

Onderzoek rootcauseanalyse

POWER-PACKER®

Jeroen Evers

S0198986

TBK

Bedrijf: Power-Packer

Begeleider UT: ir. Sandor Löwik

2° Begeleider UT: Drs. Jasper Veldman

Begeleider Power-Packer: Eric Weenink (Teamleider PE bij Power-Packer)

Dit is dan eindelijk het definitieve verslag, waarmee ik de bachelorfase van mijn studie Technische Bedrijfskunde op de Universiteit Twente hoop af te ronden. Natuurlijk had ik dit onderzoek nooit alleen kunnen doen en daarom wil ik een aantal mensen bedanken.

Ik wil iedereen bij Power-Packer bedanken voor de gastvrijheid en vooral voor het bieden van de mogelijkheid om eens een kijkje in de keuken te nemen. Het was een zeer leerzame ervaring. In het bijzonder wil ik de Production Engineers bedanken, waarmee ik een kantoor deelde, voor hun hulp en voor het halen van alle koffie: Erik, Martin, Tim, Bas, Ruben, John, Ben, Jan, Leon en Ivo.

Jasper Veldman wil ik bedanken voor het optreden als tweede begeleider en voor het helpen van het vinden van een goede formulering van mijn opdracht aan het begin van het traject. Ook wil ik hem bedanken voor het vinden van een eerste begeleider: Sandor Löwik.

Sandor Löwik wil ik op zijn beurt weer bedanken voor alle goede feedback en begeleiding. Het was goed om te weten dat zijn deur altijd open stond en dat hij echt de tijd heeft genomen om zich goed te verdiepen in mijn onderzoek.

Tot slot wil ik Eric Weenink bedanken voor het geven van richting en voor de begeleiding bij Power-Packer. Ik vond het bijzonder prettig samenwerken.

Jeroen Evers,
Augustus 2011

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	2
Management summary	4
Hoofdstuk 1 – Inleiding	8
Hoofdstuk 2 – Probleemstelling en aanpak	9
2.1. Causaal model	9
2.2. Probleemstelling, onderzoeksvragen en doelstelling	12
2.3. Norm en werkelijkheid	13
2.4. Standaardisatie van werkprocessen: de theorie	15
2.5. Verdere structurering van het verslag	16
Hoofdstuk 3 - Huidige situatie	17
3.1. Verscheidenheidsanalyse: de aanpak	17
3.2. Verscheidenheidsanalyse: de conclusies	20
3.3. Peugeot-case: de aanpak	21
3.4. Peugeot-case: de conclusies	24
3.5. Documentatie rootcauseanalyse	26
3.6. Conclusies analyse	27
Hoofdstuk 4 – Rootcauseanalyse: Wat is de beste manier?	31
4.1. Medewerkers	31
4.1.1. Inwerken PE's kost veel tijd	31
4.1.2. Reparatie data wordt slecht ingevuld	31
4.2. Methode	31
4.2.1. Vaste methode ontbreekt	31
4.2.2. Geen standaarden over productielijnen	34
4.2.3. Statistische technieken worden te weinig gebruikt	35
4.3. Omgeving	40
4.3.1. Slecht toegankelijke informatie	40
4.3.2. Hoge werkdruk	40
4.4. Software	40
4.4.1. Systeem gebruikt historische data niet	40
4.4.2. PE moet overbodige stappen doen	41

4.5. Meetinstrument.....	41
4.5.1. Verschillende foutcodes met dezelfde oorzaak	41
Hoofdstuk 5 – Rootcauseanalyse: Standaardisatie en documentatie.....	43
5.1. Standaardisatie.....	43
5.1.1. Software	43
5.1.2. Stappen tijdens een RCA	44
5.1.3. Vervolgstappen.....	46
5.2. Documentatie	47
5.2.1. Reparatiehandleiding	47
5.2.2. Verdere documentatie	47
Hoofdstuk 6 - Conclusies	49
6.1. Prestatieverbetering.....	49
6.2. Beantwoording van de probleemstelling en de aanbevelingen.....	50
Literatuurlijst	52
Afkortingen.....	53
Bijlagen	54
Bijlage 1: Bedrijfsschets.....	54
Bijlage 2: Formulier Peugeot-case	55
Bijlage 3: Uitkomst Peugeot-case.....	57
Bijlage 4: Reparatiehandleiding onderzoek.....	60
Bijlage 5: Documentatiedocument.....	61
Bijlage 6: Het opslaan van RCA's	63
Bijlage 7: Toetsing oplossingen aan criteria	64

Management summary

Het verslag dat voor u ligt is het resultaat van ruim twee maanden onderzoek bij Power-Packer Oldenzaal. De doelstelling van het onderzoek was om de Rootcauseanalyse (RCA) eenduidiger te maken, te standaardiseren en het creëren van de mogelijkheid om de resultaten van de analyses vast te leggen in een standaarddocument ten behoeve van de effectiviteit van het productieproces bij Power-Packer.

Het onderzoek

In eerste instantie was het belangrijk om inzicht te krijgen in de manier waarop RCA's voor het onderzoek werden uitgevoerd. Het was vooral belangrijk om problemen te ontdekken die een negatief effect hebben op de efficiency (gedefinieerd als de tijd die een Production Engineer nodig heeft bij het uitvoeren van een RCA). Hiertoe zijn een achttal cases uitgevoerd met vier verschillende Production Engineers (PE's) bij de automotive-afdeling. Tijdens deze cases werd geobserveerd hoe de PE's verschillende RCA's uitvoerden. Op deze manier werd duidelijk wat het RCA-proces bij Power-Packer precies inhoudt. Door middel van gesprekken kwamen een aantal problemen aan het licht. Deze problemen zijn:

- Er wordt te weinig gebruik gemaakt van statistische tools voor onderbouwing.
 - Er wordt te weinig structureel gewerkt.
 - Belangrijke informatie is vaak moeilijk te vinden.
 - PE's ervaren een hoge werkdruk.
 - Er is veel verschil in codering en terminologie tussen productielijnen.
 - RCA's worden niet gedocumenteerd; er wordt niet geleerd van het verleden.
 - Productiemedewerkers vullen de reparatiedata slecht in.
 - Software wordt sub-optimaal gebruikt.
 - De reparatiehandleiding wordt te weinig gebruikt.
 - Er kunnen verschillende foutcodes worden gegenereerd voor één oorzaak.
- (Uitgebreide verslagen van de cases zijn als extra bijlage bij het verslag gevoegd)

Om aan te tonen dat er te weinig structureel wordt gewerkt (één van de genoemde problemen) en dat de manier waarop de RCA wordt uitgevoerd sterk afhangt van de PE is een case uitgevoerd onder de noemer "Peugeot-case". In deze case werden aan vier verschillende PE's dezelfde case voorgelegd (ze hadden dezelfde fouten-Pareto en dezelfde data als uitgangspunt). Uit dit deel van het onderzoek is inderdaad gebleken dat er grote verschillen bestaan tussen de manieren waarop de verschillende PE's de RCA hebben aangepakt. Per definitie betekent dit dat de RCA niet altijd op de meest efficiënte (beste) manier wordt uitgevoerd. Dit geeft dus de noodzaak aan om meer structuur aan te brengen in het proces van de RCA.

Verder zijn er nog korte onderzoekjes toegevoegd naar de effectiviteit van de reparatiehandleiding en naar de fouten die het meest voorkomen bij de hardlopers bij automotive.

De aanbevelingen

De doelstelling van het onderzoek om meer inzicht te krijgen in het RCA-proces is gerealiseerd. Ook is er een aantal aanbevelingen gedaan en zijn er tools aangereikt om de RCA efficiënter te maken. De lijst met de aanbevelingen zijn hieronder in drie groepen weergegeven met een korte uitleg.

Nieuwe stappen tijdens uitvoering RCA:

- Raadpleeg de reparatiedata en de reparatiehandleiding.

Twee bronnen van informatie die tot op heden niet of nauwelijks worden gebruikt door de PE's tijdens de RCA zijn de reparatiedata en de reparatiehandleiding. In de reparatiedata is (globaal) te zien welke stappen het productiepersoneel heeft doorlopen om een product te repareren. In de reparatiehandleiding (voor zover ingevuld) zijn de voorschriften voor reparatie door het productiepersoneel te vinden. Deze bronnen kunnen steun bieden bij het achterhalen van de rootcause van een bepaalde afkeur.

- Raadpleeg gedocumenteerde RCA's met betrekking tot dezelfde fout (eventueel ook van andere lijnen).

Op dit moment worden uitgevoerde RCA's nog niet gedocumenteerd. Een aanbeveling is dat dit wel moet gebeuren. Dit is namelijk handig als een (soortgelijk) probleem zich in de toekomst weer voor doet. Als een RCA duidelijk wordt gedocumenteerd hoeft het wiel niet opnieuw te worden uitgevonden. In bijlage 5 is een voorstel gedaan voor een document om RCA's op een duidelijke en efficiënte manier te documenteren.

- Maak of raadpleeg een visgraatdiagram (als deze beschikbaar is voor de beschouwde fout).

Een handige tool die kan helpen om mogelijke oorzaken gegroepeerd inzichtelijk te maken is het visgraatdiagram. Wanneer een de rootcause van een probleem niet meteen voor de hand ligt, kan het raadzaam zijn voor de PE om zo een visgraatdiagram op te stellen. Deze visgraatdiagram moet ook opgeslagen worden, omdat deze in de toekomst weer van nut kan zijn.

- Maak een ID als er meerdere foutcodes die met elkaar te maken lijken te hebben tegelijk optreden.

Wanneer er meerde fouten of foutcodes een rol spelen in een proces met veel afkeur, kan het moeilijk zijn om het overzicht te verkrijgen in de problematiek. Een interrelationeel diagram (ID) kan hierbij helpen.

- Er moet vaker gebruik gemaakt worden van een structuratiemethode als DMAIC.

Het ontbreken van structuur tijdens het uitvoeren van een RCA zorgt er enerzijds voor dat de PE geen houvast heeft tijdens de uitvoering en anderszins dat de uitkomsten van verschillende RCA's sterk kunnen variëren, zoals is gebleken uit de Peugeot-cases. Het systeem is dan niet robuust. Een goede manier om structuur aan te brengen is de DMAIC-methode, derhalve is in het document van bijlage 5 gebruik gemaakt van de DMAIC-methode om structuur te geven aan de uitvoering van de RCA en aan de documentatie.

- Maak vaker gebruik van statistische en kwantitatieve onderbouwing (capability-analyse en $\bar{X}$ -charts).

Opvallend tijdens het onderzoek was dat de kwaliteit van de onderbouwing tijdens de uitvoering van de RCA's door de PE's soms te wensen over liet. PE's gaan vaak af op hun gevoel of putten uit ervaringen uit het verleden. Gebrekkige onderbouwing heeft negatieve gevolgen voor de kwaliteit van conclusies en dus voor de efficiëntie waarmee een RCA wordt uitgevoerd. Het is dus belangrijk dat redeneringen worden onderbouwd met cijfers.

- *PE moet nagaan of een gevonden oplossing ook direct van nut kan zijn voor andere productielijnen.*
Een PE moet niet de waarde van het werk dat hij heeft verzet tijdens een RCA onderschatten. Zo kunnen gevonden oplossingen wellicht ook direct of na aanpassing toepasbaar zijn op andere processen.

Rondom documentatie:

- *Documenteer elke RCA, d.m.v. een standaardformulier.*

Het belang van het documenteren van de RCA is reeds toegelicht. Het is belangrijk dat de PE dit altijd doet.

- *Sla deze documentaties op een centrale plek (op de computer) op, zodat op foutcode en pompsysteem gezocht kan worden.*

Het moet de PE niet veel tijd kosten als hij een gedocumenteerde RCA opzoekt, daarom moeten de documentaties op een centrale plek worden opgeslagen. In het verslag worden hier specifieke aanbevelingen voor gedaan.

- *Update na elke RCA de reparatiehandleiding.*

Het is belangrijk om na elke RCA de reparatiehandleiding te updaten, omdat de reparatiehandleiding ervoor kan zorgen dat productiepersoneel problemen in de toekomst wellicht ter plekke kan oplossen. Bovendien kan de reparatiehandleiding een handvat bieden voor de PE bij toekomstige problemen.

