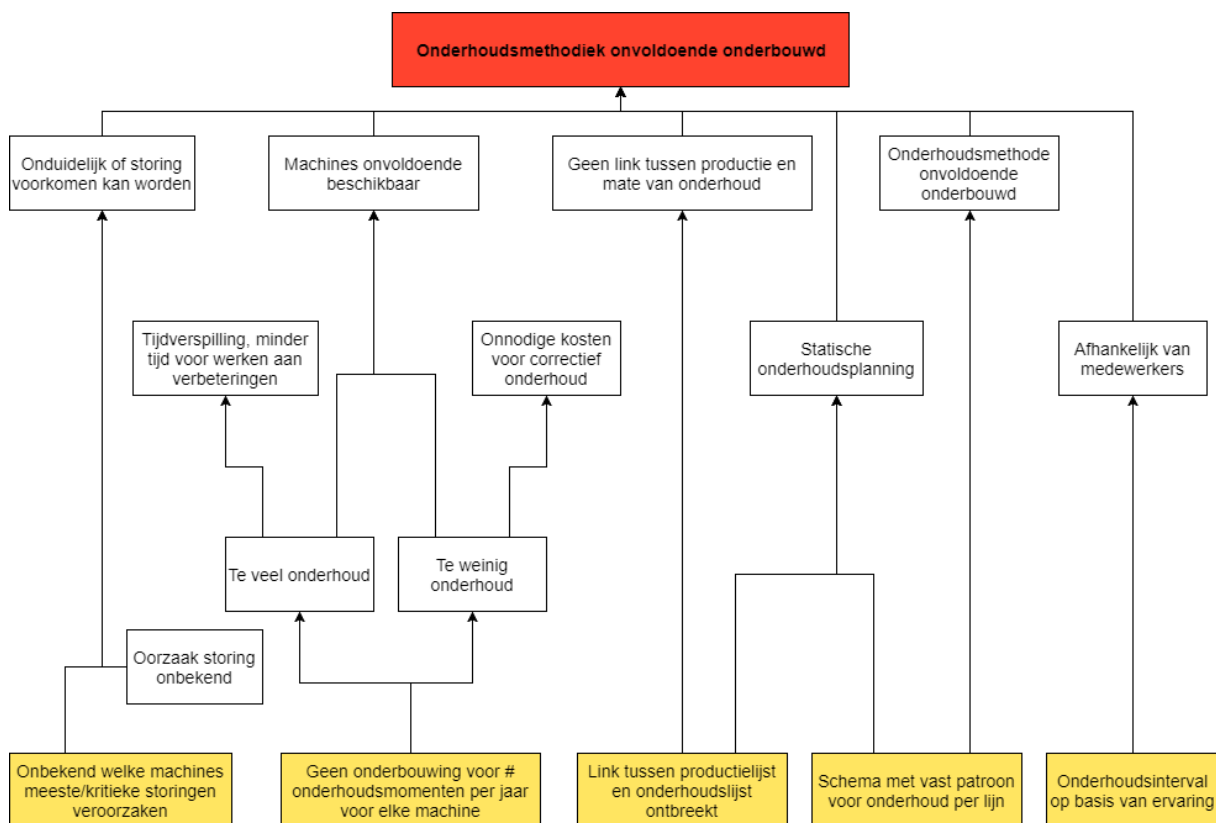
- Het verhogen van de machinebeschikbaarheid als onderdeel van TPM;
- Het verminderen van de tijd te besteden aan preventief onderhoud (zodat de onderhoudsdienst zich meer kan richten op verbeteringen);
- Streven naar een optimale inrichting voor de maintenance omgeving.

Het doel van het onderzoek is het analyseren van de huidige onderhoudsmethodiek om te bepalen of deze juist is. Zo ja, dan wil Remeha graag zien dat het onderhoudsmethodiek theoretisch onderbouwd wordt. Zo nee, dan inzichtelijk maken waar mogelijke verbeteringen liggen. Indien uit het onderzoek blijkt dat er verbeteringen mogelijk zijn ziet Remeha graag concrete aanbevelingen hoe deze verbeteringen te realiseren zijn. Hierbij wordt gezocht naar een optimum tussen machinebeschikbaarheid en de kosten om deze machinebeschikbaarheid te realiseren. In Paragraaf 1.3 wordt daarom onderzocht of er een probleem is te identificeren dat de machinebeschikbaarheid belemmert.

1.3 Probleemidentificatie

Voor het uitvoeren van dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de Algemene Bedrijfskundige Aanpak (ABP) van Heerkens (2012). Deze paragraaf beschrijft de eerste stap in de ABP; het identificeren van problemen zodat met behulp van een probleemkluwen de samenhang van deze problemen in kaart gebracht kan worden. Een probleemkluwen is een hulpmiddel om tot de kern van het probleem te komen (Heerkens, 2012).

De afdeling Production Support/Maintenance binnen Remeha hanteert momenteel een onderhoudsmethodiek op basis van ervaring, waarbij machines (preventief) onderhouden worden. Echter, de gewenste situatie vanuit de afdeling is een met theorie en data onderbouwde optimalisatie van de onderhoudsmethodiek voor het preventieve onderhoud met als doel de machinebeschikbaarheid te verhogen. De huidige onderhoudsmethodiek is niet onderbouwd met theorie of data. Dit is het probleem dat in dit verslag onderzocht gaat worden. Om dit probleem op te lossen zal er onderzoek gedaan moeten worden naar de huidige onderhoudsmethodiek om vervolgens uitspraken te kunnen doen over mogelijke verbeteringen. De kosten voor machinebeschikbaarheid dienen in acht genomen te worden.



Figuur 2: Probleemkluwen van de huidige onderhoudsmethodiek

Figuur 2 is een visuele weergave van de probleemkluwen voor de onderhoudsmethodiek. De probleemkluwen is opgedeeld in verschillende takken. Elke tak vormt een groep van samenhangende problemen die samen een keten vormen. De oranje vlakken zijn de hoofdoorzaken van de verschillende ketens en worden ook wel de kernproblemen genoemd. De kernproblemen worden als volgt beschreven:

Onbekend welke machines meeste/kritieke storingen veroorzaken

Het is de afdeling Production Support/Maintenance niet volledig duidelijk welke machines welke kritieke storingen veroorzaken. Een kritieke storing is een storing die direct leidt tot vermindering van machinebeschikbaarheid. Het is onduidelijk waarom bepaalde machines storingen veroorzaken, maar

het is vooral onduidelijk of de storingen voorkomen hadden kunnen worden en op welke manier. Momenteel worden in een database de storingstijden van alle machines bijgehouden. Echter, niet elke storing is kritiek voor de productievoortgang. Het kan zijn dat een machine twee uur in storing staat zonder effect op de productie terwijl een andere machine twintig minuten storing heeft waardoor de gehele productielijn voor twintig minuten stil staat. In dit voorbeeld heeft de tweede machine grote invloed op de productie, waardoor een storing van deze machine wordt gezien als een kritieke storing.

Geen onderbouwing voor het aantal onderhoudsmomenten per jaar voor elke machine

Eind 2015 is Remeha begonnen met het implementeren van Total Productive Maintenance (TPM). Destijds is door de afdeling Production Support in samenwerking met Maintenance een schema opgesteld, zonder onderbouwing, waarbij zij hebben bepaald hoe vaak de verschillende machines per jaar onderhouden moeten worden. Zo worden bijv. de droogtestmachines en de GasAir twee keer per jaar onderhouden en de CO₂ filters twee keer per week vervangen.

Link tussen productielijst en onderhoudslijst ontbreekt

De productie van ketels is bij Remeha is: 'Build-to-Order'. Er wordt slechts een beperkt aantal ketels voor de Nederlandse markt op voorraad gemaakt. De verkoop van cv-ketels is duidelijk seizoen afhankelijk. In 2016 was het aantal productie-uren bij Remeha verdeeld in laagseizoen (7uur productie) en hoogseizoen (9uur productie). Het onderhoudsschema is echter niet gekoppeld aan het aantal uur dat de machine daadwerkelijk in gebruik is.

Schema met vast patroon voor onderhoud per lijn

Op basis van ervaring hebben medewerkers van de afdeling Production Support en de Maintenance een schema opgesteld (Tabel 8, §2.3.1) waarbij om de zes weken een andere baan aan de beurt is voor onderhoud en verbeteringen aan deze baan. Er wordt een statisch patroon gehanteerd met elke keer dezelfde volgorde van banen, ongeacht het gebruik en de status van de banen. Het oplossen van storingen op een andere baan hebben voorkeur boven preventief onderhoud of andere werkzaamheden aan een baan. Voor het gemak is gekozen om een tijd-gebaseerde planning aan te houden, echter is het niet onderbouwd of deze keuze voor elk onderdeel optimaal is.

Onderhoudsinterval op basis van ervaring

Het onderhoudsinterval dat momenteel wordt gehanteerd is opgesteld op basis van ervaring van medewerkers van de afdeling Production Support en de Maintenance. Een onderdeel van Total Productive Maintenance is het standaardiseren van werkprocessen. Momenteel is de planning van het onderhoudsinterval nog niet gestandaardiseerd en hierdoor afhankelijk van de ervaring van medewerkers.

1.3.1 Hoofdvraag

De afdeling Production Support/Maintenance ziet graag resultaat op de volgende gebieden: De onderhoudsmethodiek moet theoretisch onderbouwd worden. Kijkend naar de huidige onderhoudsmethodiek dient gekeken te worden naar mogelijke verbeteringen in de onderhoudsplanning. Gebruikmakend van het theoretisch perspectief en het inzicht in de huidige situatie dient gezocht te worden naar een optimum tussen de machinebeschikbaarheid en de kosten om dit resultaat te bereiken. Om aan deze behoefte te voldoen en om de afdeling Production Support/Maintenance van voldoende kennis te voorzien is een hoofdvraag opgesteld;

“Welke onderhoudsmethode is het meest geschikt om de machinebeschikbaarheid van Remeha te optimaliseren?”

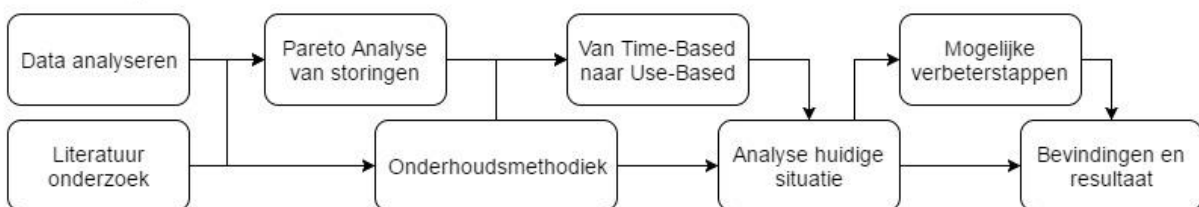
De onderhoudsmethodiek is een combinatie van het onderhoudsinterval, waar wordt bepaald wanneer welke machine wordt onderhouden, en de werkzaamheden die uitgevoerd dienen te worden. Wegens de complexiteit van de opdracht is de afbakening van het onderzoek beschreven in Paragraaf 1.6. De conclusies van het onderzoek wordt beschreven in Hoofdstuk 5.

1.4 Probleemaanpak

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden dient eerst in kaart gebracht te worden wat de huidige- en gewenste situatie is. Er dient sprake te zijn van een norm en een realiteit. De realiteit is de huidige stand van zaken en de norm is de gewenste situatie (Heerkens, 2012).

Het doel van dit onderzoek is om een theoretisch onderbouwd onderhoudsmethodiek op te stellen waarbij wordt gezocht naar een optimum tussen de machinebeschikbaarheid en de kosten. Het is voor Remeha van groot belang dat de oplossing gemakkelijk te implementeren is, dit houdt in dat er naast theoretische modellen een sterke link naar de praktijk gelegd moet worden. Om dit doel te kunnen bereiken is de hoofdvraag in een viertal onderdelen opgesplitst. Deze onderdelen zullen in Paragraaf 1.4 worden ondersteunt met deelvragen om het onderdeel te kunnen beschrijven. Hoofdstuk 2 beschrijft de huidige situatie bij Remeha in drie opzichten: machinebeschikbaarheid, storingsanalyse en onderhoud. In Hoofdstuk 3 wordt het literatuuronderzoek beschreven. Tijdens het literatuuronderzoek wordt gebruik gemaakt van databanken Scopus en Google Scholar om relevante artikelen te zoeken. Vervolgens zal in Hoofdstuk 4 de literatuur en de analyse van de huidige situatie samen komen tot mogelijke oplossingen welke toepasbaar zijn voor Remeha. De conclusies en resultaten van het onderzoek worden in Hoofdstuk 5 beschreven in de vorm van aanbevelingen.

Plan van aanpak



Figuur 3: Visuele weergave van de probleemaanpak

Bovenstaande Figuur 3 is een visuele weergave van de probleemaanpak voor het onderzoek. Aan de hand van deze stappen zal uiteindelijk een resultaat op de gestelde hoofdvraag worden gevonden.

1.4.1 Deelvragen

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden is een aantal deelgebieden met deelvragen opgesteld:

1. De huidige situatie van onderhoud bij Remeha

- a. Wat is de machinebeschikbaarheid per machine? § 2.1
- b. Welke type storingen komen met welke frequentie voor? § 2.2
- c. Hoe ziet de huidige onderhoudsmethodiek eruit? § 2.3

Deze vragen worden gesteld om de huidige situatie van onderhoud te beschrijven en een overzicht te geven van de type storingen met de frequentie ervan.

2. Onderhoudsmethoden uit de literatuur

- a. Welke onderhoudsmethoden worden beschreven in de literatuur? § 3.1
- b. Op welke wijze zijn deze onderhoudsmethoden toepasbaar voor Remeha? § 3.4

Met het beantwoorden van deze vragen wordt gezocht naar een overzicht van onderhoudsmethoden met een beschrijving in welke mate deze toepasbaar zijn voor Remeha.

3. De beste oplossingen voor onderhoud bij Remeha

- a. Welke restricties van zijn toepassing bij de optimalisatie van de machinebeschikbaarheid met betrekking tot het onderhoudsmethodiek? § 4.3
- b. Op welke wijze dient er onderscheid gemaakt te worden tussen preventief en correctief onderhoud aan de machines? § 4.5

Door deze vragen te beantwoorden wordt gezocht naar een beschrijving van een onderhoudsmethodiek dat voldoet aan de gestelde eisen, waardoor het onderhoudsconcept op maat gemaakt is voor Remeha.

4. Aanbevelingen

- a. Welke stappen moeten worden ondernomen om de gevonden oplossingen te implementeren? § 4.6
- b. Hoe is de nieuwe methode van onderhoud te implementeren? § 4.4
- c. Hoe is dit te implementeren in een nieuwe planning? § 4.7

Bij het beantwoorden van deze vragen wordt gezocht naar een aanbevelingsplan om de resultaten van dit onderzoek te implementeren.

1.5 Deliverables

In deze paragraaf wordt beschreven welke deliverables aan het eind van het onderzoek opgeleverd zullen worden. De deliverables van de verschillende onderdelen van het onderzoek zijn als volgt:

1. De huidige situatie van onderhoud bij Remeha

- a. Een beschrijving van de huidige situatie van onderhoud aan de productielijnen; § 2.3
- b. Een beschrijving van machines die kritieke invloed hebben op de machinebeschikbaarheid; § 2.2

2. Onderhoudsmethoden uit de literatuur

- a. Een beschrijving van onderhoudstheorieën welke voor Remeha van toepassing zijn; § 3.1
- b. Een stappenplan voor het kiezen van onderhoudsvormen. § 3.3

3. De beste oplossingen voor onderhoud bij Remeha

- a. Een beschrijving van de nieuwe situatie waarin de mogelijke verbeterstappen voor de onderhoudsmethodiek worden beschreven. hfd. 4

4. Aanbevelingen

- | | |
|--|-------|
| a. Aanbevelingen voor implementatie van de nieuwe onderhoudsmethodiek; | § 4.6 |
| b. Stappenplan voor uitbreiden van dit onderzoek naar andere productiebanen. | § 5.2 |

1.6 Afbakeningen

Omwille van de beperkte beschikbare tijd en de complexiteit van het onderzoek wordt er een gebied afgebakend. De duur van het onderzoek zal tussen de tien en vijftien weken bedragen. Opbrengsten van het onderzoek zullen conclusies en aanbevelingen zijn. Voor het onderzoek wordt data gebruikt uit 2016 van slechts één productiebaan, namelijk de Tzerra-baan. De uitkomst van het onderzoek levert inzicht in de huidige onderhoudsmethodiek en (indien mogelijk) aanbevelingen voor een optimale onderhoudsmethodiek met daarbij uitleg over de gemaakte stappen zodat deze kennis de basis kan vormen voor de implementatie bij de andere productiebanen. De daadwerkelijke implementatie van een nieuwe onderhoudsmethodiek valt buiten de scope van dit onderzoek.

De focus van het onderzoek ligt op:

- Tzerra-baan
- Data uit 2016
- Onderhoudsmethodieken
- Onderhoudsschema op machineniveau
- Planning van onderhoud
- Storingstijden op machineniveau
- Machinebeschikbaarheid

De overige productiebanen worden tijdens dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. Er wordt slechts een aanbeveling gedaan over hoe de methode toegepast kan worden op de andere productiebanen. Tijdens het onderzoek wordt niet gekeken naar mogelijke technische verbeteringen aan machines of onderdelen.

Stakeholders

Bij het onderzoek zijn verschillende partijen betrokken. Het belang dat elke partij bij het onderzoek heeft zal kort worden toegelicht. De afdeling Production Support ziet graag de productielijnen geanalyseerd met betrekking tot het onderhoudsschema: Wat er te weinig of juist te veel onderhouden? Worden de juiste machines onderhouden? Hiernaast wil de afdeling graag een onderbouwing met theorie en data van de onderhoudsplanung inclusief eventuele verbeteringen. De afdeling hoopt op een efficiënte onderhoudsplanung waarbij kosten in acht worden genomen en er wordt gestreefd naar een hoge machinebeschikbaarheid.

De afdeling Maintenance (hierna te noemen OHD, van onderhoudsdienst) is verantwoordelijk voor het uitvoeren van het preventief en correctief onderhoud en is daarom gebaat bij een heldere en het liefst een gestructureerde planning voor het werk dat zij moet verrichten. De afdeling Maintenance ziet niet graag dat haar werklust verhoogd wordt. De OHD is gebaat bij een planning waarbij zij tijdens de reguliere werktijden van de productiemedewerkers kan opereren.

De Director Operations is als eindverantwoordelijke van de gehele productie niet dicht bij het onderzoek betrokken, maar toch ziet hij graag een positief resultaat van het onderzoek waarbij de machinebeschikbaarheid wordt verhoogd zonder dat de kosten hiervoor omhoog gaan. De Director Operations is gebaat bij hoge waarden voor OEE en machinebeschikbaarheid.

Data analyse

- Kwalitatieve data

Door middel van het houden van interviews met productiemanager, teamleiders en medewerkers van de afdeling Production Support en Maintenance zal kwalitatieve data worden verkregen. Deze gegevens en antwoorden op de gestelde vragen bieden sturing aan de kwantitatieve data.

- Kwantitatieve data

Kwantitatieve data van de verschillende productielijnen wordt verkregen vanuit de rapportages die Remeha wekelijks heeft opgesteld in Microsoft Excel over de afgelopen anderhalf jaar. Sinds 2017 wordt het softwareprogramma EMI: EKB Manufacturing Intelligence (hierna te noemen EKB software) gebruikt om de data weer te geven en te analyseren. Het programma kan worden gebruikt om dashboards te creëren voor visuele weergaven van de data. Eind 2015 is begonnen met het systematisch registreren van data van de productielijnen in het kader van TPM. De data van 2016 zal worden gebruikt voor dit onderzoek naar een gepaste onderhoudsmethodiek, omdat dit het eerste volledige jaar is dat gegevens van de productielijnen worden geregistreerd. De vorm van de data uit 2016 komt niet overeen met de stijl van de EKB software. Ik herschrijf daarom de data van 2016 in Excel naar de stijl van de EKB software zodat toekomstige data gemakkelijk in de analyses kan worden verwerkt.

Limitatie van het onderzoeksplan

Rekening houdend met de complexiteit en de duur van het project is de opdracht afgebakend. De scope van het onderzoek is in samenwerking met de begeleiders vanuit Remeha en de Universiteit Twente bepaald. De focus van het onderzoek zal liggen op één productielijn, namelijk de Tzerra-lijn. Er is gekozen voor de Tzerra-lijn omdat dit de meest ontwikkelde productielijn is, die mogelijk gebruikt gaat worden als voorbeeld voor inrichting van toekomstige productielijnen. Tevens is van deze lijn de meeste data beschikbaar. Binnen de productielijn zal onderzoek worden gedaan op machineniveau. Het doel is om de onderhoudsmethodiek in de vorm van aanbevelingen en een stappenplan uiteindelijk ook uit te kunnen breiden naar de overige productielijnen.

