

UNIVERSITEIT TWENTE.

Technische Bedrijfskunde

Optimalisatie op de vulkanisatieafdeling in de bandenindustrie:

Onderzoek naar een beslissingsmodel voor het onderhouden/vervangen
van vulkanisatiepersen

F. P. van Ingen
Bachelor Thesis
Februari 2018

Begeleiders/Instelling:

Dr. H. Heerkens (1^e)

Dr. P.C. Schuur (2^e)

Universiteit Twente

Begeleider/Bedrijf:

Dhr. C. Bax

Apollo Vredestein B.V.

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie ‘Optimalisatie op de vulkanisatieafdeling in de bandenindustrie: onderzoek naar een beslissingsmodel voor het onderhouden/vervangen van vulkanisatiepersen’. Deze scriptie is geschreven ter afsluiting van mijn bachelor Technische bedrijfskunde aan de Universiteit Twente en in opdracht van bandenfabrikant Apollo Vredestein B.V. Van november 2017 tot en met februari 2018 ben ik bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van de scriptie.

Bij dezen wil ik graag mijn stagebegeleider, Charles Bax, en begeleiders vanuit de universiteit, Hans Heerkens en Peter Schuur, bedanken voor de fijne begeleiding en hun ondersteuning tijdens dit traject. Ook wil ik graag alle medewerkers op de vulkanisatie- en kwaliteitsafdeling, die bij hebben gedragen aan het onderzoek, bedanken. Zonder hun medewerking had ik dit onderzoek niet kunnen voltooien. Tot slot, wil ik mijn ouders en Anne Buningh in het bijzonder bedanken. Hun motiverende woorden hebben mij geholpen deze scriptie tot een goed einde te brengen.

Frank van Ingen

Enschede, 16 februari 2018.

Samenvatting

Vanwege het gebruik van gevoelige informatie zijn sommige waardes in deze scriptie vermenigvuldigd met een niet vermelde factor.

In deze scriptie is onderzoek gedaan naar een beslissingsmodel voor het onderhoud van de NRM-persmachines op de vulkanisatieafdeling van Apollo Vredestein B.V. Vulkanisatie is de laatste stap bij het fabriceren van autobanden, waarbij een ruimtelijk netwerk in het materiaal van het rubber wordt gevulkaniseerd. Het bedrijf beschikt over vier verschillende type vulkanisatiepersen, waarbij vulkanisatie plaatsvindt.

De focus van dit onderzoek ligt op de NRM-persmachines, omdat bij deze persen een slechte kwaliteit is geconstateerd en het zeker is dat deze in de toekomst vervangen zullen worden door ander type persen. De kwaliteit van de NRM-persen neemt steeds verder af, waardoor onderhoud of vervanging een steeds belangrijker onderwerp wordt. Het bedrijf is daarom geïnteresseerd in de huidige status van de NRM-persen en in een beslissingsmodel, waarbij duidelijk wordt wanneer een machine onderhouden of vervangen dient te worden. Hierdoor luidt de onderzoeksvraag: *“Welke beslissingen rondom de toekomst van de NRM-persen zijn mogelijk voor het businesssteam?”*. Hiervoor is eerst de huidige status van de NRM-persen zo goed mogelijk in kaart gebracht, en vervolgens zijn de belangrijkste beslissingen toegelicht aan de hand van een beslissingsmodel rondom het onderhoud en vervangen van de NRM-persen.

Voor het in beeld brengen van de huidige status van de NRM-persen, zijn kwaliteit, veiligheid, uitval en functionaliteit meegenomen als variabelen. Deze variabelen zijn vervolgens geoperationaliseerd. De variabele ‘kwaliteit’ is opgesplitst in zeven kwaliteitsaspecten, die centraal staan voor de totale kwaliteit van een NRM-pers. Door middel van toleranties zijn er scoringsmodellen per kwaliteitsaspect ontworpen voor NRM-persen. Voor het toekennen van totale kwaliteitsscores aan NRM-persen is het AHP-model gebruikt. Met de variabele ‘uitval’ wordt het uitval aan autobanden bedoeld na vulkanisatie. Deze banden voldoen, door imperfecties, niet aan de vastgestelde kwaliteitseisen en kunnen daardoor niet verkocht worden aan de markt. De oorzaken van imperfecties zijn gefilterd, waardoor enkel het aantal autobanden overblijven die imperfecties bezitten door fouten van de pers zelf. UPG(%) staat voor het percentage van de productie aan banden dat niet voldoet aan de vastgestelde kwaliteitseisen door pers gerelateerde fouten. De variabele ‘functionaliteit’ is enkel meegenomen om het onderscheidt in NRM-persen te belichten, maar is niet meegenomen voor het bepalen van de huidige status van de NRM-persen. De variabele ‘veiligheid’ is afhankelijk van twee kwaliteitsaspecten, die gedefinieerd zijn bij de variabele ‘kwaliteit’. Dit zijn scheuren in bepaalde onderdelen van de machine die invloed hebben op de veiligheid van de operatiemedewerkers op de productievloer. Ook bij deze variabele is een scoringsmodel ontworpen voor het bepalen van de veiligheid bij de NRM-persen.

Voor het toekennen aan kwaliteitcijfers aan persen, is het kwaliteitsonderzoek uit 2015 gebruikt. Dit kwaliteitsonderzoek, uitgevoerd door het bedrijf zelf, bevat resultaten omtrent de kwaliteitsaspecten per pers. Met gebruik van de scoringsmodellen en het AHP-model volgt dat 87% van de NRM-persen boven het tolerantieniveau zit. Daarvan nadert 77% het tolerantieniveau en dienen dus aandacht te krijgen. Voor het bepalen van UPG(%) zijn de monteurs van het bedrijf en de kwaliteitsafdeling geraadpleegd. Hieruit is gebleken dat

gemiddeld 0,68% van de totale productie in 2015 niet voldoet aan de vastgestelde kwaliteitseisen door fouten, veroorzaakt door de NRM-persen zelf. Deze fouten resulteren in een verlies van meer dan drie ton. het gebied van veiligheid scoren alle persen even positief. De scheuren bij de NRM-persen zijn zodanig dat alle persen momenteel nog mogen produceren.

Na het in beeld brengen van de huidige status is er een beslissingsmodel ontworpen rondom het onderhouden en vervangen van de NRM-persen. Hierin zijn voorwaarden voor onderhoud vastgesteld die bepalen of een NRM-pers revisie zal ontvangen wanneer nodig. Een NRM-pers dient aan alle voorwaarden te voldoen om onderhoud te ontvangen. Deze voorwaarden bestaan uit veiligheid, maximale onderhoudskosten en het beschikbaarheidsniveau. Met het beschikbaarheidsniveau wordt een tweetal onderwerpen bedoeld: de beschikbaarheid van onderdelen voor onderhoud en het beschikbaarheidsniveau van productie. Doordat het bedrijf aangeeft dat onderdelen van de NRM-pers na te maken zijn, komt het eerste onderwerp te vervallen als voorwaarde voor onderhoud. Het beschikbaarheidsniveau van productie wordt berekend aan de hand van een gewenste bezettingsgraad en weergeeft de onder- of overcapaciteit aan NRM-persen op de vulkanisatieafdeling. Voor het bepalen van maximale onderhoudskosten is het investeringsplan uit 2016 gebruikt. Hierin staan de baten en lasten van het vervangen van NRM-persen door ander type vulkanisatiepersen, die grotere bandenmaten kunnen vulkaniseren. Door het kijken naar de terugverdientijd van deze investering zijn er maximale onderhoudskosten berekend, waarbij onderhouden voordeliger is dan vervangen.

Als een NRM-pers niet voldoet aan de voorwaarden van onderhouden, dan wordt de beslissing doorspeeld aan het businesssteam. Zij hebben een drietal keuzes die betrekking hebben op de toekomst van de NRM-pers:

- Alsnog revisie/groot onderhoud toekennen aan een bepaalde pers.
- De NRM-pers tijdelijk stilzetten, totdat er een andere oplossing aantrekkelijk genoeg is.
- De NRM-pers vervangen door ander type vulkanisatiepersen.

De belangrijkste voor- en nadelen van de verschillende beslissingen zijn toegelicht en bij de laatste beslissing is een implementatieplan uitgewerkt.

Uiteindelijk is het beslissingsmodel geïmplementeerd in de huidige situatie van het bedrijf en is er gekeken hoe doorslaggevend de voorwaarden voor onderhoud zullen zijn. Hieruit volgt dat onderhoud aan een NRM-pers meer dan €334.632 moet bedragen om afgewezen te worden. Dit bedrag is zo hoog, doordat het bedrijf streeft naar een terugverdientijd van één jaar. Doordat gemiddelde revisiekosten nooit het bovenstaande bedrag zullen overschrijden, zal een NRM-pers altijd aan de voorwaarde ‘maximale onderhoudskosten’ voldoen. Ook zal er voldaan worden aan de voorwaarde ‘veiligheid’, doordat er geen NRM-persen aanwezig zijn die niet voldoen aan de vastgestelde veiligheidseisen van het bedrijf. Voor het bepalen van het beschikbaarheidsniveau is er een bezettingsgraad vastgesteld van 80%. Hieruit volgt een beschikbaarheidsniveau van 2,2. Deze waarde impliceert dat het bedrijf beschikt over een overcapaciteit van twee NRM-persen. Hierdoor zal er geen revisie/groot onderhoud toegekend worden aan een NRM-pers en wordt de beslissing doorspeeld aan het businesssteam. Het businesssteam kan ervoor kiezen om de pers alsnog te onderhouden. Het verstandigste zou zijn om de NRM-pers stil te zetten, totdat de overcapaciteit aan NRM-persen dermate gegroeid is, dat er drie NRM-persen vervangen kunnen worden door twee ander type vulkanisatiepersen. Hierdoor blijft de oppervlakte op de productievloer optimaal benut. Deze 2:3 verhouding komt

door een oppervlakte verschil bij de persen. Hierdoor dienen de persen links en rechts van de defecte pers ook geanalyseerd te worden. Aan de hand van de kwaliteitscijfers, die bepaald zijn door de scoringsmodellen en het AHP-model, en UPG(%) kan het businesssteam kiezen welke NRM-persen ook vervangen zullen worden. Aan de hand van dit beslissingsmodel kan het businesssteam een toekomst kiezen voor de NRM-persen op de vulkanisatieafdeling.

Door beperkingen in het onderzoek zijn sommige onderwerpen discutabel. Hier volgen de belangrijkste onderwerpen:

- De vastgestelde kwaliteitscijfers van de NRM-persen in het onderzoek kunnen verouderd zijn door het vergaren van informatie uit het kwaliteitsonderzoek uit 2015.
- De vastgestelde toleranties door de monteurs zijn subjectief bepaald. Hierdoor is het niet volledig zeker of deze vastgestelde toleranties ook daadwerkelijk gelijk zijn aan de toegestane afwijking/schade van de NRM-persen, waarbij de kwaliteit van de NRM-persen als acceptabel wordt geacht.
- UPG(%) blijkt geen relatie te hebben met de kwaliteit van de NRM-persen. Hierdoor wordt het interessant om onderzoek te doen naar oorzaken die de variatie van UPG(%) verklaren. Het kan namelijk ook zo zijn, dat de meegenomen kwaliteitsaspecten niet centraal staan voor de totale kwaliteit van de NRM-persen.
- Veiligheid is bepaald aan de hand van twee kwaliteitsaspecten uit het kwaliteitsonderzoek uit 2015. De waardes van deze kwaliteitsaspecten zijn gemeten door middel van het uitvoeren van een visuele controle. Scheurvorming dieper in het materiaal kan op deze manier onopgemerkt zijn gebleven, waardoor de meting van veiligheid minder betrouwbaar kan zijn.
- De gebruikte bezettingsgraad is niet gebaseerd op de huidige structuur van het bedrijf. Hierdoor kan de vastgestelde onder- of overcapaciteit afwijken.

Het onderzoek adviseert het bedrijf om de volgende punten uit te voeren voor het verbeteren van het beslissingsmodel:

- Het blijven monitoren van de kwaliteit van de NRM-persen, zodat het businesssteam geen beslissingen hoeft te maken aan de hand van mogelijk verouderde data.
- Onderzoek uitvoeren naar variatie UPG(%), zodat de oorzaak bekend wordt van de pers gerelateerde uitval.
- Vaststellen van duidelijke toleranties bij kwaliteitsaspecten en UPG(%). Bij het overschrijden van één van deze toleranties dient een bepaalde pers stopgezet te worden voor verder onderzoek.
- Uitvoeren van ultrasoon onderzoek bij NRM-persen voor het detecteren van scheurvorming diep in het materiaal van de persen.
- Onderzoek uitvoeren naar optimale bezettingsgraad van de NRM-persen, zodat de onder- of overcapaciteit aan NRM-persen op de vulkanisatieafdeling nauwkeurig bepaald kan worden.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	i
Samenvatting	ii
H1. Plan van aanpak	1
1.1. Aanleiding en Context	1
1.2. Probleemidentificatie	2
1.3. Probleemaanpak	5
1.3.1. De probleemanalyse	6
1a. Welke variabelen dienen meegenomen te worden voor het bepalen van de huidige status van de NRM-persen?	6
1b. Hoe worden de variabelen geoperationaliseerd en hoe ziet het scoringsmodel eruit? ..	6
1c. Wat zijn de kosten voor het behouden van de kwaliteit van de NRM-persen?	7
1.3.2. De formulering van oplossingen en de implementatie.	7
2a. Wat zijn de voorwaarden voor het onderhouden van de NRM-persen?	7
2b. Wat zijn de voor- en nadelen van de keuzes van het businesssteam?	7
1.3.3. Doelstelling	7
H2. Huidige situatie	9
2.1. Welke variabelen van de NRM-persmachines dienen meegenomen te worden voor het bepalen van de huidige status?.....	9
2.2. Hoe worden de variabelen geoperationaliseerd en hoe zit het scoringsmodel eruit?	12
2.2.1. Kwaliteit.....	12
2.2.2. Uitval.....	16
2.2.3. Veiligheid.....	18
2.3. Wat zijn de kosten voor het behouden van de kwaliteit van de NRM-persen?	18
2.4. Conclusie.....	19
H3. Het Beslissingsmodel.....	20
3.1. Het ontwerp van het beslissingsmodel.....	20
3.2. Wat zijn de voorwaarden van het onderhouden van de NRM-persen?	21
3.2.1. Veiligheid.....	21
3.2.2. Maximale onderhoudskosten	21
3.2.3. Beschikbaarheidsniveau.....	23
3.3. Wat zijn de voor- en nadelen van de keuzes van het businesssteam?	24
<i>Optie A – Alsnog revisie/onderhoud toekennen aan NRM-pers</i>	24
<i>Optie B – NRM-pers laten stilstaan</i>	25
<i>Optie C – Investeren in HF2-persen</i>	25
<i>Implementatieplan Optie C</i>	26

H4. Implementatie beslissingsmodel	28
4.1. Voorwaarden van onderhoud	28
4.2. Keuzes business team	29
4.3. Implementatieplan optie C	29
H5. Conclusie & Discussie	31
5.1. Conclusie	31
5.2. Discussie	32
5.1. Aanbevelingen	35
A. Referentielijst	36
B. Bijlage	37
Bijlage 1 - data kwaliteit I+II	37
Bijlage 2 - AHP enquête en resultaten	37
Bijlage 3 – Uitkomsten hoofdstuk 2	38

H1. Plan van aanpak

In dit hoofdstuk wordt het plan van aanpak beschreven. In paragraaf 1.1. worden de aanleiding van dit onderzoek en haar context toegelicht. In paragraaf 1.2. wordt het probleem geïdentificeerd en wordt zijn relevantie toegelicht. Vervolgens wordt er in paragraaf 1.3. samengevat hoe het probleem aangepakt gaat worden en wordt de doelstelling van het kennisprobleem omschreven

1.1. Aanleiding en Context

Apollo Vredestein B.V. maakt onderdeel uit van Apollo Tyres Ltd. Dit is een multinational met kantoren en diverse productielocaties in onder meer India, Nederland en Hongarije, die zich richten op het produceren van banden voor auto's en landbouwvoertuigen. Daarnaast beschikt het bedrijf over twee global R&D centers, waar verschillende producten worden ontwikkeld die vaak als testwinnaar op de markt worden gebracht.

In 2009 werd het Nederlandse Vredestein overgenomen door het Indiase bedrijf Apollo Tyres Ltd. De bedrijfsnaam werd veranderd in Apollo Vredestein B.V. Het overgrote deel van de productie vindt plaats in het Nederlandse Enschede.

Binnen de productieplant in Enschede bevinden zich zes afdelingen. Dit zijn:

- Operations
- Value Stream
- Industrial Engineering
- Plant Engineering
- Product Industrialisation
- Quality Assurance

De afdeling operations is verdeeld in zes business teams:

- BT 1 – Mixing/Extrusion/RMS
- BT 2 – DPC/Beads/ILC
- BT 3 – ACT/SM Building & Curing
- BT 4 – PCT Building
- BT 5 – Final Finish & PCT Vulcanisation
- BT 6 – VAS SM Mounting & Spoilers

Apollo Vredestein B.V. produceert autobanden van ruwe materialen. De volledige productie van de autobanden ligt daarom in eigen handen. Elk proces van de productie is verdeeld onder de bovenstaande zes business teams. Dit onderzoek zal zich volledig richten op de vulkanisatieafdeling die georganiseerd wordt door BT 5.

De vulkanisatieafdeling haalt eerst halffabricaten op van een andere afdeling om vervolgens de autobanden te vulkaniseren. Vulkanisatie is de laatste stap bij het maken van autobanden. Door middel van persmachines worden de banden in verschillende matrijzen geperst en tot slot gevulkaniseerd. Het volledige vulkanisatieproces zal bij paragraaf 1.2. verder toegelicht worden. Apollo Vredestein beschikt momenteel over vier verschillende soorten vulkanisatie-

persmachines, die alle zijn ondergebracht in dezelfde ruimte. Deze persmachines onderscheiden zich in de bandengrootte, die gevulkaniseerd kan worden, en de manier van vulkaniseren.