- *Zorg voor een functionaliteit in de reparatiehandleiding die ervoor zorgt dat het meest relevante reparatieadvies als eerste wordt gegeven.*

Wanneer de reparatiehandleiding als eerste het reparatieadvies geeft waarvan in het verleden is gebleken dat dat advies het meest succesvol is geweest kan er tijd gewonnen worden tijdens het oplossen van een probleem.

- *Update het visgraatdiagram (voor zover beschikbaar).*

Zoals gezegd kan een visgraatdiagram helpen tijdens een RCA. Het is daarom belangrijk het visgraatdiagram op te slaan of wanneer er al één is om deze te updaten als er nieuwe inzichten zijn.

Overige aanbevelingen:

- *Breid de SPC-applicatie uit, zoals beschreven in paragraaf 5.1.1.*

In het verslag (paragraaf 5.1.1.) is een aantal aanbevelingen gedaan om de gebruikte software uit te breiden, zodat de PE niet elke keer stappen aan het begin van de RCA hoeft te doen, die ook geautomatiseerd kunnen worden.

- *Zorg voor een standaard voor foutcodes en beschrijvingen over verschillende productielijnen.*

Verschillende type pompsystemen hebben veel met elkaar gemeen. Er is daarom ook een grote overlap in de mogelijke fouten die voor kunnen komen bij verschillende productielijnen. Het is echter gebleken dat bepaalde fouten die in essentie hetzelfde zijn heel verschillend worden aangeduid. Dit brengt moeilijkheden met zich mee. Zo is het moeilijk om te zien welke soorten fouten er over de hele fabriek het meest voorkomen en is het moeilijker om te zien of bepaalde oplossingen ook kunnen worden toegepast bij andere lijnen.

- Zorg voor TI's met duidelijke bestandsnamen, corresponderende met het type pompsysteem en zet alle toleranties van alle meetwaarden van alle pompsystemen overzichtelijk in één (excel-) document. Onderzoek bovendien of er een efficiëntere manier te bedenken is om informatie op een handigere, meer gestructureerde manier op te slaan.

De PE's zijn veel tijd kwijt aan het zoeken van relevante informatie voor de RCA. Het gaat hier vaak om informatie die voor elke RCA nodig is. Door deze informatie makkelijker bereikbaar te maken, kan tijd worden bespaard en wordt het proces van het uitvoeren van een RCA efficiënter.

- Productiemedewerkers moeten worden geïnstrueerd dat ze de reparatiedata nauwkeurig moeten invullen.

De reparatiedata kan een belangrijke bron van informatie zijn voor PE's tijdens het uitvoeren van een RCA. Het is dus belangrijk dat het productiepersoneel de gegevens goed invult. Dit gebeurt nu onvoldoende.

- Start een onderzoek/ treed in gesprek met de PE's over de werkdruk die als hoog wordt ervaren.

De PE's ervaren een hoge werkdruk. Dit zorgt ervoor dat de PE's soms niet genoeg tijd hebben om de RCA volledig op een goede manier uit te voeren. Dit heeft negatieve gevolgen voor de kwaliteit van de uitkomst van de RCA.

Hoofdstuk 1 – Inleiding

Het is onvermijdelijk dat in productieprocessen fouten worden gemaakt. Deze fouten geven kwaliteitsrisico's en kosten fabrikanten geld. Het is van essentieel belang dat het opsporen van deze fouten op een goede manier gebeurt en op een snelle manier. Met de complexiteit van een productieproces groeit het aantal mogelijke defecten die kunnen optreden aan het product. Het feit dat Power-Packer vrij complexe producten maakt, namelijk verscheidene hydraulische systemen voor verscheidene toepassingen, maakt het bedrijf een interessant studieobject. In *bijlage 1* is een bedrijfsschets te vinden van Power-Packer.

Power-Packer maakt hydraulische systemen voor onder andere de aandrijving van cabrioletdaken van verschillende automerken. De hydraulische systemen worden na productie getest op een testbank binnen de desbetreffende productielijn. Alle systemen worden zonder uitzondering getest. Ze worden getest op verscheidene variabelen, zoals de snelheid en de druk die ze aankunnen. De norm bij Power-Packer is uitgedrukt in het aantal pompsystemen in een batch dat in één keer goed is (First Pass Yield), de norm wordt niet altijd gehaald (de exacte norm is vertrouwelijke informatie).

Als er bij de testbank door middel van een meting een probleem wordt geconstateerd wil dat zeggen dat de gemeten waarde van de desbetreffende variabele buiten de vooraf gestelde limiet valt. Dit buiten de gestelde limiet vallen van een variabele wordt, door middel van het Statistical Process Control (SPC)-systeem, gekoppeld aan een bepaalde foutcode. Voor één type systeem kunnen er meer dan 100 specifieke foutcodes onderscheiden worden; het is dus van belang dat de registratie van de fouten (dit wordt automatisch gedaan door de testbank) nauwkeurig wordt gedaan.

De testgegevens van de testbank worden geanalyseerd door middel van een uitgebreid statistisch programma. Afhankelijk van de First Pass Yield target wordt er een analyse uitgevoerd op de gegenereerde foutcodes. Onder andere ontstaat er dan een top drie van de meest voorkomende fouten in een productielijn in de vorm van een Paretotabel. Met behulp van deze Pareto gaat de Production Engineer (PE) die verantwoordelijk is voor de productielijn op zoek naar de rootcause van een veel voorkomend defect, met als doel om deze defecten in de toekomst te voorkomen. Bij Power-Packer zijn onder leiding van een teamleider negen PE's werkzaam, waarvan acht elk een deel van de productie onder zich hebben en één meer projectmatig werkt.

Het door Power-Packer geformuleerde probleem is dat de verschillende PE's allen op hun eigen manier of naar eigen inzicht te werk gaan om met behulp van de Pareto de rootcauseanalyse (RCA) uit te voeren en allen op hun eigen manier te werk gaan om het probleem op te lossen. Er is op dit moment geen gestandaardiseerd stramien om met deze RCA en de probleemoplossing om te gaan.

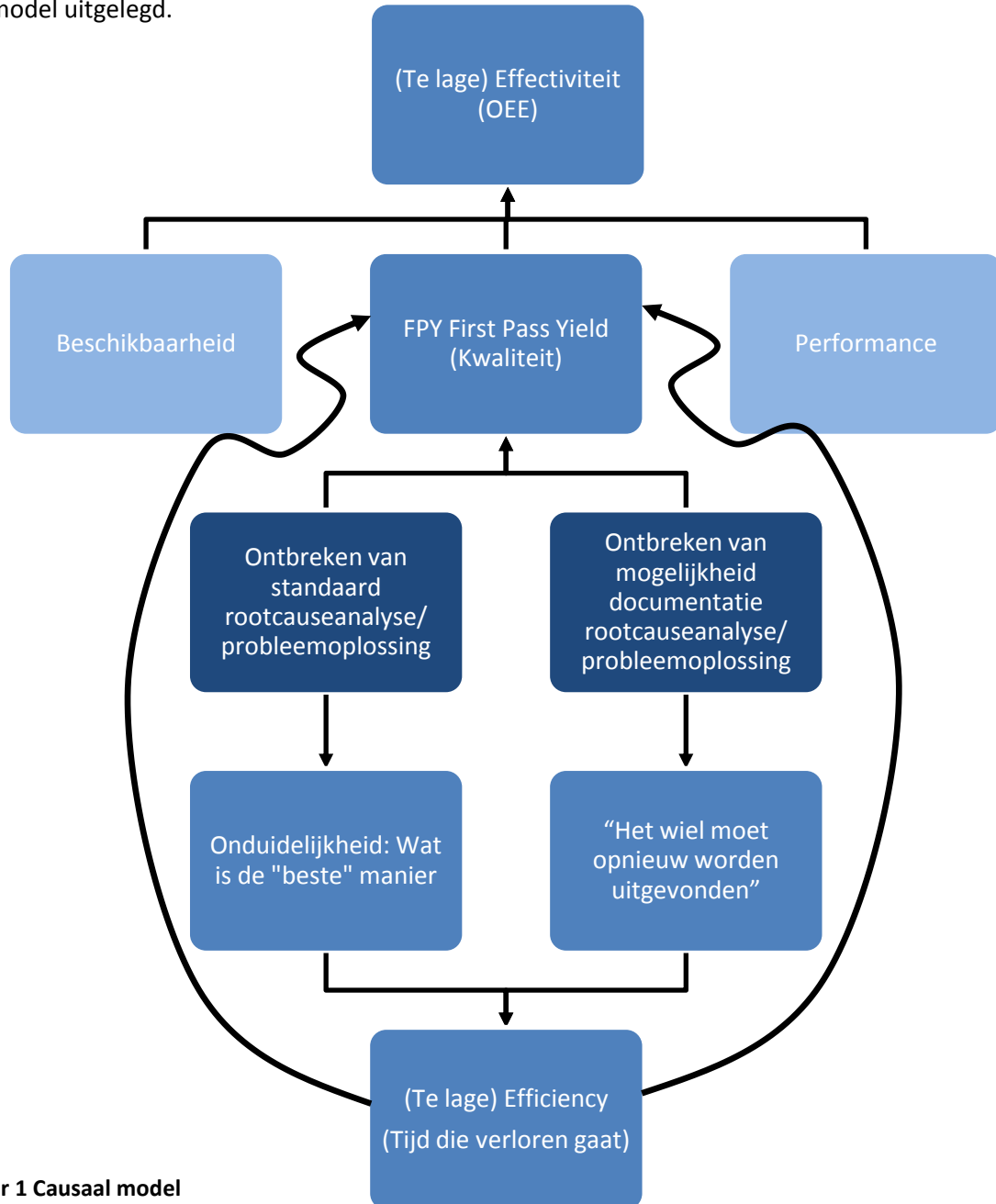
Er is een sterk vermoeden bij de PE's van Power-Packer dat wanneer het proces van de RCA en de probleemoplossing op een zo goed mogelijke manier gestandaardiseerd worden dit proces een stuk efficiënter en effectiever kan worden. Het probleem is dus tweeledig: de tijd die wordt gespendeerd aan de RCA moet worden teruggebracht en het aantal problemen dat daadwerkelijk wordt opgelost moet omhoog. In het causale model (figuur 1) worden de relaties tussen verschillende problemen weergegeven.

In hoofdstuk 2 beginnen we met het uitdiepen van de probleemstelling. Aan de hand hiervan wordt aan het eind van het hoofdstuk de verdere structuur van het verslag besproken.

Hoofdstuk 2 – Probleemstelling en aanpak

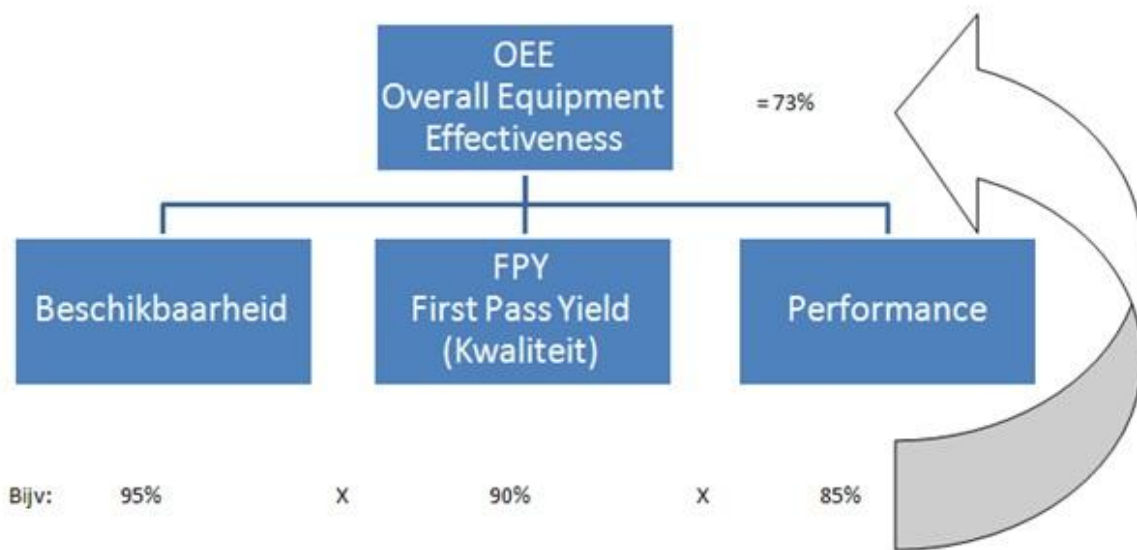
2.1. Causaal model

Door middel van een causaal model wordt getracht het belang van de problemen, zoals geschetst door Power-Packer, weer te geven. Op de volgende bladzijden worden de variabelen en de relaties in het model uitgelegd.