Navigatie door het document

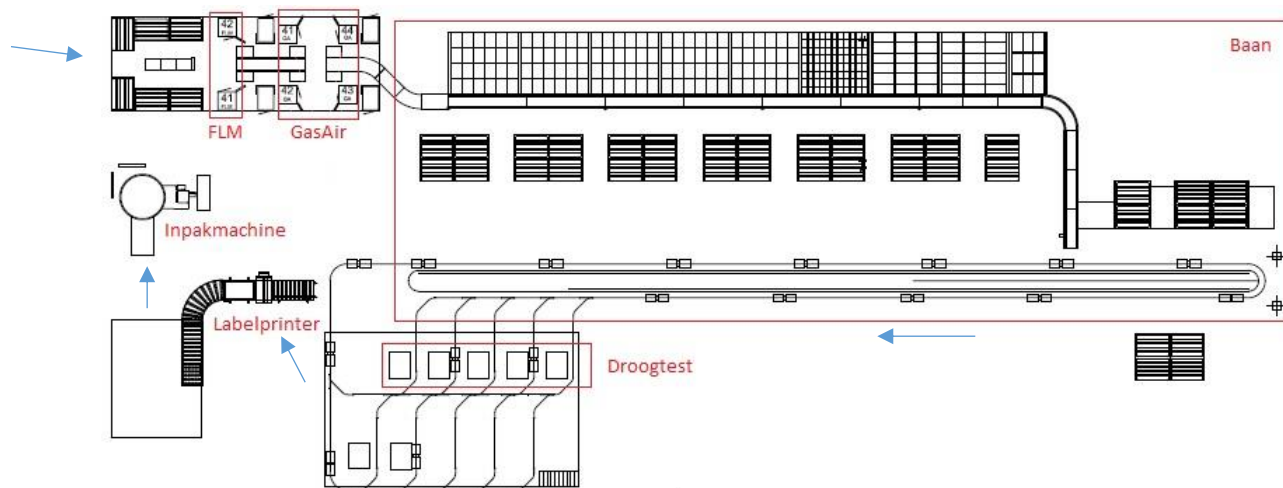
Voor de navigatie door het document is hieronder een overzicht waarin beschreven wordt welke aspecten in welk hoofdstuk aanbod komen:

- Hoofdstuk 1: Inleiding, probleemidentificatie, onderzoeksvragen en afbakening van het onderzoek.
- Hoofdstuk 2: Beschrijving van de huidige situatie op basis van de machinebeschikbaarheid, storingsanalyse en onderhoud.
- Hoofdstuk 3: Literatuuronderzoek naar theorieën die de onderhoudsmethoden onderbouwen. Beschrijving van een stappenplan om tot de geschikte onderhoudsmethoden te komen.
- Hoofdstuk 4: Oplossingen voor Remeha op basis van beschikbare data en het literatuuronderzoek voor het onderbouwen van de onderhoudsmethode en mogelijke verbeterstappen worden besproken.
- Hoofdstuk 5: Conclusies van het onderzoek naar de geschikte onderhoudsmethode voor Remeha.
- Hoofdstuk 6: Discussie over de validiteit van het onderzoek en aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

2. Huidige situatie

In dit hoofdstuk wordt de huidige situatie van onderhoudswerkzaamheden bij Remeha besproken. De huidige situatie zal worden toegelicht in een drietal onderdelen: machinebeschikbaarheid, storingsanalyse en onderhoudsplanning. Het doel van dit hoofdstuk is een beschrijving geven van de huidige situatie bij Remeha om vervolgens te concluderen waar de aandachtspunten voor dit onderzoek in de huidige situatie liggen.

Dit onderzoek focust zich (zie Paragraaf 1.6) op de Tzerra-baan waar momenteel op jaarbasis meer dan 90.000 cv-ketels worden geassembleerd. De plattegrond van de Tzerra-baan is in Figuur 4 weergegeven.



Figuur 4: Plattegrond van de Tzerra-baan

De assemblage van een cv-ketel bestaat uit het doorlopen van meerdere stations. Enkele stations bestaan uit meerdere machines, echter de ketel gaat per station slechts langs één machine. Een ketel doorloopt het systeem op deze volgorde: FLM, GasAir, Baan, Droogtest, Labelprinter en tot slot Inpakmachine. De Tzerra-baan is de meest geavanceerde baan van Remeha en bevat sensoren die de status van het systeem monitoren. Met behulp van deze sensoren en scanners wordt data verzameld in een database om hier vervolgens analyse over te kunnen doen.

De ketels die bij op deze baan worden geassembleerd zijn allen 'Build-to-Order'. Om aan deze vraag te kunnen voldoen is het van groot belang dat de machines voldoende beschikbaar zijn. Als de machines niet beschikbaar zijn voor productie kan er niet aan de vraag van de klant worden voldaan, daarom is het van groot belang dat de machines voldoende beschikbaar zijn om aan deze vraag te kunnen voldoen. De verkoop van cv-ketels is seizoen afhankelijk. Deze seizoen afhankelijkheid is ook te merken in de productie. In de periode van januari tot juni worden er minder ketels geproduceerd (37.210 ketels in 2016), dit wordt gezien als het laagseizoen. In de periode van juli tot december, het hoogseizoen, worden aanzienlijk meer ketels geproduceerd (55.358 ketels in 2016). In 2016 werd er voor het aantal productie-uren per dag onderscheid gemaakt tussen hoog (9 uur per dag) en laagseizoen (7 uur per dag). Sinds 1 januari 2017 is dit verschil in productie-uren per dag afgeschaft en wordt er elke dag 8 uur gewerkt.

2.1 Machinebeschikbaarheid

Om aan de vraag voor productie te kunnen voldoen dienen machines beschikbaar te zijn om de ketels te assembleren. Het is daarom voor Remeha gewenst dat de machines zoveel mogelijk beschikbaar zijn. De beschikbaarheid van een machine op een dag wordt berekend door de tijd die een machine in storing staat af te trekken van het aantal productie uren voor die dag en dit geheel vervolgens te delen door het aantal productie uren voor die dag. Tabel 1 geeft de machinebeschikbaarheid per machine weer. Geplande stilstand voor bijvoorbeeld preventief onderhoud, 196 uur wat gelijk staat aan 10,5% van het totaal aantal productie-uren, is niet in dit overzicht met machinebeschikbaarheid opgenomen maar wordt wel binnen reguliere productie-uren ingepland. De totale beschikbaarheid van de Tzerra-baan wordt door de afdeling Production Support berekend door de percentages van alle machines met elkaar te vermenigvuldigen. De machinebeschikbaarheid voor de Tzerra-baan in 2016 komt uit op 88,30%. Deze manier van berekenen van de totale machinebeschikbaarheid geeft een ander beeld dan de werkelijke route die een ketel in het systeem aflegt, omdat een ketel van elk station slechts één machine doorloopt. Stel er zou gebruik worden gemaakt van een gemiddelde beschikbaarheid per station, dan zal de totale machinebeschikbaarheid uitkomen op 92,98%, hierbij wordt rekening gehouden met het feit dat er tenminste één machine per station beschikbaar is. In Hoofdstuk 4 zal de worden toegelicht hoe in dit onderzoek de machinebeschikbaarheid berekend wordt.

<i>Machinebeschikbaarheid Tzerra 2016</i>	<i>Gemiddeld per station</i>	
<i>DT 41</i>	99,51%	
<i>DT 42</i>	99,12%	
<i>DT 43</i>	99,68%	
<i>DT 44</i>	99,70%	
<i>DT 45</i>	99,65%	99,53%
<i>FLM41</i>	99,60%	
<i>FLM42</i>	99,32%	99,46%
<i>Gas-Air 41</i>	98,34%	
<i>Gas-Air 42</i>	99,33%	
<i>Gas-Air 43</i>	99,54%	
<i>Gas-Air 44</i>	99,16%	99,09%
<i>Inpak</i>	99,12%	99,12%
<i>Printer</i>	98,42%	98,42%
<i>Diversen/Baan</i>	98,49%	98,49%
<i>Netwerk</i>	98,65%	98,65%
<i>Machinebeschikbaarheid</i>	88,30%	92,98%

Tabel 1: Machinebeschikbaarheid per station Tzerra-baan 2016

Aantal medewerkers

Het aantal medewerkers dat werkzaam is aan de Tzerra-baan is afhankelijk van de benodigde productie per dag. De Production Manager heeft een schema opgesteld waar wordt bepaald hoeveel medewerkers nodig zijn om te kunnen voldoen aan de hoeveelheid productie met de hierbij behorende taktijden. Wegens bedrijfsgevoelige informatie zal dit schema niet verder worden toegelicht en wordt er voor verdere berekeningen gewerkt met vereenvoudigde getallen. In 2016 was de bezetting voor de Tzerra-baan gedurende het laagseizoen en hoogseizoen respectievelijk 18 en 24 mensen per dag. Het aantal baanmedewerkers is relevant omdat dit een graadmeter is voor de kosten voor machinestilstand en het is een van de factoren voor het bepalen van de snelheid van de baan.

Kosten

Als er door machinestilstand niet kan worden geproduceerd gaat dit gepaard met verhoogde productiekosten en potentieel productieverlies. De kosten voor een uur productiestilstand van de Tzerra-baan wordt door de Production Manager berekend door het aantal medewerkers aan de baan te vermenigvuldigen met 30 euro aan loonkosten voor de baanmedewerkers, omdat bij machinestilstand de medewerkers in feite worden betaald om stil te staan. De kosten voor medewerkers van bijvoorbeeld de Support afdeling en eventuele kosten voor magazijnopslag, logistiek, reputatieverlies worden buiten beschouwing gelaten. Mochten deze kosten wel worden meegerekend dan zal het totaal aan kosten voor het niet beschikbaar zijn van machines hoger zijn. De focus van dit onderzoek ligt niet op de exacte kosten hiervoor, daarom wordt gerekend met de versimpelde variant die eveneens door Remeha wordt gebruikt, namelijk € 30/uur per medewerker die stilstaat door een storing. In Appendix A.1 Figuur 17 is met behulp van een gevoeligheidsanalyse beschreven wat de invloed van de parameters is op de totale kosten. Hieruit blijkt dat een verandering van de parameter machinebeschikbaarheid het meeste effect heeft op de totale kosten.

	<i>Aantal medewerkers</i>	<i>Kosten per uur</i>	<i>Aantal uur productie</i>	<i>Machinebeschikbaarheid</i>	<i>Totaal</i>
<i>Laagseizoen</i>	18	€ 30,00	875	88,08%	€ 56.322,00
<i>Hoogseizoen</i>	24	€ 30,00	990	88,61%	€ 81.187,92
					€ 137.509,92

Tabel 2: Berekening van de kosten door machinestilstand Tzerra-baan in 2016

De totale hoeveelheid kosten door stilstand van de machines van de Tzerra-baan wordt in Tabel 2 berekend door het aantal medewerkers en de kosten per uur te vermenigvuldigen met het aantal uur productie maal 100% min de machinebeschikbaarheid (door Remeha berekend, zie Tabel 1). Hierin is een splitsing gemaakt tussen het laag seizoen en het hoog seizoen omdat zowel het aantal productie-uren als medewerkers verschilt in deze twee periodes. De kosten voor het niet beschikbaar zijn van de machines voor de Tzerra-baan in 2016 zijn € 137.509,92 (zie Tabel 2).

2.2 Storingsanalyse

De oorzaak dat machines niet beschikbaar zijn voor productie ontstaat door het optreden van een storing. De storingen zullen in deze paragraaf worden toegelicht om een beeld te geven welke soort storingen er optreden en met welke frequentie.

2016	Storingstijd	# storingen
Laagseizoen	105:51:00	256
Hoogseizoen	125:55:34	259
Totaal	231:46:34	515

Tabel 3: Overzicht van het aantal storingen en de totale storingstijd in het laag- en hoogseizoen van de Tzerra-baan in 2016

In het overzicht in Tabel 3 is het totaal aan storingstijd (hh:mm:ss) en het aantal storingen van de Tzerra-baan in 2016 uitgesplitst in het laag- en hoogseizoen weergegeven. In Tabel 12 in Appendix A.2 is de storingstijd en het aantal storingen per machine weergegeven. Hieruit blijkt dat in het hoogseizoen twintig uur meer storing is opgetreden dan in het laagseizoen. Op machine niveau hebben de meeste machines meer storingen in het hoogseizoen, maar er zijn machines die juist minder storingen hadden in het hoogseizoen. Gedurende het hoogseizoen ook meer productie-uren zijn gedraaid. In werkelijkheid is er geen significant verschil in de totale storingstijd in vergelijking met het aantal productie-uren tussen het laagseizoen en het hoogseizoen (zie Tabel 4). Kijkend naar het aantal storingen is er eveneens geen significant verschil zichtbaar.

	# uur productie	# uur storing	% (storing / productie)
Laagseizoen	875	105:51:00	12,10%
Hoogseizoen	990	125:55:34	12,72%

Tabel 4: De verhouding tussen het aantal uur productie en het aantal uur storing voor het laag- en hoogseizoen in 2016

De storingen zullen nu worden geanalyseerd, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de volgende categorieën: mechanisch, software, elektrisch en ICT. Deze splitsing tussen deze categorieën wordt gemaakt omdat er op deze manier per soort storing onderzocht kan worden welke onderhoudsmethodiek toepasbaar is. Het is door het opsplitsen in deze categorieën ook mogelijk om onderscheid te maken welke storingscategorieën in dit onderzoek wel of niet worden behandeld.

<i>Machine</i>	<i>Elektrisch</i>	<i>% totaal</i>	<i>Mechanisch</i>	<i>% totaal</i>	<i>Software</i>	<i>% totaal</i>	<i>ICT</i>	<i>% totaal</i>	<i>Storingstijd</i>
<i>baan</i>	13:30:46	40%	16:11:49	48%	4:05:00	12%			33:47:35
<i>DT41</i>	2:04:00	21%	6:18:00	63%	1:38:00	16%			10:00:00
<i>DT42</i>	3:00:00	17%	14:40:00	83%					17:40:00
<i>DT43</i>	1:06:00	19%	4:10:33	72%	0:33:00	9%			5:49:33
<i>DT44</i>	1:57:02	33%	2:57:00	49%	1:05:00	18%			5:59:02
<i>DT45</i>	1:15:25	19%	3:49:15	57%	1:35:05	24%			6:39:45
<i>FLM41</i>	4:04:00	50%	2:29:13	31%	1:33:00	19%			8:06:13
<i>FLM42</i>	2:37:00	21%	3:53:00	31%	5:59:00	48%			12:29:00
<i>GA41</i>	23:09:00	71%	7:37:06	24%	1:37:00	5%			32:23:06
<i>GA42</i>	6:38:00	48%	5:17:41	39%	1:47:00	13%			13:42:41
<i>GA43</i>	5:46:00	69%	1:36:39	19%	0:59:00	12%			8:21:39
<i>GA44</i>	5:54:00	41%	4:21:00	30%	4:02:00	28%			14:17:00
<i>inpak</i>	0:54:00	7%	12:04:00	89%	0:34:00	4%			13:32:00
<i>labelprinter</i>	13:07:00	50%	10:10:00	39%	2:47:00	11%			26:04:00
<i>Netwerk</i>							22:55:00	100%	22:55:00
<i>Totaal</i>	85:02:13	37%	95:35:16	41%	28:14:05	12%	22:55:00	10%	231:46:34

Tabel 5: Overzicht van de storingstijden uitgesplitst in de categorieën: mechanisch, elektrisch, software en ICT

De storingen op het gebied van ICT worden in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten omdat deze storingen worden veroorzaakt door externe factoren waar Production Support geen invloed op heeft. In de theorie wordt beschreven dat 30.3% van de elektrische storingen wordt veroorzaakt door loszittende onderdelen en connecties (Glennon, 2013). Uit Tabel 6 blijkt dat dit bij Remeha in (8% / 31,7% = 25%) 25% van het aantal elektrische storingen het geval is.

Om uitspraken te kunnen doen of storingen te beïnvloeden zijn door bijvoorbeeld preventief onderhoud zijn de storingen ook opgesplitst in vier typen storingen: Slijtage, willekeurig, inspectie en werkzaamheden. Hierbij vallen de typen slijtage en inspectie onder de categorie preventief onderhoud en de typen willekeurig en werkzaamheden vallen onder correctief onderhoud. Deze typen storingen zullen met behulp van een voorbeeld worden toegelicht. In Tabel 6 is de verdeling van deze typen beschreven.

Slijtage/kapot:

Slijtage: omvat storingen van onderdelen die onderhevig zijn aan slijtage of als de omschrijving van de storing bevat dat een onderdeel is stuk gegaan. Voorbeeld: DT44 Mech 01:40:00 "Sifonhouder los, schroefdraad defect. Nieuwe schroefdraad getapt en afgesteld".

Willekeurig

Willekeurig zijn storingen die zonder vooraankondiging optreden op een willekeurig moment. Ook gevallen waar de Productie medewerkers geen invloed op hebben zoals netwerk storingen vallen onder deze categorie. Voorbeeld van een willekeurig storing: "Geen verbinding tussen SAP en WCS".

Inspectie

Inspectie bevat storingen die zijn opgetreden die echter door een korte inspectie of een kleine handeling (aandraaien van schroeven, vervangen van batterijen) voorkomen had kunnen worden. Bij inspectie moet worden gedacht aan het aandraaien van losse onderdelen, schoonmaken van de baan, en het in een vroeg stadium ontdekken van fouten. Dit zijn taken die ook onder de TPM werkzaamheden vallen. Voorbeeld: "Sticker scheef op doos, stickerrol bijna op, extra teflon tape geplakt om het haken van de sticker tegen te gaan., nieuwe rol geplaatst, probleem over."

Werkzaamheden

Onder het type Werkzaamheden vallen de storingen die stilstand veroorzaken doordat er wordt gewerkt aan bepaalde onderdelen. Voorbeeld: "Productdrager 454, vergrendeling gerepareerd."

Percentage van de totale storingstijd

	Mechanisch	Elektrisch	Software	ICT	Totaal	Kosten
<i>Slijtage/kapot</i>	9,33%	0,00%	0,00%	0,00%	9,33%	€ 12.829,68
<i>Willekeurig</i>	10,72%	31,22%	12,96%	9,61%	64,50%	€ 88.693,90
<i>Inspectie</i>	14,73%	4,82%	0,35%	0,00%	19,91%	€ 27.378,23
<i>Werkzaamheden</i>	6,27%	0,00%	0,00%	0,00%	6,27%	€ 8.621,87
						€ 137.523,67

Tabel 6: Overzicht van de totale storingstijd van de categorieën per type storing en de bij behorende kosten voor deze storingstijden.

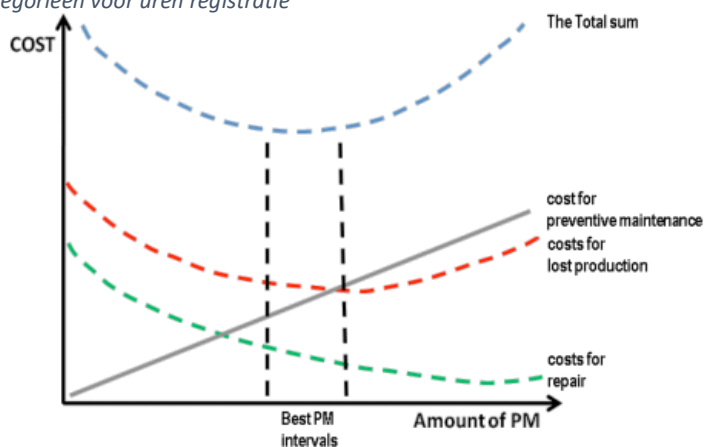
Uit Tabel 6 blijkt dat 64,5% van de storingstijd bestaat uit willekeurig opgetreden storingen. Meer dan 150 uur aan storingen treedt willekeurig op, zonder dat hier enige aanleiding voor is. In Hoofdstuk 4 wordt beschreven welke onderhoudsmethodiek het meest geschikt is voor elk type storing.