De focus van dit onderzoek zal liggen op de NRM-persmachines op de vulkanisatie afdeling, omdat bij deze persen een slechte kwaliteit is geconstateerd en het zeker is dat deze in de toekomst vervangen zullen worden.

1.2. Probleemidentificatie

In deze paragraaf zal de probleemstelling en haar bijkomstige deelvragen worden geformuleerd en toegelicht.

De probleemstelling

Tijdens het jaar 1996 is er een verslag verschenen over de gesteldheid van de NRM-persen. Hierin is een tienjarenplan vastgesteld waarin de NRM-persen vervangen zouden moeten worden. Deze vervanging heeft uiteindelijk niet plaatsgevonden, omdat de NRM-persen - volgens het bedrijf - naar behoren functioneerden, de kwaliteit en veiligheid van het bedrijf niet in gevaar waren en investeringen in nieuwe persen relatief duur waren. Zonder verder onderzoek, is er toen besloten om de machines te blijven gebruiken voor vulkanisatie en te onderhouden waar nodig.

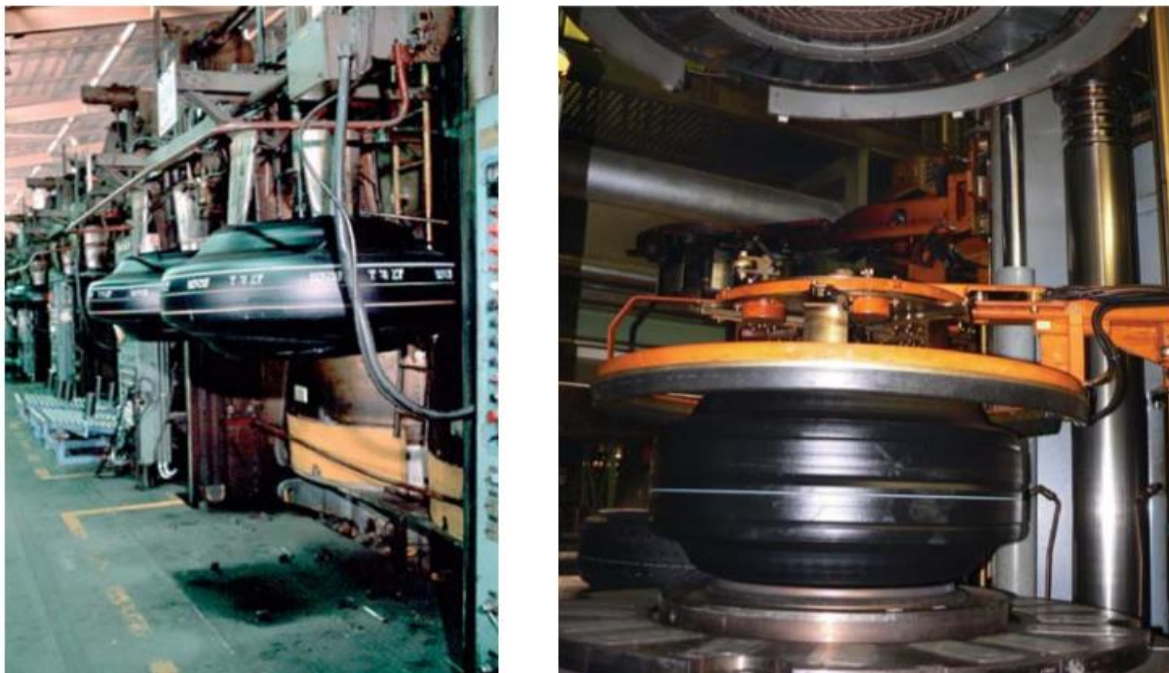
In 2015 is de status van de NRM-persen op de vulkanisatie afdeling opnieuw bepaald, aan de hand van verschillende kwaliteitsaspecten. Uit het onderzoek is gebleken dat het overgrote deel van de persen technische mankementen vertoonden, die invloed zouden kunnen hebben op de productkwaliteit en veiligheid van de persen. Slijtage, scheuren en mechanische afwijkingen in de persen zijn genoteerde oorzaken voor de lage kwaliteit van de machines.

Met behulp van klein onderhoud kunnen de NRM-persen nog steeds vulkaniseren met een SCRAP(%) die lager ligt dan de vastgestelde norm. SCRAP(%) is het percentage van de productie aan banden dat niet voldoet aan de vastgestelde kwaliteitseisen, en dus niet meer verkocht kunnen worden aan de markt. SCRAP(%) staat dus gelijk aan de uitval van producten. De kwaliteit van de NRM-persen neemt nog steeds af, waardoor onderhoud of vervanging steeds een belangrijker onderwerp wordt. Momenteel zijn er persen uit de productie gehaald door technische mankementen. Door de huidige financiële situatie kan een pers niet gemakkelijk een revisie ondergaan, waardoor de kwaliteit van de NRM-persen niet op gewenst niveau kunnen worden gebracht. Volgens het bedrijf laat de huidige productievraag het toe om sommige machines uit de productie te halen, maar het stilzetten van nog meer persen kan negatieve gevolgen hebben op de betrouwbaarheid van de productie. Hierdoor is het bedrijf geïnteresseerd in de huidige status van de NRM-persen en in een beslissingsmodel, waarbij duidelijk wordt wanneer een machine onderhouden of vervangen dient te worden. De probleemstelling is daarom als volgt:

Het businesssteam van de vulkanisatieafdeling is niet in staat beslissingen te maken rondom het vervangen of onderhouden van de NRM-persmachines, doordat er geen duidelijk beeld is van de huidige status van de NRM-persen.

Wat is vulkanisatie en hoe ziet het proces eruit?

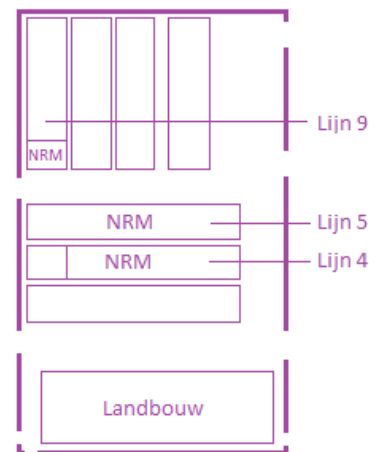
Vulkaniseren is een scheikundige reactie, waarbij een elastisch netwerk ontstaat van lange polymeerketens, die aan elkaar vastzitten door zwavelbruggen. Na het vulkaniseren kunnen de lange ketens niet meer langs elkaar schuiven en is het rubber niet langer plastisch maar elastisch. De greentyres (halfabricaten) worden gevulkaniseerd door verhitting met stoom tot circa 180 graden Celcius. Als een soort binnenband wordt een balg vol geperst met stoom. Door de druk (14bar) wordt de buitenzijde van de band in een verhitte metalen matrijs gedrukt. In deze matrijs zijn uitsparingen voor het loopvlakprofiel en de zijkantopdruk aangebracht (Technische Centrale, 2018).



Figuur 1 - Vulkanisatieproces

Zoals weergegeven in de linker afbeelding van figuur 1 beschikken de persen over twee openingen waar vulkanisatie kan plaatsvinden. Dit betekent dat de persen twee banden tegelijkertijd kunnen vulkaniseren. Tijdens dit onderzoek zal er gesproken worden over een A en een B kant, waarbij de A kant zich aan de linkerkant en de B kant aan de rechterzijde bevindt. In de rechter afbeelding is de greentyre te zien, voordat vulkanisatie plaatsvindt. Door de mechanische bouw van de NRM-persen, kunnen de A en B kant alleen tegelijkertijd vulkaniseren. De andere persen op de vulkanisatieafdeling kunnen de A en B kant afzonderlijk laten vulkaniseren.

Zoals vermeld in paragraaf 1.1. beschikt het bedrijf over vier verschillende persen. Deze persen onderscheiden zich in leverancier, omvang, proces en het type band dat het kan vulkaniseren. De NRM-persen bevinden zich op productielijn 4, 5 en 9 op de vulkanisatie afdeling, zoals weergegeven in figuur 2. Deze NRM-persen vulkaniseren over het algemeen 13 tot en met 16 inch banden. Door het verwisselen van het matenpakket bij de NRM-pers kan er gevarieerd worden tussen dit interval van bandenmaten. Het onderzoek zal zich niet verdiepen in de insteltijd van de persen, omdat het bedrijf aangeeft dat deze tijd te verwaarlozen is.



Figuur 2 - Overzicht vulkanisatieafdeling

Op de andere lijnen zijn de overige drie vulkanisatie KR, HF1 en HF2-persen gepositioneerd. De HF2-persen vulkaniseren 16 tot en met 24 inch banden. Het onderzoek zal enkel aandacht besteden aan de NRM-persen. Helemaal onderaan de vulkanisatieafdeling bevindt zich de landbouwafdeling waar banden gevulkaniseerd worden voor de landbouwindustrie, maar hier zal het onderzoek ook geen aandacht aan besteden.

De afdelingen, waar de greentyres voor vulkanisatie gemaakt worden, sturen de banden via geautomatiseerde transportvoertuigen (AGV's) naar een voorraadplek, waar de greentyres zullen verblijven tot ze worden opgehaald. Imperfecties worden hier eruit gehaald, zodat NOK greentyres (banden die niet voldoen aan de vastgestelde eisen) niet gevulkaniseerd zullen worden. Vervolgens worden de banden opgehaald door de AGV's en getransporteerd naar de desbetreffende persmachine op de vulkanisatieafdeling. Hier verplaatsen operatiemedewerkers de banden van de pallet naar de pers en activeren vervolgens de pers en dus ook het vulkanisatieproces. Na het vulkaniseren worden de banden van de rolbank gehaald en gecontroleerd op imperfecties. Tot slot, worden de banden op andere pallets gezet en, door middel van AGV's, naar de voorraadplek vervoerd.

Wie zijn de stakeholders van het probleem?

Ten eerste, hebben de heren in het businesssteam last van de onzekerheid rondom het onderhoud van de NRM-persen. Iedere keer als geconstateerd wordt dat een NRM-pers groot onderhoud nodig heeft, dan moet het businesssteam analyseren wat de kosten zullen zijn en of het een rendabele investering is. Ook moeten zij telkens onderzoeken naar de staat van de persen introduceren, omdat de kwaliteit van de persen keer op keer verandert. Bovendien, beschikt het team niet over een adequaat beslissingsmodel, zodat zij niet in staat zijn een beslissing te nemen na het onderzoek te hebben uitgevoerd. Kortom, het businesssteam blijft analyseren zonder een beslissing te kunnen maken over de toekomst van de NRM-persen.

Ten tweede, moet de kwaliteitsafdeling telkens hetzelfde werk leveren. De kwaliteitsafdeling controleert en monitort de prestaties van de NRM-persen. Deze informatie verwerken zij, zodat het businesssteam van de vulkanisatieafdeling kan inzien welke machines niet naar behoren functioneren op een bepaald tijdsinterval. Doordat het businesssteam niet beschikt over een beslissingsmodel rondom het onderhoud van de NRM-persen, moet de kwaliteitsafdeling het businesssteam constant voorzien van informatie.

Tot slot, is de salesafdeling een belangrijke stakeholders. Als te veel NRM-persen niet meer naar behoren functioneren, dan kan het bedrijf niet meer voldoen aan de productievraag bij dat typeband. De marketingafdeling dient dit dan te verantwoorden aan de klanten.

Wat wordt er gedaan tegen de afnemende kwaliteit van de NRM-persen?

Het bedrijf vermeldt dat er weinig te doen is aan de afnemende kwaliteit van de NRM-persen. De NRM-persen kunnen een revisie ondergaan, waarbij getracht wordt de kwaliteit van de persen te herstellen naar de oorsprong. Volgens de engineers van het bedrijf heeft een revisie positieve gevolgen voor de kwaliteit van de machine, maar zal het de oorspronkelijke kwaliteit niet bereiken. De persmachines zitten tegen hun 'end of life' aan en dienen op een zeker moment vervangen te worden. De exacte datum hiervan is volgens het bedrijf niet te schatten en is dus onduidelijk.

Zijn er al investeringsplannen beschikbaar voor de NRM-persen?

In 2012 is er een investeringsplan vastgesteld om alle NRM-persen te vervangen door HF1-persen. De grote verschillen tussen deze twee persen zijn, dat de HF1-persen niet enkel op stoom, maar ook op stikstof vulkaniseren en dat de HF1-persen grotere bandenmaten kunnen vulkaniseren. Het plan was om alle NRM-persen gestaag te vervangen door deze HF1-persen vanaf 2012 tot en met 2028.

In 2016 is er een tweede investeringsplan vastgesteld om alle NRM-persen te vervangen door HF2-persen. Het grote verschil tussen deze persen en de HF1-persen is dat de HF2-persen groter zijn qua omvang en daardoor grotere inch banden kunnen vulkaniseren. Deze investering is volgens het bedrijf verstandiger, doordat de focus gaat liggen op 'Ultra High Performance' banden die groter zijn dan 17 inch. Voor het plaatsen van twee HF2-persen dienen er drie NRM-persen verwijderd te worden.

Waarom moet het probleem aangepakt worden?

De vulkanisatieafdeling kan de huidige vraag aan met de huidige samenstelling van NRM-persen, maar het stilzetten van nog meer NRM-persen door bijvoorbeeld groot onderhoud of veiligheid kan resulteren in dat de productie niet meer kan voldoen aan de vraag. Daarnaast zitten de NRM-persen tegen hun 'end of life' aan, waardoor het onzeker is wat voor invloed onderhoud zal hebben op de kwaliteit van de NRM-persen. Investeringsplannen zijn al beschikbaar alleen is het onduidelijk wanneer deze te implementeren. Daarom is het noodzakelijk dat er een beslissingsmodel komt rondom het onderhoud en het investeren in de verschillende persmachines.

1.3. Probleemaanpak

Om het onderzoek in tien weken te kunnen afronden, zal het onderzoek opgedeeld worden in verschillende fasen. Deze fasen geven globaal weer welke activiteiten uitgevoerd zullen worden tijdens het onderzoek. Hiervoor zullen de fasen uit het boek 'Geen Probleem' (Heerkens, 2012) gebruikt worden als richtlijnen. In de eerste fase wordt het probleem geïdentificeerd, zoals beschreven in paragraaf 1.2. In deze paragraaf wordt de probleemaanpak geformuleerd en de resterende fasen die volgen:

- De probleemanalyse
- Formulering van alternatieve oplossingen

- Het kiezen van een oplossing
- Implementatie
- Evaluatie

Voor het formuleren van alternatieve oplossingen zal het onderzoek zich eerst verdiepen in de probleemanalyse. Dit wordt gedaan door de huidige status van de NRM-persen te belichten. Daarna zal tijdens de formulering van alternatieve oplossingen, het onderzoek dieper ingaan op het beslissingsmodel en de voorwaarden van de verschillende beslissingen van dit model. Doordat het onderzoek zich niet focust op het kiezen van één oplossing, zal dit onderzoek daarom een selectie geven van verschillende beslissingen met haar belangrijkste voor- en nadelen. Gezien de korte duur van het onderzoek, zal het onderzoek zich beperken tot het toelichten van implementatieplannen en zal het zich niet richten op de evaluatie.

1.3.1. De probleemanalyse

Voor het analyseren van het probleem, dient ten eerste gekeken te worden naar de verschillende variabelen van de NRM-persen, die een rol spelen voor de algehele kwaliteit van de NRM-persen. Daarna worden de gekozen variabelen geoperationaliseerd en wordt er per variabele een scoringsmodel gemaakt. Aan de hand van dit scoringsmodel is af te leiden hoe een bepaalde pers presteert. Tot slot, kijkt het onderzoek naar de onderhoudskosten voor het behouden van de kwaliteit van de NRM-persen. Hierbij staat de volgende vraag centraal:

Vraag 1. Wat is de huidige status van de NRM-persen?

Deze vraag is erg breed en zal daarom opgedeeld worden in drie specifieke vragen.

Vervolgens zal door middel van een conclusie een samenvatting gegeven worden. De volgende vragen zullen beantwoordt worden in hoofdstuk 2:

1a. Welke variabelen dienen meegenomen te worden voor het bepalen van de huidige status van de NRM-persen?

Voor het in beeld brengen van de huidige status van de NRM-persen zal het onderzoek eerst de verschillende variabelen van de NRM-persen toelichten. Het kiezen van variabelen zal gebeuren in overeenstemming met het bedrijf. De status van een willekeurige NRM-pers is dan afhankelijk van de besproken variabelen in deze paragraaf.

1b. Hoe worden de variabelen geoperationaliseerd en hoe ziet het scoringsmodel eruit?

Nu het duidelijk is welke variabelen het onderzoek zal meenemen voor het bepalen van de huidige status van de NRM-persen, zal het onderzoek zich richten op het operationaliseren van deze variabelen.

Het verzamelen van informatie omtrent de verschillende variabelen, zal in het begin voornamelijk gebeuren door het vergaren van informatie uit eerder onderzoek en uit het Productie Informatie Besturingssysteem (PIBS). De kwaliteitsafdeling zal hierbij geraadpleegd worden om nuttige informatie te halen uit het PIBS over de NRM-persen. Daarnaast zal door middel van interviews met werknemers van de kwaliteitsafdeling en de vulkanisatieafdeling overige informatie vergaard worden rondom de prestaties van de persen.

Tot slot, wordt er een scoringsmodel per variabel ontworpen, waarmee af te leiden is hoe een bepaalde pers presteert. De engineers van het bedrijf zullen assisteren bij het ontwerpen van de scoringsmodellen.

1c. Wat zijn de kosten voor het behouden van de kwaliteit van de NRM-persen?

Nu de huidige status is geschetst, gaat het onderzoek de onderhoudskosten belichten. Voor het analyseren van eventuele investeringsmogelijkheden in een later stadium is het noodzakelijk om een overzicht te hebben van deze kosten. Doordat het bedrijf niet secuur is geweest in het archiveren van alle onderhoudskosten per machine, zal het onderzoek zich vooral focussen op gemiddelde onderhoudskosten van de perslijnen en op de persmachines waarvan grote onderhoudskosten gerapporteerd zijn.