Figuur 1 Causaal model

Zoals gezegd is er een vermoeden dat de effectiviteit, uitgedrukt in OEE, omhoog moet kunnen. De Overall Equipment Effectiveness (OEE) is een maat voor de overall effectiviteit van een productielijn. De OEE wordt berekend door het vermenigvuldigen van de drie variabelen: kwaliteit, beschikbaarheid en de performance. Hieronder is met een voorbeeld beschreven hoe je tot een OEE kan komen. De beschikbaarheid van het proces is het percentage van de tijd dat het proces daadwerkelijk heeft gedraaid, gedeeld door de originele ingeplande werktijd. De performance is het percentage van het ingeplande aantal te maken producten, wat daadwerkelijk is geproduceerd.



Figuur 2 OEE met voorbeeld

De opdracht heeft in feite betrekking op de deelvariabele kwaliteit, de kwaliteit is een belangrijke verantwoordelijkheid van de PE's. De kwaliteit wordt gedefinieerd als de First Pass Yield. De First Pass Yield is een term om aan te geven hoeveel van de geproduceerde systemen de eerste keer goed zijn. De norm bedrijfsbreed is op dit moment een FPY van 'X%', deze norm wordt op dit moment soms wel, soms niet gehaald. De FPY-norm is vertrouwelijke informatie binnen het bedrijf. Deze norm kan variëren per type systeem. Een voorbeeld:

In de maand maart zijn er 1019 systemen "P15" voor Volvo gemaakt, waarvan er 1008 meteen zijn goedgekeurd. Dit zorgt voor een FPY van $(1008/1019) \cdot 100 = 98.9\%$.

Wat betreft deze opdracht zijn twee oorzaken van de "te lage" kwaliteit van belang (de kernproblemen).

1. Het ontbreken van een standaardmethode om de RCA en de probleemoplossing op een optimale manier uit te voeren. Het idee is namelijk dat er een beste manier is om deze twee zaken uit te voeren; een doel van dit onderzoek zou dus moeten zijn om te achterhalen wat de beste manier is. Een moeilijkheid is dat deze standaardisatie zoveel mogelijk moet gelden voor verschillende productielijnen en dus verschillende systemen; er moeten dus generalisaties gemaakt worden.

De PE's zijn veel tijd kwijt aan het oplossen van problemen. Het proces van de RCA betreft vele stappen, die door verschillende PE's anders of juist helemaal niet worden doorlopen. Venkatasubramanian et al.(2003) gebruiken de term "abnormal events" om afwijkingen van het normale productieproces, ofwel fouten, aan te duiden. Zei noemen een aantal redenen waarom het uitvoeren van een RCA zo ingewikkeld is:

"(...) complete reliance on human operators to cope with such abnormal events and emergencies has become increasingly difficult due to several factors. It is difficult due to the broad scope of the diagnostic activity that encompasses a variety of malfunctions such as process unit failures, process unit degradation, parameter drifts and so on."

Een PE heeft verschillende lijnen onder zich en heeft ook nog andere bezigheden, wat kan leiden tot tijdgebrek. Bovendien heeft de PE veel data en informatie tot zijn beschikking, wat ervoor zorgt dat de PE moeilijk de informatie kan vinden die hij in een specifieke situatie nodig heeft (een overload aan informatie). Gegeven bovenstaande en de ontbrekende houvast (structuur) is het niet verwonderlijk dat PE's soms niet de goede beslissing nemen, of zelfs soms het probleem groter maken. Dit geeft aan waarom het belangrijk is om de RCA goed te bestuderen en waarom een standaardisatie van het proces van belang kan zijn voor de PE.

2. Het ontbreken van een standaardmethode om de RCA en de probleemoplossing te documenteren. Om een standaarddocumentatie mogelijk te maken is het eerst nodig dat er een optimale standaardmethode komt (punt 1.). Documentatie van afgehandelde RCA's en opgeloste problemen kan ervoor zorgen dat er lering kan worden getrokken uit gedane zaken.

De verwachting bij de opdrachtgevers van Power-Packer is dat een aanpak van deze twee problemen het meest effectief is om de kwaliteit (FPY) en de effectiviteit (OEE) van het productieproces te verhogen.

Ook is het de verwachting dat wanneer de kernproblemen aangepakt worden, de PE's minder tijd kwijt zullen zijn aan het uitvoeren van de analyse en het zorgen voor een oplossing. Dit wordt aangeduid met efficiency, want de tijd die PE's kwijt zijn is de investering die zij maken. Aan de ene kant zou het zo kunnen zijn dat er tijd wordt verloren, simpelweg omdat de analyse niet op de meest efficiënte en optimale manier wordt uitgevoerd. De tijd die een PE kwijt is aan een analyse kan sterk variëren van tien minuten tot uren verspreid over weken, afhankelijk van o.a. het type probleem, de kennis van de PE en de productielijn waarin het probleem zich voor doet. Anderzijds is het zo dat door gebrek aan documentatie van eerdere RCA's, het zo kan zijn dat er opnieuw een RCA moet worden uitgevoerd naar iets dat al eens eerder is onderzocht (het wiel moet opnieuw worden uitgevonden). Het op een goede manier uitvoeren van een RCA en een daaropvolgende probleemoplossing geeft geen garantie dat het probleem zich in de toekomst niet meer voordoet.

De efficiency heeft op haar beurt op twee manieren invloed op de First Pass Yield en dus indirect ook op de effectiviteit. In de eerste plaats heeft de PE minder tijd voor andere zaken; in zijn functie omschrijving staat dat het bewaken van de kwaliteit (FPY) een belangrijke taak is. De hieraan ten grondslag liggende aanname is dat als de PE minder tijd beschikbaar heeft, de FPY hieronder lijdt. De tweede manier waarop efficiency invloed heeft op de effectiviteit is doordat wanneer fouten niet snel worden opgelost, de fouten langer in het productieproces blijven zitten, waardoor de FPY langere tijd (dan nodig is) wat lager blijft.

Verder kan nog opgemerkt worden dat de effectiviteit van de productie op zijn beurt natuurlijk weer invloed heeft op de kosten die de productie maakt en dus uiteindelijk op het bedrijfsresultaat van Power-Packer.

2.2. Probleemstelling, onderzoeksvragen en doelstelling

De probleemstelling die hier uit volgt is: “Hoe kan de rootcauseanalyse in het productieproces bij Power-Packer worden geoptimaliseerd, gestandaardiseerd en gedocumenteerd om de effectiviteit van het productieproces te verhogen?”

Deelvragen, ofwel de onderzoeksvragen, die hier uit volgen:

Beschrijvend onderzoek:

- Wat is de huidige situatie wat betreft de RCA en de aanpak van problemen in het productieproces: Welke soorten fouten zijn er in het verleden voorgekomen/ komen er op dit moment voor en hoe zijn deze aangepakt/ hoe worden ze op dit moment aangepakt?

Om inzicht te krijgen in het welke soorten fouten er allemaal voor komen zijn wordt er uitgebreid geobserveerd en wordt er veelvuldig in gesprek getreden met de PE's. Om te kijken hoe deze problemen op dit moment worden opgelost worden er een aantal cases uitgevoerd, waarbij een PE een complete RCA uitvoert. In de rest van het verslag wordt naar deze cases verwezen als de “verscheidenheidsanalyse” (paragraaf 3.1.).

Om inzicht te krijgen in hoe vaak bepaalde fouten in het verleden zijn voorgekomen wordt in paragraaf 3.1. door analyse van bestaande data inzichtelijk gemaakt hoe vaak bepaalde type fouten voorkomen. Er is door overleg met de PE's gekozen voor een specifieke categorisering in type fouten (meer uitleg in paragraaf 3.1.).

Ontwerponderzoek (met beschrijvende elementen):

- *Hoe kan de RCA het beste worden uitgevoerd?*

Door observatie wordt er gekeken naar de huidige situatie van het uitvoeren van de RCA bij Power-Packer. Deze observatie vindt plaats door middel van de eerder genoemde verscheidenheidsanalyse en ook door de “Peugeot-case” waarin een viertal PE's een RCA moeten uitvoeren vanuit precies hetzelfde uitgangspunt. Aan de hand van deze observatie komen een aantal problemen aan het licht. Bij sommige van deze problemen ligt de oplossing voor de hand, bij andere problemen moet er wetenschappelijke literatuur geraadpleegd worden of moet er in gesprek worden getreden met verschillende mensen binnen Power-Packer. De oplossingen van de problemen, tezamen met nieuwe inzichten die worden aangedragen door wetenschappelijke literatuur moet leiden tot een beste manier, waarop de RCA kan worden uitgevoerd.

- *Hoe kan de RCA het beste worden gestandaardiseerd en gedocumenteerd?*

Er is veel wetenschappelijk werk beschikbaar over het geven van structuur aan, ofwel het standaardiseren van een repeterend bedrijfsproces. Verschillende methodes worden met elkaar vergeleken en een beste manier wordt gekozen of samengesteld door de onderzoeker in samenspraak met de PE's.

- *Welke algemene regels kunnen opgesteld worden over hoe verschillende problemen in het productieproces, die volgen uit de RCA, het beste kunnen worden opgelost?*

Er wordt in wetenschappelijke literatuur gezocht naar aanknopingspunten om het proces van de RCA zo ver mogelijk te kunnen standaardiseren. Wellicht moet er onderscheid gemaakt worden tussen verschillende foutcategorieën om te zien welk plan van aanpak het meest effectief zal zijn.

De doelstelling zoals geformuleerd door Power-Packer luidt dan ook om de RCA eenduidiger te maken, te standaardiseren en het creëren van de mogelijkheid om de resultaten van de analyses vast te leggen in een standaarddocument ten behoeve van de effectiviteit van het productieproces bij Power-Packer.

2.3. Norm en werkelijkheid

Uit het causale model blijkt dat er op dit moment een standaard ontbreekt voor uitvoeren van RCA's en het oplossen van de problemen. Daarnaast is er op dit moment geen goede manier om specifieke gedane RCA's te documenteren (om er later, wanneer het probleem zich weer voor doet, baat bij te hebben). Deze twee zaken samen vormen, wat betreft het onderzoek, de huidige werkelijkheid.

Het is zaak dat deze twee problemen worden verholpen. In de eerste plaats moeten er een standaardisatie komen voor het afhandelen van RCA's en de daarop volgende probleemoplossing. *Venkatasubramanian et al (2003)* geven een aantal criteria waarop een foutendiagnosemethode kan worden beoordeeld:

- **Snelheid**
Het systeem moet op een snelle manier fouten detecteren en op een snelle manier een diagnose maken. Het is zaak om zo snel mogelijk de fout uit het proces te halen om de FPY te verhogen en de effectiviteit van het productieproces te verbeteren.
- **Isolatiemogelijkheden**
Dit is de mate waarin het systeem verschillende fouten kan onderscheiden. Om dit te bereiken is het nodig om alle variabelen, die zoveel mogelijk orthogonaal (onafhankelijk van elkaar) opereren, vast te leggen.
- **Robuustheid**
Het systeem moet op continue wijze presteren, dat wil zeggen dat het systeem altijd moet werken.
- **Identificatiemogelijkheid van nieuwe fouten**
Een diagnostisch systeem moet onderscheid kunnen maken tussen situaties waar het productieproces normaal functioneert of niet. Dit moet kunnen ongeacht of de opgetreden fout al bekend was, of dat het een nieuwe fout is. Ook moet een goed systeem een nieuwe fout niet aanzien voor een andere, reeds bekende fout.
- **Schatting waarschijnlijkheid aangedragen oorzaak**
Het is belangrijk dat de mensen die werken met het systeem vertrouwen hebben in de betrouwbaarheid van het systeem. Bij een systeem dat automatisch een diagnose stelt, kan dit gefaciliteerd worden door het vermelden van de waarschijnlijkheid dat de diagnose klopt. Dit moet mogelijk zijn op basis van historische gegevens.
- **Flexibiliteit/aanpasbaarheid**
Productieprocessen zijn in de loop der tijd onderhevig aan verandering. Dit zorgt ervoor dat de foutendiagnosemethode ook mee moet evalueren. Daarnaast moet het mogelijk zijn om

gradueel het systeem uit te breiden met nieuwe inzichten, zoals nieuwe geconstateerde fouten.