Uit Tabel 6 blijkt dat slechts 29% van de totale storingstijd kan worden beïnvloedt door preventief onderhoud (som Slijtage en Inspectie). Je kunt je dan afvragen of het nut heeft om te investeren in extra preventief onderhoud als dit enkel invloed heeft op 29% van de storingstijd. Om te laten zien wat de invloed van inspectiewerkzaamheden onder de noemer TPM-werkzaamheden is geweest maken we een vergelijking tussen gegevens uit 2015 en 2016, zie Tabel 7. Sinds 2015 wordt er data verzameld in Excel van de Tzerra-baan. Voordien werd slechts een paar dingen over storingen opgeschreven door de onderhoudsdienst, hier werd toen verder weinig mee gedaan. Als we 2015 vergelijken met 2016 (Tabel 7) is er te zien dat er in 2016 152 uur meer aan 'Vergaderen/opleiden' is geboekt en het aantal 'Storing techniek' is met 411 uur afgenomen. Dit is te verklaren door het feit dat de TPM werkzaamheden, welke een gunstig effect hebben op de storingstijd, zijn ingevoerd aan het eind van 2015. De uren voor deze werkzaamheden worden geboekt onder 'Vergaderen/opleiden', aldus de teamleider van de Tzerra-baan.

	Wachten materiaal	Vergaderen/opleiden	Storing techniek	Reparatie	Totaal
2015	144	386	1058	82	1669
2016	118	538	647	84	1386
Vershil	26	152	411	2	283

Tabel 7: Vergelijking tussen 2015 en 2016 voor enkele categorieën voor uren registratie

Aanvankelijk zal je denken als het effect van de TPM werkzaamheden daadwerkelijk zo groot is als beschreven in Tabel 7, waarom voer je dan niet meer van deze werkzaamheden uit? De TPM werkzaamheden zullen in Paragraaf 2.3.2 worden beschreven. Het effect van deze preventieve onderhoudsmethode zwakt af naarmate het meer wordt uitgevoerd. Het effect van de hoeveelheid preventief onderhoud ten opzichte van de kosten is in Figuur 5¹ grafisch weergegeven. In deze figuur is te zien dat als de hoeveelheid preventief

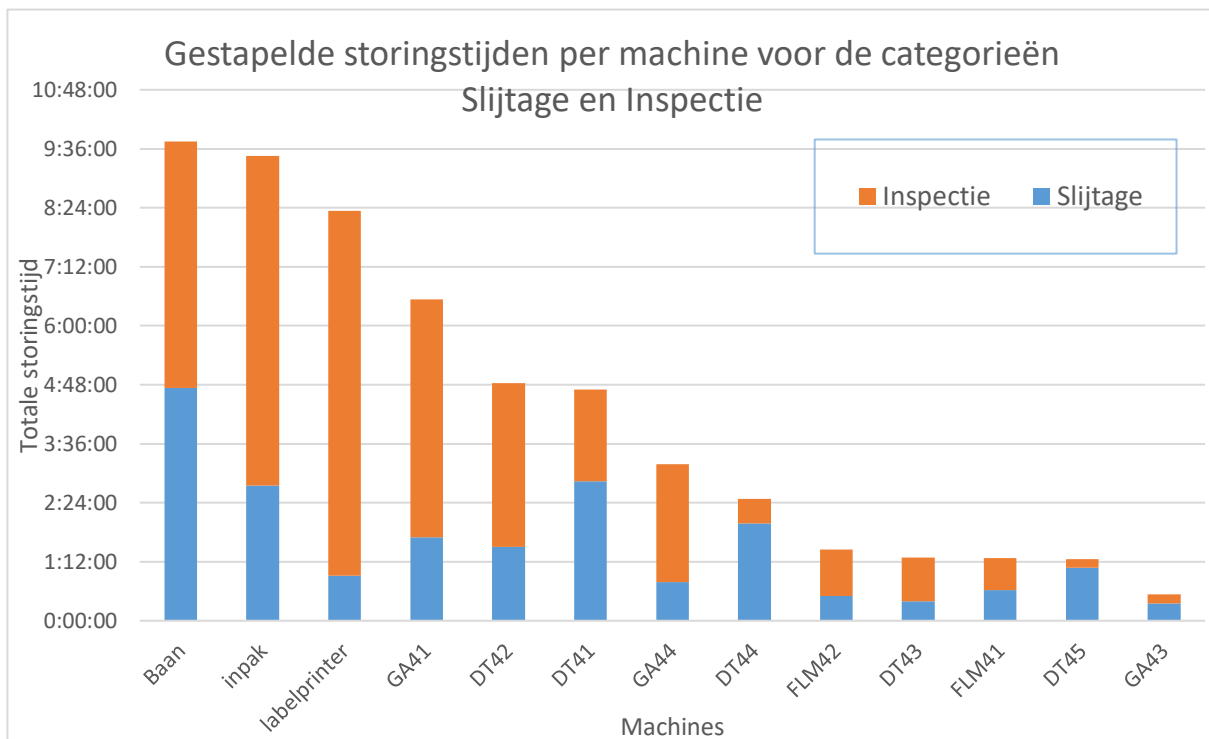


Figuur 5: Visuele weergave van het effect van de hoeveelheid preventief onderhoud ten opzichte van de kosten

¹ Geraadpleegd op 18 juli 2017 op: <http://www.temability.com/rom.html>

onderhoud toeneemt de kosten voor het repareren van storingen omlaag gaat. Echter, na een bepaalde mate van preventief onderhoud is dit onderhoud niet meer effectief waardoor de kosten weer zullen stijgen.

Onderstaande Figuur 6 geeft inzicht in welke machine de meeste storingstijd veroorzaken in de categorie “Inspectie” en “Slijtage”. Uit deze grafiek blijkt dat storingen aan de machines ‘baan’, ‘inpakmachine’ en ‘labelprinter’ het meest te beïnvloeden zijn ten opzichte van de overige machine als het gaat om inspectie of preventief onderhoud om slijtage tegen te gaan. Op basis van deze informatie zal in Hoofdstuk 4 aanbevelingen gedaan worden voor de onderhoudsvorm aan deze machines.



Figuur 6: Weergave van de gestapelde storingstijden per machine voor de categorieën Inspectie en Slijtage

2.3 Onderhoudsmethodiek

Sinds de invoering van TPM in 2015 wordt er gebruik gemaakt van een onderhoudsplanung. Voorheen werd enkel preventief onderhoud uitgevoerd tijdens het zomerreces. De onderhoudswerkzaamheden zijn nu verspreid over het gehele jaar. De schema's voor baanonderhoud (Tabel 8) en werkzaamheden voor de Tzerra-baan (Tabel 9) zullen worden toegelicht.

2.3.1 Huidige onderhoudsinterval

Het onderhoudsinterval voor de productielijnen van Remeha wordt in samenwerking tussen de afdeling Production Support/Maintenance en de Onderhoudsdienst opgesteld. De verschillende banen worden in een schema van zes weken verdeeld. Om de zes weken wordt onderhoud gepleegd aan de desbetreffende baan. Twee weken voorafgaand aan het geplande onderhoud vindt een vooroverleg tussen de productiemanager en de onderhoudsdienst plaats waarbij besproken wordt welke aspecten extra aandacht nodig hebben.

Baan	Vooroverleg	Uitvoering in deze week
Tzerra	Wk51	Wk1
Spare Parts & logistiek	Wk52	Wk2
Avanta / protobaan	Wk1	Wk3
Quinta Pro	Wk2	Wk4
G310 & Quinta ACE	Wk3	Wk5
Calenta	Wk4	Wk6

Tabel 8: Schema voor onderhoud per baan voor elke 6 weken (2016)

Welke machines in de week van onderhoud worden aangepakt is eveneens in een schema vastgelegd. Vb. De Tzerra-baan heeft vijf stations voor het uitvoeren van een droogtest. De eerste twee worden onderhouden in Wk1 en de overige drie worden onderhouden tijdens de onderhoudsperiode in Wk7. Zo wordt er in een schema, ongeacht het gebruik van de machines, bepaald wanneer welk station onderhouden wordt genomen voor preventief onderhoud. De werkzaamheden die per station gedaan moeten worden en hoeveel tijd die hiervoor staat worden in Standard Operating Procedure (SOP) beschreven, deze zijn eind 2015 opgesteld. De frequentie wordt weergegeven in het aantal keer per jaar, en de tijdsinvestering in uren.

2.3.2 Onderhoudswerkzaamheden

De afdeling Production Support houdt zich bezig met het optimaliseren van het productieproces. In samenwerking met de baanmedewerkers, productieleiders en de onderhoudsdienst zijn zij continu op zoek naar verbeterpunten aan de baan. Verbeteringen kunnen zowel op software als hardware gebied zijn. Medewerkers van de afdeling Production Support geven periodieke trainingen aan de Onderhoudsdienst om hen van nieuwe technische ontwikkelingen op de hoogte te brengen.

De Onderhoudsdienst (OHD), bestaande uit vier mensen, is verantwoordelijk voor zowel preventief als correctief onderhoud aan de productiebanen, maar ook voor het onderhouden van andere faciliteiten van Remeha. Storingen aan machines of in gebouwen worden door de OHD met prioriteit opgepakt. De overige tijd wordt opgevuld met preventief onderhoud of werkzaamheden ter verbetering van de baan. Reparatiewerkzaamheden gaan voor verbeterwerkzaamheden. In werkelijkheid is er slechts 1 tot 2 man voor 2,5 dag per week bezig met preventief onderhoud aan de Tzerra-baan als deze aan de beurt is voor baanonderhoud volgens het schema in Tabel 8.

Onderhoudsplanung 2016 Remeha														
SOP nummer	Omschrijving	Benodigde tijd	Aantal	Frequentie	Wk 1	Wk 7	Wk 13	Wk 19	Wk 25	Wk 31	Wk 37	Wk 43	Wk 49	Totaal
SOP-T-001	Onderhoud natte test 41	8:00	1	2x per jaar	8:00				8:00					16:00
SOP-T-001	Onderhoud natte test 42	8:00	1	2x per jaar		8:00					8:00			16:00
SOP-T-002	Expansievat en CO2 slangen vervangen WT_41	0:20	1	1x per jaar	0:20									0:20
SOP-T-002	Expansievat en CO2 slangen vervangen WT_42	0:20	1	1x per jaar		0:20								0:20
SOP-T-003	Onderhoud droge eind test 41	8:00	1	2x per jaar	8:00				8:00					16:00
SOP-T-003	Onderhoud droge eind test 42	8:00	1	2x per jaar		8:00					8:00			16:00
SOP-T-003	Onderhoud droge eind test 43	8:00	1	2x per jaar			8:00					8:00		16:00
SOP-T-003	Onderhoud droge eind test 44	8:00	1	2x per jaar				8:00					8:00	16:00
SOP-T-003	Onderhoud droge eind test 45	8:00	1	2x per jaar				8:00					8:00	16:00
SOP-T-004	Slangen luchtlek tester vervangen DT_41	0:30	1	1x per jaar	0:30									0:30
SOP-T-004	Slangen luchtlek tester vervangen DT_42	0:30	1	1x per jaar		0:30								0:30
SOP-T-004	Slangen luchtlek tester vervangen DT_43	0:30	1	1x per jaar			0:30							0:30
SOP-T-004	Slangen luchtlek tester vervangen DT_44	0:30	1	1x per jaar				0:30						0:30
SOP-T-004	Slangen luchtlek tester vervangen DT_45	0:30	1	1x per jaar				0:30						0:30
SOP-T-005	Gas-air adjustment 41	2:00	1	2x per jaar	2:00				2:00					4:00
SOP-T-005	Gas-air adjustment 42	2:00	1	2x per jaar		2:00					2:00			4:00
SOP-T-005	Gas-air adjustment 43	2:00	1	2x per jaar			2:00					2:00		4:00
SOP-T-005	Gas-air adjustment 44	2:00	1	2x per jaar			2:00					2:00		4:00
SOP-T-006	Fan leakage measurement 41	1:00	1	2x per jaar			1:00					1:00		2:00
SOP-T-006	Fan leakage measurement 42	1:00	1	2x per jaar				1:00					1:00	2:00
SOP-T-007	CO2 filters (2x/wk)	0:05	2	2x / week	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:05	0:45
SOP-T-008	Product dragers	0:30	60	1x per jaar	5:00	5:00	5:00	5:00	5:00		5:00	5:00	5:00	16:00
SOP-T-009	Vision, Sequencer en branding scanners	0:30	2	2x per jaar			0:30					0:30		1:00
SOP-T-010	Bufferscanners en transportbanen	1:00	3	2x per jaar			1:00					1:00		2:00
SOP-T-011	Hangbaan Controle en Onderhoud	16:00	1	1x per jaar						16:00				16:00
SOP-T-012	Contimeta machine BAM801 schoonmaken	0:30	1	2x per jaar			0:30					0:30		1:00
Totaal aantal benodigde aantal uren voor preventief onderhoud					23:55	23:55	20:35	23:05	23:05	16:05	23:05	20:05	22:05	195:55:00

Tabel 9: Huidige onderhoudsplanung voor de Tzerra-baan 2016

De werkzaamheden zijn verspreid over het jaar en beschreven in Tabel 9. De frequentie van de werkzaamheden is bepaald door de afdeling Production Support in samenwerking met de OHD. In bovenstaande Tabel 9 staat een indicatie voor de duur van de werkzaamheden. De weken waarin de desbetreffende werkzaamheden worden uitgevoerd zijn oranje gemarkeerd. De werkzaamheden aan het natte test station zijn geel gemarkeerd omdat deze nog wel zijn opgenomen in het schema, maar sinds begin 2016 is het station 'Natte test' afgeschaft.

De onderhoudsactiviteiten (Appendix A.1a) en aandachtspunten (Appendix A.1b) worden in een Standard Operating Procedure (SOP)-formulier opgesteld. Deze SOP-formulieren zijn opgesteld zodat het voor elke OHD-medewerker helder is hoe en welke taken uitgevoerd dienen te worden. Met behulp van een stappenplan inclusief foto's is het zelfs voor een externe onderhoudsmonteur mogelijk om de werkzaamheden uit te voeren. Een onderdeel van Total Productive Maintenance is het invoeren van planmatig onderhoud, waarbij de focus ligt op het standaardiseren van werkprocessen zodat baanmedewerkers deze processen kunnen uitvoeren. Het voordeel hiervan is dat specialisten als de Onderhoudsdienst hierdoor inzetbaar zijn voor complexe taken. De processen zijn gestandaardiseerd en met behulp van een stappenplan in het TPM Operating Procedure (TOP)-formulier beschreven (Appendix 1c). Deze TOP-werkzaamheden worden iedere ochtend van 07:00 tot 07:05 voor aanvang van de productie uitgevoerd. Het uit laten voeren van de relatief kleine werkzaamheden door de baanmedewerker heeft als doel om de medewerker een gevoel van eigenaarschap te geven zodat de betrokkenheid bij de machine wordt vergroot.

Conclusie van de huidige situatie

Production Support berekent de machinebeschikbaarheid door de beschikbaarheid van alle machines van een baan met elkaar te vermenigvuldigen. De beschikbaarheid van de Tzerra-baan komt hierdoor uit op 88,30%. Uit de storingsanalyse blijkt dat er weinig verschil is in storingstijden en aantal storingen indien het aantal geproduceerde ketels bijna wordt verdubbeld. Om de invloed van onderhoud op de storingen te bepalen wordt er onderscheid gemaakt tussen storingen die te beïnvloeden zijn door preventief- en correctiefonderhoud. Hieruit blijkt dat 64,5% van de storingen willekeurig optreden en slechts 29% van de storingstijd potentieel beïnvloedbaar is door het uitvoeren van extra preventief onderhoud. Dit is de aanleiding voor nader onderzoek of er wel de juiste hoeveelheid en vorm van onderhoud wordt toegepast bij Remeha. Om te kunnen bepalen welke onderhoudsvormen geschikt zijn om hiervoor bij Remeha toe te passen wordt in Hoofdstuk 3 specifiek gezocht naar onderhoudstheorieën en verschillende onderhoudsvormen. In Hoofdstuk 4 wordt het inzicht in de huidige situatie en de theoretische achtergrond gecombineerd om te zien of er met een onderbouwde onderhoudsmethodiek verbeteringen mogelijk zijn.

3. Literatuuronderzoek

In dit hoofdstuk wordt met behulp van literatuur antwoord gegeven op de deelvragen 2a en 2b: “Welke onderhoudsmethoden worden beschreven in de literatuur? En hoe zijn deze toepasbaar voor Remeha?”. Allereerst zullen enkele theorieën met betrekking tot onderhoud worden beschreven. Vervolgens wordt beschreven hoe verschillende methoden en activiteiten samengevoegd worden tot een onderhoudsconcept. Eveneens wordt in dit hoofdstuk achtergrond informatie beschreven dat gebruikt wordt om de deelvragen te beantwoorden.

3.1 Theorieën voor onderhoud

Total Productive Maintenance (TPM)

Total Productive Maintenance (TPM) is een filosofie dat streeft naar productiviteitsverbetering van het gehele productieproces (Nakajima, 1988). De TPM filosofie stelt dat elke medewerker verantwoordelijk is voor bepaalde machines en verantwoordelijk is voor het onderhoud en de prestaties van deze machine (Turbide, 1995). Bij het gebruik van TPM wordt gestreefd naar het behalen van deze doelen:

- a. Continu verbeteren (kaizen)
- b. Autonoom onderhoud (onderhoud is een taak van iedereen)
- c. Planmatig onderhoud (standaardisatie van werkprocessen)
- d. Training (bijbrengen technische kennis)
- e. Early (equipment) management (onderhoud meewegen bij aanschaf of productiedesign)
- f. Kwaliteitsmanagement (organisatie bewust betrokken)

Twee van deze doelen zullen worden toegelicht omdat deze het meest relevant zijn voor dit onderzoek.

Autonoom onderhoud

Bij autonoom onderhoud worden de medewerkers die de machines bedienen verantwoordelijk voor het uitvoeren van onderhoudsactiviteiten. De verantwoordelijkheid voor dit onderhoud ligt dan niet alleen meer bij de leidinggevende, maar ook bij de baanmedewerkers. Het betreft hier dan eenvoudige werkzaamheden zoals het schoonmaken, controleren van o-ringen en het smeren van machines.

Voordelen

- Baanmedewerkers zijn door toename verantwoordelijkheid alerter op het voorkomen van storingen;
- Baanmedewerkers krijgen meer inzicht in het proces, waardoor ze afwijkingen kunnen constateren;
- De onderhoudsdienst houdt meer tijd over voor specialistisch werk. Eenvoudige handelingen worden immers overgenomen door de baanmedewerkers.

Nadelen

- Baanmedewerkers moeten deze TPM handelingen naast hun oorspronkelijke taken uitvoeren. Hierdoor hebben zij daar minder tijd voor. Dit zal met de teamleiders gecommuniceerd moeten worden.

Planmatig onderhoud

In TPM wordt beschreven dat werkzaamheden moeten worden vastgelegd en gestandaardiseerd. Voor onderhoudswerkzaamheden wordt dit gedaan in een onderhoudsplan. TPM wordt bij Remeha sinds eind 2015 gehanteerd. De filosofie van TPM is op de werkvloer terug te zien door onder andere werkmappen met gestandaardiseerde processen en het plegen van preventief onderhoud. Dit is verder toegelicht in Paragraaf 2.3.2 en in de Appendices 1a,1b,1c en 1d.

Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Binnen TPM wordt de Overall Equipment Effectiveness (OEE) gebruikt als tool om inzicht te geven in de mate van productiviteit (Muchiri, 2008). De OEE geeft het percentage aan waarin daadwerkelijk productief is geproduceerd. In de berekening van de OEE worden drie factoren meegenomen, namelijk de machine-beschikbaarheid, de relatieve prestatie en de kwaliteitsefficiëntie (Dal, 2000). De machinebeschikbaarheid is het resultaat van de daadwerkelijke productietijd gedeeld door de geplande productietijd. Om de relatieve prestatie te berekenen wordt de snelst mogelijke bewerkingstijd gedeeld door de gemiddelde bewerkingstijd.

De fractie van de goedgekeurde producten ten opzichte van het totaal aantal producten, dit wordt ook wel 'first time good %' genoemd, is de input voor de kwaliteitsefficiëntie. Bij Remeha wordt de OEE gebruikt als benchmark voor interne (vergelijking tussen de verschillende productiebanen) en externe doeleinden.

Reliability-centered maintenance (RCM)

Reliability-centered Maintenance (RCM), ofwel onderhoud gericht op betrouwbaarheid, is een filosofie voor onderhoud waarin een strategisch kader wordt beschreven waarin alle nieuwe ontwikkelingen met elkaar in verband worden gebracht en gecombineerd tot een samenhangend geheel. Hierdoor kan Remeha deze ontwikkelingen op een zinvolle manier beoordelen en doorvoeren welke voor Remeha het waardevolst zijn (Moubray, 1997).