1.3.2. De formulering van oplossingen en de implementatie.

Nadat de huidige situatie in kaart is gebracht en het duidelijk is waar een bepaalde NRM-pers aan moet voldoen, is het noodzakelijk om te kijken naar de beslissingen die het management team kan nemen en die voldoen aan de voorwaarden van het bedrijf. De volgende vragen zullen hierbij beantwoord worden:

Vraag 2. Welke beslissingen zijn mogelijk voor het business team?

Bij deze vraag zal allereerst een model gemaakt worden voor het beslissingsproces rondom het onderhoud van de NRM-persen. Met de vergaarde informatie uit hoofdstuk 2 zullen randwaarden worden opgesteld voor het onderhoud van de persen. Investeringsopties zullen ook meegenomen worden in het model. Na het maken en uitleggen van het beslissingsmodel zullen onderstaande vragen beantwoord worden voor het verduidelijken van het model.

2a. Wat zijn de voorwaarden voor het onderhouden van de NRM-persen?

Nadat het ontwerp van het beslissingsmodel is vormgegeven, worden de voorwaarden van onderhoud verder toegelicht. Deze voorwaarden zijn afgeleid van de wensen van het bedrijf.

2b. Wat zijn de voor- en nadelen van de keuzes van het businessteam?

Als blijkt dat een NRM-pers niet aan de voorwaarden voldoet om onderhoud te ontvangen, zal het businessteam een beslissing moeten maken over de toekomst van de NRM-pers. Het beslissingsmodel zal daarbij een drietal opties weergeven. Het onderzoek zal de voor- en nadelen van deze opties analyseren en deze toelichten in het verslag. Voor eventuele investeringsopties in nieuwe persen zal het onderzoek een implementatieplan voorleggen.

Daarna zal in hoofdstuk 4 het beslissingsmodel geïmplementeerd worden aan de hand van de vastgestelde status in hoofdstuk 2, en zal er in hoofdstuk 5 een conclusie en discussie volgen met aanbevelingen voor het businessteam.

1.3.3. Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is het in kaart brengen van de huidige situatie, zodat het management team beslissingen kunnen nemen voor de toekomst van de NRM-persen. Daarnaast zal het onderzoek inzicht geven in de verschillende investeringsopties die het bedrijf beschikbaar heeft gesteld, maar zal het zich naast het vervangen ook focussen op het behouden van de NRM-persen. De centrale onderzoeksvraag is als volgt:

Welke beslissingen rondom de toekomst van de NRM-persen zijn mogelijk voor het businessteam?

Op te leveren product

Het eindproduct zal bestaan uit een beslissingsmodel. In het model wordt duidelijk geformuleerd waarin het bedrijf zou moeten investeren wanneer groot onderhoud/revisie nodig is bij een bepaalde NRM-pers. Aan de hand van de gegeven mogelijkheden in het model kan de businessteammanager van de vulkanisatie afdeling een toekomst kiezen voor de NRM-persen.

Afbakening

De totale duur van dit onderzoek zal tien weken bedragen. Om de doelstelling te behalen dient de omvang van het onderzoek enigszins beperkt te worden:

- Alleen lijn vier, vijf en negen van de NRM persmachines zullen meegenomen worden in de data-analyse.
- Enkel investeringen in nieuwe machines, die het bedrijf realistisch acht zullen meegenomen worden in het onderzoek.
- Gemiddelde onderhoudskosten van de persmachines zullen worden meegenomen, omdat momenteel informatie over de specifieke onderhoudskosten ontbreekt.
- Er zal gekeken worden naar de kwaliteit van de machines tijdens het jaar 2015, omdat het meeste recente kwaliteitsonderzoek dateert uit dit jaar.
- Pers 409 en 411 zullen niet meegenomen worden in het kwaliteitsonderzoek, omdat hiervan de benodigde informatie ontbreekt.
- Bij de kwaliteitsanalyse zullen alleen de kwaliteitsaspecten meegenomen worden die benoemd worden in het kwaliteitsonderzoek uit 2015.
- Bij de uitvalpercentages zal alleen het jaar 2015 meegenomen worden, zodat de resultaten gekoppeld kunnen worden met de kwaliteit cijfers uit het onderzoek.
- Voor het beslissingsmodel zal een beperkt aantal beslissingen van het businessteam beschikbaar gesteld worden.

H2. Huidige situatie

In dit hoofdstuk wordt de huidige situatie besproken. De vragen die gesteld zijn in paragraaf 1.3.1. zullen toegelicht en beantwoord worden. Dit zal gedaan worden door eerst de drie deelvragen te beantwoorden, waarna vervolgens in een conclusie de huidige situatie wordt geschetst.

2.1. Welke variabelen van de NRM-persmachines dienen meegenomen te worden voor het bepalen van de huidige status?

In deze paragraaf wordt er aandacht geschonken aan de verschillende variabelen van de NRM-persmachine. Voor het bepalen van de huidige status van de NRM-persen worden de variabelen 'Uitval', 'Kwaliteit', 'Veiligheid' en 'Functionaliteit' meegenomen in het beslissingsmodel. Volgens het bedrijf staan deze vier variabelen centraal voor de beslissing of een pers wel of niet onderhouden dient te worden, waardoor zij apart meegenomen dienen te worden voor eventuele score bepalingen bij de persen. Het onderzoek zal elke variabele toelichten.

2.1.1. Kwaliteit

Zoals vermeld in paragraaf 1.2. heeft in 2015 een onderzoek plaatsgevonden naar de kwaliteit van alle NRM-persen. Tijdens het onderzoek hebben de specialisten van het bedrijf de persen gecontroleerd op afwijkingen op mechanisch gebied. Ook is er tijdens het onderzoek een controle uitgevoerd op slijtage, scheuren en de aandrijving.

Doordat er geen recenter kwaliteitsonderzoek beschikbaar is, zullen de gegevens uit 2015 gebruikt worden voor het in beeld brengen van de huidige kwaliteit van de NRM-persen. Ook zal door het gebrek aan informatie over de kwaliteit van de NRM-persen, enkel de benoemde kwaliteitsaspecten uit het onderzoek meegenomen worden voor het bepalen van de kwaliteit van de persen. Deze kwaliteitsaspecten zijn in tabel 1 weergegeven en spelen, volgens de engineers van het bedrijf, een cruciale hoofdrol in de kwaliteit van de NRM-persen.

Het onderzoek zal de verschillende kwaliteitsaspecten niet verder definiëren. Dit komt door het ontbreken van schematische tekeningen van de NRM-pers. Hierdoor kan het onderzoek niet duidelijk aanwijzen waar de verschillende componenten van de NRM-pers zich bevinden, zoals de beamrol en de bovenbrug, en wat hun functies zijn tijdens het vulkaniseren van autobanden. Voor het simplificeren van het onderzoek, zullen de kwaliteitsaspecten aangeduid worden met letters, zoals weergegeven in tabel 1. Ook zal het onderzoek aannemen dat de waarden van deze kwaliteitsaspecten centraal staan voor de totale kwaliteit van de NRM-persen.

Kwaliteit		Kwaliteitsaspecten
II	A	Slijtage/schade aan beamrol
	B	Slijtage/schade aan zijplaten
	C	Scheuren in de bovenbrug
	D	Scheuren in de onderbrug
I	E	Lagerafwijkingen onder/boven van zijarmen
	F	Lagerafwijkingen in aandrijfzand
	G	Lagerafwijkingen in hoofdwielen binnenlager/buitenlager

Tabel 1 – Kwaliteitsaspecten van NRM-persen

De kwaliteitsaspecten zullen opgedeeld worden in 'Kwaliteit I' en 'Kwaliteit II', omdat het onderzoek uit 2015 op te delen is in twee verschillende onderzoeken. Bij kwaliteit I zullen de kwaliteitsaspecten E, F en G besproken worden en bij kwaliteit II de overige kwaliteitsaspecten. In bijlage 1 staan de uitkomsten van het onderzoek uit 2015 beknopt weergegeven. Deze uitkomsten zijn vermenigvuldigd met een factor om de geheimhouding te waarborgen. De resultaten van kwaliteit I bestaan uit ratio data en kwaliteit II uit ordinale data.

Alle kwaliteitsaspecten zijn in het onderzoek uit 2015 gemeten aan de A en B kant van de NRM-persmachines. Zoals vermeld in de probleemstelling kan de NRM-pers alleen beide kanten tegelijkertijd laten vulkaniseren. Dit betekent dat voor sommige kwaliteitsaspecten schade aan de A kant gevolgen heeft voor de kwaliteit van de B kant. Hierdoor zal het onderzoek de slechtste waarde meetellen als de doorslaggevende waarde van een kwaliteitsaspect. Dit zal alleen het geval zijn bij kwaliteitsaspecten E, F en G. Bij kwaliteitsaspecten A, B, C en D is dit niet het geval en daarom zullen de resultaten van beide kanten in paragraaf 2.2. meegenomen worden voor het bepalen van een kwaliteitscijfer.

In paragraaf 2.2. gaat het onderzoek verder met het operationaliseren van deze kwaliteitsaspecten en zal het scores toekennen aan de hand van scoringsmodellen.

2.1.2. Uitval

Zoals vermeld in paragraaf 1.2. is SCRAP(%) het percentage van de productie aan banden dat niet voldoet aan de vastgestelde kwaliteitseisen, en dus niet meer verkocht kunnen worden aan de markt. De producten die niet voldoen krijgen bepaalde foutcodes toegewezen, die aangeven door welke reden(en) de banden niet voldoen na vulkanisatie. Met hulp van de engineers op de vulkanisatieafdeling zijn de foutcodes opgedeeld in twee categorieën: pers gerelateerde fouten en fouten veroorzaakt door externe factoren. Deze tweede categorie houdt in dat de kwaliteit van een band niet voldoet door imperfecties, die veroorzaakt zijn in de processen voorafgaand aan vulkanisatie. Kortom, bij deze categorie zijn de fouten niet veroorzaakt door de desbetreffende persmachine zelf. UPG(%) staat voor het percentage van de productie aan banden dat niet voldoet aan de vastgestelde kwaliteitseisen door pers gerelateerde fouten.

Het zou logisch zijn dat de UPG(%) stijgt als de kwaliteit van de machines verslechterd, doordat een pers met een slechte kwaliteit meer uitval aan producten zou moeten genereren dan een pers met een betere kwaliteit. Dit betekent dat er een correlatie zou moeten zijn tussen de kwaliteit van de machines en UPG(%). Als dit het geval is, dan hoeft 'Kwaliteit' niet meegenomen te worden als variabele, omdat de variatie van UPG(%) de variatie van de kwaliteit van de NRM-persen verklaart.

Voor het zoeken naar verbanden tussen UPG(%) en de kwaliteit van de persen wordt formule (1) gebruikt. De correlatiecoëfficiënt (R) is een maat voor het gezamenlijk variëren van twee variabelen. Het kwadraat van de correlatiecoëfficiënt (R^2) geeft aan welk gedeelte van de variatie in de ene variabele door de andere wordt verklaard (Doorn P.K. & Rhebergen M.P. , 2006). Doordat veel kwaliteitsaspecten uit ordinale data bestaan, zullen de kwaliteitsscores per pers meegenomen worden, die in paragraaf 2.2. berekend zullen worden. Als het kwadraat van de correlatiecoëfficiënt (R^2) kleiner is dan 0,1, dan is het verband zeer zwak en zal 'Uitval' als aparte variabele meegenomen worden in het beslissingsmodel voor het business team. Hier zal het onderzoek verder op gaan bij paragraaf 2.2.2.

$$(1) R = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

2.1.3. Veiligheid

Veiligheid is voor het bedrijf een belangrijk onderdeel van de NRM-persen en zal daarom ook meegenomen worden als variabele van de NRM-persen. Het bedrijf geeft aan dat ze machines niet willen laten produceren of onderhouden wanneer de veiligheid niet kan worden gewaarborgd. Via het intranet van Apollo Vredestein B.V. zijn diverse werkinstructies weergegeven, die de veiligheid op de productievloer waarborgen. Hoe veilig deze instructies ook mogen klinken, toch kan zich een onveilige situatie voordoen, wanneer de persen niet naar behoren functioneren.

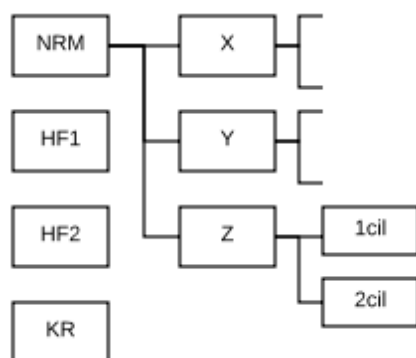
Voor het beschermen van de mensen op de productievloer tegen het vulkanisatieproces van de NRM-persen, zijn er beugels bevestigd aan de machines die men op afstand dient te houden. Deze beugels dienen elke dag gecontroleerd en gerepareerd te worden waar nodig. Volgens het bedrijf zijn er nooit problemen geconstateerd bij deze beugels en vormen ze daarom ook geen bedreiging voor de veiligheid.

Scheuren in de bovenbrug of onderbok van de NRM-persen zijn wel bedreigingen voor de veiligheid van de persen. Deze scheuren worden ook gezien als kwaliteitsaspecten in tabel 2. Als de grootte van de scheuren in de pers toeneemt, groeit het risico dat er componenten afbreken, wat een bedreiging kan vormen voor het personeel op de productievloer.

Het bovenstaande zou betekenen dat de kwaliteit van de persen een correlatie heeft met de veiligheid, maar doordat de veiligheid vooral in geding komt door de scheuren in de persen en niet door alle kwaliteitsaspecten, zal 'veiligheid' apart meegenomen worden in het onderzoek.

Na het kwaliteitsonderzoek in 2015 zijn de componenten ontdaan van scheuren door middel van lasreparaties door de monteurs. In hetzelfde onderzoek is genoteerd bij welke persen scheuren geconstateerd waren en ook aan welke zijde.

2.1.4. Functionaliteit



Figuur 3 - Soorten persen

Zoals vermeld in paragraaf 1.2. beschikt het bedrijf over vier verschillende soorten persen. Eén van deze vier soorten zijn de NRM-persen, die zelf weer op te delen zijn in zes varianten. Dit aantal varianten ontstaat doordat het bedrijf drie soorten type NRM-persen kent, waarbij elk type door één of twee cilinders kan worden aangedreven (figuur 3). In het onderzoek zullen de verschillende soorten types worden aangeduid als NRM(X), NRM(Y) en NRM(Z). Machines die hoger zijn kunnen over het algemeen een grotere bandenmaat vulkaniseren. Persen, die aangedreven worden door twee cilinders, kunnen meer kracht uitoefenen en zijn

daardoor beter bestemd voor winterbanden, omdat bij deze banden meer profiel wordt aangebracht.

Volgens de engineers van het bedrijf kunnen alle NRM-persen hetzelfde produceren, maar ligt er wel een lichte voorkeur bij de grotere NRM-persen met twee cilinders. De grootste persen zijn de NRM(Z)-persen gevolgd door de NRM(Y)- en vervolgens de NRM(X)-persen. In figuur 3 zijn globaal de verschillende soorten persen weergegeven.

Bij de functionaliteit van de NRM-persen is er geen tolerantieniveau vastgesteld. Wel is het de visie van het bedrijf zich meer te gaan richten op ‘Ultra High Performance’ banden. Dit toekomstperspectief biedt geen ruimte voor de huidige NRM-persen, omdat zij dit soort type banden niet kunnen vulkaniseren. Wanneer het management kiest voor het vervangen van de persen, is het waardevol om de meest functionele persen als laatste te vervangen, zodat de productie zo min mogelijk afneemt. Doordat het bedrijf vermeldt dat alle type NRM-persen hetzelfde kunnen vulkaniseren, zal de variabele ‘functionaliteit’ niet meegenomen worden bij het maken van een scoringsmodel in paragraaf 2.2, maar zal het wel meegenomen worden in de beslissingen rondom het vervangen van de NRM-persen. Dit zal aan bod komen in paragraaf 3.3.

2.2. Hoe worden de variabelen geoperationaliseerd en hoe zit het scoringsmodel eruit?

In deze paragraaf gaat het onderzoek diepgang tonen in het operationaliseren van de besproken variabelen in paragraaf 2.1. De toleranties zullen worden besproken en een scoringsmodel zal worden ontworpen waar nodig. Om dit structureel te doen, worden de verschillende variabelen wederom apart besproken.

2.2.1. Kwaliteit

Voor het ontwerpen van een scoringsmodel voor de kwaliteit van de NRM-persen, zal de data, afkomstig uit het kwaliteitsonderzoek in 2015, geanalyseerd worden. Zoals eerder vermeld in paragraaf 2.1.1. zal het onderzoek spreken over “kwaliteit I” en “kwaliteit II”.

Kwaliteit I

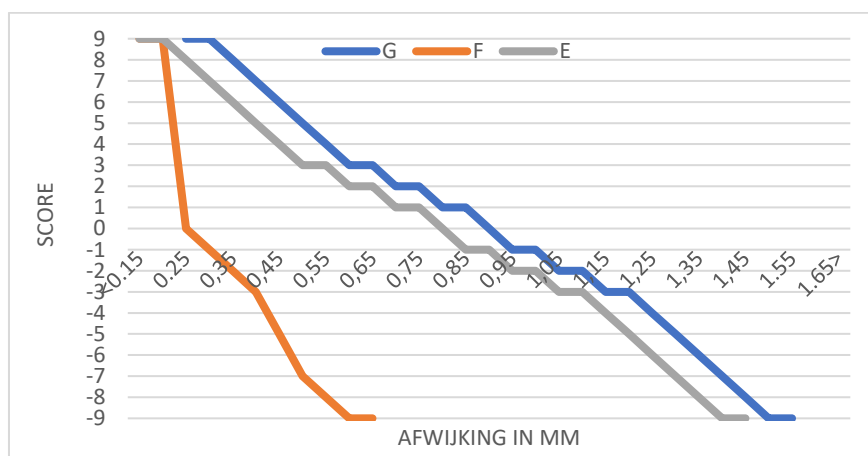
Bij kwaliteit I zullen de mechanische afwijkingen van de NRM-persen besproken worden. De toleranties van de afwijkingen die gemeten zijn, worden in tabel 2 weergegeven. De definities van de kwaliteitsaspecten zijn weergegeven in tabel 1. De afwijkingen zijn gemeten aan de A en B kant van de machine. Zoals vermeld in paragraaf 2.1.1. wordt de slechtste waarde van de twee kanten meegenomen als waarde voor een bepaald kwaliteitsaspect. Groen betekent dat de afwijking geen tolerantie overschrijdt en dat de kwaliteit van de machine op dat gebied in orde is. Geel betekent dat dezelfde kwaliteit van de machine op het tolerantieniveau zit. Rood betekent dat dezelfde kwaliteit op slecht niveau is en dat het businesssteam moet gaan kijken naar onderhoud voor dat kwaliteitsaspect.