- **Duidelijkheid van de uitleg**

Een goed systeem moet ook de mogelijkheid hebben om een diagnose uit te kunnen leggen. Dit is nodig, omdat verschillende belanghebbenden met elkaar moeten kunnen communiceren om op basis van hun ervaring te bepalen of de diagnose klopt en wat het plan van aanpak wordt.

- **Identificatie van meerdere fouten**

Het identificeren van meerdere fouten die tegelijkertijd optreden is een belangrijke eigenschap van een diagnostisch systeem. Dit is een lastig te bereiken eigenschap, omdat verschillende fouten vaak interactie hebben met elkaar.

Als er wordt gesproken over een “systeem” gaat dit niet alleen over computergestuurde processen, maar mensen (zoals PE’s) kunnen ook deel uitmaken van het systeem. Een moeilijkheid is dat er op deze criteria geen algemene norm kan worden gegeven in de literatuur, omdat dit afhankelijk is van de productieomgeving.

Sommige van deze criteria zijn nauw verwant aan de documentatiemogelijkheid. Zo is het voor een flexibel systeem nodig om foutenanalyses goed te documenteren. Het is dus zaak dat er een mogelijkheid (een standaarddocument) komt om de RCA’s en de bijbehorende oplossing van het specifieke probleem te documenteren. Dit document moet voldoen aan de volgende eisen, deze eisen zijn gebaseerd op gesprekken met PE’s:

- De documentatie moet niet te veel tijd kosten.
- Het document moet duidelijk en niet multi-interpreteerbaar zijn.
- Wanneer een reeds ingevuld document wordt geraadpleegd moet snel duidelijk zijn welke stappen er gedaan moeten worden om een probleem op te lossen.
- Een document moet direct verwijzen naar een type product en een type fout.
- Een document moet altijd gemakkelijk toegankelijk zijn.

De eisen voor de documentatie hebben veel gemeen met de eisen voor de standaardisatie, dit is logisch omdat de documentatie en het gebruik van de gedocumenteerde RCA’s onderdeel zullen worden van de standaardisatie van de RCA. De eisen hebben met elkaar gemeen dat ze bijdragen aan de efficiency van het RCA-proces. De verwachting is dat de FPY en daarmee de effectiviteit omhoog gaan na toepassing van de oplossingen uit dit onderzoek. Er zijn dus een aantal indicatoren aan te dragen om het succes van dit onderzoek achteraf te meten:

Zoals gezegd is de norm voor de First Pass Yield die op dit moment wordt gesteld, verschillend per type product, maar door het hele bedrijf is deze ‘X’%. Deze norm wordt soms wel, soms niet gehaald, maar over het algemeen kan worden gezegd dat de huidige FPY’s rond de ‘X’% zitten.

De norm van de FPY per type product wordt op dit moment bepaald door de PE’s, op basis van prestaties van productielijnen in het verleden. Het is erg lastig om in te schatten hoeveel de nieuwe norm, na het maken van deze opdracht moet worden. Grofweg kan worden gezegd dat er naar wordt gestreefd om de FPY over het gehele bedrijf zo hoog mogelijk te krijgen (een FPY van 100% is onrealistisch, omdat er altijd fouten gemaakt zullen blijven worden).

Ook is de tijd die een PE nodig heeft om een probleem op te sporen van belang (efficiency). Op dit moment is er geen duidelijkheid over de vraag hoe lang dit nu duurt en of die variatie tussen de verschillende PE's groot is. Hier moet in dit onderzoek naar gekeken worden, door middel van simpelweg timen.

Dit is dus een aantal indicatoren waarmee het succes van dit onderzoek achteraf gemeten zou kunnen worden. Er moet wel rekening mee worden gehouden dat op de aangedragen indicatoren ook andere invloeden meespelen.

2.4. Standaardisatie van werkprocessen: de theorie

Bij de wens om bedrijfsprocessen te standaardiseren denken we in eerste instantie aan Frederick W. Taylor (1856-1915) en zijn "Scientific management". Volgens Taylor moet elke vorm van arbeid volledig analytisch bekeken worden en moet ervoor worden gezorgd dat op een zo effectief mogelijke manier gewerkt wordt. Taylor stelde vijf regels op om hiertoe te komen, waarvan één voor dit onderzoek met name van belang is: "Gebruik wetenschappelijke methodes om te bepalen wat de beste manier is om een taak uit te voeren, in plaats van de natte-vingerwerk-methode." (Boddy, 2008).

Standaardisatie van werk past met name bij routineklussen, zo zie je op de productievloer bij Power-Packer een zeer hoge mate van standaardisatie. Er is zeer nauwkeurig vastgelegd welke stappen een productiemedewerker moet volgen. Ook zijn er poka-yoke's ingebouwd in de productielijn om te voorkomen dat er fouten gemaakt worden.

De vraag is of dit standaardiseren ook mogelijk is bij meer complexe processen, zoals de RCA. Hierover zegt Mintzberg (1980) het volgende:

"The work of complex environments cannot be rationalized into simple operating tasks, while that of dynamic environments cannot be predicted, made repetitive, and so standardized."

Ook Angeli (1999) stelt, meer toegespitst op de foutendiagnose, dat je nooit alle mogelijke fouten van tevoren kan bedenken. In een complex productieproces zoals die bij Power-Packer te vinden zijn, zal het dus nooit mogelijk zijn om de foutendiagnose compleet te automatiseren. De honderden verschillende fouten die op kunnen treden tijdens een productieproces bij Power-Packer geven de complexiteit van de productieprocessen aan.

Deze uitspraken maken niet dit onderzoek bij voorbaat al kansloos. Het doel van dit onderzoek is namelijk niet om de RCA compleet in kleine stapjes te standaardiseren. Het doel van dit onderzoek is om een bredere systematiek te ontdekken, waarin het proces van de RCA wellicht enkel in bepaalde mate kan worden gestandaardiseerd. Dit ook met het oog op de documentatie. Echter een conclusie die we bij voorbaat al moeten trekken is dat een foutendiagnoseproces niet volledig gestandaardiseerd kan worden.

2.5. Verdere structurering van het verslag

Om het proces van de RCA te verbeteren worden er in dit onderzoek een aantal stappen doorlopen (zie figuur 3). Aan de hand van dit figuur wordt hieronder de verdere indeling van het verslag besproken.

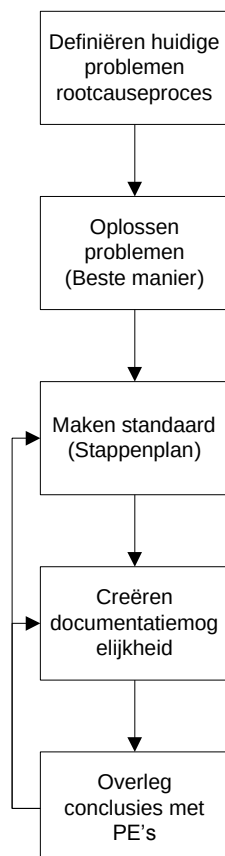
In hoofdstuk 3 komt de analyse van de huidige situatie aan bod. Het doel hiervan is in de eerste plaats om inzicht te krijgen in hoe het proces van de RCA op dit moment verloopt en op welke verschillende manieren de RCA's op dit moment worden uitgevoerd. Ook is het doel in hoofdstuk 3 om de problemen die er op dit moment voor zorgen dat het proces niet optimaal efficiënt is aan het licht te laten komen.

In hoofdstuk 4 worden de problemen die in hoofdstuk 3 aan de orde zijn gekomen behandeld en opgelost. Dit zal gebeuren aan de hand van relevante wetenschappelijke literatuur.

In hoofdstuk 5 wordt antwoord gegeven op de deelvraag: *Hoe kan de rootcauseanalyse het beste worden gestandaardiseerd en gedocumenteerd?* Er wordt uit de huidige situatie van hoofdstuk 3 en de oplossingen van de problemen uit hoofdstuk 4 een beste manier gedestilleerd. Deze beste manier moet worden gevormd tot een standaard, die een leidraad moeten vormen voor de PE's. Vervolgens wordt besproken hoe de RCA's kunnen worden gedocumenteerd.

In hoofdstuk 6 wordt expliciet kernachtig antwoord gegeven op de probleemstelling en de deelvragen. Tevens worden er concrete aanbevelingen gedaan.

De conclusies uit het onderzoek zijn besproken met verschillende PE's en hun kritiek is weer verwerkt in het verslag, het onderzoek was dus een iteratief proces.



Figuur 3 Onderzoeksaanpak

Hoofdstuk 3 - Huidige situatie

Zoals gezegd is op dit moment het probleem bij Power-Packer dat de verschillende PE's allen veelal op hun eigen manier de RCA uitvoeren. De RCA is traject van het constateren van een door de testbank gemeten meetwaarde die niet voldoet aan een vooraf vastgestelde waarde of tolerantie, tot het vinden van de daadwerkelijke oorzaak (rootcause). Hierna moet het oplossen van het aldus geconstateerde probleem nog gebeuren.

In dit hoofdstuk volgt een analyse van de huidige situatie, dit gebeurt d.m.v. twee casestudies die worden besproken in paragraaf 3.1 t/m 3.4. De huidige situatie wat betreft het documenteren van RCA's wordt besproken in paragraaf 3.5. In paragraaf 3.6 worden alle geconstateerde problemen op een rij gezet.

3.1. Verscheidenheidsanalyse: de aanpak

De vraag in dit deel van het verslag is welke manieren van het doorlopen van een RCA er bestaan. Om deze vraag te beantwoorden wordt er eerst gekeken naar de automotive-afdeling van Power-Packer. De automotive-afdeling is de afdeling die zich bezig houdt met het produceren van systemen voor de aandrijving van cabrioletdaken van verschillende automerken, dit is de afdeling met de meeste productieaantallen. De truck- en de medische afdeling worden buiten beschouwing gelaten.

Om nog specifieker te zijn wordt er alleen gekeken naar de functionele tests die worden uitgevoerd, omdat deze test de meeste variabelen meet en er bij deze test historisch gezien de meeste fouten aan het licht komen. De FPY van de functionele test is veelal de bottleneck in de lijn en wordt binnen Power-Packer gebruikt als de graadmeter voor kwaliteit. Bij de PE's ligt om dezelfde redenen ook de meeste focus op de functionele tests. Naast de functionele test wordt er ook een lektest, vacuümvultest en een visuele test uitgevoerd.

Er worden twee soorten testbanken onderscheiden, namelijk de pomptestbanken en de conventionele testbanken. Op de pomptestbanken (PTU's) worden, zoals de naam al doet vermoeden, alleen de pompen getest. Op de conventionele testbanken worden complete systemen, inclusief cilinders, getest. Op beide testbanktypen worden verschillende type systemen, dus voor verschillende type auto's, getest. We focussen in dit deel van het verslag op de hardlopers, dus de type systemen die in hoge aantallen worden geproduceerd. Dit focussen gebeurt simpelweg om de scope van het onderzoek enigszins in te perken en heeft geen negatieve invloed op de toepasbaarheid van de uitkomsten van het onderzoeken op andere productielijnen. Er zijn ook multifunctionele productielijnen voor low-volume systemen, maar die laten we hier buiten beschouwing. Overgebleven zijn: drie productielijnen waar aan het eind van het proces getest wordt op een PTU en zeven lijnen waar getest wordt op een conventionele testbank.