Wat gebruikers van de technische systemen verwachten is afhankelijk van de locatie en de manier waarop het systeem wordt gebruikt. De officiële definitie van Reliability-Centered Maintenance is dan ook:

Reliability-centered Maintenance is een methode die wordt gebruikt om de onderhoudsbehoefte van een technisch systeem bij zijn huidige gebruikersprofiel te bepalen. (Moubray, 1997)

Het RCM proces bestaat uit het stellen van zeven vragen over het te onderzoeken technisch systeem:

- 1) Wat zijn de functies en de prestatienormen van de machine in zijn huidige operationele vorm?
- 2) Op welke manier kan de machine, bij het vervullen van zijn functies, falen (functionele storingen)?
- 3) Wat is de oorzaak van de storing (storingvormen)?
- 4) Wat gebeurt er wanneer een storing plaatsvindt (storingseffecten)?
- 5) In welke manier is een storing van belang (storingseffecten)?
- 6) Wat kan er gedaan worden om elke uitval te voorspellen of te voorkomen (proactieve taken)?
- 7) Wat zou er gedaan moeten worden als er geen passende proactieve taak kan worden gevonden (terugvalacties)?

Het doorlopen van deze stappen geeft een overzicht van de relaties tussen storingen, effecten en gevolgen die gebruikt kunnen worden voor het opstellen van een onderhoudsinterval.

Voordat het überhaupt mogelijk is om het RCM proces te doorlopen moet eerst worden vastgesteld wat de gebruiker met de machine wil en of de machine wel geschikt is om deze wens te vervullen. RCM heeft onder andere als doel om de onderhoud-kosteneffectiviteit te verhogen, hierdoor sluit deze theorie goed aan op dit onderzoek voor Remeha. Het toepassen van RCM heeft een positieve bijdrage voor de implementatie van TPM (Ben-Daya, 2000).

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) is een methodiek waarbij op onderdeelniveau wordt geanalyseerd wat de kans is op falen en wat daarbij de effecten zijn. Vervolgens worden hierop acties bepaald om de faalkans te verminderen. Vanuit onderdeelniveau wordt er uiteindelijk opgewerkt naar complete producten en processen. FMEA is een belangrijk onderdeel van de RCM methode (Braaksma,

2012). In 2013 is er een FMEA opgesteld voor de Tzerra-baan. Sindsdien is er een aantal zaken veranderd aan de baan. Een voorbeeld hiervan is het installeren van een 'vision sensor' om te controleren of een clip correct is bevestigd, anders zou dit een gaslekage kunnen veroorzaken.

Root Cause Analysis (RCA)

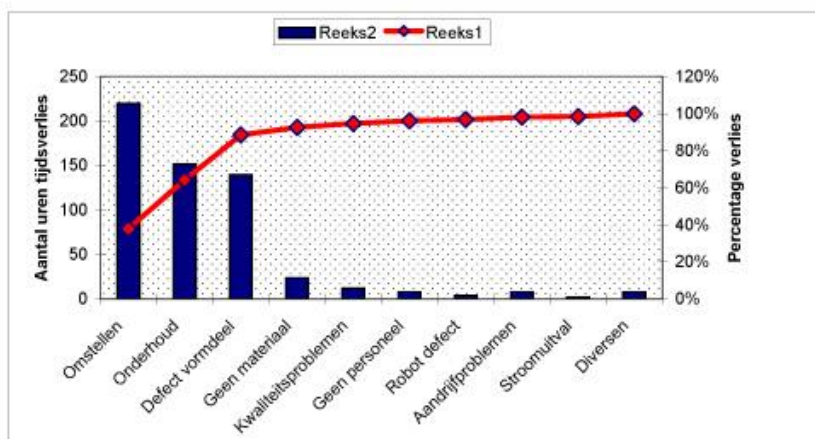
Root Cause Analyse (RCA) is een methode waarbij er naar gestreefd wordt om een probleem dusdanig te analyseren om bij de wortel van het probleem/storing te komen. In de publicatie van Keppner en Tregoe (1965) claimen zij dat wanneer het probleem bij de wortel wordt aangepakt, in plaats van het proberen op te lossen van de symptomen, de kans dat het probleem zich weer voordoet aanzienlijk kleiner is. Echter, om bij de wortel van het probleem te komen dient vaak 'out of the box' gedacht te worden (Tinga, 2012). RCA is in principe te beschouwen als een reactieve onderhoudsmethode (Wilson, 1993). De theorie van RCA valt verder buiten de scope van het onderzoek en zal niet verder worden toegepast op de storingen van de productiebanen.

Level of Repair Analysis (LORA)

De theorie van Level of Repair Analysis (LORA) zal kort worden toegelicht naar wens van Remeha. LORA is een methodologie die wordt gebruikt om te bepalen wanneer een onderdeel moet worden 'vervangen', gerepareerd of weggegooid op basis van een afweging tussen de operationele beschikbaarheid en kosten die hiermee gemoeid zijn (Basten, 2008). In eerste instantie lijkt deze theorie een ideale oplossing voor het probleem binnen Remeha. Echter, LORA richt zich vooral op het bepalen van het aantal faciliteiten waar gerepareerd kan worden (waar dienen reserve-onderdelen en engineers geplaatst te worden). Omdat bij Remeha het onderhoud op nagenoeg dezelfde plek wordt uitgevoerd als waar de machine gebruikt wordt gaat de theorie LORA in dit geval niet op. Om deze reden zal het in dit onderzoek niet verder worden beschreven.

Pareto-analyse

De Pareto-analyse is een belangrijke analysemethode en wordt veelvuldig gebruikt binnen de LEAN. De Pareto-analyse wordt ook wel de 80/20 regel genoemd, omdat vaak 80% van de gevolgen het resultaat zijn van slechts 20% van de hoofdoorzaken. Het opstellen van een Pareto-analyse heeft als doel het inzichtelijk maken van het relatieve belang van verschillende onderdelen ten opzichte van het geheel en welke onderdelen het meest significant zijn (Knights, 2001). Eerst wordt inzichtelijk gemaakt door welke elementen de machine-uitval wordt veroorzaakt en wat een oorzaak is van een lagere machine beschikbaarheid. Vervolgens kan het tijdverlies cumulatief en in percentage in een grafiek worden weer gegeven (zie het voorbeeld in Figuur 7²).

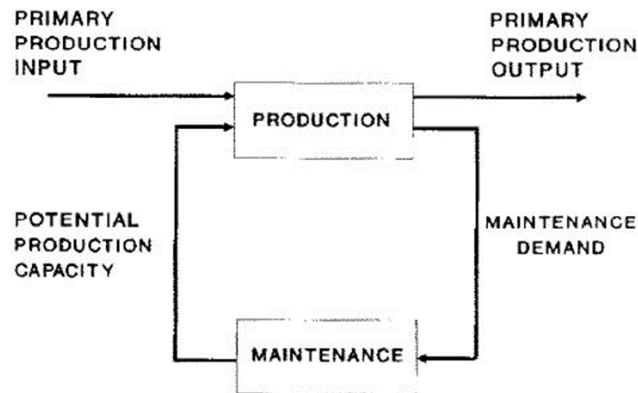


Figuur 7 Voorbeeld van een Pareto-analyse

² Geraadpleegd op 11 mei 2017 op: <https://www.consultant-lean-six-sigma.nl/bedrijfsprocessen-verbeteren/verbeterstructuur-lean-six-sigma/verbetertools-lean-six-sigma/pareto-analyse/>

3.2 Onderhoudsmethoden

Alvorens er gesproken kan worden over de onderhoudsmethoden zal eerst het begrip onderhoud worden toegelicht: “Onderhouden is garanderen dat technische systemen bij voortduring blijven voldoen aan door de organisatie vooraf ingestelde functionaliteit” (Moubray, 1997). Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee soorten onderhoud namelijk, preventief en correctief onderhoud. Bij preventief onderhoud is het zaak de machines in hun operationele vorm te houden en correctief onderhoud beschrijft de werkzaamheden die gedaan moeten worden om de machine weer in operationele vorm te krijgen.

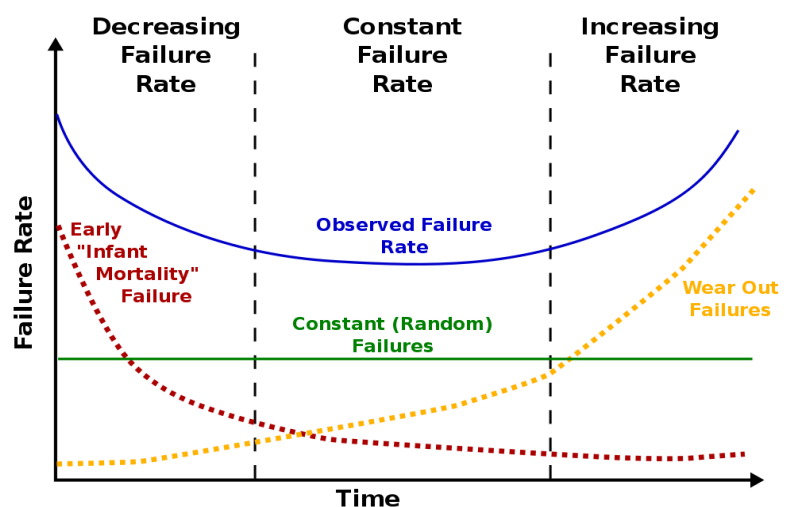


Figuur 8: Weergave van de link tussen onderhoud en productie (Gits, 1992)

In Figuur 8 is de connectie tussen onderhoud en productie weergegeven. Hier is te zien dat er een vraag naar onderhoud is zodra er een verstoring in de productie optreedt. Uit de definitie van onderhoud blijkt dat onderhoud eveneens bestaat uit het in stand houden van de huidige staat van de machines om te voorkomen dat de staat van de machine verslechterd. Remeha wil de effectiviteit van het onderhoud verhogen zodat er meer tijd overblijft voor verbeteringen aan de baan.

Het storingsgedrag kan drie vormen aannemen. Het aantal storingen neemt af, neemt toe, of blijft constant. Het storingsgedrag van complete systemen wordt bepaald door de som van de afzonderlijke onderdelen. Deze onderdelen kunnen

de drie bovengenoemde manieren aannemen, hierdoor zal voor het storingspatroon van de gehele installatie de vorm van een badkuipkromme aannemen zie Figuur 9. Niet alle storingen zijn gerelateerd aan de leeftijd of het gebruik van een onderdeel. Dit maakt het voorspellen van storingen een lastige opgave. Het kan ook nog eens zo zijn dat na het uitvoeren van onderhoud op basis van gebruik de storingskans niet afneemt. Er dient gekeken te worden naar het soort onderhoud dat gepleegd kan worden in verschillende situaties van machinegedrag. Hoe deze vraag naar onderhoud moet worden voldaan wordt in Paragraaf 3.3 beschreven.



Figuur 9: Weergave van het storingsgedrag in drie vormen: afnemend, constant en toenemend (Klutke, 2003).

Er worden hieronder drie onderhoudsmethoden besproken, hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen preventief- en correctief-onderhoud. Zowel gebruik-gebaseerd onderhoud als conditie-gebaseerd onderhoud zijn vormen van preventief onderhoud en storing-gebaseerd is een vorm van correctief onderhoud. Tot slot wordt het begrip redundantie uitgelegd, dit kan eveneens worden toegepast met als doel om de beschikbaarheid van het systeem te verhogen.

3.2.1 Gebruik-gebaseerd onderhoud (GGO)

Bij gebruik-gebaseerd onderhoud (GGO) is de mate van onderhoud afhankelijk van het gebruik van de machine. Het gebruik van een machine kan onder andere worden gemeten op basis van kalenderdagen, productie-uren of productie-aantallen. Bij deze onderhoudsvorm worden onderdelen gerepareerd of vervangen door nieuwe onderdelen waardoor de conditie de machine verbeterd. Deze onderhoudsvorm wordt toegepast als de storingsgraad, de frequentie van storingen over tijd, toeneemt. Het heeft immers geen zin om onderdelen te vervangen als de mate van storingen hierdoor niet verminderd ten opzichte van de oude onderdelen. Een voorbeeld van gebruik-gebaseerd onderhoud is het uitvoeren van een grote beurt bij auto's als deze een bepaald aantal kilometers heeft gereden.

3.2.2 Conditie-gebaseerd onderhoud (CGO)

Conditie-gebaseerd onderhoud (CGO) is afhankelijk van de conditie van onderdelen. Het is hierbij wel van belang dat de toestand van het onderdeel door een meetbare karakteristieke eigenschap wordt beschreven. Eveneens moet er een norm beschikbaar zijn aan de hand waarvan kan worden bepaald of er een onderdeel vervangen dient te worden of niet. Door tijdige inspecties uit te voeren kan worden gecontroleerd of er aan de norm wordt voldaan. Op basis van de mate waarin de gemeten waarde afwijkt van de normwaarde ten opzichte van het vorige meetmoment kan een voorspelling worden gedaan wanneer een storing zal optreden. Hierdoor kan tijdig worden besloten om een bepaald onderdeel preventief te vervangen. Voor deze onderhoudsvorm is het noodzakelijk dat er eenduidige gegevens worden verzameld. Een voorbeeld hiervan is dat de conditie van kogellagers kan worden gemeten aan de hand van de mate van uitwijking van trillingen in de lager (Elwany & Gabrael, 2008).

3.2.3 Storing-gebaseerd onderhoud (SGO)

Met storing-gebaseerd onderhoud (SGO) wordt het onderhoud bedoeld dat wordt uitgevoerd na het daadwerkelijk optreden van een storing. Het beschrijft de handelingen die verricht worden om na een storing de machine weer in die staat te brengen die wenselijk is voor de werking van de machine. Deze onderhoudsvorm wordt vaak toegepast wanneer storingen nauwelijks gevolgen hebben voor het bedrijf. Het is in deze gevallen voordeliger om de machine te gebruiken totdat er een storing optreedt en deze dan te verhelpen dan een investering te doen om een mogelijke storing te voorkomen.

3.2.4 Redundantie

Naast deze onderhoudsvormen is het ook mogelijk om de systeembeschikbaarheid te verhogen door redundantie toe te voegen. Dit houdt in dat bepaalde onderdelen of machine extra aanwezig zijn, zodat het systeem kan blijven functioneren wanneer een onderdeel uitvalt. Al hoewel de stilstand van de productie door deze redundantie van onderdelen en machine wordt beperkt zijn er echter wel kosten mee gemoeid om deze componenten te herstellen (Pintelon, 2004). Bij Remeha wordt gebruik gemaakt van redundantie. Bijvoorbeeld, bij de inpakmachine waarbij gebruik wordt gemaakt van een handmatige inpakmachine mocht de automatische inpakmachine in storing zijn.

In Tabel 10 heeft Arts (2017) deze drie onderhoudsmethoden uitgesplitst op basis van de timing van de onderhoudsactiviteit en de inhoud hiervan. Als een storing invloed heeft op de operationele beschikbaarheid van de machines dan is het plegen van proactief onderhoud alleen zinnig als de totale kosten voor dit onderhoud over een bepaalde periode lager zijn dan de totale reparatiekosten en het verlies door machinestilstand over dezelfde periode (Moubray, 1997). Kortom, het moet economisch voordeliger zijn om proactief onderhoud te plegen dan achteraf te repareren. Mocht dit niet het geval zijn is het goedkoper om geen onderhoud in te plannen. Heeft de storing geen invloed op de beschikbaarheid van de machines dan is het plegen van proactief onderhoud alleen de moeite waard als de kosten voor dit onderhoud over een bepaalde periode lager zijn dan de kosten voor het repareren van de storing over dezelfde periode. Als achteraf repareren goedkoper is dan proactief onderhoud plegen, is het gebruikelijk om geen onderhoud in te plannen (Moubray, 1997).

Timing van onderhoudsactiviteit			
Inhoud	Bekend		Onbekend
	Bekend	Gebruik-gebaseerd	Conditie-gebaseerd
	Onbekend	Conditie-gebaseerd	Correctief

Tabel 10: Onderhoudsmethoden uitgesplitst in timing en inhoud van de onderhoudsactiviteit (Arts, 2017)

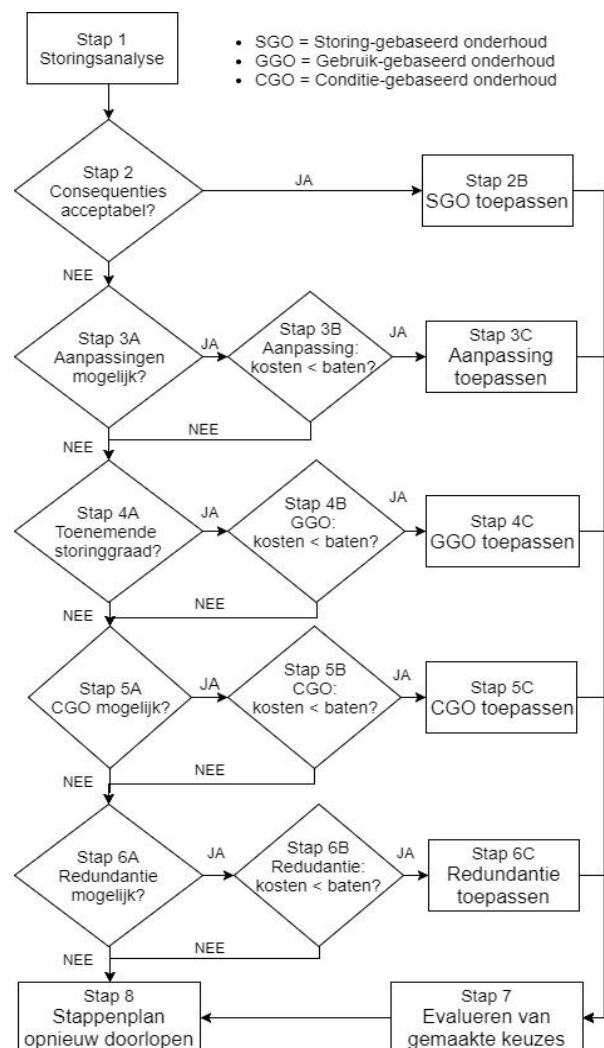
3.3 Stappenplan naar de juiste onderhoudsvorm

De huidige situatie is beschreven in Hoofdstuk 2. In dat hoofdstuk blijkt dat het gewenst is om het aantal storingen te verminderen. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe aan de hand van een aantal stappen een onderhoudsvorm gekozen kan worden voor Remeha. Bij het opstellen van het gewenste onderhoudsplan wordt gezocht naar een optimalisatie waarbij de machinebeschikbaarheid wordt gemaximaliseerd en de totale kosten worden geminimaliseerd.

Het stappenplan (Figuur 10) is gebaseerd op het model van Waeyenbergh en Pintelon (2004) en ter Harmsel (2009). Het maakt gebruik van een aantal aspecten uit de literatuur zoals bijvoorbeeld de gestructureerde aanpak uit RCM en betrokkenheid van baanmedewerkers uit TPM.

Stap 1: Storingsanalyse

De storingsgegevens worden bij Remeha bijgehouden in Excel en de EKB Software. Hierin wordt bijgehouden wanneer storingen zijn opgetreden en de duur van deze storingen. Het is zaak storingen te categoriseren op basis van de oorzaak van de storing. De storingen ingedeeld in vier categorieën: mechanisch, elektrisch, software of ICT. Sinds 2017 wordt bij het melden van storingen ook gebruik gemaakt van redencodes om de storingen te categoriseren, hierbij worden storingen ingedeeld op basis van het



Figuur 10: Stappenplan voor het kiezen van de geschikte onderhoudsmethode

onderdeel dat de storing veroorzaakt. De storingsdata van een machine is de input voor stap 1. Om te bepalen of het noodzakelijk is om bepaalde storingen te voorkomen dient gekeken te worden naar de consequenties van deze storingen. Consequenties kunnen bestaan uit productieverlies of gevolgen voor de veiligheid van medewerkers of het milieu.

Stap 2: Consequenties

In deze stap dient bepaald te worden of de consequenties van de storingen acceptabel zijn voor het bedrijf. Het kan voorkomen dat in een bepaalde periode storingen wel acceptabel zijn en in een andere periode niet omdat er dan geen sprake is van overcapaciteit. De consequenties van storingen kunnen dus periode afhankelijk zijn. Een voorbeeld hiervan is een storing aan DT41. In het laagseizoen heeft een storing aan DT41 geen grote gevolgen omdat er immers gebruik kan worden gemaakt van de overige droogtesten (redundantie). Echter, in het hoogseizoen als de productie-aantallen hoger zijn, is DT41 noodzakelijk om aan de productievraag te kunnen voldoen. Een storing aan DT41 heeft dan grotere gevolgen voor de productiebeschikbaarheid en zal dus ook niet acceptabel zijn in het hoogseizoen.