Kwaliteitsaspect	E	F	G
Toleranties	<=0.85, 0.90, 0.95=>	<=0.20, 0.25, 0.30=>	<=0.95, 1.00, 1.05=>

Tabel 2 – Toleranties afwijkingen kwaliteit I (in mm)

In de bovenstaande tabel zijn enkel de toleranties genoteerd en niet de maximale en minimale waarden, die de verschillende kwaliteitswaarden kunnen aannemen. Om een score te kunnen hangen aan bepaalde kwaliteitswaarden dienen de toleranties beter gedefinieerd te worden. Het toekennen van scores is noodzakelijk voor het in beeld brengen van de huidige status van de NRM-persen. De score geeft dan betekenis aan de afwijking van het kwaliteitsaspect.

Voor het betekenis geven aan de verschillende afwijkingen kijkt het onderzoek naar de verschillende afwijkingsintervallen en kent hier een bepaalde score aan toe, waarbij a_{ij} de score is van pers i op het gebied van kwaliteitsaspect j . Voor het toekennen van scores aan bepaalde afwijkingsintervallen per kwaliteitsaspect j , zijn er interviews gehouden met de mensen van de productievloer. Zij weten wat de gevolgen zijn van bepaalde afwijkingen en wat de voorwaardes zijn per kwaliteitsaspect. In figuur 4 zijn de scoringsmodellen weergegeven van kwaliteitsaspecten G, F en E, waarbij er een score is toegekend bij een bepaalde lagerafwijking. Zo krijgt een NRM-pers met een afwijking van 0,45 bij kwaliteitsaspect G een score 6 toegewezen op het gebied van dat kwaliteitsaspect. Zoals eerder vermeld hebben scores met een negatieve waarde het tolerantieniveau overschreden. Echter, zit er ook verschil qua kwaliteit tussen deze negatieve waarden. Dit betekent hoe meer een waarde -9 nadert, hoe slechter de prestatie op het gebied van een kwaliteitsaspect is. In tabel 3 staan de betekenissen van de scores.



Figuur 4 - Scoringsmodel kwaliteit I

Onderhoud:	Scores:	Definitie:
Niet vereist	9	Zeer goed: afwijking/schade is vergelijkbaar met nieuwstaat.
	6	Goed: afwijking is zodanig goed dat verdere aandacht niet nodig is.
	3	Voldoende: afwijking/schade nadert tolerantie, maar vormt nog geen gevaar voor de kwaliteit van de machine.
Vereist	0	Matig: afwijking/schade zit op tolerantieniveau.
	-3	Onvoldoende: afwijking/schade heeft tolerantie overschreden en vormt een gevaar voor de kwaliteit van de machine.
	-6	Slecht: afwijking/schade is zodanig slecht dat het risico toeneemt op het produceren van slechte kwaliteit producten.
	-9	Zeer slecht: afwijking/schade is zodanig slecht dat onderhoud noodzakelijk is om verder te produceren.

Tabel 3 - Definities scores kwaliteit I

Kwaliteit II

Bij kwaliteit II zullen de slijtage, schade en scheuren aan de NRM-persen besproken worden. Zoals vermeld in paragraaf 2.1.1. is deze kwaliteit uitgedrukt in ordinale data. Voor het betekenis geven aan deze ordinale data is er contact opgenomen met de engineeringafdeling van het bedrijf. In tabel 4 staan de definities weergegeven van de ordinale data.

Ordinale schaal	Definitie
0	Schade/slijtage aan machine is afwezig of is zodanig aanwezig dat verdere aandacht niet nodig is.
1	Schade/slijtage aan machine is acceptabel, maar overschrijdt bijna de vastgestelde tolerantie.
2	Schade/slijtage aan machine is zodanig aanwezig dat onderhoud noodzakelijk is.

Tabel 4 - Ordinale schaal kwaliteit II

Het is lastig om deze ordinale data te koppelen aan de ratio data van kwaliteit. Om dit alsnog te bewerkstelligen, zijn de definities van tabel 3 meegenomen als richtlijnen. Het onderzoek zal dus de prestaties van de persen scoren van -9 tot 9. Hierdoor heeft het uiteindelijke kwaliteitscijfer van de pers, die in een later stadium berekend wordt, meer betekenis over de werkelijke kwaliteit van de persen.

Om betere conclusies te kunnen trekken uit deze kwaliteit van de machine, zullen zowel de A als de B kant meegenomen worden voor het bepalen van scores op het gebied van kwaliteitsaspecten A, B, C en D. De sommatie van de ordinale waarden zal uiteindelijk het totaal cijfer bepalen. In figuur 4 is het scoringsmodel weergegeven. In de grafiek staan twee verschillende waarden genoteerd voor de x-as waarde 2. Dit komt doordat een machine twee keer de ordinale waarde 1 gesommeerd heeft of dat aan één van de twee kanten de ordinale waarde 2 ontvangen heeft. Het eerste betekent dat de machine op het tolerantieniveau zit en het tweede betekent dat de machine de tolerantie overschreden heeft.



Figuur 5 - Scoringsmodel kwaliteit II

AHP Kwaliteit

Nu de kwaliteitsscores per kwaliteitsaspect en per NRM-pers berekend zijn, gaat het onderzoek diepgang tonen in het bepalen van totale kwaliteitsscores per machine voor het in beeld krijgen

van de huidige status op het gebied van kwaliteit van de NRM-persen. Het onderzoek zal hiervoor niet het gemiddelde nemen van alle kwaliteitsscores, omdat een kwaliteitsaspect een grotere impact kan hebben op de totale kwaliteit van de NRM-pers dan een ander kwaliteitsaspect.

Voor het toekennen van totale kwaliteitsscores aan de personen wordt het ‘Analytical hierarchy process’ toegepast. Het AHP (Saaty, 2008) is een effectief hulpmiddel tijdens complexe besluitvormingen. Aan de hand van subjectieve data kunnen er wegen berekend worden voor de verschillende criteria. In dit onderzoek zijn de criteria de benoemde kwaliteitsaspecten in tabel 1. Met de verkregen wegen per kwaliteitsaspect wordt er een kwaliteitscijfer bepaald dat centraal staat voor de kwaliteit van de personen.

Voor het verkrijgen van de subjectieve data hebben de monteurs op de productievloer een enquête ingevuld. Hierin worden de verschillende kwaliteitsaspecten met elkaar vergeleken en per vergelijking wordt er bepaald welke als belangrijker wordt geacht en in welke mate. De resultaten en de enquête staan in bijlage 2 beknopt weergegeven.

De resultaten van de enquête worden eerst verwerkt in de paarsgewijze vergelijkingsmatrix en vervolgens door middel van formule (2) genormaliseerd. Hierbij staat a_{jk} voor de belangrijkheidsgraad van kwaliteitsaspect j tegenover kwaliteitsaspect k in matrix $m \times m$.

$$(2) \bar{a}_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{j=A}^m a_{jk}}$$

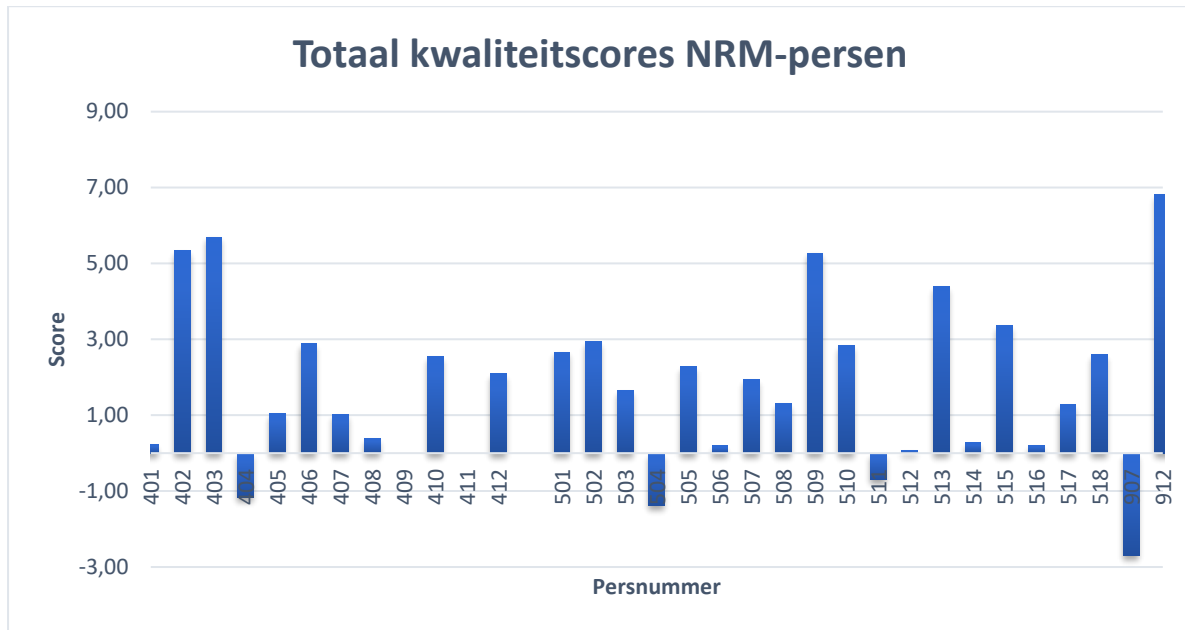
Tot slot worden de wegen w_j van de kwaliteitsaspecten bepaald door het gemiddelde te nemen van de verschillende rijen in de genormaliseerde matrix, zoals weergegeven in formule (3).

$$(3) w_j = \frac{\sum_{k=A}^m \bar{a}_{jk}}{m}$$

Nadat de wegen bepaald zijn, hoeven enkel de prestaties van de personen vermenigvuldigd te worden met de wegen van de desbetreffende kwaliteitsaspecten. Hieruit volgen de totaalscores van de personen.

Voordat de totaalscores toegekend kunnen worden aan de personen, moeten de uitkomsten van het AHP gecontroleerd worden op consistentie. Het is namelijk mogelijk dat de monteurs niet consistent zijn geweest tijdens het invullen van de enquête. Voor het controleren op consistentie wordt er gekeken naar de ‘Random Index’(RI) en de ‘Consistency Index’(CI). Als blijkt dat $CI/RI < 0,1$ dan is het model consistent. De berekeningen voor het toetsen op consistentie staan beschreven in de bijlage. Hieruit volgt dat het gebruikte AHP model consistent is doordat $0,084 < 0,1$.

In figuur 6 volgen de totaalscores per pers, gebaseerd op de wegen van het AHP model en kwaliteitsscores die berekend zijn in deze paragraaf.



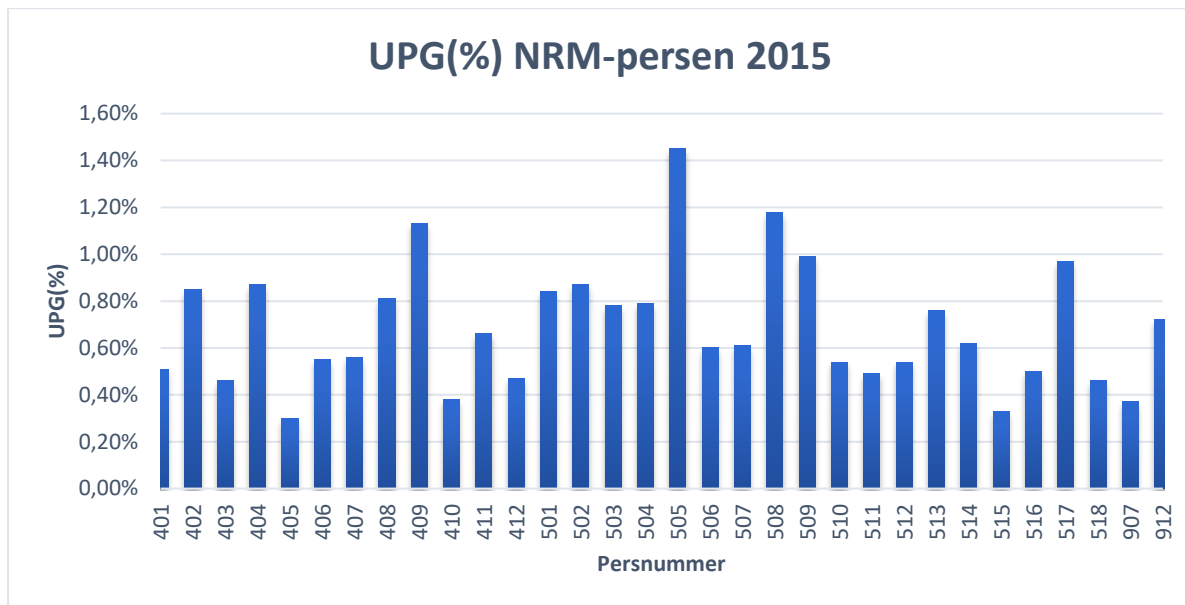
Figuur 6 - Kwaliteitsscores NRM-persen

2.2.2. Uitval

Zoals vermeld in paragraaf 2.1.1. zijn alle gegevens, met betrekking tot de uitval aan producten bij de NRM-persen, verkregen uit het PIBS (Productie Informatie Systeem). Door middel van formule (4) wordt het UPG(%) (percentage uitval pers gerelateerd) berekend per pers i . Deze waarden zullen meegenomen worden als prestatie indicator van de NRM-persen.

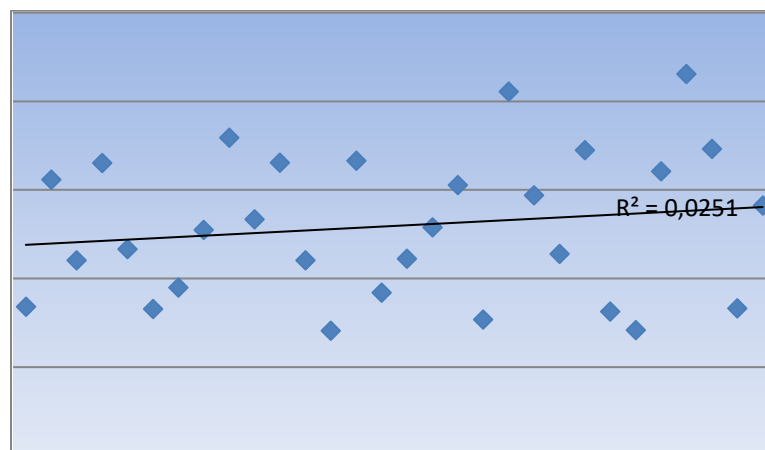
$$(4) \frac{\text{Totaal uitval UPG pers}_i}{\text{Totaal geproduceerd pers}_i} = \text{UPG}(\%)_i$$

In figuur 7 staan de UPG percentages weergegeven per pers uit 2015. Bij UPG(%) is er geen tolerantieniveau vastgesteld, zoals bij de kwaliteit van de NRM-persen. Het geeft enkel het percentage van de productie weer dat niet verkocht kan worden door imperfecties in banden, die veroorzaakt zijn door de pers zelf en niet door de voorfabriek. Deze informatie is nuttig voor het redeneren hoeveel winst een bepaalde pers misloopt door misproducties. Een pers die bijvoorbeeld een UPG van 1% heeft en 60.000 banden fabriceert in een jaar zal 600 banden aan omzet mislopen door eigen fouten. Oftewel, hoe hoger de UPG(%), hoe groter de omzet die een bepaalde pers misloopt bij productie door eigen gebreken.



Figuur 7 - UPG(%) van NRM-persen

Zoals eerder vermeld in paragraaf 2.1.1. is het noodzakelijk dat er ook naar verbanden tussen kwaliteit en uitval gekeken wordt. Als de variatie van de uitval bij de NRM-persen voor een groot gedeelte verklaarbaar is door de variatie van de kwaliteit van de NRM-persen, dan hoeft de 'Kwaliteit' als variabele niet verder meegenomen te worden voor de statusbepaling van de personen. In figuur 8 zijn de kwaliteitsscores uit paragraaf 2.2.1. uitgezet tegen de persgerelateerde uitvalpercentages van de NRM-persen.

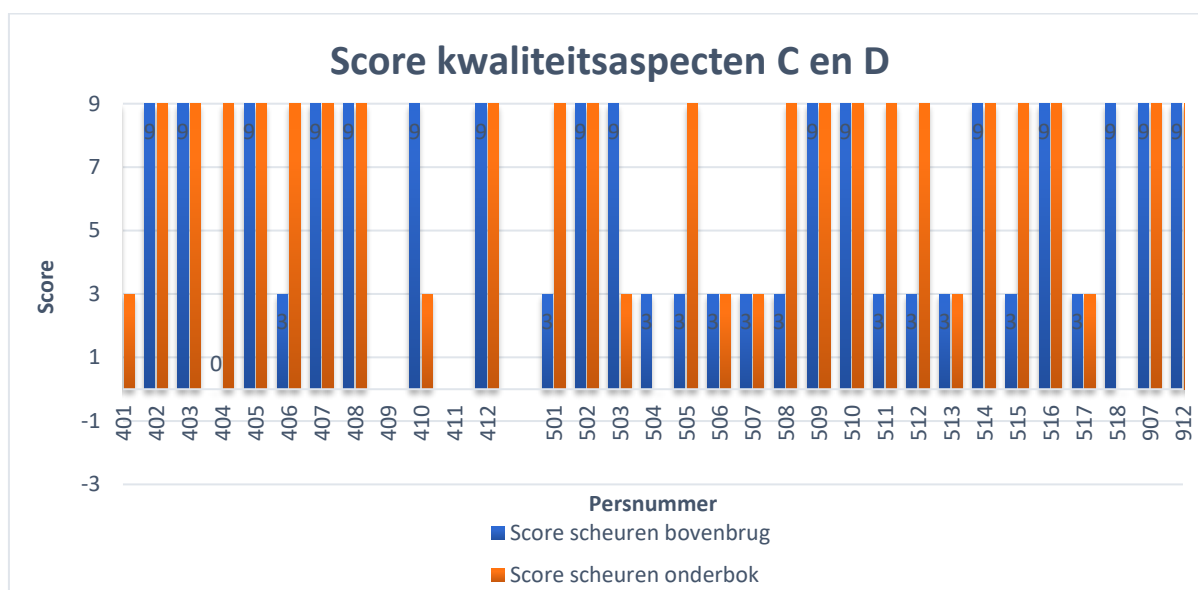


Figuur 8 – Kwaliteitsscores uitgezet tegen UPG(%)

Het kwadraat van het correlatiecoëfficiënt (R) is kleiner dan 0.1 en dat betekent dat het verband tussen de twee variabelen als zeer zwak wordt geïnterpreteerd. Hierdoor zal naast de uitval ook de kwaliteit als variabele verder meegenomen worden in het onderzoek. Het onderzoek zal niet verder ingaan op de werkelijke oorzaak van UPG(%), maar adviseert het bedrijf wel om hier verder onderzoek naar te doen.