Verder is het van belang om een categorisering aan te brengen in het soort van fouten dat voor kan komen op de verschillende testbanken. Er zijn zoals gezegd honderden foutcodes te onderscheiden voor verschillende type systemen. Op basis van de ervaring van de PE's is ervoor gekozen om de volgende foutcategorieën te gaan gebruiken (zie tabel 1).

	PTU	Conv. testbank
Houdfunctie	PE 1	
Belaste in-&uitlooptijd	X	PE 2
Veiligheid afstellen	PE 3*	PE 4*
Veiligheid vast	PE 1	
NTC	PE 4*	
Extended/Closed length	X	PE 1
Stroomopname		PE 1*
Overig	-	-

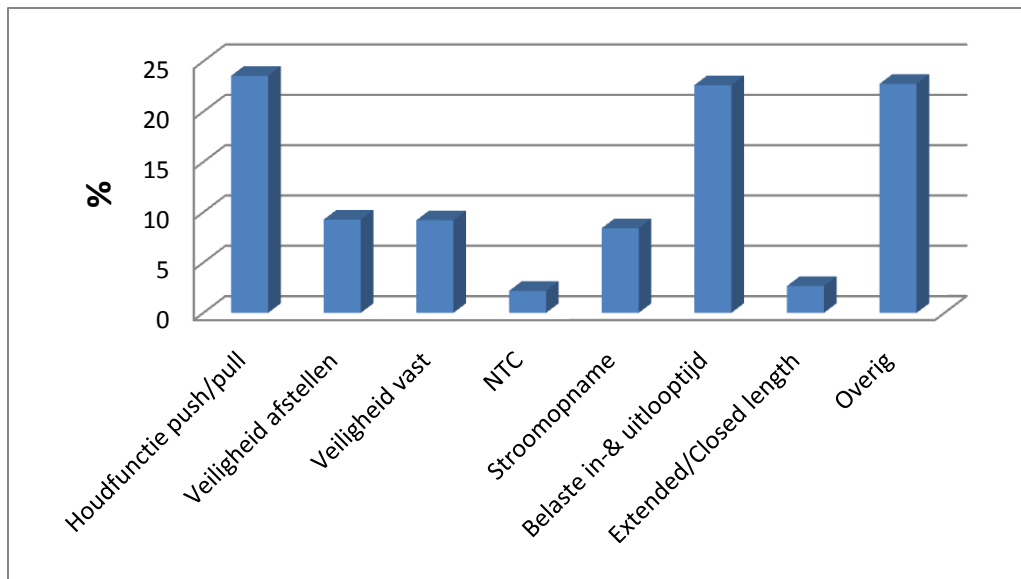
Tabel 1 Verscheidenheidsanalyse

De kruisjes in de tabel geven aan dat die type fouten niet voor komen op de PTU (deze fouten hebben betrekking op de cilinders). De manier waarop RCA's en de bijbehorende probleemoplossingen worden uitgevoerd per probleemcategorie (m.u.v. de categorie "overig") en per testbank is na onderzoek vastgelegd in een achttal cases. Vier van deze cases zijn gebaseerd op problemen die in het verleden hebben gespeeld. Er is bij deze cases gereconstrueerd hoe de PE het probleem aan zou hebben gepakt als het probleem op dit moment zou spelen. Deze vier cases zijn in de tabel gemarkeerd met een sterretje. De overige vier cases zijn problemen die daadwerkelijk op dat moment speelden. In de tabel is te vinden welke PE zich in een case heeft bezig gehouden met welk probleem en op welk type testbank.

Voor deze cases zijn vier verschillende PE's ingezet om zo een goed beeld te krijgen van de verscheidenheid waarop RCA's kunnen worden uitgevoerd. Dit zijn PE's die gekozen zijn omdat ze dagelijks werken met de beschouwde lijnen of omdat ze in het verleden hebben gewerkt met deze lijnen.

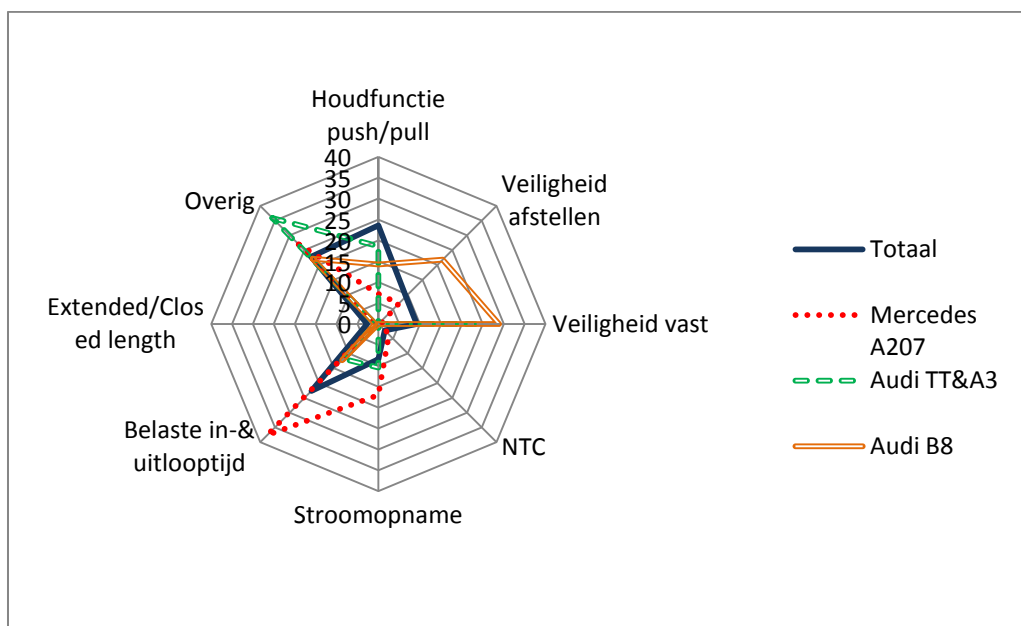
Een globale uitleg van wat de verschillende foutcategorieën inhouden is op zijn plaats. Een houdfunctie zorgt ervoor dat wanneer een cabrioletdak uitklapt hij in elke stand stil kan blijven staan. De belaste in- en uitlooptijden hebben te maken met de tijd die een cilinder erover doet om in- en uit te lopen als er een bepaalde druk op wordt uitgeoefend. Veiligheden zijn functies in een pomp die tegen moeten gaan dat er ergens te veel olie komt. De afstelbare veiligheid is met een sleutel in te stellen. De vaste veiligheid is om overdruk tegen te gaan. Bij metingen met betrekking tot de NTC wordt er een weerstand gemeten aan de hand waarvan de temperatuur in de motor in de pomp is af te leiden (de motor moet niet te warm worden). De extended/closed length heeft te maken met de lengte van dezelfde cilinder bij in- of uitstaande stand. Een fout in de stroomopname betekent dat de pomp te veel stroom trekt, dus te veel stroom nodig heeft om te functioneren.

In figuur 4 is te zien hoe vaak verschillende fouten voorkomen. Voor de periode van 22 januari tot 21 april is gekeken naar welke fouten zijn voorgekomen bij de hardlopers met een conventionele testbank.



Figuur 4 Bijdrage foutcategorieën aan het totale aantal fouten

In de grafiek (figuur 4) valt op dat de categorie “overig” nog vrij substantieel is, deze categorie bestaat uit een verscheidenheid van vele kleine fouten, ook fouten die veroorzaakt worden door verkeerd gebruik van de testbanken. In het onderstaande radar diagram zijn ook de drie lijnen weergegeven die in genoemde periode het grootste productievolume hadden.



Figuur 5 Fouten op verschillende lijnen

In het bovenstaande figuur 5 valt het op dat verschillende lijnen te kampen hebben met verschillende type fouten. Hieruit valt al af te leiden dat een generalisatie van alle lijnen een lastige zaak kan worden. Toch is het doel van deze case-studie om een algemene lijn te ontdekken en deze weer te geven in een BPMN-model. Een BPMN (Business Process Model Notation) –model is een manier om een bedrijfsproces grafisch, in stappen weer te geven, met als doel om het proces inzichtelijker te maken.

Een ander doel van de analyse is om problemen te vinden in de huidige wijze van het uitvoeren van RCA's, die een negatief effect hebben op de efficiency waarmee RCA's op dit moment worden uitgevoerd.

Wat verder opvalt is dat de fouten met de NTC en de in- en uitschoven lengtes van cilinders relatief weinig voorkomen. Een vraag die opkomt is waarom fouten in deze categorieën minder vaak voorkomen dan fouten in de andere categorieën. Het blijkt dat dit te maken heeft met de aard van verschillende subsystemen, de toleranties en de nauwkeurigheid van de testbanken op bepaalde punten.

3.2. Verscheidenheidsanalyse: de conclusies

In een BPMN-model is voor een deel weergegeven hoe op dit moment de RCA verloopt bij Power-Packer.

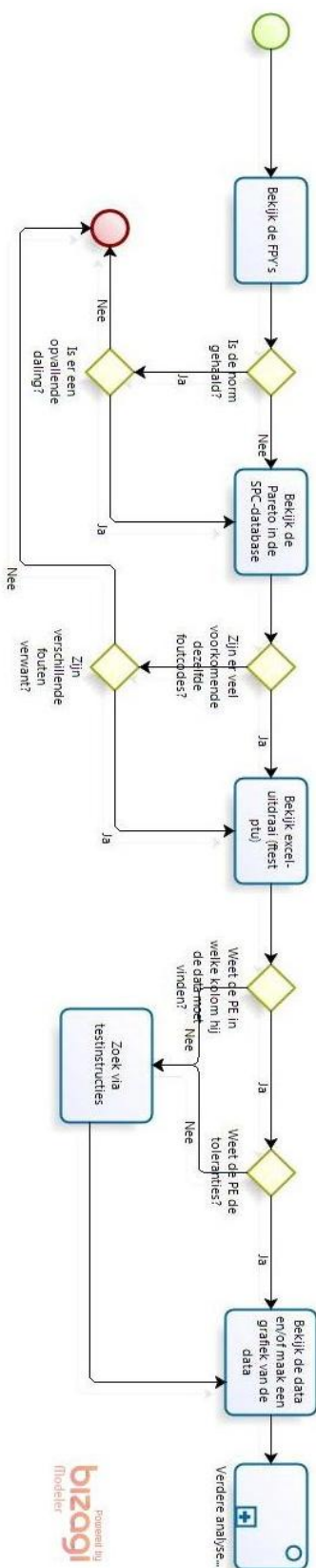
De PE's krijgen iedere ochtend een mail met de First Pass Yields van de vorige dag. Aan de hand van deze cijfers kan worden bekeken of de norm (meestal gelijk aan de norm bedrijfsbreed) bij verschillende systemen (bijvoorbeeld de Volvo P15 of de BMW E88) wordt gehaald. Specifiek wordt er in dit onderzoek gekeken naar de PTU20 (pomp test unit 20) en de conventionele testbanken, waar het meest uitgebreid wordt getest. Als de norm niet is gehaald (of er is een aanzienlijke daling ten opzichte van voorgaande yields) wordt er onderzocht waar de wortel van de fout zit.

De eerste stap is om te kijken naar een uitgebreidere yield analyse in de SPC-Database. Daarin worden de specifieke foutcodes die voorkomen weergegeven in de vorm van een Pareto-tabel, er wordt informatie gegeven over hoe vaak een bepaalde fout voorkomt en er wordt een percentage gegeven dat aangeeft hoeveel procent van alle fouten je oplost als je deze specifieke fout oplost. Als een fout vaak genoeg voorkomt wordt op deze fout een verdere analyse uitgevoerd.

Vervolgens wordt er een excel-sheet uitgedraaid waarin alle data wat betreft de verschillende tests te zien is. In de rijen zijn de verschillende systemen (van eenzelfde type) weergegeven en in de kolommen zijn de metingen weergegeven. Het is vervolgens van belang om te weten welke kolom correspondeert met welke foutcode. Tevens is het van belang om te weten wat de toleranties zijn waarbinnen een meting moet zitten. Beide zaken worden (als de Production Engineer deze kennis niet paraat heeft) opgezocht in een testinstructie (TI) van het desbetreffende type systeem (bijv. de Volvo P15).