Stap 3: Aanpassingen

Stap 3A beschrijft de mogelijkheden om aanpassingen aan het systeem of de werkwijze te doen zodat storingen verholpen kunnen worden of de consequenties van storingen wordt verminderd. Bij Remeha wordt in overleg met de OHD, de teamleiders en de afdeling Production Support gekeken welke aanpassingen gedaan kunnen worden op basis van de oorzaak van storingen. In stap 3B wordt gekeken of de kosten voor de aanpassingen opwegen tegen de baten. Mocht dit het geval zijn dan wordt overgegaan naar stap 3C het toepassen van de aanpassing. Na enige tijd dient te worden geëvalueerd of deze aanpassing daadwerkelijk positieve bijdrage heeft geleverd, dit gebeurt in stap 7.

Stap 4: Storingsgraad

Het toepassen van preventief onderhoud op basis van gebruik heeft alleen zin als het wordt uitgevoerd op een onderdeel of machine met een stijgende storingsgraad. Om te kijken of de storingsgraad toeneemt naarmate een onderdeel of machine meer wordt gebruikt kan een link worden gelegd tussen de storingstijd en de productielijst. Als de hoeveelheid storingen toeneemt naarmate het productie-aantal toeneemt, is er sprake van een stijgende storingsgraad. In dit geval kan verder worden gegaan naar Stap 4B waarin wederom de kosten van GGO afgewogen tegen de baten. Mocht er geen sprake zijn van een stijgende storingsgraad dan dient er verder gekeken te worden naar stap 5A.

Stap 5: Conditie-gebaseerd onderhoud

In stap 5A wordt er gekeken naar de voorspelbaarheid van storingen. Hierbij dient gezocht te worden naar welke onderdelen of machines een voorspelbare factor hebben voor de mate van storingen. Mocht de machine of het onderdeel geen voorspelbare factor hebben dan dient verder gegaan te worden bij stap 6.

Mochten de storingen van bepaalde machines een voorspelbare factor hebben dan kan conditie-gebaseerd onderhoud (CGO) een oplossing zijn. Het is hierbij wel van belang dat het onderdeel een karakteristieke eigenschap bevat die de toestand van het onderdeel weergeeft, zodat dit te meten is aan een beschikbare norm. Mocht het onderdeel afwijken van de norm, dan kan verder worden gegaan naar stap 5B de afweging tussen de kosten en baten voor het toepassen van CGO voor dit onderdeel.

Stap 6: Redundantie

Als de kosten voor het optreden van een storing vrij hoog zijn, kan ook gekeken worden naar het toepassen van redundantie. Hierbij worden onderdelen of gehele machines op reserve gehouden. Bij storing aan een onderdeel of machine kan het gelijk worden vervangen door het reserve onderdeel, hierdoor zal het effect van de storing op de productiviteit beperkt blijven. Er dient een afweging

gemaakt te worden welke onderdelen of machines op reserve worden gehouden. Deze financiële afweging wordt gemaakt in stap 6B.

Stap 7: Evaluatie

Na elke stap dient de gemaakte keuze geëvalueerd te worden. Deze evaluatie stap zorgt voor inzicht in de afwegingen die worden gemaakt en op die manier kan bij herhaling van het doorlopen van het stappenplan gebruik worden gemaakt van deze eerdere afwegingen. Er dient gekeken te worden of de gekozen onderhoudsmethoden het gewenste effect vertonen, zo niet dient dit bij gesteld te worden door opnieuw het stappenplan (stap 8) te doorlopen.

Stap 8: Herhalen

Mocht er na Stap 6 nog geen geschikte onderhoudsmethode gevonden zijn dient het gehele stappenplan weer bij Stap 1 doorgenomen te worden. Het kan zijn dat afwegingen die eerder zijn gemaakt nu toch worden herzien. Het is dan mogelijk dat methoden die eerder zijn afgewezen toch worden gekozen omdat er geen andere geschikte oplossing mogelijk is. Zoals beschreven bij Stap 7 is de evaluatie van de gemaakte keuzes eveneens input bij het herhalen van de stappen.

3.3.1 Onderhoudsconcept

Een vervolg op het stappenplan in Figuur 10, waarbij de geschikte onderhoudsvormen zijn bepaald, is het opstellen van een onderhoudsconcept.

“Een onderhoudsconcept is het totaal aan benodigde activiteiten dat nodig is om het systeem in de staat te houden, of naar de staat terug te brengen, die nodig is om aan de door de organisatie vooraf bepaalde productiefunctie te kunnen voldoen.” (Gits, 1992)

Naar mate de stappen van het onderhoudsconcept worden doorlopen zal de samenhang met het stappenplan voor het bepalen van de onderhoudsvormen (Figuur 11) duidelijk worden. Het onderhoudsconcept vormt de schakel tussen het beleid en de praktijk op het gebied van onderhoud.

Ontwerpen van een onderhoudsconcept

Het ontwerpen van een onderhoudsconcept kan volgens C.W. Gits (1992) worden opgedeeld in twee fasen, namelijk het genereren en het evalueren van onderhoudsregels. Het stappenplan (Figuur 11) in deze paragraaf is opgesteld op basis van de theorie van C.W. Gits (1992). Het genereren van onderhoudsregels focust zich op het bepalen van een verzameling aan regels die voldoen aan de eisen op machineniveau. Vanwege de mogelijke impact op de dagelijkse bedrijfsvoering moet het onderhoudsconcept op een gestructureerde wijze worden uitgevoerd (Pintelon & Waeyenbergh, 2002). Tijdens de evaluatie van de onderhoudsregels ligt de focus op het identificeren van een reeks regels dat aan de samengestelde eisen, van het onderhoudsconcept als geheel, voldoet.

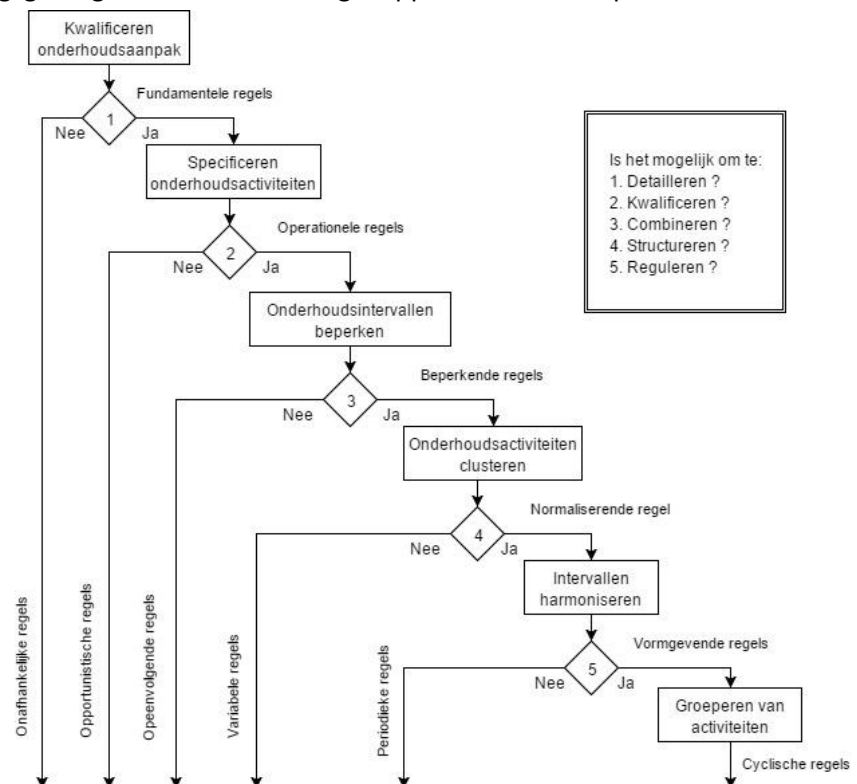
Genereren van onderhoudsregels

Het genereren van onderhoudsregels wordt opgedeeld in zes stappen, waarin in elke stap een bepaalde eis wordt benadrukt, zie Figuur 11:

1. Kwalificeren van onderhoudsaanpak

Tijdens deze eerste stap wordt het storingsgedrag van een machine gekoppeld aan een bepaalde onderhoudsaanpak. Op basis van het storingsgedrag wordt de onderhoudsaanpak bepaald rekening houdend met de potentiële efficiëntie en mogelijke gevolgen van storing (zie Figuur 9). Het resultaat van deze eerste stap is een reeks aan fundamentele onderhoudsregels. Een fundamentele onderhoudsregel beschrijft de relatie tussen de aanpak en de storing. Een voorbeeld hiervan is dat wanneer een storing negatief effect heeft op de bedrijfsvoering (denk aan milieu, veiligheid of productie) dan is het zaak om te voorkomen dat deze storing optreedt, daarom is het plegen van preventief onderhoud in dit geval een goede aanpak.

De volgende stap is het beschrijven van de onderhoudsregels. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen afhankelijke en onafhankelijke onderhoudsregels. Storing gebaseerd onderhoud kan niet vooraf worden gespecificeerd omdat de storing willekeurig optreedt. Storing gebaseerd wordt daarom gelijk meegenomen in eventuele regels. Regels voor gebruik- en conditie-gebaseerd onderhoud zijn input voor de volgende stap.



Figuur 11: Stappenplan voor het generen van onderhoudsregels op basis van de theorie van C.W. Gits (1992)

2. Specificeren van onderhoudsactiviteiten

Deze stap richt zich op het specificeren van handelingen voor elke fundamentele onderhoudsregel. De handelingen zijn reparatie bij gebruik-gebaseerd onderhoud en inspecteren en repareren in het geval van conditie-gebaseerd onderhoud. Er dient tijdens het proces rekening gehouden worden met efficiëntie overwegingen en beschikbaarheid van middelen voor onderhoud. Het specificeren van onderhoudsactiviteiten resulteert in een operationele onderhoudsregel. Een operationele onderhoudsregel specificeert een onderhoudsactiviteit voor het soort onderhoud dat wordt toegepast. In zijn artikel beschrijft Al-Najjar (2002) dat de nauwkeurigheid de timing wanneer onderhoud gepleegd moet worden grote invloed heeft op de werkelijke levensduur van een onderdeel, de lengte van en het aantal storingen en de kosten die hiermee gemoeid zijn. Hoe nauwkeuriger de onderhoudsplanning, des te langer kan er nuttig gebruik worden gemaakt van de levensduur van het onderdeel.

De volgende stap is het kwantificeren van de onderhoudsintervallen. Voor de onderhoudsregels die gepaard gaan met grote productieverliezen of met een hoge opstarttijd kan het voordelig zijn deze activiteiten uit te voeren elke keer dat de kans zich hiervoor voordoet. Dit wordt ook wel beschreven als opportunistische onderhoudsregels, deze zullen gelijk worden opgenomen in de uiteindelijke set

van regels. De overige operationele regels vormen de basis voor de volgende stap, het beperken van de onderhoudsintervallen.

3. Beperken van onderhoudsintervallen

Het beperken van het aantal onderhoudsintervallen richt zich voornamelijk op het stellen van een maximum lengte van onderhoudsintervallen op basis van de individuele efficiëntie van de onderhoudsregels. Zo wordt bij gebruiks-gebaseerd onderhoud de lengte van de intervallen bepaald met behulp een statistische analyse van het storingsgedrag om te kunnen voorspellen wanneer de volgende storing zal plaatsvinden. Bij conditie-gebaseerd onderhoud wordt de lengte van de intervallen beperkt op basis van een analyse van voorspellende factoren en het storingsgedrag. Deze stap van het ontwerpen van het onderhoudsconcept zal resulteren in een aantal beperkende onderhoudsregels. Een beperkende onderhoudsregel beschrijft een onderhoudsactiviteit met de maximale duur van deze activiteit.

Vervolg stappen richten zich vanaf nu vooral op het combineren van individuele regels die onafhankelijk van het storingsgedrag worden getriggerd. Voor activiteiten waarbij het dure operaties worden voorgeschreven kan worden overwogen om af te zien van het combineren van activiteiten om potentiële verliezen te voorkomen als een storing plaatsvindt. Deze opeenvolgende onderhoudsregels kunnen gelijk worden gebruikt in een eventuele reeks aan onderhoudsregels. De overgebleven beperkende onderhoudsregels worden gebruikt in de volgende stap, het clusteren van onderhoudsactiviteiten.

4. Clusteren van onderhoudsactiviteiten

Bij het clusteren van onderhoudsactiviteiten wordt gekeken naar de mogelijkheid om activiteiten met dezelfde set-up samen te voegen tot een cluster. Het clusteren van onderhoudsactiviteiten is terug te brengen tot een afweging van enerzijds de verlaging in set-up kosten als er gebruik wordt gemaakt van gelijktijdige uitvoering van activiteiten tegen anderzijds de kosten die gemaakt moeten worden om een andere onderhoudsinterval in te korten om ervoor te zorgen dat alsnog aan de vraag kan worden voldaan. Deze stap resulteert in een aantal onderhoudsregels aan de hand van een bepaalde standaard.

De volgende stap richt zich op het structureren van het onderhoud. De onderhoudsregels die onafhankelijk zijn van de bepaalde standaard worden als variabele regels in de eind reeks met regels gebruikt. De overgebleven regels zijn input voor de volgende stap, het harmoniseren van de onderhoudsintervallen.

5. Harmoniseren van onderhoudsintervallen

Tijdens deze ontwerpstap is het zaak de onderhoudsregels efficiënt te structureren in toelaatbare intervallen. In het geval van een periodieke onderhoudsvraag wordt een reeks van onderhoudsregels een periode genoemd. Het aantal periodes in een jaar wordt beschreven door de periode te vermenigvuldigen met een geheel getal. In het geval van een cyclische onderhoudsvraag is het toelaatbare onderhoudsinterval de deler van de periode vermenigvuldigd met het aantal toegestane groepen van onderhoudshandelingen, de cyclus. De stap resulteert in vormgevende onderhoudsregels, waarin een onderhoudspakket met een maximum interval waarin dit pakket kan worden geactiveerd. Met een onderhoudspakket wordt een aantal onderhoudshandelingen en clusters bedoeld.

De laatste stap richt zich op het reguleren van de onderhoudswerkdruk. De periodieke onderhoudsregels zullen worden opgenomen in de eventuele set aan onderhoudsregels. De overgebleven onderhoudsregels, gebruikmakend van een cyclisch onderhoudsinterval, vormen de input voor het groeperen van onderhoudshandelingen.

6. Groeperen van onderhoudsactiviteiten

Het groeperen van onderhoudshandelingen richt zich op het combineren van onderhoudshandelingen in blokken van onderhoud die voldoen aan de eisen van werkdruk. Een onderhoudsblok is een aantal onderhoudshandelingen dat tegelijkertijd wordt uitgevoerd. Het begint met het samenvoegen van onderhoudshandelingen en clusters tot een onderhoudsblok vol is. Het kan zijn dat door het gladstrijken van de werkdruk handelingen van het ene blok worden overgeplaatst naar een ander blok. Bij het overplaatsen van een handeling wordt een afweging gemaakt tussen de opbrengsten en het potentiële verlies van het feit dat de handeling in een ander blok plaatsvindt. Het groeperen van onderhoudshandelingen resulteren in cyclische onderhoudsregels.

Evalueren van onderhoudsregels

Het evalueren van de onderhoudsregels richt zich op het identificeren van onderhoudsregels die het onderhoudsconcept van een machine vormen. In het geval dat de prestatie voldoet aan de gestelde eisen van het geheel is een reeks van onderhoudsconcepten acceptabel. De eisen van het systeem als geheel houden zich hoofdzakelijk bezig met de uiteindelijke efficiëntie, hoeveelheid en de frequentie van preventief onderhoud.

Beoordelen van onderhoudskosten

Bij het beoordelen van de onderhoudskosten wordt onderzoek gedaan naar de uiteindelijke efficiëntie van het onderhoudsconcept. De kosten die gepaard gaan met de vereiste onderhoudsregels worden bepaald en vergeleken met een door de organisatie bepaalde norm. Deze norm kan bijvoorbeeld de huidige onderhoudskosten zijn.

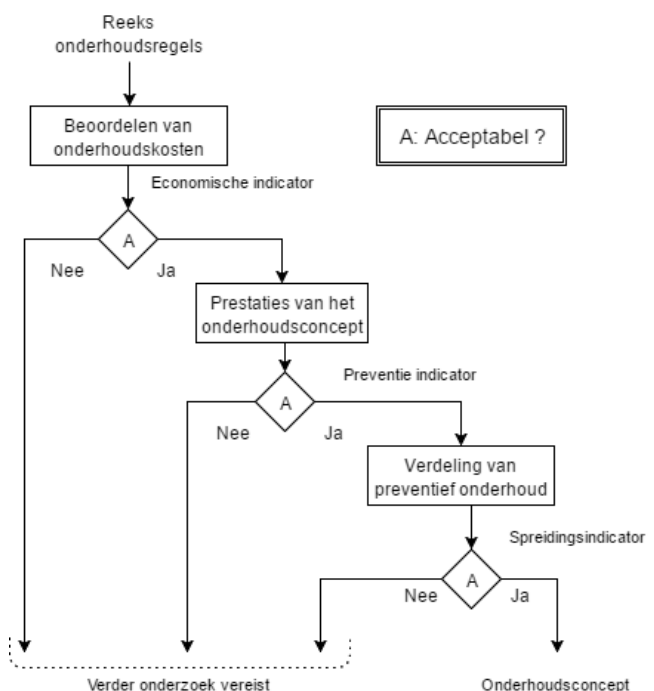
Beoordelen van de prestaties van het onderhoudsconcept

Deze stap richt zich op het beoordelen van de prestaties van het onderhoudsconcept. Hierbij wordt gekeken naar de mate van preventief onderhoud. De voorkeur gaat uit naar preventief onderhoud omdat dit de continuïteit van de productie en controleerbaarheid waarborgt.

De verdeling van preventief onderhoud

De verdeling van preventief onderhoud concentreert zich op de prestaties van de reeks regels met betrekking tot de frequentie van de preventieve onderhoudsvraag. Deze preventieve onderhoudsvraag is opgebouwd uit opportunistische, opeenvolgende, variabele, periodieke en cyclische onderhoudsregels.

Een reeks aan onderhoudsregels dat voldoet aan alle gestelde normen wordt ook wel het onderhoudsconcept voor de desbetreffende machine genoemd. Mocht er niet voldaan kunnen worden aan de gestelde normen, dan zal verder onderzoek gedaan moeten worden om of feedback over het genereren van onderhoudsregels te verzamelen of aanpassingen in het ontwerp van het technische systeem te doen.



Figuur 12: Stappenplan voor het evalueren van het onderhoudsconcept in Figuur 9.

Conclusie van het literatuuronderzoek

Van de theorieën gelinkt aan onderhoud of storingsanalyse die in het literatuuronderzoek zijn verklaard worden TPM en OEE reeds toegepast bij Remeha. Waar aanvankelijk werd gedacht dat LORA een geschikte theorie zou zijn, blijkt dit voor deze situatie niet geschikt. RCM en TPM zijn goed toepasbare theorieën voor Remeha, daarom vormen deze theorieën een basis voor het stappenplan (Figuur 10) dat is beschreven in Paragraaf 3.3. RCA is kort beschreven, maar valt verder buiten de scope van het onderzoek. Op basis van de theorieën van C.W. Gits (1992) en Waeyenbergh en Pintelon (2004) zijn er twee stappenplannen opgesteld. Tijdens het doorlopen van het stappenplan zijn niet alleen afwegingen gemaakt op het gebied van onderhoudsmethoden maar ook op de inhoudelijke onderhoudsactiviteiten. Deze stappen zullen in Hoofdstuk 4 worden doorlopen met de data van Remeha. Door inzicht te geven in de gemaakte keuzes wordt inzicht in de onderhoudsmethodiek verschaft.

4. Resultaten voor Remeha

In dit hoofdstuk worden de bevindingen van de huidige situatie (Hoofdstuk 2) en het literatuuronderzoek (Hoofdstuk 3) gecombineerd tot oplossingen voor Remeha. Allereerst wordt een andere manier voor het berekenen van de machinebeschikbaarheid aangedragen. Vervolgens wordt de link tussen de productie en de storingstijden besproken. Op basis hiervan is een nieuw onderhoudsschema opgesteld. Met behulp van het stappenplan uit Hoofdstuk 3 worden er aanbevelingen gedaan voor de onderhoudsmethodiek die tot mogelijke verbetering kunnen leiden.