2.2.3. Veiligheid

Het bedrijf geeft aan niet te willen produceren als de veiligheid niet gewaarborgd kan blijven. Dit betekent dat een onveilige pers uit de productie wordt gehaald. Zoals eerder vermeld in paragraaf 2.1.3., kunnen alleen de scheuren in de bovenbrug of onderbok in de persen de veiligheid laten afnemen. Dit zijn kwaliteitsaspecten C en D, zoals weergegeven in tabel 1. Als blijkt dat deze kwaliteitsaspecten zodanig slecht scoren dat de veiligheid in gevaar komt, dan moet de machine uit de productie worden gehaald. Deze situatie zal zich voordoen als kwaliteitsaspect C of D onder de tolerantie komt te liggen. Zoals weergegeven in figuur 9 was dit in 2015 niet het geval.



Figuur 9 - Scores kwaliteitsaspecten C,D

Omdat machines uit de productie worden gehaald wanneer de veiligheid niet op gewenst niveau is, zal de veiligheid worden meegenomen als een binair getal. Dit betekent dat het twee waardes kan aannemen, zoals beschreven in tabel 5.

Ordinale schaal	Definitie
1	Veiligheid bij machine is op gewenst niveau: machine mag produceren.
0	Veiligheid bij machine is niet op gewenst niveau: machine dient uit de productie gehaald te worden.

Tabel 5 - Ordinale schaal veiligheid

2.3. Wat zijn de kosten voor het behouden van de kwaliteit van de NRM-persen?

Zoals vermeld in paragraaf 1.3.1. beschikt het bedrijf enkel over globale onderhoudskosten van de NRM-persen. Hierdoor kunnen vooral schattingen gegeven worden voor onderhoudskosten en revisiekosten in de toekomst. Doordat het bedrijf aangeeft dat de kosten van kleinschalig onderhoud vergelijkbaar zijn met dezelfde kosten bij de KR, HF1 en HF2 persen, zal het onderzoek enkel over grote onderhoudskosten en revisies spreken. Deze kosten bedragen

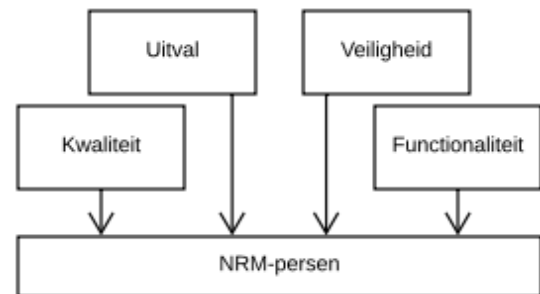
gemiddeld €100.000 per pers. Deze gemiddelde kosten zullen meegenomen worden voor het analyseren van beslissingen in hoofdstuk 3.

Het is lastig om de toekomstige kwaliteit van de NRM-persen in te schatten nadat zij groot onderhoud of revisies ondergaan zijn. Voor het simplificeren van het probleem gaat het onderzoek er daarom vanuit dat alle persen dezelfde kwaliteit hebben na groot onderhoud of revisie.

2.4. Conclusie

De variabelen van de NRM-persen in figuur 10 worden meegenomen in het beslissingsmodel.

Via ordinale en ratio data uit het onderzoek van 2015 is er door middel van een AHP-model een scoringsmodel gemaakt voor het toekennen van kwaliteitcijfers aan de NRM-persen. Het onderzoek laat zien dat in 2015 87% van de NRM-persen boven het tolerantieniveau zitten. Hiervan nadert 77% het tolerantieniveau en dienen daarom ook aandacht te krijgen van de specialisten van het bedrijf. De kwaliteitcijfers geven de kwaliteit van de NRM-persen weer, maar indiceren niet of een pers wel of niet onderhouden dient te worden. De cijfers kunnen wel gebruikt worden als er een volgorde bepaald moet worden van NRM-persen, die vervangen dienen te worden. Zo kan het businesssteam kiezen om de persen met de beste kwaliteit het langst in de productie te laten.



Figuur 10 - Variabelen van de NRM-persen

De uitval percentages zijn verdeeld in twee nieuwe waarden, dankzij het analyseren van de foutcodes. Door het wegfilteren van foutcodes, die niet veroorzaakt worden door de persmachines zelf, resteren de foutcodes die pers gerelateerd zijn. Via formule 4 wordt het UPG(%) berekent per pers. Hieruit volgt dat gemiddeld 0,68% van de totale productie in 2015 niet voldoet aan de vastgestelde kwaliteitseisen door fouten, veroorzaakt door de NRM-persen zelf. Dit staat gelijk aan een omzet van meer dan drie ton.

Veiligheid zal ook meegenomen worden in het beslissingsmodel, maar op een beperkt niveau. Veiligheid zal een voorwaarde worden of een pers mag produceren of niet, waardoor veiligheidswaardes enkel 0 of 1 kunnen aannemen.

De functionaliteit van de NRM-persen zullen niet doorslaggevend zijn in de vraag of persen wel of niet onderhouden worden. Wel zal functionaliteit als variabele meegenomen worden in de beslissingen rondom het vervangen van de persen. Persen die op functioneel gebied beter zijn, zullen in een later stadium pas vervangen worden.

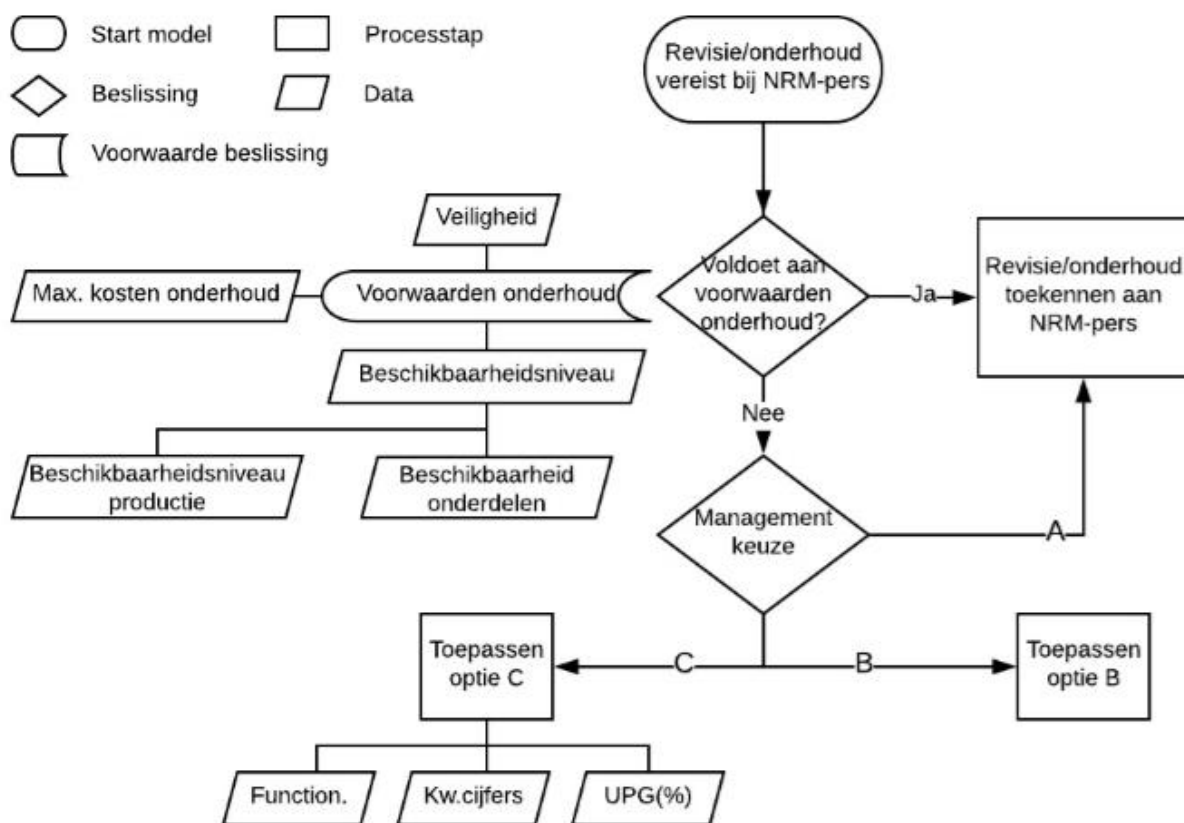
De kosten voor het behouden van de kwaliteit van de NRM-persen zijn niet beschikbaar. Wel kan er een maximum gesteld worden voor de onderhouds- en revisiekosten bij de NRM-persen. Deze voorwaarden van onderhoud zal in meer detail besproken worden in paragraaf 3.2.2.

H3. Het Beslissingsmodel

In hoofdstuk 2 is de huidige status van de NRM-persen in kaart gebracht. Aan de hand van deze informatie wordt er in dit hoofdstuk één beslissingsmodel ontworpen rondom het onderhoud van de NRM-persen. Daarna zal in paragraaf 3.2. het onderzoek dieper ingaan op de voorwaarden van het onderhouden van de persen. Tot slot, zal in paragraaf 3.3. de investeringen toegelicht worden als blijkt dat onderhoud niet toegekend zal worden aan een bepaalde pers.

3.1. Het ontwerp van het beslissingsmodel

In deze paragraaf wordt het beslissingsmodel voor het businessteam toegelicht. Het onderzoek zal globaal de stappen toelichten in het model en zal nog niet diepgang tonen in de verschillende voorwaarden en keuzes van het businessteam. In figuur 11 is het beslissingsmodel weergegeven. Zoals vermeld in paragraaf 1.3.3. zullen een beperkt aantal beslissingen van het businessteam beschikbaar gesteld worden.



Figuur 11 - Beslissingsmodel NRM-persen

Allereerst dienen de monteurs van het bedrijf aan te geven dat een bepaalde pers groot onderhoud of een revisie nodig heeft voor het verder vulkaniseren van banden. Daarna volgen de volgende stappen:

Stap 1 – Businessteam vulkanisatie moet de keuze maken voor het wel of niet onderhouden van de desbetreffende pers waarbij onderhoud nodig is. Dit wordt allereerst gedaan aan de hand van de voorwaarden voor onderhoud. Deze voorwaarden zullen verder toegelicht worden bij paragraaf 3.2.

Stap 2 – Als aan de hand van de voorwaarden bij stap 1 blijkt dat de pers onderhoud mag krijgen, dan wordt het soort onderhoud toegekend aan de NRM-pers. Als het tegendeel blijkt, dan wordt de beslissing doorgespeeld naar het businesssteam. Zij kunnen alsnog kiezen voor het onderhouden van de pers door redenen waaraan het onderzoek geen aandacht besteed.

Stap 3 – Als blijkt dat het businesssteam niet kiest voor het onderhouden van de pers dan dient er gekozen worden tussen twee opties. Optie A staat voor het alsnog onderhouden van de NRM-pers. Optie B staat voor het stilzetten van de productie bij de NRM-pers en optie C staat voor het vervangen van de NRM-pers door een HF2-pers. De verschillende opties met de voor en nadelen zullen verder toegelicht worden in paragraaf 3.3.

3.2. Wat zijn de voorwaarden van het onderhouden van de NRM-persen?

Zoals weergegeven in figuur 11 zijn er voorwaarden gesteld bij het onderhouden van een pers. Voor het onderhouden van een pers dient dezelfde pers aan alle voorwaarden rondom onderhoud te voldoen. De voorwaarden zijn gekozen in overeenstemming met het bedrijf. In deze paragraaf zal het onderzoek toelichten welke voorwaarden een rol zullen spelen voor het onderhouden van de NRM-persen en hoe deze voorwaarden zijn vormgegeven. De voorwaarden zijn opgedeeld in ‘Max. kosten onderhoud’, ‘Beschikbaarheidsniveau’ en ‘Veiligheid’.

3.2.1. Veiligheid

Een pers mag enkel produceren als het geen gevaar vormt voor de veiligheid op de productievloer. Daarom zal een pers enkel onderhouden worden als het voldoet aan de vastgestelde veiligheidseisen. Paragraaf 2.1.3. en 2.2.3. geven meer duidelijkheid over de variabele veiligheid. Als blijkt dat een pers het ordinale veiligheidsgetal 0 toegewezen krijgt, dan dient er geen onderhoud toegekend te worden aan dezelfde pers en wordt de beslissing doorgespeeld aan het businesssteam.

3.2.2. Maximale onderhoudskosten

Zoals eerder vermeld bij de probleemstelling in paragraaf 1.2. laat de huidige financiële situatie het niet toe om bij alle pers revisies toe te kennen voor het verbeteren van de huidige kwaliteit van de pers. Door deze belemmering dienen maximale onderhoudskosten meegenomen te worden in de voorwaarden van onderhoud. In deze paragraaf zal het onderzoek zich verdiepen in het berekenen van limieten bij onderhoudskosten.

Voor het berekenen van maximale onderhoudskosten bij de NRM-persen kijkt het onderzoek naar het investeringsplan uit 2016, die beknopt beschreven staat in paragraaf 1.2. Het investeringsplan uit 2016 weergeeft voor- en nadelen van het vervangen van NRM-persen door nieuwe HF2-persen. Hierin is een financieel overzicht gemaakt met een terugverdienmodel van de pers. Aan de hand van de kosten en baten van nieuwe HF2-persen, wordt door middel van formule (5) de terugverdientijd berekend. Hierbij staan de “OEE verbetering” (Overall Equipment Effectiveness) en “Reductie onderhoudskosten” voor de positieve financiële gevolgen van de investering per jaar. De OEE wordt gebruikt om de effectiviteit van machines te beschrijven. Deze wordt berekend door drie typen verliezen met elkaar te vermenigvuldigen: beschikbaarheid, prestatie en kwaliteit. In het investeringsplan is de OEE van de HF2-pers en

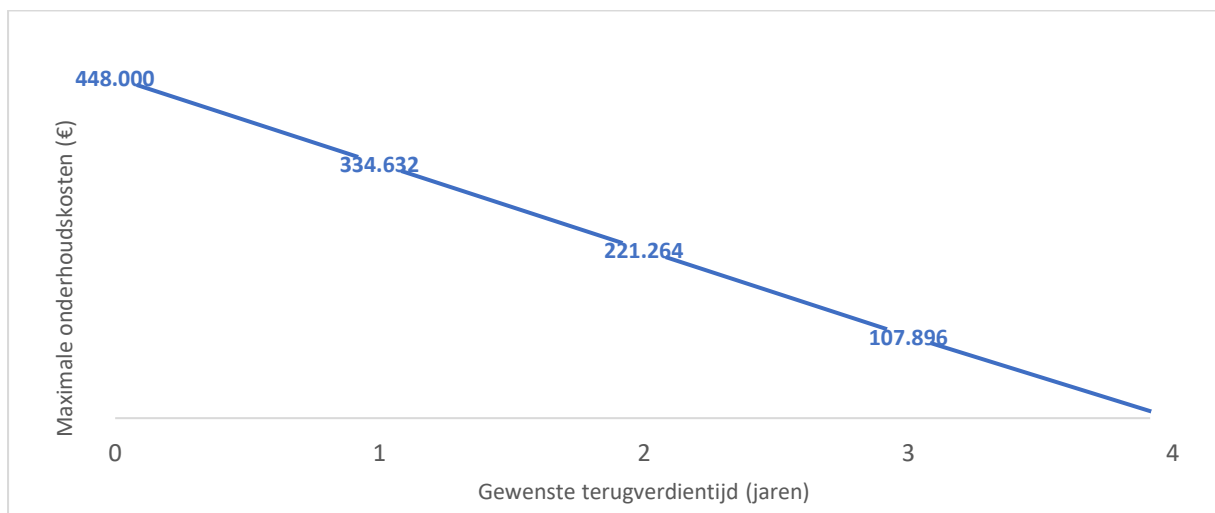
NRM-pers omgezet in jaarlijkse kosten (Panneman, 2017). De “OEE verbetering” geeft het verschil van deze kosten weer. Het bovenstaande is berekend door de engineers van het bedrijf en overgenomen in dit onderzoek.

$$(5) \text{Terugverdiëntijd} = \frac{\text{Kosten nieuwe HF2pers}}{(\text{Reductie onderhoudskosten} + \text{OEE verbetering})}$$

De terugverdiëntijd is de tijd tussen het tijdstip waarop de investeringsuitgave wordt gedaan, en de tijd waarop deze uitgave terug wordt ontvangen door middel van de inkomende geldstromen (Ensie, 2016). Door te kijken naar de gewenste terugverdiëntijd van het bedrijf, kan er een maximaal revisiebedrag berekend worden, waarbij het toekennen van revisie/onderhoud aan NRM-persen nog rendabel is, in vergelijking met het investeren in nieuwe HF2-persen. Dit wordt berekend door middel van formule (6). De reductie van onderhoudskosten ontbreken in formule 6, omdat bij het toekennen van een revisie aan een NRM-pers de reductie in onderhoudskosten verwaarloosd mogen worden.

$$(6) \text{Maximale onderhoudskosten} \\ = \text{Kosten nieuwe HF2pers} - (\text{OEE verbetering} * \text{Terugverdiëntijd})$$

In de bovenstaande formule dient het bedrijf de gewenste terugverdiëntijd vast te stellen. De OEE verbetering is op jaarbasis berekend en staat weergegeven in het financieel overzicht van het investeringsplan uit 2016. Door het verschil te nemen tussen de eenmalige kosten van een nieuwe pers en de totale baten, worden de maximale onderhoudskosten berekend, waarbij onderhouden nog mogelijk is. In figuur 12 staan de maximale kosten uitgezet tegen de terugverdiëntijden. Deze uitkomsten zijn vermenigvuldigd met een factor om de geheimhouding te waarborgen.