Als de kolom gevonden is kan er worden gekeken naar de data. Meestal wordt er ook een grafiek gemaakt; de waarde van de testvariabele tegenover de tijd waarop de test is uitgevoerd. Er wordt dan gelet op de spreiding van de waardes ten opzichte van de toleranties (minimale en maximale toegestane waardes). Zitten waardes vaak onderin of bovenin de toleranties, of juist verspreid over het hele spectrum? De vraag is ook of waardes uitschieters zijn of net buiten de toleranties vallen.

Ook kan het handig zijn om een grafiek te maken van de metingen over een langere



Figuur 6 BPMN-model (huidige situatie)

periode. Zo kun je zien of er een trend zit in de data. Als dit zo is kan dit wijzen op een graduele verandering in ofwel de testapparatuur, ofwel van een bepaalde machine in de productielijnen.

Op dit punt aangekomen is het niet meer mogelijk het proces van de RCA te modelleren met behulp van BPMN. De verscheidenheid van vervolgstappen is hiervoor te groot. Wat de vervolgstappen zijn is te veel afhankelijk van de soort fout, de data en de voorkeur van de PE.

Het is wel van belang dat er een goed beeld wordt gevormd van hoe de verschillende invloeden bepalen wat de vervolgstappen van de RCA zijn. Zo wordt er in het vervolg van dit onderzoek onder andere gekeken naar hoe de data invloed heeft op de vervolgstappen. Dit wordt gedaan aan de hand van wetenschappelijke literatuur en rapporten van Power-Packer over statistische tools die gekoppeld zijn aan Six-Sigma.

3.3. Peugeot-case: de aanpak

Uit voorgaand onderzoek is duidelijk gebleken dat er verschillende manieren zijn om RCA's uit te voeren, maar dat er ook een aantal zaken door iedereen hetzelfde worden gedaan. De verscheidenheid in de hierboven bedoelde cases wordt onder andere veroorzaakt door de verschillende fouten die worden beantwoord.

Om vast te kunnen stellen of het ook aan de PE's ligt dat RCA's op verschillende manieren worden uitgevoerd, moet er ook gekeken worden of er verschillende RCA's worden uitgevoerd als verschillende PE's met hetzelfde probleem in aanraking komen. Misschien is het zelfs zo dat PE's tot een verschillende conclusie komen. De aanname dat de PE's op verschillende wijze RCA's uitvoeren, ligt ten grondslag aan dit onderzoek. De teamleider van de PE's ervaart dat de PE's verschillende methodes gebruiken. Het is echter niet genoeg om een onderzoek te baseren op de ervaring van een persoon. Het doel van deze Peugeot-case is om te kijken of verschillende PE's inderdaad de RCA op verschillende manieren uitvoeren.

Om te kijken of verschillende PE's inderdaad op verschillende manieren RCA's uitvoeren wordt er gekeken naar de yield analyse van de Peugeot van 27 april 2011. Al eerder is gebleken in case 2 bij de verscheidenheidsanalyse (extra bijlage) dat de problemen die zich hier voordeden vrij complex zijn en dat de oplossing niet te veel voor de hand ligt. Dit is de reden dat deze case is gekozen. Deze Pareto wordt voorgelegd aan vier verschillende PE's om te kijken hoe zij deze problemen oplossen. Deze PE's hebben niet allemaal een even grote kennis van de Peugeot-lijn en de automotive-afdeling in zijn geheel. Wat de verschillende fouten die worden behandeld in de case inhouden wordt verteld in case 2 bij de verscheidenheidsanalyse (bijlage bij het verslag).

In termen van het causale model (figuur 1) wordt er gekeken in hoeverre het ontbreken van een standaardmethode om de RCA uit te voeren bijdraagt aan de onduidelijkheid wat betreft de beste manier om een analyse uit te voeren. Eveneens wordt er gekeken of er verschillende conclusies komen uit verschillende RCA's. Als dit zo is impliceert dit dat er ook foutieve conclusies zijn getrokken, wat ook het vermoeden van de relatie tussen het ontbreken van een standaardmethode voor RCA's en de "te lage" kwaliteit versterkt. Het trekken van foutieve conclusies heeft een negatief effect op de efficiency, omdat de PE met zijn initiële inspanningen niet meteen het probleem op zal lossen en dus opnieuw na moet gaan denken over de rootcause van een probleem. Op basis van gesprekken met de PE's lijkt het gelegitimeerd om te zeggen dat problemen uiteindelijk wel worden opgelost. Het is dus niet zo dat het trekken van foute (deel)conclusies ervoor zorgt dat een probleem

niet wordt opgelost, maar wel dat dit ervoor zorgt dat het langer duurt (efficiency) voordat het probleem wordt opgelost. De relatie tussen een inefficiënte RCA en de effectiviteit is er dus enkel indirect, zoals weergegeven in het causale model in hoofdstuk 2 (figuur 1).

Om tijdens dit onderzoek niet appels met peren te vergelijken is het nodig om van tevoren goed de scope van dit onderzoek vast te stellen. Bij de verscheidenheidsanalyse was dit minder van belang, omdat deze enkel was bedoeld om erachter te komen wat er allemaal kan gebeuren tijdens een RCA. Het behandelde deel van de RCA is vanaf de Pareto-uitdraai tot het punt waar de PE niet meer verder komt met enkel data, ofwel het punt dat de PE andere mensen moet betrekken bij het proces. Het is niet mogelijk om in deze casestudie verder te gaan dan dit punt, omdat het gaat over een probleem en een situatie zoals die was op 27 april. Het is dus niet mogelijk om daadwerkelijk de productievloer op te gaan en het probleem op te lossen. Het is nodig dat elke PE precies dezelfde informatie heeft, terwijl de individuele cases op andere momenten worden uitgevoerd.

FUNCTIONAL TEST

Yield	First pass yield	
Number of tests:	152	Number of unique systems: 117
Number of approved tests:	118	Number of systems first time right: 97
Number of rejected tests:	34	
Yield:	77.6%	First pass yield: 82.9%

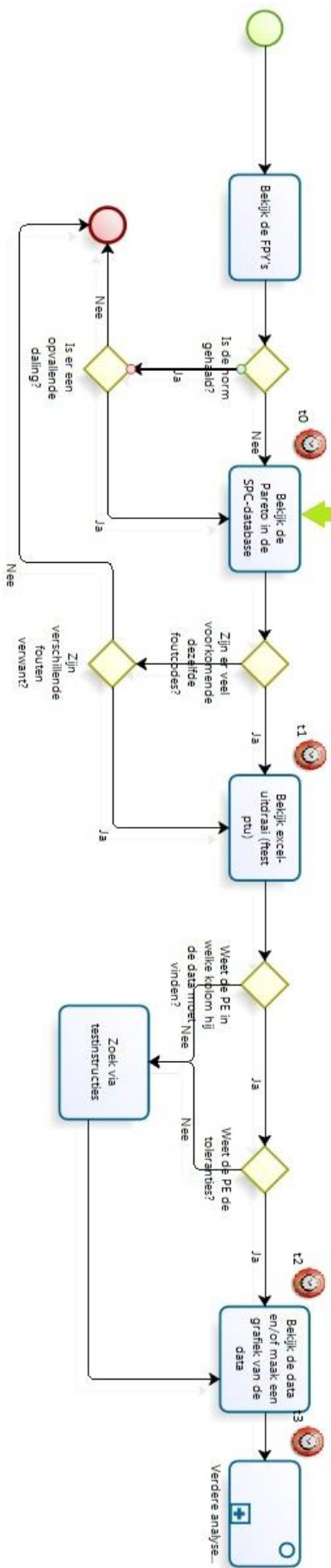
Pareto based on first pass yield

Error#	Description	No.	Cumul.
444	Afkeur rempiston	8	40%
445	POCV check main duwen !	5	65%
341	Uitlooptijd cilinder(paar) 2 overschreden !	4	85%
430	Extended lengte cilinder 2 niet correct !	2	95%
325	Houdfunctie trekken paar 2 !	1	100%

Figuur 7 De Paretotabel, het startpunt van de Peugeot-case.

Tijdens het uitvoeren van de RCA hoeft de PE geen vragen te beantwoorden van de onderzoeker, omdat dit invloed zou hebben op de tijd die een PE over de RCA doet. Deze tijd wordt gemeten. Als de onderzoeker vragen heeft tijdens de RCA schrijft hij deze op, zodat de PE deze na de RCA op zijn gemak kan beantwoorden. Er zouden bijvoorbeeld vragen kunnen volgen over "het waarom" van een bepaalde stap.

In de figuur hiernaast zijn de tijdmeetpunten weergegeven. Op t_0 wordt de meting gestart, dit is het punt waarop de PE de Pareto voor zich ziet. Op t_1 wordt de eerste tussentijd genoteerd, dit is het punt in de analyse waar de



Figuur 8 BPMN-model (Peugeot-case)

PE de (juiste) excel-uitdraai voor zich heeft (als een PE meerdere uitdraaien maakt van de data in excel worden er meerdere tijden voor t_1 genoteerd). Op t_2 heeft de PE de juiste kolom in de excel-uitdraai gevonden en weet de PE de toleranties van de meting die van belang zijn. Omdat er meerdere fouten voorkomen in de Pareto-tabel kan de PE meerdere meetwaarden van belang achten. Dus moet hij meerdere kolommen vinden en meerdere toleranties te weten komen, het kan dus zijn dat er meerdere tijdwaardes genoteerd worden bij t_2 . Bij t_3 is de case afgerond en heeft de PE een idee ontwikkeld over de te nemen vervolgstappen en wellicht al enkele ideeën over waar de oorzaak van het probleem ligt.

In figuur 8 is “verdere analyse” een black-box waarvan nog niet helemaal bekend is welke stappen er allemaal genomen kunnen worden. De Peugeot-case eindigt ergens midden in deze black-box. Eén van de functies van deze case is om inzicht te krijgen in de inhoud van de black-box.

Aan het eind van de case is het belangrijk om te weten wat de conclusie is van de PE. Deze conclusie behelst de antwoorden op vragen als: “Wat zou de vervolgstap zijn?” en “Waar (en met welke waarschijnlijkheid) denkt u dat de fout zit?”

Met de eerder genoemde criteria van *Venkatasubramanian et al. (2003)* wordt beoordeeld hoe de verschillende uitgevoerde RCA's presteren en hoe het proces van de RCA in zijn algemeenheid op dit moment presteert bij Power-Packer. De uit de Peugeot-case verkregen data kan worden gezien als de nulmeting, vanuit waar de verbeteringsdoelen kunnen worden gesteld.

Snelheid: Door middel van de genoemde tijdmetingen wordt de tijd gemeten die een PE over het beschouwde deel van de RCA doet. In het kort kan worden gezegd dat RCA zo min mogelijk tijd in beslag moet nemen, om redenen die zijn toegelicht bij de uitleg van het causale model. Ook kan worden gesteld dat elk deel van de RCA apart, zo min mogelijk tijd in beslag moet nemen, daarom worden er verschillende tijdmetingen uitgevoerd.

Isolatiemogelijkheden: De vraag is hier: hoe groot is de scope aan overgebleven mogelijke fouten? Dit is een moeilijk te kwantificeren criterium. In dit onderzoek beantwoordt de PE de vraag: “Waar denkt u dat de fout zit?”. De openheid van de vraagstelling geeft de PE de mogelijkheid in een brede zin antwoord te geven “Het probleem ligt ergens bij de testbank” en om verschillende alternatieven te geven “Het kan liggen aan A of B”. Hoe specifieker het antwoord van de PE, hoe sterker de RCA scoort op dit criterium.

Robuustheid: Een perfect robuust systeem genereert voor gelijke input altijd dezelfde uitkomst. Het zou niet uit moeten maken welke PE de RCA uitvoert. Als uit de cases blijkt dat dit inderdaad wel uitmaakt, wordt de aanname die deze test toetst bevestigd. Doordat de PE in de verschillende cases de enige variërende variabele is, kan de robuustheid van het systeem alleen worden aangetast door de verschillende PE's.

Identificatiemogelijkheid van nieuwe fouten: Dit criterium wordt niet getest, omdat het identificeren van nieuwe fouten pas voor kan komen aan het einde van de RCA. Bij de Peugeot-case kunnen we niet de volledige RCA doorlopen.