4.1 Machinebeschikbaarheid

Ten opzichte van het bestaande schema (Tabel 1) in Hoofdstuk 2, met een overall beschikbaarheid van 88,3 %, wordt de machine beschikbaarheid anders gemeten, zie Figuur 13. Waar Remeha voorheen de machinebeschikbaarheid van de totale baan mat door de beschikbaarheid van alle machines met elkaar te vermenigvuldigen wordt er nu voor de parallel geschakelde machines een gewogen gemiddelde genomen, de beschikbaarheid voor het station. Bij dit gewogen gemiddeld wordt de mate van gebruik meegewogen in de uiteindelijke beschikbaarheid van het station. Uit Figuur 13 blijkt dat de machine DT41 slechts 6,40% van de tijd wordt gebruikt, daarom telt de machinebeschikbaarheid van DT41 slechts voor 6,40% mee met de totale beschikbaarheid van de droogteststations. Zo'n gewogen gemiddeld wordt ook toegepast bij de FLM en GasAir stations. Door de totale beschikbaarheid van het systeem op deze manier te berekenen komt deze neer op een beschikbaarheid van 93,03%, ten opzichte van de 88,30% uit Hoofdstuk 2. Deze manier van berekenen geeft een realistischer beeld van het werkelijke pad dat een ketels tijdens de assemblage doorloopt. Het gaat hier om de interpretatie van het begrip machinebeschikbaarheid. De huidige manier van berekenen geeft een lagere beschikbaarheid, waardoor het wellicht Production Support ondersteunt om externe partijen te overtuigen om te investeren in verbeteringen dan wanneer deze beschikbaarheid hoger ligt.

Station:	FLM	GasAir	Baan	Droogtest	Labelprinter	Inpakmachine	Netwerk
Beschikbaarheid	99,44%	99,05%	98,16%	99,56%	98,58%	99,26%	98,75%

Machine:	FLM41	GA41	DT41
Bezettingsgraad:	48,67%	26,08%	6,40%
Beschikbaarheid:	99,56%	98,24%	99,46%

Machine:	FLM42	GA42	DT42
Bezettingsgraad:	51,33%	25,59%	13,96%
Beschikbaarheid:	99,32%	99,25%	99,04%

Machine:	GA43	DT43
Bezettingsgraad:	23,89%	23,56%
Beschikbaarheid:	99,55%	99,68%

Machine:	GA44	DT44
Bezettingsgraad:	24,44%	27,45%
Beschikbaarheid:	99,22%	99,67%

Machine:	DT45
Bezettingsgraad:	28,62%
Beschikbaarheid:	99,64%

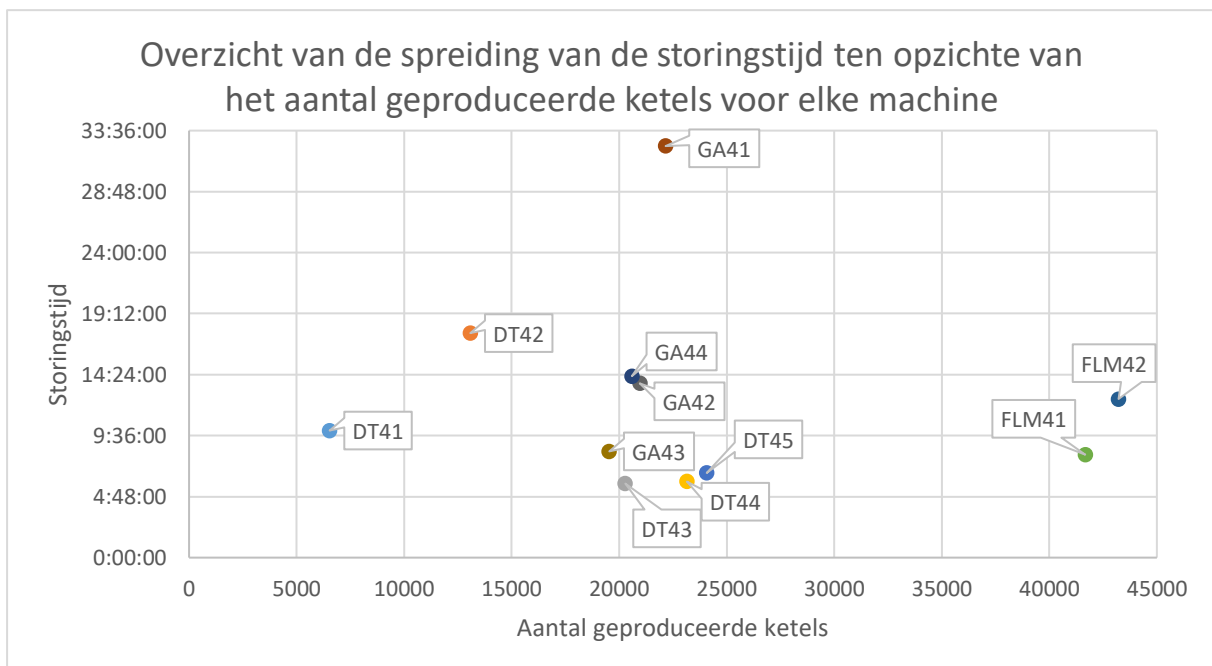
Overall	
Beschikbaarheid	Storing
93,03%	6,97%

Legenda	
Bezettingsgraad	
Machinebeschikbaarheid	
Station beschikbaarheid	
met 100% bezettingsgraad	

Figuur 13: Overzicht van de machinebeschikbaarheid en de bezettingsgraad per machine van de Tzerra-baan over 2016

4.2 Storingstijden en productie aantallen

Uit het overzicht van de storingstijden over 2016, zie Figuur 14, is een aantal zaken te constateren. Kijkend naar het aantal ketels ligt het niveau bij beide FLM stations nagenoeg gelijk. Dit geldt ook voor de GasAir stations. Echter, als er gekeken wordt naar de storingstijden dan is er wel degelijk verschil te zien per machine. De storingstijd van GA41 is vier keer zo groot als de storingstijd van GA43 bij slechts een verschil van minder dan 14% in het aantal geproduceerde ketels. Bij de droogteststations zijn de verschillen nog groter. DT41 en DT42 verwerken gezamenlijk minder ketels dan de andere droogteststations, maar de storingstijd is wel meer dan vier keer zo hoog. Hierbij wordt de aanname gedaan, op basis van gesprekken met de OHD, dat de prioriteit van het voltooien van de werkzaamheden aan deze droogteststations lager ligt dan het oplossen van een andere storing die optreedt terwijl de OHD al aan deze stations begonnen is. De droogteststations zijn meer redundant dan de overige stations, waardoor het ook mogelijk is om deze stations DT41 en DT42 langer in storing te laten staan als daarmee een kritieke storing verholpen kan worden. Door dit voorval blijven deze twee stations mogelijk langer in storing staan dan dat er daadwerkelijk werkzaamheden hebben plaatsgevonden.



Figuur 14: Overzicht van de spreiding van de storingstijd ten opzichte van het aantal geproduceerde ketels voor elke machine

4.3 Onderscheid tussen laag- en hoogseizoen

In 2016 werd er nog onderscheid gemaakt in het aantal uren productie op een dag. 7 uur per dag in het laagseizoen, 9 uur in het hoogseizoen. Sinds 2017 is dit rechtgetrokken en wordt er iedere dag 8 uur geproduceerd. Omdat de vraag naar ketels nog wel seizoensafhankelijk is, is er nog steeds verschil in de productie aantallen tussen de periode Jan t/m Jun (laagseizoen) en Jul-Dec (hoogseizoen). In het laagseizoen is er sprake van overcapaciteit, hierdoor zijn de consequenties van storingen voor parallel geschakelde machines kleiner dan in het hoogseizoen. Bij het opstellen van het onderhoudsschema dient rekening gehouden te worden met het feit dat storingen mogelijk in het laagseizoen wel toelaatbaar zijn, echter in het hoogseizoen zijn de consequenties van die storingen niet toelaatbaar.

Verstoringen aan de baan worden bij lage productie minder snel gemeld, blijkt uit de ervaring van de OHD. Bij hoge productie wordt het direct gemeld, omdat een verstoring aan de baan de assemblage

belemmert. Voorbeeld ‘beugeltje aan de baan los’, produceren kan door, maar gemak is lager. Bij hoog aantal ketels per uur kunnen de baanmedewerkers zich dit ongemak niet permitteren. Het gevolg hiervan is dat in drukke periodes de onderhoudsdienst sneller wordt gebeld voor verstoringen aan de baan. Omdat het verstoringen betreft die enkel invloed hebben op het gebruiksgemak van de machines in plaats van de beschikbaarheid worden deze niet opgenomen in het software systeem.

4.4 Onderhoudsplanung

Uit het onderzoek blijkt dat er mogelijk teveel preventief onderhoud wordt gepleegd. Dit resultaat komt niet overeen met de verwachting van Galante, Curcurù, en Lombardo, (2010) dat preventief onderhoud leidt tot minder storingen. Een mogelijke verklaring voor dit resultaat wordt gegeven in Paragraaf 2.2 waar wordt beschreven dat 64,5% van de storingen onafhankelijk van preventief onderhoud optreedt. Hierbij is het wel zo dat dit resultaat van het optreden van willekeurige storingen dusdanig is gegeven dat er volgens het onderhoudsschema in Tabel 9 preventief wordt onderhouden. Om deze reden is de onderhoudsplanung onder de loep genomen en is er het een en ander aangepast. Ten opzichte van het huidige onderhoudsschema (Tabel 9) is er een aantal aanpassingen gedaan in de nieuwe onderhoudsplanung. De SOP-werkzaamheden aan de ‘natte-test’-stations zijn uit het schema verwijderd, omdat deze stations niet meer bestaan voor de Tzerra-baan. In overleg met de onderhoudsdienst is het vervangen van de luchtslangen van de droogtest stations ook niet meer in het zeswekelijkse schema opgenomen; Van het huidige onderhoudsschema (Tabel 9) wordt de onderhoudsplanung voor de droogtestmachines toegelicht in Figuur 15. Om de vergelijking te kunnen maken is de planning voor de droogtestmachines uit de huidige planning in Figuur 16 toegevoegd. DT44 en DT45 worden in het hoogseizoen intensief gebruikt en dienen daarom in het hoogseizoen maximaal beschikbaar te zijn. In de nieuwe onderhoudsplanung is daarom het preventief onderhoud aan deze twee machines verplaatst naar vlak voor en vlak na het hoogseizoen, zodat tijdens het hoogseizoen de machines volledig gebruikt kunnen worden.

De Onderhoudsdienst (OHD) geeft aan dat het onderhouden van de droogtest wel degelijk tweemaal per jaar dient te gebeuren vanwege de ophoping van de glycerol uit de lekspray die wordt gebruikt. Doordat de stations tweemaal per jaar ook van binnen worden gereinigd worden eventuele verstoppingen voorkomen. Het uit elkaar halen van een droogtest-station neemt het meeste tijd in beslag, daarom worden dan ook gelijk de luchtslangen preventief vervangen.

Nieuwe onderhoudsplanung voor Remeha											
		Laagseizoen					Hoogseizoen				
Machine	Frequentie	Wk 1	Wk 7	Wk 13	Wk 19	Wk 25	Wk 31	Wk 37	Wk 43	Wk 49	Totaal
DT41	1x per jaar				8:00						8:00
DT42	2x per jaar				8:00					8:00	16:00
DT43	2x per jaar			8:00					8:00		16:00
DT44	2x per jaar	8:00				8:00					16:00
DT45	2x per jaar	8:00				8:00					16:00
		16:00	0:00	8:00	16:00	16:00	0:00	0:00	8:00	8:00	72:00:00
		56:00:00					16:00:00				

Figuur 15: Nieuwe onderhoudsplanung voor de droogtestmachines bij Remeha

Door de nieuwe onderhoudsplanung (Figuur 15) te gebruiken in plaats van de huidige planning (Figuur 16) wordt er per jaar acht uur bespaard aan preventief onderhoud. Er is in de nieuwe planning gekozen om DT41 slechts één keer te onderhouden, dit wordt toegelicht in Paragraaf 4.6.6.

Zestien uur aan preventief onderhoud is verplaatst van het hoogseizoen, waar de prioriteit op machinebeschikbaarheid ligt, naar het laagseizoen, waar voldoende overcapaciteit is. Door deze verschuiving van onderhoud kan tijdens de drukke periode gebruik worden gemaakt van de machines met het hoogste gebruiksgemak voor de baanmedewerker. Uit Figuur 13 blijkt immers dat de machines DT43, DT44 en DT45 meer worden gebruikt dan DT42 en DT41 omdat de afstand naar deze stations langer is.

Huidige onderhoudsplanning Remeha 2016										
Laagseizoen						Hoogseizoen				
Machine	Frequentie	Wk 1	Wk 7	Wk 13	Wk 19	Wk 25	Wk 31	Wk 37	Wk 43	Totaal
DT41	2x per jaar	8:00				8:00				16:00
DT42	2x per jaar		8:00					8:00		16:00
DT43	2x per jaar			8:00					8:00	16:00
DT44	2x per jaar				8:00					16:00
DT45	2x per jaar				8:00					16:00
		8:00	8:00	8:00	16:00	8:00	0:00	8:00	8:00	16:00
		48:00:00					32:00:00			

Figuur 16: Huidige onderhoudsplanning voor de droogtestmachines bij Remeha in 2016

4.5 Stappenplan naar de geschikte onderhoudsmethode

Het stappenplan uit Figuur 10 wordt met behulp van een voorbeeld toegelicht. Voor dit voorbeeld wordt enkel gebruik gemaakt van de storingen aan de Droogteststations.

Stap 1: Storingsanalyse

Het droogteststation bestaat uit vijf machines met een gezamenlijke storingstijd van 48 uur. De storingen hebben geen consequenties op het gebied van veiligheid of milieu.

Stap 2: Consequenties acceptabel?

Er wordt onderscheid gemaakt tussen het laagseizoen en het hoogseizoen. In het laagseizoen is er voldoende overcapaciteit en zijn de storingen acceptabel. Er zal dan ook gekozen worden voor Stap 2B: Storing-gebaseerd onderhoud. In het hoogseizoen zijn de storingen echter niet acceptabel op het gebied van productieverlies en wordt verder gegaan met stap 3A.

Stap 3: Aanpassingen mogelijk?

Voor de droogtest machines is het mogelijk om een dummy kop te ontwikkelen. Deze kop kan worden gebruikt om uit te sluiten of een lekkage in de machine zit of in de ketel die er wordt opgedraaid. Door deze aanpassing zou de oorzaak van de storingen sneller gevonden kunnen worden. In 2016 is meer dan tien uur aan dergelijke storing opgetreden die mogelijk met deze aanpassing verkleind had kunnen worden. Een voorbeeld van zo'n soort storingsmelding is: "Lekkage op ALT H test, ventiel referentie uitgewisseld. Referentieketel uitgewisseld geen resultaat. Probleem blijkt dop van de ontluchter op de ketel, is er scheef opgedraaid.". De verwachte kosten voor deze aanpassing zijn niet gekwantificeerd, maar de verwachting is dat de kosten lager zullen zijn dan de baten.

Stap 4: Toenemende storingsgraad?

In Tabel 3 bleek dat er weinig verschil is in storingen bij 35.000 ketels (laagseizoen) of 60.000 ketels (hoogseizoen).

Stap 5: Conditie-gebaseerd onderhoud mogelijk?

- Periodieke inspecties naar schroefdraad en pakkingen voor aanwijzingen van slijtage

Een voorbeeld van mogelijke toepassingen bij andere machines:

- Labelprinter zou sensoren worden toegevoegd die de afwijking van het label op vooraf ingestelde waarde weergeeft. Of aangeeft als de rol bijna op is.
- Afwijking voedingspennen GasAir meten met sensoren.

Stap 6: Redundantie mogelijk?

Redundantie wordt reeds toegepast. Er zijn vijf droogteststations parallel aan elkaar geschakeld. Gezien het gebruiksprofiel waaruit blijkt dat DT41 slechts 6,4% van de tijd wordt gebruikt lijkt dit aantal in ieder geval voldoende. In het laagseizoen zou gekozen kunnen worden om bijvoorbeeld slechts drie droogteststations te laten draaien. Het op voorraad leggen van kritische onderdelen behoort tot de categorie redundantie. Zo geldt voor de GasAir machines:

- EDF (Exhaust Differential Pressure) sensor op voorraad leggen (Ligt niet op voorraad, leverde bij een enkel voorval 9 uur storing op)

Stap 7: Evalueren

Er dient gekeken te worden na verloop van tijd of de gekozen onderhoudsmethoden effectief zijn. Wat is het nut geweest van de mogelijke aanpassingen? Het aantal storingen en de storingstijd is hiervoor een goede indicator.

Stap 8: Herhalen

Als na stap 6 nog niet voor elke storingscategorie een geschikte onderhoudsmethode is gevonden dient weer begonnen te worden bij stap 1.

4.6 Aanbevelingen voor oplossingen

In Figuur 13 is te zien dat bij de machines met meerdere stations een percentage is toegevoegd wat aangeeft welk percentage van het aantal ketels dat langs deze machine gaat daadwerkelijk over dit station gaat. Zo blijkt uit de data dat station Droogtest 41 slechts 6,4% van de tijd wordt gebruikt, terwijl de andere stations DT43, DT44 en DT45 allen rond de 25% van de tijd worden gebruikt. In de huidige situatie is er door Remeha voor gekozen om geen onderscheid te maken in de mate van onderhoud tussen de machines van hetzelfde station. Tevens is de mate van onderhoud onafhankelijk van het gebruik van de machine. Aan de hand van twee scenario's worden mogelijke oplossingen toegelicht om onderhoud te kunnen linken aan het gebruik van de machines. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de optie om de bezettingsgraad van de machines te verdelen en het toepassen van een gebruiksaafhankelijke onderhoudsplanning.

4.6.1 *Bezettingsgraad verdelen*

De bezettingsgraad van de machines zou kunnen worden verdeeld voor de stations met meerdere machines. Dit betreft de FLM, GasAir en Droogtest stations. Uit Figuur 13 blijkt dat de bezettingsgraad bij de FLM- en de GasAir-stations nagenoeg gelijk is verdeeld. De focus voor deze oplossing ligt daarom ook bij de droogtestmachines. Het doel van deze oplossing is dat de bezettingsgraad van de vijf machines gelijk wordt verdeeld, wat neerkomt op een bezettingsgraad van 20% per machine.

Met het invoeren van deze oplossing zou het aantal storingen een meer gelijke verdeling over de machines kunnen aannemen, mits de storingen die optreden gebruiksaafhankelijk zijn. In Tabel 3 blijkt dat op basis van de gebruikte data op systeemniveau geen significant verschil in het aantal storingen optreedt als de productiehoeveelheid bijna wordt verdubbeld. Dit wijst erop dat het systeem, het geheel aan stations, in een fase zit waarin het niet gebruiksaafhankelijk is. Dit komt mogelijk door het feit dat de fase waarin slijtage optreedt door gebruik niet wordt bereikt doordat er voordien al preventief onderhouden wordt (zie voor verdere toelichting Paragraaf 3.2 en Figuur 9).

4.6.2 *Gebruiksaafhankelijke onderhoudsplanning*

Om een voorbeeld te geven wordt het droogtestmachine gebruikt. In de huidige situatie worden de vijf droogteststations twee keer per jaar onderhouden. Nu het blijkt dat deze stations niet evenredig worden gebruikt (Figuur 13) is het mogelijk om de onderhoudsplanning hierop aan te passen. Als bijvoorbeeld blijkt dat er bij de droogtest stations na 20.000 ketels nog geen storing optreedt, dan lijkt het overbodig om een station dat nog geen 7000 ketels verwerkt alsnog twee keer per jaar te

onderhouden. Het is echter lastig vast te stellen wat een geschikte hoeveelheid ketels is om als meetwaarde te nemen om op basis van dat aantal de onderhoudsplanning aan te passen. De beschikbare data is onvoldoende om een uitspraak te kunnen doen over het aantal ketels die geassembleerd kunnen worden waarna de machine onderhouden dient te worden. Dit is een gevolg van de preventieve onderhoudsplanning die is gehanteerd, hierdoor is onbekend hoelang een machine mee gaat voordat het aan dusdanig veel storingen onderhevig is dat het niet meer goed functioneert.