Figuur 12 - Maximale onderhoudskosten bij gewenste terugverdiëntijd

Zoals weergegeven in figuur 12 dalen de maximale onderhoudskosten, waarbij onderhoud toegekend zal worden, wanneer de terugverdiëntijd toeneemt. Als het bedrijf een terugverdiëntijd van vier jaar goedkeurt, dan wordt er geen onderhoud goedgekeurd en wordt aan de hand van het beslissingsmodel de situatie doorgespeeld aan het businessteam.

3.2.3. Beschikbaarheidsniveau

Met het beschikbaarheidsniveau wordt een tweetal onderwerpen bedoeld: de beschikbaarheid van onderdelen voor onderhoud en de beschikbaarheid van productie. Om beide onderdelen duidelijk toe te lichten, zullen ze apart besproken worden.

Beschikbaarheidsniveau productie

De markt fluctueert en zo ook de vraag naar de banden die de NRM-persen vulkaniseren. Hoe minder de vraag naar de kleinere maat banden die NRM-persen vulkaniseren, hoe lager de productie zal zijn voor de NRM-persen bij dit type banden. Ook bestaat de mogelijkheid dat het vulkaniseren van autobanden, die de NRM-persen vulkaniseren, uitbesteed gaat worden aan een zusterbedrijf in Hongarije, waardoor de productie ook verder zal dalen bij dit type banden.

Zoals vermeld in paragraaf 1.2. weet het bedrijf zeker dat de banden, die de NRM-persen vulkaniseren, over een aantal jaar niet meer geproduceerd gaan worden. Wanneer dit moment precies zich voordoet, is onduidelijk voor het bedrijf, maar het zal in de toekomstige tijd te merken zijn in de bezettingsgraad van de NRM-persen.

De bezettingsgraad geeft aan in welke mate de productiecapaciteit wordt gebruikt (Economielokaal, 2016). Een bezettingsgraad van 70% betekent dus dat de productiecapaciteit voor 70% daadwerkelijk benut wordt. Hierbij gaat het onderzoek ervanuit dat alle NRM-persen dezelfde productiecapaciteit kunnen leveren en dat het bedrijf momenteel beschikt over een overcapaciteit aan NRM-persen en daarom altijd aan de vraag kan voldoen. Ook zal er geen onderscheid gemaakt worden in het type band dat een NRM-pers produceert, omdat alle NRM-persen hetzelfde kunnen produceren. Door gebruik te maken van de totale productiecapaciteit en de feitelijke productie (gerealiseerde productie) van de NRM-persen, kan er door middel van formule (7) de totale bezettingsgraad van de NRM-persen berekend worden. Voor het meten van de feitelijke productie zal er gekeken worden naar de werkelijke totale productie van het jaar ervoor. Als het bedrijf kan analyseren wat de productievraag zal zijn in het jaar van produceren, dan kan deze waarde meegenomen worden als schatting voor de feitelijke productie.



Figuur 13 - Bezettingsgraad

$$(7) \text{Bezettingsgraad} = \frac{\text{Feitelijke productie}}{\text{Productiecapaciteit}} * 100\%$$

Doordat het niet duidelijk is wanneer de kwaliteit van een NRM-pers zodanig slecht is, dat vulkanisatie niet meer mogelijk is, is het van essentieel belang dat er een overcapaciteit blijft van de NRM-persen, zodat de productiecapaciteit opgevangen kan worden, wanneer NRM-persen plotseling niet meer kunnen produceren. Hoe groot deze overcapaciteit van de NRM-persen moet zijn is onduidelijk door de onzekerheid rondom het onderhoud van de persen, maar het onderzoek zal een bezettingsgraad van 80% meenemen als streven voor de totale productiecapaciteit voor de persen.

Nu het duidelijk is wat de bezettingsgraad moet zijn voor de totale productiecapaciteit, kan er gekeken worden hoeveel NRM-persen beschikbaar moeten zijn om die waarde te bereiken.

Door te kijken naar het aantal actieve NRM-persen op de productievloer en het gewenste aantal actieve NRM-persen voor het realiseren van de bezettingsgraad, wordt er door middel van formule (8) het beschikbaarheidsniveau N berekend. Hierbij staat x voor het aantal actieve NRM-persen in de productie. Met actieve NRM-persen worden de NRM-persen bedoeld die gebruikt worden voor productie en dus niet stilstaan. Het beschikbaarheidsniveau N geeft het tekort of overschot van het aantal actieve NRM-persen weer.

$$(8) \text{Beschikbaarheidsniveau}(N) = x - \frac{\text{Feitelijke productie}}{\text{Bezettingsgraad} * \text{Productiecapaciteit.per.pers}}$$

In tabel 6 staan de waardes van het beschikbaarheidsniveau weergegeven met de definities en de bijhorende vereiste acties. Als het beschikbaarheidsniveau groter is dan 0, dan zijn er meer personen beschikbaar dan nodig voor het behalen van de gewenste bezettingsgraad. Dit zou betekenen dat een pers niet onderhouden zal worden, doordat er een overcapaciteit is aan NRM-persen.

Waarde (N)	Betekenis	Vereiste actie
$0 \geq$	Overschot aan actieve personen in de productie om aan gewenste bezettingsgraad te voldoen.	Geen Revisie/onderhoud toekennen aan pers.
$0 <$	Tekort aan actieve personen in de productie om aan gewenste bezettingsgraad te voldoen.	Revisie/onderhoud toekennen aan personen.

Tabel 6 - Betekenis beschikbaarheidsniveau waardes

Beschikbaarheid onderdelen.

Naast dat er genoeg NRM-persen beschikbaar moeten zijn voor productie, dienen reparatie onderdelen ook op voorraad te zijn, als blijkt dat een NRM-pers een revisie toegekend krijgt. Als blijkt dat reparatie onderdelen niet beschikbaar zijn, dan is het niet mogelijk om de NRM-pers te onderhouden en zal dezelfde pers uit de productie moeten worden gehaald.

Volgens het bedrijf zijn alle onderdelen na te laten maken bij de leveranciers van het bedrijf. Dit betekent dat onderhouden altijd mogelijk is. Wel kan het voorkomen dat de levertijden van onderdelen zodanig lang zijn, dat het bedrijf in de problemen kan komen op het gebied van productie. Om dit te voorkomen dient het bedrijf bij onderhoud te controleren welke reparatieonderdelen schaars worden. Het onderzoek zal de beschikbaarheid van onderdelen niet meenemen bij het implementeren van het beslissingsmodel in hoofdstuk 4.

3.3. Wat zijn de voor- en nadelen van de keuzes van het businessteam?

Zoals weergegeven in het beslissingsmodel in figuur 11 heeft het businessteam een drietal opties als blijkt dat een NRM-pers niet aan de voorwaarden van onderhoud voldoet. In deze paragraaf zullen deze opties toegelicht worden met de voor- en nadelen. Om dit structureel uit te voeren, zullen eerst de opties besproken worden, waarna een conclusie volgt. In de conclusie zullen de voor- en nadelen van de opties samengevat worden. Zoals beschreven in de probleemaanpak zal het onderzoek bij Optie C een implementatieplan schrijven.

Optie A – Alsnog revisie/onderhoud toekennen aan NRM-pers

Het businessteam kan er voor kiezen om een NRM-pers alsnog te onderhouden. Het kan namelijk voorkomen dat het beschikbaarheidsniveau en het limiet aan onderhoudskosten als

voorwaarden van onderhoud minder belangrijk geacht zullen worden. Dit kan voorkomen, doordat het vereiste onderhoud bij een NRM-pers dusdanig klein is dat het te verwaarlozen is. Ook kunnen de gewenste bezettingsgraad, feitelijke productie en de gewenste terugverdientijd fluctueren in de aankomende jaren, waardoor het businesssteam een overcapaciteit aan NRM-persen wil waarborgen voor onzekerheden in de toekomst.

Het alsnog onderhouden van NRM-persen kan positieve gevolgen hebben voor de betrouwbaarheid van de totale productie van de NRM-persen. De totale productiecapaciteit van de NRM-persen zal niet afnemen, waardoor de kans groter is dat de productie kan voldoen aan de gewenste bezettingsgraad.

Echter, kunnen revisiekosten erg prijzig zijn, zoals vermeld in paragraaf 2.3.. Als de NRM-pers niet aan de voorwaarden van onderhoud voldoet, doordat er een overcapaciteit aan NRM-persen is, dan zal het onderhouden van de NRM-pers minder rendabel zijn.

Optie B – NRM-pers laten stilstaan

Het businesssteam kan er ook voor kiezen om de NRM-persen (tijdelijk) stil te laten staan, totdat er een oplossing aantrekkelijk genoeg is. Het stilstaan van een NRM-pers betekent dat de NRM-pers niet meer zal meedraaien in de productie.

NRM-persen laten stilstaan is de goedkoopste optie van de drie. De pers zal namelijk niet onderhouden of verwijderd worden. Het businesssteam heeft hierdoor ruimte om weloverwogen keuzes te maken en het eventueel starten van een nieuw onderzoek rondom het vervangen of onderhouden van de NRM-pers. Ook kan er in een later stadium voor optie A of C gekozen worden.

Het laten stilstaan van NRM-persen kan een negatieve invloed hebben op de betrouwbaarheid van de productie van de NRM-persen. Doordat de totale productiecapaciteit van de NRM-persen afneemt, wordt de kans op ondercapaciteit groter. Dit zal uiteraard geen probleem moeten opleveren als de feitelijke productie van de NRM-persen ook afneemt. Ook wordt de oppervlakte van de productievloer niet 100% benut als NRM-persen stilstaan.

Optie C – Investeren in HF2-persen

Tot slot, heeft het businesssteam ook de keuze om de NRM-pers te vervangen voor een HF2-pers. Bij het investeren in HF2-persen wordt het investeringsplan geraadpleegd uit 2016. In paragraaf 1.2.1. staan enkele voordelen beschreven van deze investering.

Het vaststellen van voor- en nadelen bij het vervangen van NRM-persen door HF2-persen is lastig, doordat veel onverklaarbare variabelen een rol spelen in de kwaliteit van de machine en de productkwaliteit na vulkanisatie. Zo geeft het bedrijf bijvoorbeeld aan dat de grootte van de band, die gevulkaniseerd wordt bij een bepaalde pers een relatie zou kunnen hebben met de uitval bij dezelfde pers. Dit zou betekenen dat de HF2-pers bij voorbaat meer uitval zal veroorzaken dan een NRM-pers, doordat er een grotere bandenmaat gevulkaniseerd wordt. Deze onzekerheid maakt het lastig om de persen op het gebied van prestaties te vergelijken.

Om alsnog de voordelen van de HF2-pers ten opzichte van de NRM-persen te belichten, neemt het onderzoek de OEE (Overall Equipment Effectiveness) mee dat berekend is in het

investeringsplan van het bedrijf. Zoals vermeld in paragraaf 3.2.2., geeft deze waarde de effectiviteit van de machine weer. Volgens het investeringsplan zal bij het vervangen van een NRM-pers door een HF2-pers de OEE toenemen met 90%. Dit percentage is zo hoog, doordat de HF2-persen UHP (Ultra High Performance) banden kunnen vulkaniseren die van een hogere kwaliteit zijn. Deze banden zijn volgens het bedrijf de toekomst en daarom worden er ook steeds minder banden geproduceerd die de NRM-persen kunnen vulkaniseren. Een ander voordeel van de HF2-pers is de fysieke ergonomie, oftewel de interactie tussen mens en machine. Doordat de A en B openingen van de HF2-persen los van elkaar kunnen vulkaniseren, is het uitvoeren van klein onderhoud gemakkelijker voor de monteurs.

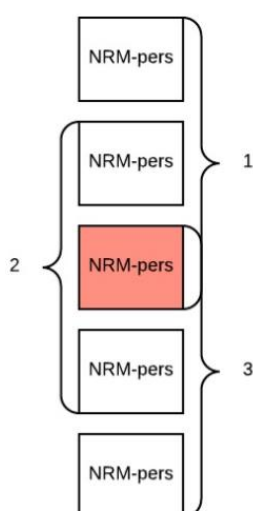
Echter, is de aanschaf van een HF2-pers nog duurder dan een revisie. Zoals vermeld in paragraaf 3.2.2. bedraagt een nieuwe HF2-pers meer dan vijf ton. Ook neemt een HF2-pers meer ruimte in beslag dan de NRM-pers. Dit zou betekenen dat de HF2-pers beschikt over een kleinere productiecapaciteit, doordat de cyclustijd niet korter is dan bij de HF2-pers. Daarnaast krimpt de betrouwbaarheid van de totale productiecapaciteit NRM-persen, doordat de gewenste bezettingsgraad per NRM-pers toeneemt. Hierover zal het onderzoek straks verder op ingaan.

Implementatieplan Optie C

Doordat de HF2-persen meer ruimte in beslag nemen dan NRM-persen, veroorzaakt het vervangen van de NRM-persen voor logistiek problemen. Volgens het investeringsplan van 2016 en de engineers van het bedrijf dienen er drie NRM-persen verwijderd te worden voor het plaatsen van twee HF2-persen. In figuur 14 staat deze verhouding duidelijk weergegeven. Dit betekent dat bij het plaatsen van één HF2-pers, twee NRM-persen verwijderd dienen te worden. Voor het optimaal benutten van de productievloer is het verstandiger om dan drie NRM-persen te verwijderen voor twee HF1-persen, maar dit kan weer problemen opleveren voor de totale productiecapaciteit van de NRM-persen. Hierdoor moet het businessteam het beschikbaarheidsniveau van de NRM-persen monitoren, zodat er geen onderbezetting ontstaat van de NRM-persen. Het onderzoek gaat ervan uit dat het bedrijf zelf in staat is om onderbezetting voor te zijn en zal daarom verdergaan met het toelichten van het implementatieplan. Het onderzoek zal enkel het investeringsplan toelichten bij het vervangen van drie NRM-persen.



Figuur 14 - Verhouding oppervlakte persen



Figuur 15 –
Vervangingsmogelijk-
heden

Als het businesssteam kiest voor optie C dan dient er ook gekeken te worden naar de personen links en rechts van de pers die vervangen dienen te worden. In figuur 15 staan de drie verschillende manieren van vervangen weergegeven, waarbij de ingekleurde NRM-pers vervangen dient te worden. Het zou optimaal zijn als de best presterende NRM-pers behouden blijven en de personen met de meeste gebreken vervangen zullen worden. Hiervoor wordt er gekeken naar de kwaliteitcijfers, UPG(%) en de functionaliteit van de NRM-pers. Het interval in figuur 15 met de laagste gemiddelde waarde zal dan vervangen worden door twee HF2-persen.

De kwaliteitcijfers van de NRM-pers worden als hoofdindicatoren meegenomen voor het bepalen van deze waarden, doordat de kwaliteitcijfers geen relatie hebben met de bandenmaat die een bepaalde NRM-pers vulkaniseert en UPG(%) wel. Hierdoor zijn de personen beter met elkaar te vergelijken.

Als deze kwaliteitcijfers zodanig dicht bij elkaar liggen dat er geen duidelijke beslissing gemaakt kan worden, dan zullen de UPG percentages meegewogen worden voor het bepalen van het interval dat het slechtst presteert. Als het bedrijf alsnog geen keuze kan maken met bovenstaande waarden, dan zal de functionaliteit ook meegenomen worden voor het ordinaal vergelijken van de personen.

Zoals eerder vermeld kan het ook voorkomen dat één pers in de intervallen van figuur 14 al eerder stop is gezet. Hierdoor kan het businesssteam de keuze maken om de stilstaande pers mee te nemen in het investeringsplan, zodat de productiecapaciteit op de productievloer weer toeneemt.

Voor- en nadelen

In tabel 7 volgen de belangrijkste voor- en nadelen van de benoemde opties.

	Optie:	A	B	C
Voordelen	Groei betrouwbaarheid van totale productiecapaciteit NRM-persen	x		
	Goedkope oplossing		x	
	Verbetering van de OEE bij de pers			x
	Fabricatie van UHP banden die van meerwaarde zijn voor het bedrijf			x
	Meer tijd voor onderzoek door stilstaan pers		x	
	Verbetering van de fysieke ergonomie			x
Nadelen	Krimp betrouwbaarheid van totale productiecapaciteit NRM-persen		x	x
	Relatief dure investering	x		x
	Fabricatie van alleen kleine bandjes die weinig meerwaarde hebben	x		
	Capaciteit op de productievloer wordt niet 100% benut		x	

Tabel 7 - Voor- en nadelen beslissingen businesssteam

H4. Implementatie beslissingsmodel

In dit hoofdstuk implementeert het onderzoek het beslissingsmodel uit hoofdstuk 3 in de huidige situatie van het bedrijf. Ten eerste, zullen de voorwaarden van onderhoud nog eens kort besproken worden met de informatie uit hoofdstuk 2. Daarna zullen de keuzes van het businessteam uit paragraaf 3.3. besproken worden. Ten derde, zal het onderzoek het implementatieplan van optie C uitwerken met de variabelen van de persen die besproken zijn in hoofdstuk 2. Tot slot, sluit het onderzoek af met een conclusie.

Het onderzoek zal zich beperken in het implementeren van het beslissingsmodel. Dit komt door het ontbreken van informatie over de gewenste bezettingsgraad en terugverdientijd. Ook is de informatie gebaseerd uit onderzoeken en productieaantallen uit het jaar 2015. Voor het maken van betere keuzes dient het bedrijf de waardes uit 2017 te achterhalen en deze te implementeren in het model.