Schatting waarschijnlijkheid aangedragen oorzaak: Aan het eind van de case wordt de PE gevraagd om de waarschijnlijkheid aan te geven dat een bepaalde veronderstelde oorzaak, daadwerkelijk de echte oorzaak van het probleem is. De schatting van de waarschijnlijkheid van de aangedragen

oorzaak als criterium heeft betrekking op de vraag of het systeem in staat is om een betrouwbare schatting te geven. De aanname is dat het systeem hier niet toe in staat is, omdat schattingen van de PE enkel gebaseerd kunnen zijn op gevoel en ervaring. Dit komt doordat historische data niet (voldoende) wordt gedocumenteerd om op basis van kwantitatieve data een voorspelling te doen. De PE wordt gevraagd of de aanname dat er geen goede schatting kan worden gemaakt strookt met zijn ervaring.

Flexibiliteit & aanpasbaarheid: De flexibiliteit en aanpasbaarheid van het proces van de RCA's in de Peugeot-case wordt niet gemeten, omdat hiervoor observatie op lange termijn nodig is. Gezegd kan worden, omdat er geen standaardmanier is om de RCA uit te voeren, dat het proces op dit moment oneindig flexibel is.

Duidelijkheid van de uitleg: Dit wordt gemeten door de beoordeling van de onderzoeker, hoe goed de uitleg van de PE is wat betreft de conclusies uit de RCA tot zover deze wordt uitgevoerd.

Identificatie van meerdere fouten: Dit criterium kan niet worden beoordeeld aan de hand van de Peugeot-case, omdat eventuele definitieve identificatie van meerdere fouten pas optreedt na het deel van de RCA dat in de Peugeot-case wordt uitgevoerd.

De (vragen)lijst die is gebruikt bij de Peugeot-case is bijgevoegd in bijlage 2, deze dient met name om aantekeningen te maken en te documenteren tijdens het uitvoeren van de case.

3.4. Peugeot-case: de conclusies

Nogmaals, het in deze case behandelde deel van de RCA is vanaf de Pareto-uitdraai tot het punt waar de PE niet meer verder komt met enkel data, ofwel het punt dat de PE andere mensen moet betrekken bij het proces. Op basis van de uitgevoerde cases worden er conclusies getrokken over hoe het huidige RCA-proces bij Power-Packer presteert aan de hand van de relevante criteria van *Venkatasumbramanian et al. (2003)*.

In bijlage 3 zijn de uitkomsten van de individuele RCA's in de Peugeot-case, waarop onderstaande conclusies gebaseerd zijn, beknopt weergegeven.

Snelheid: De duur van het beschouwde deel van de RCA was bij twee PE's, waarbij de tijd werd gemeten, niet heel verschillend (rond de twintig minuten). In de derde case met een tijdmeting had de PE een dubbele tijd nodig, dit kwam doordat de PE minder ervaring had met de assemblagelijijn waar de case over ging. De PE had hier extra tijd nodig om bekend te worden met het specifieke systeem.

Het viel in alle gevallen op dat er een aantal momenten in de RCA waren, waar onnodig veel tijd verloren ging. Een voorbeeld hiervan is dat het vinden van de testinstructie (TI) vaak een probleem oplevert (dit viel ook al op bij de verscheidenheidsanalyse). De TI's zijn (op het oog) willekeurig genummerd, wat ervoor zorgt dat de PE TI's op de gok moet bekijken om de goede testinstructies te vinden. Vervolgens is het vinden van benodigde informatie in de TI een probleem, omdat deze ingewikkeld in elkaar zit en altijd verschillend is per type product.

Isolatiemogelijkheden: In alle gevallen is de scope van het aantal mogelijke fouten nog vrij breed aan het eind van het beschouwde deel van de RCA. Het is (nog) niet mogelijk om op basis van de beschikbare data van de testbank tot een definitieve conclusie te komen. Als de PE toch een zeer

specifieke mogelijke oorzaak aandraagt (zoals: de diepte van de gleuf van de rempiston) is dit op basis van de ervaring van de PE en niet op basis van beschikbare (historische) informatie. Het probleem met dit is, dat niet alle PE's over een brede ervaring bezitten.

Robuustheid: Een perfect robuust systeem genereert voor gelijke input altijd dezelfde uitkomst. Uit de cases blijkt dat de output die de PE's generen soms onderling sterk verschilt. Er worden verschillende mogelijke oorzaken aangedragen en de vervolgstappen komen ook soms slechts deels overeen. De hypothese dat verschillende PE's met dezelfde informatie tot verschillende eerste conclusies komen en dus per definitie niet allemaal tot de juiste conclusie is bevestigd. Uiteindelijk zal het probleem altijd wel worden opgelost, maar de eerste deelconclusie verschilt per PE. Door het trekken van verkeerde deelconclusies zal de RCA niet optimaal efficiënt worden uitgevoerd.

Schatting waarschijnlijkheid aangedragen oorzaak: Alle PE's geven aan dat het lastig is om tot een goede schatting te komen wat betreft de waarschijnlijkheid dat bepaalde aangedragen oorzaken inderdaad de daadwerkelijke oorzaken zijn. Dit komt doordat er geen informatie is wat betreft fouten en RCA's uit het verleden. Als een PE toch wordt gevraagd om de waarschijnlijkheid van een rootcause in te schatten gebeurt dit enkel op basis van de ervaring van de PE.

Duidelijkheid van de uitleg: Het missen van een vaste onderzoekstructuur om de RCA uit te voeren zorgt ervoor dat het in sommige gevallen moeilijk is om de redenering van een PE te volgen. De mogelijkheid van de PE om bepaalde zaken goed uit te kunnen leggen is van belang, omdat er meestal meerdere mensen betrokken moeten worden bij het RCA-proces (zoals productiemedewerkers, maintenance en andere PE's).

Wat nog meer is opgevallen: Niet alle PE's hebben tijdens de case dezelfde stappen ondernomen om tot een conclusie te komen. In onderstaande tabel staan een aantal processtappen weergegeven die door sommige PE's wel en door sommige PE's niet zijn gedaan.

	PE 1	PE 2	PE 3	PE 4
Testinstructies raadplegen	Nee	Ja	Ja	Ja
Hydraulisch schema raadplegen	Nee	Nee	Nee	Ja
Fouten stap-voor-stap langslopen	Nee	Ja	Nee	Nee
Grafiek maken van data	Ja	Ja	Nee	Nee
Bekijken van data van een langere periode	Ja	Nee	Nee	Nee
Bekijken reparatiedata	Ja	Nee	Ja	Ja

Tabel 2 Verschillen in Peugeot-case

Op basis van tabel 2 lijkt het gelegitimeerd om te zeggen dat PE's allen op verschillende manieren de RCA uitvoeren.

Alle PE's klagen over het probleem dat relevante informatie (zoals de toleranties van meetwaarden) lastig te vinden zijn. Ook zien zij allen het potentiële voordeel van het documenteren van gedane RCA's. Al merken enkele PE's op dat dit wel op een overzichtelijke manier moet gebeuren en dat dit niet te veel tijd moet gaan kosten.

Ook is geprobeerd om de case uit te voeren met een nieuwe PE, die op dat moment twee weken bij Power-Packer aan de slag was. Dit deel van het onderzoek was niet erg bruikbaar, omdat deze PE niet erg ver kwam. Wel kan geconcludeerd worden dat blijkt dat het uitvoeren van de RCA een ingewikkeld, specialistisch proces is. Dit zorgt ervoor dat het nieuwe werknemers veel moeite kost om dit onder de knie te krijgen, mede omdat er geen handleiding of vast patroon is voor het uitvoeren van de analyse.

3.5. Documentatie rootcauseanalyse

Power-Packer heeft op dit moment geen vaste manier om de RCA's te documenteren. Een bestaand systeem dat deze functie kan vervullen is de reparatiehandleiding. Een probleem is dat dit systeem vaak niet wordt gebruikt.

De reparatiehandleiding is een on-line systeem dat per foutcode een aantal reparatieadviezen kan geven aan personeel op de productievloer. Deze reparatieadviezen moeten dan wel ingevuld worden, de PE is de enige die dit kan doen, dus niet de productiemedewerkers zelf. Op dit moment is het zo dat de reparatiehandleidingen voor sommige productielijnen redelijk zijn ingevuld, maar voor de meeste lijnen is de handleiding niet of nauwelijks ingevuld. Voor de reparatiehandleidingen die deels ingevuld zijn geldt in alle gevallen dat deze slechts sporadisch of nooit, in tegenstelling tot structureel, worden aangevuld.

De koppeling van de reparatiehandleiding met de RCA is duidelijk. Als een RCA is uitgevoerd is het probleem (als het goed is) opgelost, in vele gevallen door een reparatie van het systeem (in andere gevallen door bijvoorbeeld reparatie van de testbank of vervanging van aangeleverde onderdelen). De foutcode en de bijbehorende reparatiehandeling die gevonden zijn door de RCA, zouden ingevoerd kunnen worden in de reparatiehandleiding.

De reparatiehandleiding is nuttig voor zowel de productiemedewerkers als de PE. Als de reparatiehandleiding goede adviezen geeft kunnen de productiemedewerkers het defect ter plekke oplossen en hoeft de PE niet aan het proces te pas te komen. Bovendien kan de PE de reparatiehandleiding als geheugensteun gebruiken, door te zien welke adviezen er worden gegeven bij een bepaalde foutcode kan hij dichter bij de mogelijke oorzaken van het probleem komen. Als er bijvoorbeeld het advies wordt gegeven om te checken of er een orifice aanwezig is en blijkt dat deze er niet is, dan is de volgende stap om te kijken wat er in het productieproces mis is gegaan bij de productiestap waar de orifice moet worden aangebracht.

Uit gesprekken met de PE's komt naar voren dat zij de voordelen van de reparatiehandleiding zien, maar dat ze er niet aan toe komen om deze in of aan te vullen.

Een vraag die nu opkomt is of assemblagelijnen met een goed ingevulde reparatiehandelingen beter presteren dan lijnen zonder reparatiehandleiding. Een kort onderzoekje dat bijgevoegd is in bijlage 4 geeft nog geen definitief antwoord op deze vraag, dit komt mede doordat er slechts twee lijnen zijn met een redelijk gevulde reparatiehandleiding (kleine steekproefgrootte).