4.6.3 Meer inspecties uitvoeren

In Tabel 6 werd beschreven welk percentage van de storingen mogelijk te beïnvloeden is door het uitvoeren van inspecties. Uit Tabel 6 blijkt dat 19,91% van de storingstijd gepaard gaat met € 27.378,23 aan kosten. Momenteel wordt er iedere ochtend, voor aanvang van de productie, vijf minuten vrij gemaakt voor TPM-werkzaamheden. Om een kostenberaming te schetsen voor deze TPM werkzaamheden rekenen we als volgt; vijf minuten per dag, door achttien medewerkers elke dag voor 48 weken vermenigvuldigd met het uurloon komt dit neer op 9000 euro per jaar voor TPM-werkzaamheden.

Categorie 'Inspectie'	Kosten	Opbrengsten
Storingskosten	€ 27.378,23	
TPM	€ 9.000,00	
30% verbetering		€ -786,53
35% verbetering		€ 582,38
50% verbetering		€ 4.689,12

Tabel 11: Hypothetische kostenberaming voor verbeteringen door extra TPM-werkzaamheden

Stel dat door het uitvoeren van extra TPM-werkzaamheden hierdoor 35% van de storingen in deze categorie voorkomen kan worden, dan resulteert dit in meer dan 500 euro winst (Tabel 11). Het mag niet zomaar worden aangenomen dat het verdubbelen van de TPM werkzaamheden daadwerkelijk in deze verbetering resulteert. Zoals beschreven in Figuur 5 resulteert een verhoging van preventief onderhoud niet altijd in een verlaging van kosten. Het uitvoeren van extra TPM-werkzaamheden is alleen effectief als blijkt dat veel van deze storingen in de categorie Inspectie ontstaan gedurende een productie dag, die dan in de ochtend zijn gemist. Dit is met de beschikbare data niet te onderbouwen.

4.6.4 Extra factor toevoegen tijdens het melden van storingen

Sinds begin 2017 wordt er aan de storingsdata een redencode toegevoegd. Deze redencode zorgt ervoor dat het mogelijk is om storingen niet alleen te categoriseren per machine maar ook per machine onderdeel. Daarom wordt aanbevolen aan Remeha om de storingsanalyse uit te bereiden met een extra factor die moet worden aangegeven bij een storing, namelijk een factor voor het aangeven onder welke type storing het betreft. In dit onderzoek zijn de typen: slijtage, inspectie, willekeurig en werkzaamheden gebruikt. Door het toevoegen van deze typen is het beter mogelijk om een overzicht te creëren welke storingen beïnvloedbaar zijn door een bijbehorende onderhoudsmethode. Op basis van het onderzoek van Brake (2003) wordt aangeraden om medewerkers te bij de analyse te betrekken. Hierdoor maken de oplossingen die worden aangedragen grotere kans om duurzaam te zijn.

4.6.5 Opzoek naar een voorspellende waarde

Een voorspellende waarde kan gebruikt worden om de verwachte levensduur van de machines te bepalen. Momenteel is zo'n soort voorspellende waarde nog niet beschikbaar. Door in de data ook de tijd tussen de storingen bij te houden, dus nadat een storing heeft plaatsgevonden bijhouden hoelang het duurt voordat een soortgelijke storing optreedt, kan een voorspelling gedaan worden over het storingsgedrag in de toekomst. Naarmate er steeds meer data beschikbaar is wordt deze voorspellende waarde ook betrouwbaarder. Een voorbeeld van zo'n voorspellende waarde is het bepalen van de 'failure rate', de storingsgraad. De storingsgraad wordt bepaald door het aantal storingen over een bepaalde tijd of bepaald gebruik. Is de storingsgraad constant dan kan met behulp van de Weibull verdeling worden bepaald dat $R(t)$, de kans dat de machine zonder storingen draait tot moment t is bepaald door: $R(t) = e^{-\lambda t}$. Hierbij is λ het aantal storing over tijd of gebruik. Om een voorbeeld te geven, als de afdeling Production Support met een betrouwbaarheid van 90% wil bepalen hoelang een machine draait zonder het optreden van een storing kan dit als volgt. Stel dat de storingsgraad λ is vastgesteld op vier storingen per jaar (1900 productie-uur).

$$\begin{aligned} 0,9 &= e^{-(\lambda * X)} && \text{geeft} && \ln 0,9 = -\left(\frac{4X}{1900}\right) \\ -0,1054 &= -\left(\frac{4}{1900} * X\right) && \text{geeft} && X = \frac{-0,1054 * -1900}{4} = 50 \text{ uur} \end{aligned}$$

Uit de formule blijkt dat met een betrouwbaarheid van 90% de machine 50 uur draait zonder dat er een storing optreedt. Door deze berekening steeds weer te herhalen indien er meer data beschikbaar is kan een betrouwbaardere voorspelling worden gedaan. Deze voorspelling kan dan worden gebruikt als basis voor het opstellen van een onderhoudsplanning.

4.6.6 Minder preventief onderhoud aan droogteststation

Uiteindelijke doel is om inzicht te krijgen in het faalgedrag van de stations. Droogtest 41 (hierna genoemd als DT41) is een van de vijf droogtestmachines en heeft een bezettingsgraad van slechts 6,4%. In het laagseizoen is het gebruik van deze machine niet noodzakelijk, enkel omdat de machine er staat wordt deze gebruikt. In het hoogseizoen wordt op sommige dagen dusdanig veel geproduceerd dat de beschikbaarheid van DT41 wel noodzakelijk is. Daarom wordt DT41 gebruikt als testpilot voor aanpassingen in de onderhoudsplanning.

Stel er wordt in plaats van twee keer nu slechts één keer preventief onderhoud aan DT41 uitgevoerd welk effect heeft dit op het gebied van de onderhoudsplanning en de storingsanalyse. We bespreken de voor- en nadelen.

Voordelen:

- Acht uur meer tijd per jaar, per droogteststation, voor verbeteringen aan de baan voor de onderhoudsdienst;
- Inzicht wanneer storingen optreden indien er geen onderhoud wordt gepleegd. Op basis van deze indicatie kan de onderhoudsplanning worden verbeterd.

Nadelen:

- Door minder onderhoud uit te voeren kan er grotere schade ontstaan;
Tijdens het gebruik van de machine hoopt zich glycerol op in de machine, waardoor testwaarden niet meer voldoen aan de eisen en er een storing optreedt. De ernst van deze storingen is momenteel onbekend omdat dit punt in dit onderzoek niet wordt bereikt omdat er preventief onderhoud heeft plaatsgevonden.
- Kosten die gemaakt worden als DT41 nodig is maar niet beschikbaar;

Gezien de bezettingsgraad van DT41 is deze waarde in de huidige situatie te verwaarlozen, maar in de toekomst dient er weldegelijk rekening gehouden te worden met deze factor als de bezettingsgraad hoger wordt als gevolg van productieverhoging.

- Indien er een storing optreedt waarvan een onderdeel niet op voorraad is kan dit leiden tot grotere gevolgen;

Als tijdens preventief onderhoud kan worden vastgesteld dat een onderdeel op korte termijn zal falen is het mogelijk om het onderdeel tijdig te bestellen. Als dit niet tijdig wordt geregistreerd, dus als er geen onderhoud wordt gepleegd, vertoont het onderdeel willekeurig storingsgedrag.

- Mogelijk meer tijd nodig voor onderhoud als de machine voor een langere periode niet is onderhouden.

Het kan zijn dat er meer tijd aan onderhoud besteedt dient te worden als een machine langere tijd heeft stilgestaan. Volgens de Onderhoudsdienst zit de meeste tijd voor onderhoud aan een droogtest in het uit elkaar halen van de machine. Dit gebeurt tijdens het onderhoudsmoment ongeacht of de machine veel of weinig is gebruikt. De verwachting van de onderhoudsdienst is daarom dat de lengte van stilstand weinig invloed heeft op de lengte van onderhoud aan de droogteststations.

Op basis van een afweging tussen deze voor- en nadelen wordt aanbevolen om het droogteststation DT41 in plaats van twee keer slechts één keer preventief te onderhouden. Als blijkt dat er weinig verandering optreedt in het storingsgedrag of als het een positief effect is kan deze oplossing worden uitgebreid naar DT42. Dit scenario's betreft een laag risico aanpassing omdat DT41 slechts weinig invloed heeft op de beschikbaarheid van het gehele droogteststation. Een andere mogelijkheid is om het preventief onderhoud aan DT41 volledig af te schaffen om inzicht te krijgen in het storingsgedrag indien er enkel correctief onderhoud wordt gepleegd. Hiermee is een indicatie te geven van het storingsgedrag dat vervolgens op de andere machines kan worden toegepast. Naar mate er meer data beschikbaar is wordt deze factor steeds betrouwbaarder.

4.6.7 Uitschakelen van droogteststation in laagseizoen

In de huidige situatie worden alle machines elke ochtend aangezet, ongeacht of ze die dag gebruikt worden of niet. Uit Figuur 13 blijkt dat er in het laagseizoen sprake is van overcapaciteit bij het droogteststation. In Tabel 3 blijkt dat DT41 in het laagseizoen van 2016 negen keer is storing heeft gestaan met een totale storingstijd van meer dan 2,5 uur. De planning voor het aantal ketels dat er per dag geproduceerd dient te worden is aan het begin van de week bekend. Op basis hiervan is te bepalen of de vijfde droogtestmachine gebruikt dient te worden die week anders kan het uitgeschakeld blijven. Voor aanvang van het hoogseizoen kan de droogtestmachine worden geïnspecteerd op fouten die mogelijk ontstaan zijn van het stilstaan. De verwachting is dat dit niet tot nauwelijks optreedt. Hierdoor zou de machine het hoogseizoen naar behoren moeten kunnen draaien. Na een jaar dient geëvalueerd te worden wat het effect van deze verandering is geweest. Dit kan door het storingsgedrag over beide perioden te vergelijken. Als uit de evaluatie blijkt dat er na de aanpassing meer uur beschikbaar is geweest voor de onderhoudsdienst om te werken aan verbeteringen en het storingsgedrag van DT41 niet significant is verslechterd, dan heeft de aanpassing een gunstig effect gehad.

4.6.8 Beperkingen van het onderzoek

Dit onderzoek kent naast een afbakening (Paragraaf 1.7) echter ook beperkingen. Zo focust het onderzoek zich enkel op een van de zes assemblagelijnen. Hierdoor worden invloeden van de overige lijnen niet meegenomen in het onderzoek terwijl deze mogelijk wel invloed hebben. Er wordt geen rekening gehouden met het feit dat meerdere machines tegelijk in storing kunnen staan, waardoor het effect van de storing op de productiecapaciteit groter is. In het onderzoek wordt enkel uitspraken

gedaan over de machines waar data beschikbaar van is, zo wordt bijvoorbeeld niets gezegd over het gebruik van een handmatige inpakmachine mocht de inpakmachine in storing zijn. Er wordt tijdens het onderzoek niet gericht gekeken naar het voorkomen van bepaalde storingen. Toch doet Remeha er goed aan om de aanbevelingen van Paragraaf 4.6 te implementeren, ondanks de mogelijke beperkingen van dit onderzoek. Er is namelijk gedegen literatuuronderzoek gedaan, de inzichten zijn onderbouwd met data en ten slotte is er rekening gehouden met de wensen van de stakeholders om mogelijke verbeteringen in kaart te brengen.

Samenvatting van de resultaten voor Remeha

In deze paragraaf worden enkele oplossingsrichtingen voor Remeha besproken. Door de machinebeschikbaarheid te meten per gebruikt station in plaats van per machine is deze vastgesteld op 93,03% ten opzichte van 88,30%. De werkzaamheden aan de natte-teststations zijn uit het onderhoudsschema gehaald waardoor er nu meer dan 35 uur aan preventief onderhoud is bespaard.

In het schema is een aantal verschuivingen toegepast waardoor machines die veel worden gebruikt vlak voor het hoogseizoen worden onderhouden zodat deze tijdens de drukke periode volledig beschikbaar zijn voor productie. Er wordt aanbevolen om af te stappen van tijd-gebaseerd onderhoud naar en gebruik-gebaseerd onderhoud te implementeren, echter ontbreekt hiervoor nog een storingsindicatie en een factor in de storingsmelding om storingen te categoriseren naar onderhoudstype. Met behulp van het stappenplan is een voorbeeld gegeven van de relatie tussen storingstypen en de onderhoudsmethode. Hieruit blijkt dat in het laagseizoen de consequenties van storingen aan de droogtestmachines acceptabel is, hier kan dus worden gekozen voor minder preventief onderhoud. Er wordt aanbevolen om bij de machine met de laagste bezettingsgraad te beginnen met een proef om slechts eenmaal preventief onderhoud te plegen in plaats van tweemaal. Als DT41 volledig wordt uitgeschakeld in het laagseizoen scheelt dit meer dan tweeënhalf uur storingstijd en acht uur werk voor de OHD. In Hoofdstuk 5 zal blijken wat er gedaan moet worden om tot een optimale onderhoudsmethodiek te komen.

Het advies voor vervolg onderzoek is daarom dus ook om meer informatie te verzamelen om uitspraken te kunnen doen over het voorspellen van storingsgedrag en het effect van preventief onderhoud op de droogtestmachines. In dit onderzoek is er niet verder ingegaan op de voorspellende waarde voor storingsgedrag vanwege een gebrek aan informatie (er zouden te veel aannames gedaan moeten worden waardoor het niet meer overeenkomt met de werkelijkheid) en kennis van statistiek. Een volgend onderzoek zou in kunnen spelen op deze ontbrekende informatie, in het bijzonder op het gebied van het effect van de manipulatie van het onderhoudsschema.

5. Conclusie

In dit onderzoek is gezocht naar een antwoord op de onderzoeksvraag: “Welke onderhoudsmethode is het meest geschikt om de machinebeschikbaarheid van Remeha te optimaliseren?”. Hiervoor is onderzoek gedaan naar de huidige situatie en de literatuur op het gebied van machinebeschikbaarheid, storingsanalyse en onderhoud. De resultaten van dit onderzoek worden in dit hoofdstuk beschreven.

5.1 Machinebeschikbaarheid

Machinebeschikbaarheid wordt door Remeha gemeten door de beschikbaarheid van elke machine met elkaar te vermenigvuldigen. De machinebeschikbaarheid die uit deze berekening van Production Support volgt is 88,3%.

Door per station de bezettingsgraad van elke onderliggende machine te vermenigvuldigen met de beschikbaarheid van deze machines is de beschikbaarheid van de Tzerra-baan 93,03%. Hierbij wordt de machinebeschikbaarheid eerst per station berekend om vervolgens de beschikbaarheid van elk station met elkaar te vermenigvuldigen. Bij deze berekening wordt er rekening gehouden met onderlinge verschillen tussen de machines in gebruik en storingstijd, dit resulteert in een hogere gemeten beschikbaarheid. Doordat de link wordt gelegd naar de bezettingsgraad wordt er meer inzicht gegeven in het daadwerkelijke effect van een verhoging van de machinebeschikbaarheid van die machine op de totale beschikbaarheid van de baan. Deze manier van berekenen geeft eveneens een realistischer beeld van het pad die een ketel aflegt tijdens het assemblage proces.

Bij een machinebeschikbaarheid van 88,3% zijn de kosten voor het stilstaan van medewerkers aan de baan € 138.680,10 op jaarbasis. Bij een beschikbaarheid van 93,03% zijn de kosten voor het stilstaan van deze medewerkers € 82.615,41 op jaarbasis. Het verschil tussen deze twee berekeningen resulteert in een positief bedrag van € 138.680,10 - € 82.615,41 = € 56.064,69.

5.2 Storingsanalyse

Momenteel wordt er door Production Support in het EKB software continu een storingsrapportage bijgehouden. In deze rapportages worden onder andere de storingstijd en een omschrijving van de storing genoteerd. De opmerkingen bij een storing worden door de OHD geplaatst. Echter is het onbekend welke machines de meeste/kritieke storingen veroorzaken. Een waarde om het storingsgedrag van machines te bepalen ontbreekt.

Sinds begin 2017 worden storingen gecategoriseerd met behulp van redencodes waarbij aan wordt gegeven welk onderdeel de storing betreft. Uit de storingsanalyse in dit onderzoek blijkt dat 64,5% van de storingen willekeurig optreedt. Slechts 29% is potentieel beïnvloedbaar door preventief onderhoud. Uit data blijkt dat voornamelijk de stations Baan, Inpakmachine, labelprinter en GA41 beïnvloedbaar zijn door preventief onderhoud. Het advies is om een extra factor toe te voegen bij het melden van storingen waarbij aan wordt gegeven onder welk type de storing valt. In het onderzoek zijn hiervoor de typen: slijtage, inspectie, willekeurig en werkzaamheden gebruikt. Het type storing is hierbij gekoppeld aan een bepaalde onderhoudsvorm.

Door het toevoegen van de extra factor in het EKB software bij het melden van storingen kunnen de storingen per type worden bijgehouden zodat het soort onderhoud hier op kan worden aangepast. Als bijvoorbeeld blijkt dat er veel storingen willekeurig optreden zonder dat deze grote consequenties hebben voor het systeem kan worden bepaald om van preventief onderhoud over te gaan op storing-gebaseerd onderhoud door correctief te onderhouden. Eenmaal geïmplementeerd kunnen de storingen per type gebruikt worden om met behulp van de Weibull verdeling te bepalen wanneer een volgende storing op zal treden.

5.3 Onderhoudsmethodiek

Aan de hand van gesprekken met medewerkers van de afdeling Production Support blijkt dat het aantal onderhoudsmomenten niet onderbouwd is met literatuur. Het onderhoudsschema is enkel op basis van ervaring opgesteld, hierdoor is onbekend of er te veel of te weinig preventief wordt onderhouden. Dit komt overeen met de verwachting dat de onderhoudsmethodiek onvoldoende onderbouwd is. Het onderhoudsschema bestaat uit een vaste verdeling van onderhoudswerkzaamheden waarbij om de zes weken een andere baan wordt onderhouden. De onderhoudswerkzaamheden zijn goed geformuleerd en gestandaardiseerd in SOP-formulieren. Wat blijkt is dat er onvoldoende informatie beschikbaar is om gegronde uitspraken te kunnen doen wat het effect is als er meer of minder preventief onderhoud gepleegd wordt.

Door van een tijd-gebaseerde planning over te gaan naar een gebruik-gebaseerde planning kan worden ingespeeld op toekomstige uitbereiding en intensivering van het gebruik van de baan. Uit de data blijkt dat DT41 en DT42 een bezettingsgraad hebben van respectievelijk 6,4% en 14% over het jaar 2016. Deze twee droogtestmachines worden dus minder gebruikt dan de overige drie machines, terwijl alle vijf machines tweemaal per jaar preventief worden onderhouden. Daarom wordt aanbevolen om over te stappen naar een gebruiksafhankelijke onderhoudsplanning waarbij de mate van onderhoud wordt aangepast naar het gebruik van de machine.

Het is mogelijk dat de huidige storingsdata een vertekend beeld geven van het werkelijke storingsgedrag van de machines omdat er nu preventief wordt onderhouden. Doordat dit onderhoud plaatsvindt, is onbekend of het storingsgedrag over tijd (of aantal geproduceerde ketels) toeneemt, dan wel afneemt. De huidige storingsdata zijn namelijk de storingen die optreden, gegeven het onderhoudsschema in Tabel 9. Het is daarom zaak om meer inzicht in het storingsgedrag te krijgen. Dit kan worden bereikt door het preventief onderhoud aan een machine stop te zetten om te kijken welk effect dit heeft op het storingsgedrag van deze machine. Uit het onderzoek blijkt dat DT41 hier het meest geschikt is om te testen, omdat deze machine de laagste bezettingsgraad heeft. Ook kunnen de negatieve effecten van het storingsgedrag opgevangen worden door de overcapaciteit in het laagseizoen.

Als er geen preventief onderhoud wordt gepleegd aan DT41 wordt hierdoor 16,5 uur bespaard die de OHD zou kunnen besteden aan verbeteringen aan de baan. Uit het onderzoek blijkt dat het voordeel van minder preventief onderhoud aan DT41 opweegt tegen de nadelen die mogelijk op zouden kunnen treden. Eveneens dient gekeken te worden naar de tijd die het kost om de machine te onderhouden nadat deze voor langere tijd niet is onderhouden. Als dit langer duurt dan de geplande acht uur dient dit ook mee genomen te worden in de afweging. Het advies wat gegeven kan worden op basis van de gegevens is om te starten met het terugbrengen van tweemaal onderhoud, naar eenmaal preventief onderhoud aan DT41. Hierdoor blijft het risico beperkt doordat de machine vlak voor het hoogseizoen wordt onderhouden zodat het in de drukke periode beschikbaar zal zijn, maar is er al wel extra data te verzamelen over het storingsgedrag. Als uit de data blijkt dat het storingsgedrag nagenoeg onveranderd is ten opzichte van tweemaal preventief onderhoud kan worden geconcludeerd dat het tweede maal onderhoud per jaar overbodig is. Door onderscheid te maken tussen de onderhoudsmethodiek in laag- en hoogseizoen wordt de beschikbaarheid van de machines in het hoogseizoen verhoogd doordat zestien uur aan preventief onderhoud wordt verplaatst naar het laagseizoen.