4.1. Voorwaarden van onderhoud

In paragraaf 3.2. staan de voorwaarden beschreven voor onderhoud. In deze paragraaf zullen de deze voorwaarden kort besproken worden met betrekking tot de huidige status van de NRM-persen die beschreven staat in hoofdstuk 2.

Veiligheid

Zoals vermeld in paragraaf 3.2.1. worden de persen enkel onderhouden als ze veilig kunnen vulkaniseren. Persen die als veilig worden bestempeld, zullen de veiligheidswaarde 1 ontvangen. Deze veiligheidswaarde is in paragraaf 2.2.3. gedefinieerd. Volgens de uitkomsten uit bijlage 3 voldoen alle persen aan de vastgestelde veiligheidseisen. Dit zou betekenen dat onderhoud bij een NRM-pers niet afgekeurd zou worden door de voorwaarde ‘veiligheid’.

Maximale kosten onderhoud

In paragraaf 3.2.2. wordt er door middel van een gewenste terugverdientijd de maximale onderhoudskosten berekent, waarbij de optie van onderhouden voordeliger is dan de optie van investeren in nieuwe HF2-persen. Deze maximale onderhoudskosten zijn in figuur 11 uitgezet tegen de gewenste terugverdientijd. Het bedrijf geeft aan dat een terugverdientijd van één jaar ideaal zou zijn. Dit betekent dat, aan de hand van de OEE berekeningen in het investeringsplan van 2016, onderhoud aan een NRM-pers meer dan €334.632 moet bedragen om afgewezen te worden.

In paragraaf 2.3. staan de gemiddelde revisiekosten weergegeven per pers. Aan de hand van dit gegeven concludeert het onderzoek dat de onderhoud bij een NRM-pers niet afgekeurd zou worden door de voorwaarde “Maximale kosten onderhoud”, doordat het bedrag van een revisie nooit €334.632 zal bedragen. Deze situatie verandert als de terugverdientijd aangepast wordt in de toekomst.

Beschikbaarheidsniveau

Voor het bepalen van het beschikbaarheidsniveau, zal formule (7) uit paragraaf 3.2.3. toegepast worden. Het onderzoek gaat ervan uit dat alle NRM-persen hebben geproduceerd in 2015. In bijlage 3 staan de productieaantallen weergegeven per pers. Zoals eerder vermeld zijn deze getallen vermenigvuldigd met een factor om de geheimhouding te waarborgen. Het onderzoek

zal voor het berekenen van het beschikbaarheidsniveau, een gewenste bezettingsgraad van 80% en een gemiddelde productiecapaciteit van 65.000 banden per NRM-pers per jaar hanteren. De feitelijke productie is de sommatie van de productieaantallen in bijlage 3. Hieruit volgt dat de feitelijke productie van de NRM-persen in 2015 meer dan één miljoen banden bedraagt. Met gebruik van formule (7) komt hier een beschikbaarheidsniveau uit van 2,2. Dit betekent dat er een overschot is aan 2,2 NRM-persen in de productie. Als onderhoud/revisie vereist is bij een pers dan zal dit geweigerd worden.

4.2. Keuzes businesssteam

Wanneer blijkt dat een NRM-pers niet aan de voorwaarde voldoet om onderhouden te worden, dan dient het businesssteam een keuze te maken voor de toekomst van de pers. In paragraaf 3.3. zijn de verschillende opties weergegeven met de belangrijkste voor- en nadelen.

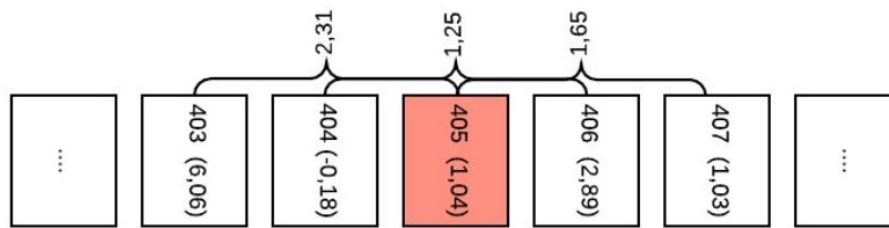
Zoals vermeld in paragraaf 4.1. heeft de totale productie van de NRM-persen een beschikbaarheidsniveau van 2,2. Dit zal behouden blijven als het businesssteam kiest voor optie A. Dit overschot aan NRM-persen kan voordelig zijn voor de betrouwbaarheid en flexibiliteit van de productie. Wanneer het businesssteam kiest voor optie B of C, dan zal het beschikbaarheidsniveau dalen naar 1,2. Dit zou betekenen dat er nog steeds een overschot is aan NRM-persen.

Optie B en optie C zullen aantrekkelijker zijn in deze situatie, doordat de pers niet noodzakelijk is voor het behalen van de feitelijke productie in hetzelfde jaar van onderhoud. Dit betekent dat de pers stil wordt gezet of vervangen wordt door een HF2-pers. Doordat het overschot aan NRM-persen meer dan twee bedraagt, kan het businesssteam gebruikmaken van optie C. Het businesssteam kan ook wachten totdat het beschikbaarheidsniveau toeneemt, waardoor er drie NRM-persen vervangen kunnen worden door twee HF2-persen. Dit betekent dat de NRM-pers stilgezet zal worden.

4.3. Implementatieplan optie C

In paragraaf 3.3. staat het implementatieplan van optie C weergegeven. In deze paragraaf laat het onderzoek aan de hand van voorbeelden zien hoe het businesssteam de persen kunnen vervangen met de gegevens uit hoofdstuk twee. Het implementatieplan focust zich op het vervangen van drie NRM-persen door twee HF2-persen, omdat dit de optimale bezettingsgraad van de productievloer bevordert.

In figuur 15 staan de vervangingsmogelijkheden weergegeven op de productievloer. Deze drie mogelijkheden zijn enkel beschikbaar bij NRM-persen die zich niet begeven op productielijn 9 of aan de uiteindes van de productielijn vier en vijf. Figuur 2 weergeeft het overzicht van de vulkanisatieafdeling met haar productielijnen. Door het kijken naar de kwaliteitcijfers van de intervallen, kan het businesssteam het interval vervangen waarbij de slechtste kwaliteit is geconstateerd. Deze kwaliteitcijfers zijn weergegeven in bijlage 3. In figuur 16 is een gedeelte van productielijn 4 weergegeven, waarbij onderhoud is afgewezen voor pers 405.



Figuur 16 - Gedeelte productielijn 4 inclusief kwaliteitscijfers

Aan de hand van de gemiddelde kwaliteitscijfers van de personen is het vervangen van NRM-pers 404, 405 en 406 de beste optie. Wel zitten de gemiddelde kwaliteitscijfers 1,25 en 1,65 dicht bij elkaar. Om meer onderscheidt te kunnen maken tussen de kwaliteit van de personen, kan het businesssteam kijken naar de UPG waardes die ook in bijlage 3 zijn weergegeven. Als deze twee waardes niet doorslaggevend kunnen zijn, dan zal het businesssteam de functionaliteit van de personen mee moeten nemen in hun keuze van vervangen.

H5. Conclusie & Discussie

In dit hoofdstuk wordt eerst in een algemene conclusie antwoord gegeven op de hoofdvragen in de probleemanalyse. Daarna worden er in de discussie de resultaten en de beperkingen van het onderzoek besproken. Tot slot, wordt de discussie beëindigd met aanbevelingen en suggesties voor eventueel vervolgonderzoek.

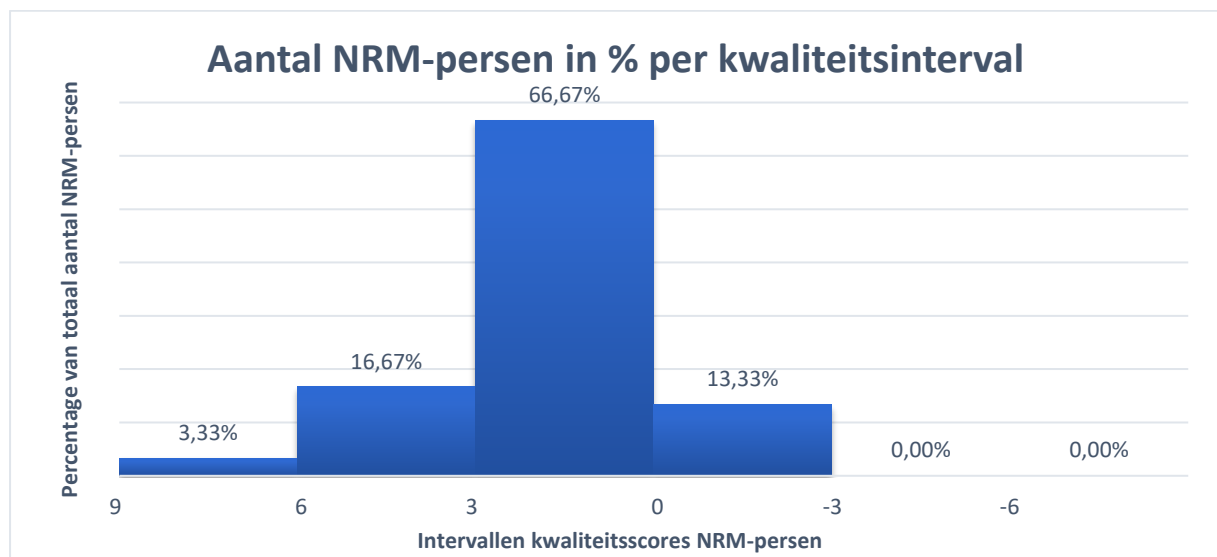
5.1. Conclusie

Het doel van dit onderzoek is het in kaart brengen van de huidige situatie, zodat het management team beslissingen kan nemen over de toekomst van de NRM-persen. De onderzoeksvraag luidde:

Welke beslissingen rondom de toekomst van de NRM-persen zijn mogelijk voor het businessteam?

Hiervoor is eerst de huidige status van de NRM-persen in kaart gebracht en vervolgens is er een beslissingsmodel ontworpen voor het businessteam. De huidige status van de NRM-persen is aan de hand van de kwaliteit, uitval en veiligheid bepaald.

Met de geoperationaliseerde waarden van de kwaliteit zijn, via het AHP model, totale kwaliteitsscores berekend die centraal staan voor de gemiddelde kwaliteit van de NRM-persen. Hier kwam uit dat 87% van de persen, waarvan informatie beschikbaar was, boven het tolerantieniveau zitten (zie figuur 17). Hieruit concludeert het onderzoek, met de beschikbare informatie uit 2015, dat er bij 13% van de persen onderhoud is vereist. Van de persen waarbij geen onderhoud is vereist, nadert 77% het tolerantieniveau en dienen daarom ook aandacht te krijgen van de specialisten van het bedrijf.



Figuur 17 - Verdeling NRM-persen over kwaliteitsintervallen

UPG(%) staat voor het percentage van de productie aan banden dat niet voldoet aan de vastgestelde kwaliteitseisen, door fouten die veroorzaakt zijn door de pers zelf. Deze percentages zijn berekend door het filteren van foutcodes die niet pers gerelateerd zijn. Hieruit volgt dat gemiddeld 0,68% van de totale productie in 2015 niet voldoet aan de vastgestelde

kwaliteitseisen door fouten, veroorzaakt door de NRM-persen zelf. Deze fouten resulteren in een verlies van meer dan drie ton. Op het gebied van veiligheid is er geen aandacht nodig. Alle personen voldoen aan de gestelde veiligheidseisen door het bedrijf.

Het beslissingsmodel in figuur 11 weergeeft de voorwaarden van onderhoud bij de NRM-persen en beslissingen voor het businesssteam, nadat een NRM-pers niet voldoet aan deze voorwaarden. Het businesssteam kan dit model gebruiken voor het bepalen van de toekomst van een NRM-pers, wanneer deze onderhouden dient te worden. De huidige status, die in hoofdstuk 2 is bepaald, is geïmplementeerd in het model. Hieruit volgt een beschikbaarheidsniveau van 2,2. Dit impliceert dat het bedrijf een overschot heeft van 2 personen. Toekomstig onderhoud bij de NRM-persen zal dus afgekeurd worden.

De andere twee voorwaarden zijn niet doorslaggevend in de bepaling van onderhoud. Met gebruik van figuur 12, volgt dat onderhoud meer dan €334.632 moet bedragen om afgekeurd te worden. Doordat de gemiddelde revisiekosten €100.000 bedragen, zal dit hoogstwaarschijnlijk nooit voorkomen. Ook voldoen alle personen aan de veiligheidseisen van het bedrijf, waardoor personen onderhouden mogen worden.

Het businesssteam zal moeten kiezen tussen de drie opties die weergegeven zijn in het beslissingsmodel. De voor- en nadelen staan beknopt weergegeven in tabel 7. Doordat het beschikbaarheidsniveau 2,2 bedraagt, kan het management eerst de desbetreffende pers stilzetten, waarbij onderhoud vereist is. Het team kan dan drie NRM-persen vervangen voor twee HF2-persen, wanneer het beschikbaarheidsniveau 3 bedraagt. In dit geval, dient het bedrijf implementatieplan optie C te implementeren, voor het behouden van de NRM-persen met de beste kwaliteit op de vulkanisatieafdeling.

5.2. Discussie

In dit onderzoek is allereerst geprobeerd de huidige status van de NRM-persen zo realistisch mogelijk in beeld te brengen aan de hand van data-analyse. Dit was echter geen gemakkelijke taak, omdat alleen het kwaliteitsonderzoek uit 2015 beschikbaar was voor het bepalen van de huidige kwaliteit van de NRM-persen. Deze kwaliteitsresultaten kunnen verouderd zijn en daarom niet betrouwbaar genoeg voor het bepalen van de huidige status van de personen.

Naast dat de resultaten verouderd kunnen zijn, zijn sommige kwaliteitsaspecten ordinaal gemeten, zoals weergegeven in tabel 4. Hierdoor kan het onderzoek enkel constateren of een kwaliteitsaspect onder, boven of op het tolerantieniveau zit. Als het kwaliteitsaspect de tolerantie overschrijdt, is het vooralsnog niet duidelijk in welke mate deze overschrijding zich voordoet. Zo kan bijvoorbeeld schade bij de ene pers groter zijn dan bij de andere pers, maar door het gebruik van deze meetmethode zullen beide personen dezelfde ordinale waarde ontvangen. Hierdoor is het niet met zekerheid te zeggen of de kwaliteitscijfers van de kwaliteitsaspecten die ordinaal gemeten zijn, ook daadwerkelijk centraal staan voor de kwaliteit op het gebied van dat aspect. Ze geven dus enkel globaal de status van een kwaliteitsaspect weer.

Ook kunnen de toleranties van de kwaliteitsaspecten in het onderzoek niet onderbouwend genoeg zijn. Tijdens interviews met de engineers en monteurs van het bedrijf zijn de toleranties

op een subjectieve wijze bepaald. Hierdoor is het niet volledig zeker of deze vastgestelde toleranties ook daadwerkelijk centraal staan voor de toegestane afwijking/schade van de NRM-persen, waarbij de kwaliteit van de NRM-persen als acceptabel wordt geacht. Daarnaast is het onzeker of de benoemde kwaliteitsaspecten in dit onderzoek de volledige kwaliteit van de NRM-persen verklaren. Als dit niet het geval is, dan zijn er meer factoren aanwezig die invloed hebben op de berekende kwaliteitsscores in dit onderzoek.

Het bovenstaande kan de zwakke correlatie tussen de kwaliteit van de NRM-persen en UPG(%) verklaren. Zoals vermeld in paragraaf 2.2.2. wordt de variatie van UPG(%) niet verklaard door de variatie van de kwaliteit van de NRM-persen. Het zou echter logisch zijn, dat een pers met een slechtere kwaliteit ook een slechtere prestatie levert. Als dit wel het geval is, dan kan onderzoek de UPG percentages gebruiken voor het bepalen van de kwaliteit van de NRM-persen. De zwakke correlatie tussen deze twee variabelen kan twee oorzaken hebben:

- Niet alle indicatoren (kwaliteitsaspecten) voor het bepalen van de kwaliteit van de NRM-persen zijn meegenomen, waardoor de meting minder valide is en de kwaliteitcijfers niet de werkelijke kwaliteit van de NRM-persen weergeven.
- De variatie van de prestaties van de persen (UPG(%)) wordt mede verklaard door andere factoren.

Zoals hierboven vermeld, kan het zijn dat UPG(%) een correlatie heeft met andere variabelen. Denk hierbij aan: seizoen, matenpakket van NRM-pers, positie op vulkanisatieafdeling en de functionaliteit van de NRM-persen. Als het businesssteam de werkelijke oorzaak van UPG(%) kan vinden, dan kan dit op financieel gebied positieve gevolgen hebben voor het bedrijf. Dit onderzoek heeft hier geen aandacht aan besteed, maar adviseert het bedrijf wel om hier onderzoek naar te doen.

De veiligheid van de persen is bepaald aan de hand van twee kwaliteitsaspecten, zoals beschreven in paragraaf 2.2.3. Dit zijn kwaliteitsaspecten C en D (scheuren/schade in de bovenbrug en onderbok van de NRM-persen). Tijdens het onderzoek uit 2015 zijn deze kwaliteitsaspecten gemeten via een visuele inspectie. Deze methode is geschikt voor het detecteren van fouten/scheuren in het oppervlak van het materiaal. Inwendige scheuren zijn hierbij niet geconstateerd. Dit zijn scheuren die dieper in het materiaal zitten en daarom aan het oppervlak van het materiaal niet zichtbaar zijn. Het is noodzakelijk dat deze inwendige scheuren worden belicht, omdat ook deze de veiligheid en de kwaliteit van de NRM-persen kunnen aantasten. Voor het constateren van inwendige scheuren bij de NRM-persen dient het bedrijf een ultrasoon onderzoek uit te voeren. Bij ultrasoon onderzoek dienen ultrasone geluidsgolven als een detectiemethode voor fouten in het materiaal (Tosec, 2016). Volgens Tosec – een specialist op het gebied van lasonderzoek – kunnen met ultrasoon onderzoek defecten op grote afstand van het oppervlakte (diep in het materiaal) opgespoord worden. Met de vergaarde informatie uit het ultrasoon onderzoek kan het bedrijf nieuwe waarden bepalen voor de kwaliteitsaspecten C en D, zodat niet alleen de veiligheid gemonitord kan worden, maar ook de huidige kwaliteit van de persen nauwkeuriger bepaald kan worden.

Naast het bepalen van de huidige status van de NRM-persen, is er ook een beslissingsmodel gemaakt rondom het onderhouden van de NRM-persen. Hierbij is onder andere het beschikbaarheidsniveau van de productie meegenomen als voorwaarde van onderhoud. Voor het bepalen van dit niveau is er een gewenste bezettingsgraad gebruikt van 80%. Deze waarde

is als streven meegenomen in het onderzoek, maar is niet gebaseerd op de huidige structuur van het bedrijf. Een hoge bezettingsgraad van de NRM-persen kan leiden tot meer omzet, maar ook tot minder flexibiliteit op de productievloer. Een lagere bezettingsgraad kan zorgen voor een overcapaciteit aan NRM-persen, waardoor de flexibiliteit op de productievloer stijgt, maar door de lage bezettingsgraad zullen er minder banden gevulkaniseerd worden. Het onderzoek heeft geen aandacht besteed aan de ideale bezettingsgraad van de NRM-persen, maar adviseert het bedrijf om hier wel nieuw onderzoek naar te doen, zodat de onder- en overcapaciteit aan NRM-persen vastgesteld kunnen worden op de vulkanisatieafdeling.

Het beschikbaarheidsniveau is gebaseerd op een schatting van hoeveel persen je nodig zou hebben om een betrouwbare productie te leveren. Het kan zijn dat deze waarden niet betrouwbaar genoeg zijn, doordat formule (8) louter kijkt naar de totale feitelijke productie en geen onderscheid maakt in de verschillende maten banden die de NRM-persen vulkaniseren.

Naast het beschikbaarheidsniveau zijn de maximale onderhoudskosten ook meegenomen als voorwaarden voor onderhoud. Aan de hand van de OEE verbetering in kosten, de gewenste terugverdiendtijd en de kosten van een nieuwe HF2-pers wordt er een maximum bedrag bepaald voor groot onderhoud (revisie) bij de NRM-persen. Hierbij is de gewenste terugverdiendtijd de enige onafhankelijke variabele uit formule (6). Het bedrijf geeft aan dat een terugverdiendtijd van één jaar als ideaal wordt beschouwd. Echter, onderhoudskosten bij een NRM-pers zullen nooit de maximale onderhoudskosten in figuur 12 overschrijden bij een gewenste terugverdiendtijd van één jaar. Dit betekent dat deze voorwaarde voor het beslissingsmodel niet relevant is, totdat de gewenste terugverdiendtijd meer dan drie jaar bedraagt. Bij deze waarde zullen de maximale onderhoudskosten de gemiddelde revisiekosten van een NRM-pers naderen.

De OEE verbetering is in formule (6) meegenomen als een constante per jaar. Tijdens dit onderzoek is deze waarde overgenomen uit het investeringsplan van 2016. In dit investeringsplan is de jaarlijkse OEE verbetering berekend, na het vervangen van een functionerende NRM-pers door een HF2-pers. Met gebruik van de verkoopprijs van de banden die de verschillende persen kunnen vulkaniseren, is de OEE verbetering omgezet in jaarlijkse winsten. Het is mogelijk dat deze jaarlijkse winsten zullen afnemen, doordat de OEE van de HF2-pers per jaar vermindert. Deze vermindering kan als oorzaak hebben dat de kwaliteit van de persen jaarlijks afneemt. Of de afname van de OEE door de jaren heen werkelijk een ongunstig effect zal hebben op de uitkomsten van formule (6) is onduidelijk, maar het bedrijf dient hier rekening mee te houden wanneer de voorwaarde 'Maximale onderhoudskosten' meegenomen zal worden voor het besluit of een pers wel of niet onderhouden dient te worden.

Volgens het beslissingsmodel in figuur 11 heeft het businesssteam van de vulkanisatieafdeling drie opties wanneer blijkt dat een NRM-pers niet aan de voorwaarde voldoet om onderhouden te worden. Uiteraard zijn er meer mogelijkheden beschikbaar, maar het onderzoek heeft zich beperkt tot deze drie opties. Het businesssteam kan bijvoorbeeld bij overcapaciteit aan NRM-persen ook ervoor kiezen om NRM-persen - die nog wel functioneren - halve producties te laten draaien. Zo wordt er een overcapaciteit gewaarborgd en kunnen deze NRM-persen gebruikt worden wanneer andere NRM-persen uit de productie gehaald moeten worden voor groot onderhoud. Doordat een lage bezettingsgraad voor de persen gehanteerd zal worden, zal de afname van kwaliteit van de machines verminderen en zouden ze langer mee moeten gaan.

Naast de drie bekende opties uit het beslissingsmodel zijn er dus meerdere opties mogelijk, maar hier zal het bedrijf zelf onderzoek naar moeten doen.

5.1. Aanbevelingen

Voor het behouden van het overzicht volgen nu de verschillende aanbevelingen voor het bedrijf met de bijbehorende toelichtingen:

- Het blijven monitoren van de kwaliteit van de NRM-persen

Het bedrijf dient de kwaliteit van de machines minimaal één keer per jaar te monitoren, zodat het businessteam géén keuzes hoeft te maken aan de hand van mogelijk verouderde data. Hierbij dienen alle indicatoren van kwaliteit juist gedefinieerd te worden, zodat deze waarden in een later stadium niet anders geïnterpreteerd kunnen worden. Ook dienen de toleranties zodanig onderbouwd te worden, dat het bedrijf ook daadwerkelijk acties onderneemt nadat een pers deze toleranties overschrijdt.

Door het jaarlijks monitoren van de kwaliteit kan er op langere termijn de stagnatie van de kwaliteit van de NRM-persen berekend worden. Met deze informatie kan het businessteam de afname van kwaliteit koppelen aan tijd, waardoor er schattingen gemaakt kunnen worden over hoelang een pers draait totdat onderhoud vereist is.

- Uitvoeren van ultrasoon onderzoek bij NRM-persen

Met het uitvoeren van een ultrasoon onderzoek kan scheurvorming diep in het materiaal ontdekt worden. De resultaten van dit onderzoek geven de werkelijke waarden weer voor kwaliteitsaspecten C en D. Ook zullen deze resultaten de huidige status van de NRM-persen op het gebied van veiligheid bepalen. Wel dienen er duidelijke toleranties gesteld te worden bij deze scheuren, zodat de veiligheid op de productievloer gewaarborgd kan worden.

Wanneer het bedrijf kiest om dit ultrasoon onderzoek periodiek uit te voeren, dan kan de gehele scheurvorming gemonitord worden. Hiermee wordt bedoeld dat de totale toename aan scheurtjes in het materiaal bepaald kan worden na een bepaalde tijdsinterval. Hierdoor kan het bedrijf in een later stadium schatten hoelang NRM-persen nog kunnen produceren totdat zij niet meer voldoen aan de veiligheidseisen van het bedrijf.

- Onderzoek naar variatie UPG(%) en optimale bezettingsgraad van de NRM-persen

Het is mogelijk dat de variatie van UPG(%) mede bepaald wordt door andere factoren dan alleen de kwaliteit van de NRM-persen. Het ontdekken van de oorzaak van variatie UPG(%) zal positieve gevolgen hebben op financieel gebied. De heren van het businessteam kunnen dan de vastgestelde oorzaken aanpakken, waardoor de pers gerelateerde uitval aan producten zal afnemen.

Ook wordt er aanbevolen om de optimale bezettingsgraad te achterhalen van de NRM-persen. Deze waarde kan gebruikt worden om de onder- en overcapaciteit aan NRM-persen te bepalen. Voor het achterhalen van deze optimale bezettingsgraad dient het businessteam op strategisch vlak een toekomst te kiezen voor de NRM-persen op de vulkanisatieafdeling.

A. Referentielijst

- Doorn P.K. & Rhebergen M.P. (2006). Statistiek voor Historici: *10.1 Correlatie*.
Geraadpleegd via: <http://www.let.leidenuniv.nl/history/RES/stat/html/les10.html>
- Economielokaal (2016). *Bezettingsgraad*. Geraadpleegd via:
<https://www.economielokaal.nl/bezettingsgraad-2/>
- Ensie (2016). *Terugverdiëntijd*. Geraadpleegd via:
<https://www.ensie.nl/accounting/terugverdiëntijd>
- Heerkens, J. (2012). *Geen Probleem: Een aanpak voor alle bedrijfskundige vragen en mysteries*. Enschede, NL: Business School Nederland.
- Panneman, T. (2017). *Lean Transformation: When and how to use lean tools and climb the four steps of lean maturity*. Scotts Valley, USA: Createspace.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. Geraadpleegd via:
https://www.colorado.edu/geography/leyk/geog_5113/readings/saaty_2008.pdf
- Technische Centrale (2018). Productie van banden. Geraadpleegd via:
<http://technischecentrale.nl/downloads/bandenproductie.pdf>
- Tosec (2016). *Wat is lasonderzoek en hoe kies ik het juiste NDO onderzoek?* Geraadpleegd via: <https://www.tosec.nl/wiki/lasonderzoek/>
- Wentzel, B. (2007). Chemische Feitelijkheden: *Rubber*. Geraadpleegd via:
http://www.chemischefeitelijkheden.nl/Uploads/Magazines/Rubber-241_1.pdf
- Winston, W.L. (2004). *Operations Research* (4^e ed.). Belmont, USA: Brooks/Cole.

B. Bijlage

Bijlage 1 - data kwaliteit I+II

Pers	Data A-kant									Data B-kant
	side arm	Side arm	Aandrijf	Hfd wiel	Hfd wiel	Beam rol	Zijplaat	Scheuren	scheuren	..
	under.	above.	rondsel.	Inside l.	Outside l.	slijtage	Schade slijta	bovenbrug	onderbrug	..
401	0.825	0.825	0.45	0.9	0.45	1			1	..
402	0.6	0.45	0.3	x	0.45	1				..
403	1.125	0.9	0.15	x	0.675		2			..
404	0.525	0.525	0.9	1.05	2.85			1		..
405	0.6	0.375	0.45	0.9	1.05	1				..
406	1.65	0.525	0.225	1.8	0.75	1		1		..
407	0.75	0.9	0.825	x	0.75	1				..
408	0.9	0.675	0.3	0.75	0.45		2			..
409										..
410	0.75	0.525	0.45	1.65	1.125	1			1	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

Bijlage 2 - AHP enquête en resultaten

Beste werknemer,

Bedankt voor het invullen van de enquête.

Deze informatie is nodig voor het bepalen hoeveel een mankement aan een NRM-pers mee weegt voor de totale score van dezelfde NRM-pers. Met uw bijdrage kunnen we een kwaliteitcijfer hangen aan een bepaalde pers.

Graag het cijfer omcirkelen waarbij u denkt dat het van toepassing is. Hierboven staat de legenda weergegeven met de beschrijvingen van de cijfers.

A: Slijtage beamrol (platte kanten etc.)

B: Slijtage en schade zijplaten

C: Scheuren in bovenbrug

D: Scheuren in onderbok

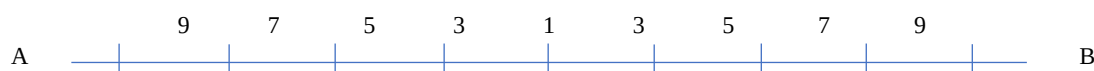
E: Lagerafwijkingen zijarm

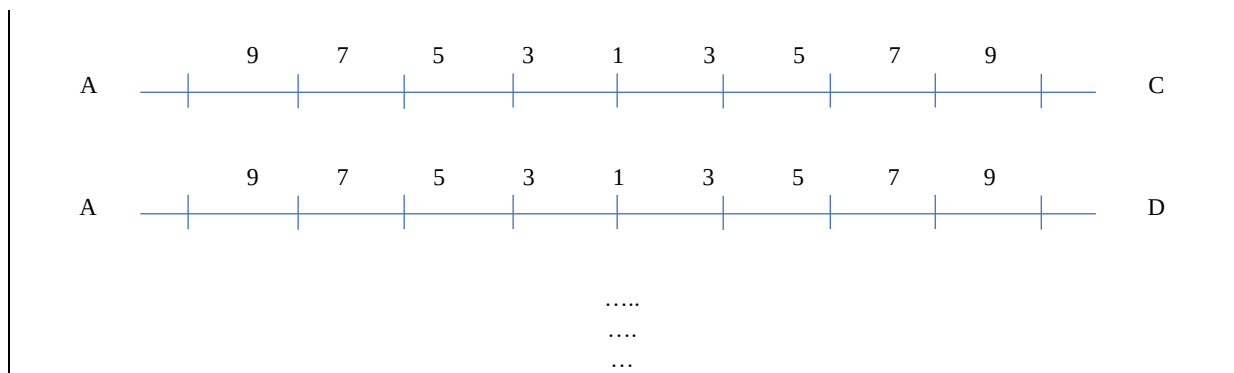
F: Lagerafwijkingen aandrijfzandwiel

G: Lagerafwijkingen hoofdwiel

Score formulier

Verbal scale	Correspondent numerical scale
Equal preference	1
Weakly more important	3
Moderately more important	5
Strongly more important	7
Absolutely more important	9
Intermediate values	2,4,6 e 8





AHP berekeningen										
	j/k	A	B	C	D	E	F	G		
A=	A	1		2	6	6	3	2	9	
	B	0,5	1		2	4	1	0,25	2	
	C	0,16667	0,5	1		0,5	0,2	0,25	3	
	D	0,16667	0,25	2	1		0,25	0,25	3	
	E	0,33333	1	5	4	1		2	7	
	F	0,5	4	4	4	0,5	1		3	
	G	0,11111	0,5	0,33333	0,33333	0,14286	0,33333	1		
		2,77778	9,25	20,3333	19,8333	6,09286	6,08333	28		
	j/k	A	B	C	D	E	F	G		
Anorm=	A	0,36	0,21622	0,29508	0,30252	0,49238	0,32877	0,32143	A	0,33091
	B	0,18	0,10811	0,09836	0,20168	0,16413	0,0411	0,07143	B	0,12354
	C	0,06	0,05405	0,04918	0,02521	0,03283	0,0411	0,10714	C	0,05279
	D	0,06	0,02703	0,09836	0,05042	0,04103	0,0411	0,10714	D	0,06073
	E	0,12	0,10811	0,2459	0,20168	0,16413	0,32877	0,25	E	0,20265
	F	0,18	0,43243	0,19672	0,20168	0,08206	0,16438	0,10714	F	0,19492
	G	0,04	0,05405	0,01639	0,01681	0,02345	0,05479	0,03571	G	0,03446
Scores personen										
	A (= 0,33091)	B (=0,12354)	C (...)		Score totaal					
401	6		-3	.. =	2,56					
402	0		-6	.. =	1,58					
403	-9		6	.. =	-0,03					
...	...		...		...					
...	...		...		...					
Consistentie berekeningen										
stap1	stap2			stap3	stap4					
Aw ^T =	2,567	$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\text{ith entry in } Aw^T}{\text{ith entry in } w^T}$	7,6657	$CI = \frac{(\text{Stap uitkomst}) - n}{n - 1}$	0,11095	0,08405				
	0,95778									
	0,39271									
	0,45511									
	1,57438									
	1,5133									
0,26476			CI=	0,11095						
			RI(7)=	1,32						

Bijlage 3 – Uitkomsten hoofdstuk 2

Huidige status (2015)

Pers	UPG uitval	produceert	SCRAP	UPG	Kwcijfer	Veiligheid	Functioneel
------	------------	------------	-------	-----	----------	------------	-------------

401	256	50272	0,0268	0,0051	0,23	1 X - 2cil
402	404	47530	0,0245	0,0085	5,34	1 Z - 2cil
403	221	48122	0,0276	0,0046	6,06	1 Z - 2cil
404	399	45734	0,028	0,0087	-0,18	1 Y - 2cil
405	143	47028	0,0215	0,003	1,04	1 Y - 2cil
406	260	46900	0,0249	0,0055	2,89	1 Y - 2cil
407	278	49589	0,021	0,0056	1,03	1 Z - 2cil
408	419	51529	0,0244	0,0081	1,38	1 Y - 2cil
409	364	32263	0,0331	0,0113	2,55	1 Y - 1cil
410	199	51850	0,0249	0,0038		1 Y - 1cil
411	299	45084	0,0223	0,0066	2,09	1 X - 2cil
412	235	49496	0,0258	0,0047		1 X - 1cil
501	395	47198	0,0273	0,0084	2,67	1 Y - 1cil
502	443	50786	0,0253	0,0087	2,95	1 Y - 1cil
503	385	49500	0,0302	0,0078	1,66	1 Y - 1cil
504	392	49700	0,0238	0,0079	-0,02	1 Y - 1cil
505	771	53279	0,0352	0,0145	2,28	1 X - 1cil
506	327	54200	0,0259	0,006	0,19	1 X - 1cil
507	321	52751	0,0207	0,0061	2,94	1 X - 1cil
508	553	46652	0,033	0,0118	1,30	1 X - 1cil
509	518	52315	0,023	0,0099	5,27	1 X - 1cil
510	244	45280	0,0236	0,0054	2,83	1 Z - 1cil
511	278	56961	0,0221	0,0049	-0,70	1 Z - 2cil
512	281	51686	0,0247	0,0054	1,07	1 X - 2cil
513	362	47739	0,0236	0,0076	4,38	1 X - 2cil
514	270	43657	0,0243	0,0062	0,27	1 X - 2cil
515	149	45339	0,0231	0,0033	3,35	1 Z - 2cil
516	216	43171	0,0302	0,005	0,21	1 Y - 1cil
517	412	42384	0,0294	0,0097	1,29	1 Y - 1cil
518	206	44418	0,0284	0,0046	2,97	1 Y - 1cil
907	206	55846	0,0219	0,0037	-2,69	1 2cil
912	356	49439	0,0255	0,0072	6,81	1 2cil