Het is aan het einde van dit onderzoek nog niet mogelijk om tot concrete kwantitatieve besparingen te komen door het toepassen van een optimale onderhoudsmethodiek. Wel geeft dit onderzoek handvatten voor het verzamelen van nieuwe informatie die gebruikt kan worden om met behulp van het stappenplan en de aanbevelingen uit dit onderzoek tot een optimale onderhoudsmethodiek te komen.

5.4 Aanbevelingen voor implementatie

In Hoofdstuk 4 zijn aanbevelingen beschreven voor een optimale onderhoudsmethodiek. In deze paragraaf wordt beschreven hoe deze aanbevelingen te implementeren zijn. Het streven is om uiteindelijk een gebruiksafhankelijke onderhoudsplanning te kunnen hanteren. Om dit te bereiken dient begonnen te worden met het invoeren van een extra redencode bij het melden van elke storing, zoals beschreven in Paragraaf 4.6.4. De extra informatie die hiermee wordt verzameld kan worden gebruikt om een voorspellende factor op te stellen waarmee een indicatie voor het storingsgedrag kan worden gegeven.

Door in de software naast de machinebeschikbaarheid ook de bezettingsgraad van de machines bij te houden zijn deze twee eenvoudig aan elkaar te koppelen. In het EKB software dient een extra categorie aan redencodes toegevoegd te worden, namelijk de typen storing. Er dient uitleg gegeven te worden aan de OHD wanneer ze welke code dienen te scannen.

Het stappenplan (Figuur 10) dient gebruikt te worden om te bepalen welke werkzaamheden bij welke storingen gehanteerd moeten worden. De huidige storingsdata kan gebruikt worden als input voor het stappenplan. Op basis van de gegevens uit dit onderzoek wordt aangeraden om minstens één keer per jaar het stappenplan te doorlopen, omdat de eerder genoemde aanpassingen dan voor nieuwe inzichten in de onderhoudsmethodiek kunnen zorgen. Er is enige tijd nodig voordat het effect van de aanpassingen in de data zichtbaar is, daarom is gekozen voor het een interval van één jaar zodat de volledige onderhoudscyclus doorlopen kan worden.

Tijdens dit onderzoek zijn er enkel aanpassingen gedaan binnen het zes wekelijkse onderhoudsschema van de Tzerra-baan. Overige assemblagelijnen zijn buiten beschouwing gelaten (zie Paragraaf 1.6). Het stappenplan naar de geschikte onderhoudsmethodiek kan ook op de overige lijnen worden toegepast.

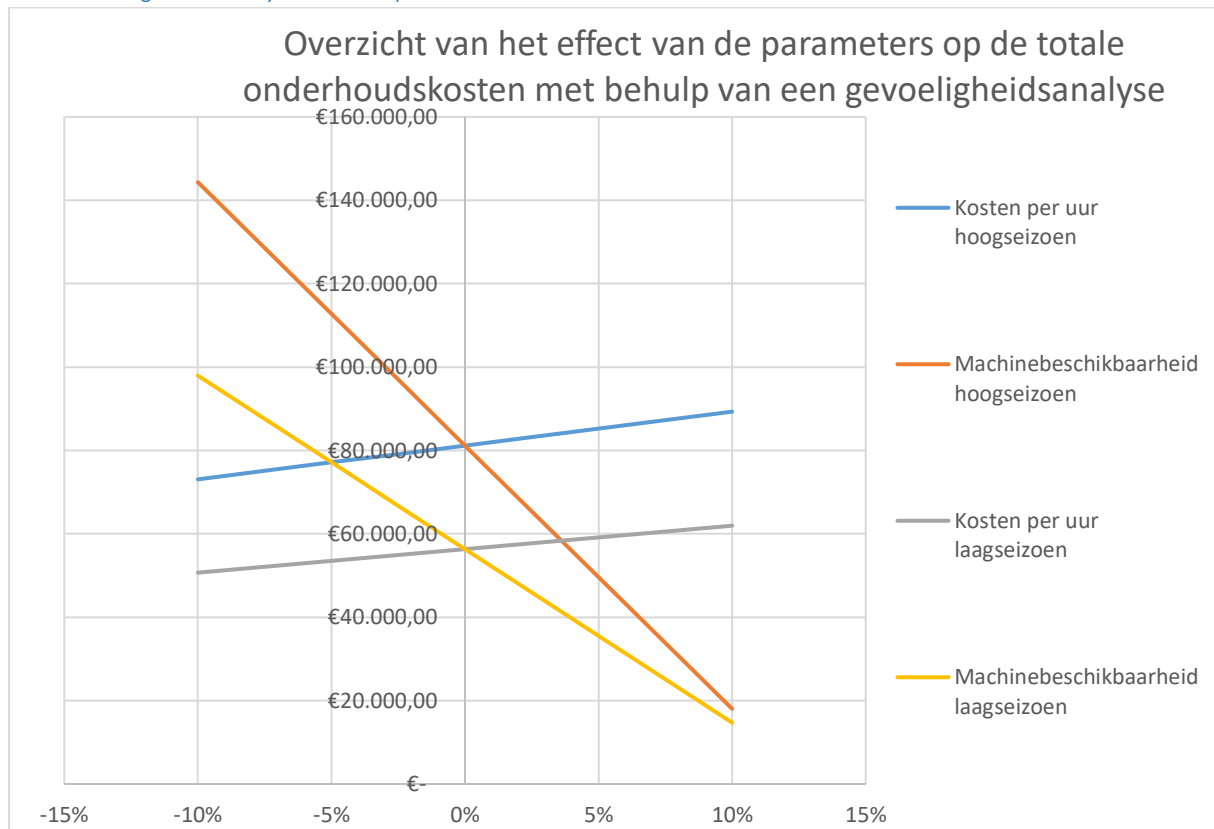
Bibliografie

- Al-Najjar, B. (2002). Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making. *International Journal of Production Economics* 84, 85-100.
- AMC-UvA. (2002). *Richtlijnen voor kwaliteitsborging in gezondheids(zorg)onderzoek: Kwalitatief Onderzoek*. Amsterdam: Netwerk Kwalitatief Onderzoek.
- Arts, J. (2017). *Maintenance Modeling and Optimization*. Eindhoven: BETA publicatie, WP 526.
- Basten, R. S. (2008). *Level of Repair Analysis: A Generic Model*. Enschede: Universiteit Twente.
- Ben-Daya, M. (2000). You may need RCM to enhance TPM implementation. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 6 (2), 82-85.
- Boddy, D., & Patson, S. (2011). *Management: an Introduction*. Harlow: (Pearson, Red.) (5th ed.).
- Boyer, K. K. (2008). Empirical elephants - why multiple methods are essential to quality research in operations and supply chain management. *Journal of Operations*, pp. 338-344.
- Braaksma, J. (2012). *Asset information for FMEA-based maintenance*. Groningen: University of Groningen.
- Brake, J. t. (2003). *Inleiding tot Reliability-centred Maintenance*. Retrieved from [www.operationalexcellence.nl: http://www.operationalexcellence.nl/wp-content/uploads/2016/01/Inleiding-tot-Reliability-centred-Maintenance-1.pdf](http://www.operationalexcellence.nl/content/uploads/2016/01/Inleiding-tot-Reliability-centred-Maintenance-1.pdf)
- Cooper, D. R., & Schindler, P. S. (2014). *Business Research Methods*. New York: McGraw-Hill/Irwin.
- Dal, B. &. (2000). Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement, a practical analysis. *International Journal of Operations and Production Management*, 1488-1502.
- Devers, K. (1999). How will we know "good" qualitative research when we see it? Beginning the dialogue in health services research. *Health Services Research* 34(5), Part II: 1155-1197.
- Elwany, A., & Gabrael, N. (2008). Sensor-driven prognostic models for equipment replacement and spare parts inventory. *IIE Transactions*, 40 (7), 629-639.
- Galante, G., Curcurù, G., & Lombardo, A. (2010). A predictive maintenance policy with imperfect monitoring. *Elsevier, Reliability Engineering and System Safety* 95, 989-997.
- Gits, C. (1992). Design of maintenance concepts. *Elsevier, International Journal of Production Economics*, pp. 217-226.
- Glennon, M. T. (2013). *The Locomotive; Should You Be Doing Electrical Preventive Maintenance? You Bet!* The Hartford Steam Boiler Inspection And Insurance Company.
- Harmsel, J. t. (2009). *Verminderen van ongeplande stops: Een onderzoek naar het verbeteren van het onderhoudsmanagement binnen de Enkco Foodgroup*. Enschede: Universiteit Twente.
- Heerkens, H. v. (2012). *Geen Probleem: Een aanpak voor alle bedrijfskundige vragen en mysteries*. Business School Nederland: Van Winden Communicatie.
- Keppner, C., & Tregoe, B. (1965). *The rational manager: a systematic approach to problem solving and decision-making*. New York: McGraw Hill.
- Klutke, G. K. (2003). A critical look at the bathtub curve. *IEEE Transactions on Reliability* 52 (1), 125-129.

- Knights, P. (2001). Rethinking Pareto analysis: maintenance applications of logarithmic scatterplots. *Journal of Quality in Maintenance Engineering (Vol. 7)*, 252-263.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance*. New York: Industrial Press.
- Muchiri, P. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, 3517-3535.
- Nagel, S. (n.d.). *Introduction Professional Responsibility and Ethics*. Retrieved from Blackboard: https://blackboard.utwente.nl/bbcswebdav/pid-919129-dt-content-rid-1966843_2/xid-1966843_2
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. Cambridge: Productivity Press.
- Pintelon, L., & Waeyenbergh, G. (2002). A framework for maintenance concept development. *International journal of Production Economics* 77, 299-313.
- Pintelon, M., & Gelders, L. (1991). Maintenance management decision making. *European Journal of Operational Research* 58, 301-317.
- Tinga, T. (2012). *Mechanism Based Failure Analysis: Improving maintenance by understanding the failure mechanisms*. Nederlandse Defensie Academie.
- Turbide, D. (1995). Japan's new advantage: total productive maintenance. *Quality Progress, March*, 121-3.
- Wilson, P. &. (1993). *Root Cause Analysis; A tool for Total Quality Management*. Wisconsin: American Society for Quality.
- Wireman, T. (2004). *Total Productive Maintenance*. New York: Industrial Press.

A. Appendix

A.1 Gevoeligheidsanalyse van de parameters voor de onderhoudskosten



Figuur 17: Overzicht van het effect van de parameters op de totale storingskosten met behulp van een gevoeligheidsanalyse

De parameter 'Kosten per uur' betreft de loonkosten voor de medewerkers die stilstaan als de machines in storing staan. De parameters 'Aantal medewerkers' en 'Aantal productie uur' vertonen het zelfde gedrag als 'Kosten per uur' bij een percentuele daling en stijging. Deze parameters zijn daarom uit Figuur 17 weggelaten.

A.2 Overzicht van storingstijd en het aantal storingen per machine

Machine	2016		Laagseizoen		Hoogseizoen	
	Storingstijd	# storingen	Storingstijd	# storingen	Storingstijd	# storingen
<i>baan</i>	33:47:35	88	16:26:00	40	17:21:35	48
<i>DT41</i>	10:00:00	22	2:35:00	9	7:25:00	13
<i>DT42</i>	17:40:00	23	5:25:00	10	12:15:00	13
<i>DT43</i>	05:49:33	17	4:42:00	10	1:07:33	7
<i>DT44</i>	05:59:02	13	2:20:00	5	3:39:02	8
<i>DT45</i>	06:39:45	25	3:10:00	11	3:29:45	14
<i>FLM41</i>	08:06:13	39	3:31:00	18	4:35:13	21
<i>FLM42</i>	12:29:00	38	7:49:00	24	4:40:00	14
<i>GA41</i>	32:23:06	33	9:48:00	19	22:35:06	14
<i>GA42</i>	13:42:41	33	3:52:00	13	9:50:41	20
<i>GA43</i>	08:21:39	44	5:15:00	27	3:06:39	17
<i>GA44</i>	14:17:00	34	3:12:00	12	11:05:00	22
<i>inpak</i>	13:32:00	48	8:28:00	30	5:04:00	18
<i>labelprinter</i>	26:04:00	39	17:33:00	18	8:31:00	21
<i>Netwerk</i>	22:55:00	19	11:45:00	10	11:10:00	9
Totaal	231:46:34	515	105:51:00	256	125:55:34	259

Tabel 12: Overzicht van de storingstijd en het aantal storingen per machine van de Tzerra-baan in 2016

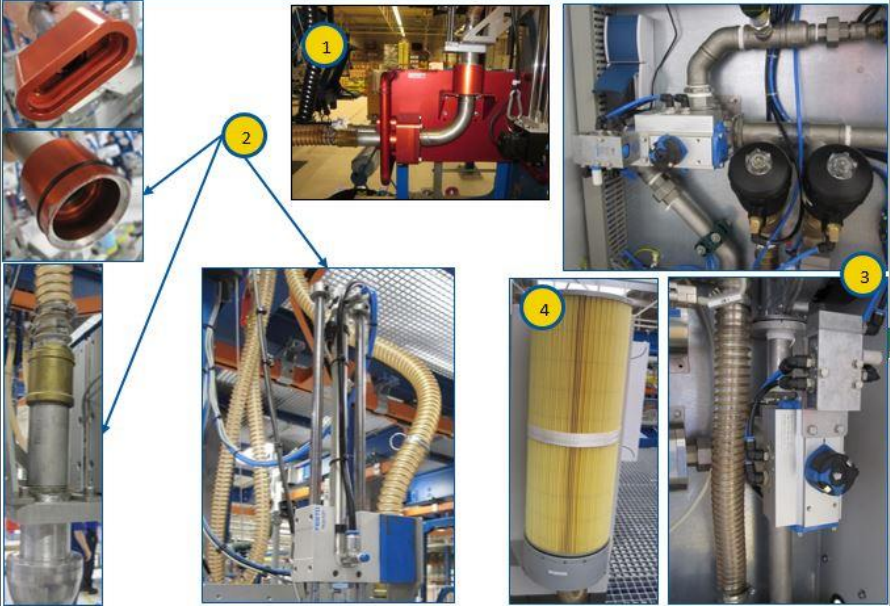
A.3 Onderhoudsformulieren

A.3a Standard Operating Procedure (SOP)

Standard Operating Procedure (SOP)				 TPM TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE	
Lijn	Tzerra	Werkplek	Droge Test	Versie	1
Omschrijving	Controle en onderhoud van de droge test	Tijdsinvestering	8 uur	Versiedatum	5-11-2015
Documentnummer	SOP-T-003	Frequentie	2 x per jaar	Printdatum	24-5-2017
Functie	Onderhoudsmonteur			Auteur	G.J. Versteeg
#	Werkvolgorde	Aandachtspunten	Reden	Leerpunt	Media
1	Controleer de aansluitpunten op beschadigingen en vervuiling	Belangrijk is dat de O-ringen en de sifonprop goed afdichten i.v.m. lekkage	Dit zorgt er voor dat er geen luchtlekages zijn en geen schade aan de ketelhydraulics ontstaat.	LP-SOP-T-003-1	
2	Controleer de adapter op functioneren	Lineair geleidingen en luchtcilinders Verstelling NL / EXP en Hoog / Laag adapter	Bij slecht functioneren kan de medewerker gewond raken of schade aan de ketel ontstaan	LP-SOP-T-003-2	
3	Controleer de veiligheid van de droge test	Controleer de noodstop en de aanwezigheid van de afschermingen	Bij niet functioneren kunnen er gevaarlijke situaties ontstaan.	LP-SOP-T-003-3	
4	Controleer het FLT circuit (begane grond+bordes)	Slangen, aansluitmonden en 3D koppelingen	Lekke slangen / monden kunnen zorgen voor afwijkende meetwaarden.	LP-SOP-T-003-4	
5	Controleer de elektrische aansluitingen van de droge test.	WCD NL en EXP, Ri 10 kruisnoer, EST kabel/probe, USB stick	Door een defecte / beschadigde wcd kan een gevaarlijke situatie ontstaan.	LP-SOP-T-003-5	
6	Controleer de RGA en SMG aankoppelunit	Controleer de RGA prop op beschadiging Controleer de cilinders en SMG sensor verbindingpunten ophanging	Bij niet functioneren kunnen er gevaarlijke situaties ontstaan en / of schade aan de ketel.	LP-SOP-T-003-6	
7	Controleer het ALT circuit	Slangen, koppelingen, referentieketel	Lekkages kunnen foutieve meetwaarden veroorzaken	LP-SOP-T-003-7	

Figuur 18: Standard Operating Procedure (SOP) - formulier voor preventief onderhoud door de Onderhoudsdienst.

A.3b Leerpunten van de Standard Operating Procedure (LP-SOP)

Leerpunt		Documentnummer	 TPM TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE		
Lijn	Tzerra	Omschrijving	Controle en onderhoud van de droge test	Auteur	G.J. Versteeg
Werkplek	Droge Test	Versie	1	Datum	5-11-2015
Media				Benodigdheden	
				Filter Remeha artikelnummer S101172 FLT dummy, CLB recept en lekspray.	
				Werkwijze	
				1: Gebruik de FLT Dummy om het circuit te controleren. Zie hiervoor ook instructie in map: U:\Production Support\06 Documentatie en tekeningen\Tzerra\Werkinstructies\Dry test	
				2: Controleer de 3 slangen en 2 aansluitmonden op beschadigingen en / of lekkages. Controleer de afdichtringen van de monden.	
				3: Controleer de kleppen, koppelingen en andere verbindingen op werking en lekkages.	
				4: Controleer het luchtfilter op vervuiling en beschadigingen. Vervang indien nodig.	

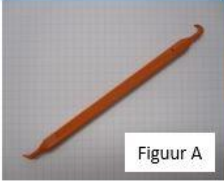
Figuur 19: Leerpunten van de Standard Operating Procedures (LP-SOP) - formulier met leerpunten voor preventief onderhoud door de Onderhoudsdienst

A.3c TPM Operating Procedure (TOP)

TPM Operating Procedure (TOP)				CR remeha the comfort innovators	
Lijn	Tzerra	Werkplek	Droge eindtest	Versie	1.1
Omschrijving	Controle en onderhoud van de droge eindtest	Tijdsinvestering	10 minuten	Versiedatum	5-6-2015
Documentnummer	TOP-008	Frequentie	1 x per dag	Printdatum	24-5-2017
Functie	Baanmedewerker			Auteur	S. Velthoen
#	Werkvolgorde	Aandachtspunten	Reden	Leerpunt	Media
1	Controleer de aansluitpenen op beschadigingen en vervuiling	Belangrijk is dat de rubbers goed afdichten ivm lekkage	Een schone werkplek werkt prettiger en de kans op storingen wordt kleiner	LP-TOP-008-1	
2	Controleer de adapter op functioneren	Verstelling NL / EXP adapter	Een schone werkplek werkt prettiger en de kans op storingen wordt kleiner	LP-TOP-008-2	
3	Controleer het FLT circuit	Slangen, aansluitmonden op beschadigingen.	Lekke slangen / monden kunnen zorgen voor afwijkende meetwaarden.	LP-TOP-008-3	
4	Controleer de contactdozen en het kruisnoer op beschadigingen.	WCD NL en EXP, RJ 10 kruisnoer, EST kabel/probe.	Door een defecte / beschadigde contactdoos kan een gevaarlijke situatie ontstaan.	LP-TOP-008-4	
5					

Figuur 20: TPM Operating Procedure (TOP) - formulier voor preventief onderhoud voor baanmedewerker.

A.3d Leerpunt voor TPM Operating Procedure (LP-TOP)

Leerpunt		Documentnummer	LP-TOP-008-1	CR remeha the comfort innovators	
Lijn	Tzerra	Omschrijving	Controle en onderhoud van de droge eindtest	Auteur	S. Velthoen
Werkplek	Droge eindtest	Versie	1.1	Datum	5-6-2015
Media				Benodigheden	
  				O-ring sleutel (figuur A)	
				Werkwijze	
				1: Controleer de circulaire beweging van alle spenen. 2: Controleer de sifonprop op functioneren en op beschadigingen. 3: Vervang de O-ringen.	

Figuur 21: Leerpunt TPM Operating Procedure (LP-TOP) - formulier met leerpunten voor preventief onderhoud voor baanmedewerker. Toelichting op TOP-formulier