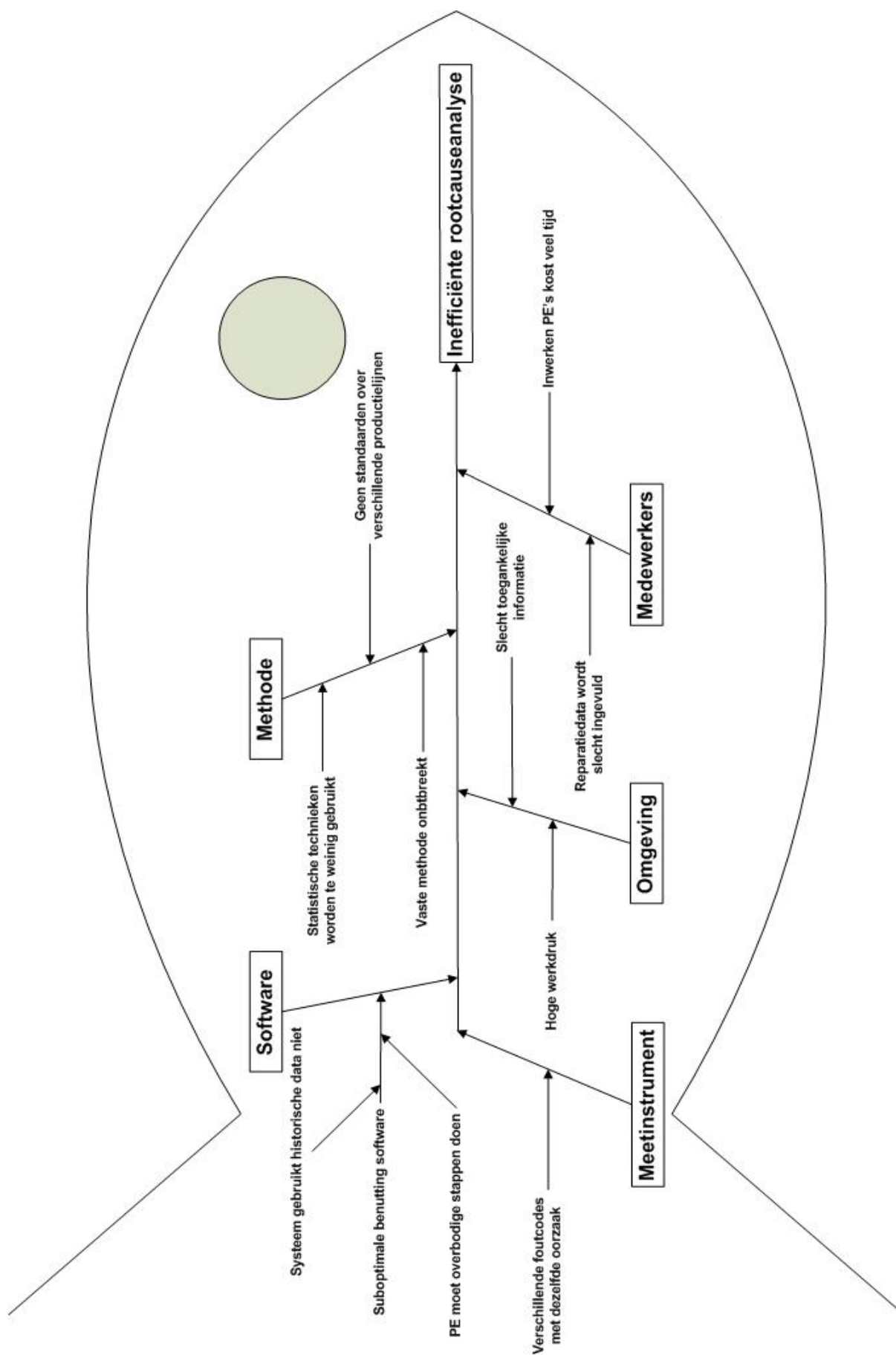
Het is niet mogelijk om te onderzoeken of de lijnen met reparatiehandleiding beter zijn gaan presteren, nadat de reparatiehandleiding werd gebruikt. Dit komt omdat de reparatiehandleidingen, weliswaar in één keer, maar al in de beginfase van de lijnen met de namen E95 en E88 zijn ingevuld.

3.6. Conclusies analyse

Het doel van dit onderzoek is om de manier van het uitvoeren van de RCA te optimaliseren, te standaardiseren en het creëren van de mogelijkheid om de resultaten van de analyses vast te leggen in een standaarddocument ten behoeve van de effectiviteit van het productieproces bij Power-Packer. Om al deze doelen (het eenduidiger maken, het standaardiseren en het maken van een documentatiemogelijkheid) te realiseren moet er eerst worden nagedacht over wat (in grote lijnen) de beste (meest efficiënte) manier is om de RCA uit te voeren. Het is namelijk niet wenselijk om een suboptimaal proces te standaardiseren. Hoofdstuk 4 is gewijd aan het vinden van deze beste manier en hoofdstuk 5 is gewijd aan de standaardisatie en de documentatie.

Om tot de beste manier te komen wordt er gekeken naar de problemen die we in dit analysehoofdstuk hebben ondervonden met de huidige uitvoering van de RCA. Deze problemen moeten eerst worden verholpen, hierbij wordt gebruik gemaakt van wetenschappelijke literatuur om de verschillende problemen stuk voor stuk te behandelen en waar mogelijk op te lossen.

De verschillende problemen die invloed uitoefenen op de efficiency van het uitvoeren van de RCA zijn weergegeven in het causale model hieronder. Het model moet gezien worden als een aanvulling op figuur 1. Uitleg van de variabelen en relaties in het model volgen op de volgende bladzijden.



Figuur 9 Visgraatdiagram (problemen tijdens de RCA)

Er is voor gekozen om de verschillende problemen weer te geven in een Ishikawa-, ofwel een visgraatdiagram. Een visgraatdiagram is een causaal model waarbij verschillende problemen die invloed hebben op een hoofdprobleem (in dit geval een inefficiënte RCA) worden ingedeeld in een aantal categorieën. Het gebruik van categorieën, wat het grote voordeel van het visgraatdiagram is, verschaft snel inzicht in de diversiteit van de problemen. De verschillende categorieën: medewerkers, methoden, meetinstrument, omgeving en software worden in hoofdstuk 4 in aparte paragrafen behandeld. De problemen zijn soms enigszins arbitrair ingedeeld in de categorieën, maar alle belangrijke problemen komen aan de orde.

De categorieën in figuur 9 zijn niet gelijk aan de meer gangbare categorieën die gegeven zullen worden in paragraaf 4.2.1. Er is gekozen voor iets andere categorieën, omdat het hier niet gaat om problemen bij een productieproces, maar om problemen rondom het RCA-proces. Een ander verschil met de gangbare toepassing is dat de in figuur 9 weergegeven problemen reeds vastgestelde problemen zijn. In tegenstelling tot wanneer het visgraatdiagram wordt gebruikt bij een probleem in een productieproces, waar de mogelijke oorzaken worden genoemd van een hoofdprobleem.

Medewerkers

Eén bron van problemen is de categorie “Medewerkers”. Het is van belang om na te denken over hoe nieuwe PE’s bekend moeten worden met de RCA, op dit moment wordt daar bij Power-Packer nog nauwelijks aandacht aan besteed. Het kost een PE veel tijd om bekend te worden met het nieuwe systeem. Ook is uit sommige cases naar voren gekomen dat de reparatiedata vaak slecht wordt ingevuld door productiemedewerkers. Als een productiemedewerker bij afkeur een reparatie uitvoert moet hij dit op de reparatiecomputer nauwkeurig invoeren. De nauwkeurigheid ontbreekt vaak. De PE kan de reparatiedata als een logboek raadplegen, om zo meer van het probleem te weten te komen. De categorie “Medewerkers” wordt verder behandeld in paragraaf 4.1.

Methode

Een ander probleem wordt gedefinieerd als het ontbreken van een standaardmethode om de analyses uit te voeren. Het probleem hiervan is dat de PE’s geen houvast hebben bij het uitvoeren van de analyse, wat er onder andere voor zorgt dat verschillende PE’s de RCA’s op verschillende manieren uitvoeren. Bovendien is er het probleem dat er veel verschillen zijn tussen het uitvoeren van RCA’s op verschillende productielijnen. Dit komt onder andere door het gebruik van verschillende foutcodes voor dezelfde problemen bij verschillende productielijnen. Ook is de indeling van de excel-bestanden verschillend per lijn. Bovendien maken de PE’s opvallend weinig gebruik van kwantitatieve en statistische gegevens om tot conclusies te komen. Dit komt deels doordat de PE’s vertrouwen op hun eigen inschatting en ervaring, maar deels ook door gebrek aan kennis van statistische tools. Power-Packer heeft beschikking over een applicatie voor statistische analyse: Minitab. Ondanks een legio aan mogelijkheden wordt Minitab op dit moment niet vaak genoeg gebruikt door PE’s. Deze problemen worden verder behandeld in paragraaf 4.2.

Omgeving

Een andere categorie is de “Omgeving”. Zo is het bijvoorbeeld gebleken dat het moeilijk is voor de PE om voor hem relevante informatie te vinden. Dit komt door het grote aanbod aan informatie dat voor de PE’s beschikbaar is en door de onhandige structurering van informatie. Informatie die een PE nodig heeft is beschikbaar op verschillende hardeschijven op de computer van de PE. Een voorbeeld van de onhandige structurering vinden we in de zevende case van de verscheidenheidsanalyse, waar

de PE de specificaties van een bepaalde meetwaarde na lang zoeken vindt in een 7^e-graads submap op de computer. Een ander probleem dat is ingedeeld in de categorie “Omgeving” is de hoge werkdruk van de PE’s. Uit gesprekken rondom de uitgevoerde cases en bij het inplannen van de cases, is gebleken dat de PE’s een hoge werkdruk ervaren en een volle agenda hebben. Dit heeft bijvoorbeeld tot gevolg dat zij vaak niet in staat zijn om hun uitgevoerde RCA’s te documenteren. Ook zorgt tijdgebrek op korte termijn ervoor dat PE’s de RCA’s niet grondig genoeg uitvoeren, zodat het probleem niet wordt opgelost en zij het probleem opnieuw op hun bordje krijgen. Zo zijn de PE’s uiteindelijk in totaal meer tijd kwijt, dan wanneer zij in eerste instantie de RCA grondig uitvoeren (een vicieuze cirkel). De categorie “Omgeving” wordt verder behandeld in paragraaf 4.3.

Software

De volgende categorie die wordt behandeld is “Software”. Tijdens het RCA-proces wordt veel gebruik gemaakt van software. Er zijn echter nog steeds een aantal stappen die de PE zelf moet doen, die ook gedaan zouden kunnen worden door de computer. In het volgende hoofdstuk wordt gekeken welke stappen op welke manier verder kunnen worden geautomatiseerd. In de Six-Sigma- en Lean-literatuur wordt vaak benadrukt dat een goede organisatie moet leren van zijn verleden. De software kan hier een belangrijke rol in spelen. Deze categorie wordt verder behandeld in paragraaf 4.4.

Meetinstrument

In het geval van Power-Packer is de testbank het meetinstrument. Onder de categorie “Meetinstrument” valt het probleem dat er meerdere foutcodes tegelijk kunnen worden gegenereerd door het SPC-systeem. Dit zorgt ervoor dat de weg naar het vinden van een rootcause extra lang wordt. De categorie “Meetinstrument” wordt verder behandeld in paragraaf 4.5.

Hoofdstuk 4 – Rootcauseanalyse: Wat is de beste manier?

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvraag: “Hoe kan de RCA het beste worden uitgevoerd?”. Deze vraag wordt beantwoord aan de hand van de in hoofdstuk 3 geconstateerde problemen. Deze vragen zijn opgedeeld in vijf categorieën, aan elke categorie wordt in dit hoofdstuk een paragraaf gewijd. Aan elk van de in hoofdstuk 3 geconstateerde problemen wordt een subparagraaf gewijd, waarin getracht wordt een oplossing te vinden voor het desbetreffende probleem. Verondersteld wordt dat wanneer alle geconstateerde problemen uit hoofdstuk 3 worden opgelost, dat dan een optimale (de beste) manier is gevonden om een RCA uit te voeren. Deze optimale manier wordt dan gezien als de meest efficiënte manier welke volgens de in hoofdstuk 2 aangedragen relaties zullen zorgen voor een effectiever productieproces (een hogere FPY).

4.1. Medewerkers

4.1.1. Inwerken PE's kost veel tijd

Bij de huidige PE's is de kennis van het productiesysteem goed, maar er ontstaat een probleem als zij afwezig zijn of vervangen moeten worden door nieuwe PE's. Het kost nieuwe PE's veel tijd om kennis te verwerven over de verschillende producten, onderdelen, werkmethodes etc.. Uiteraard is de kwaliteit van de RCA beter bij ervaren PE's dan bij minder ervaren PE's. Een oplossing van dit probleem is de documentatie van RCA's. Als een RCA goed wordt gedocumenteerd kan dit nieuwe werknemers veel inzicht verschaffen in het productieproces van Power-Packer. Dit is ook de reden dat de losse bijlage (de documentatie van de cases uit de verscheidenheidsanalyse) is gevoegd bij dit verslag, om buitenstaanders wat meer inzicht te laten krijgen in het productieproces. Het documentatievraagstuk wordt verder behandeld in hoofdstuk 5.

4.1.2. Reparatiegegevens wordt slecht ingevuld

Als er een geproduceerd pompsysteem wordt afgekeurd, kijkt de productiemedewerker die de test heeft uitgevoerd meteen of het pompsysteem kan worden gerepareerd. Indien de reparatiehandleiding is ingevuld, geeft de computer één of meerdere adviezen aan de productiemedewerker over waar de medewerker eerst naar kan kijken. De medewerker geeft aan of hij het advies heeft opgevolgd, of hij geeft aan dat hij een andere handeling heeft gedaan. Dit laatste kan door in de computer te klikken op “Anders, namelijk:”, hier kan de medewerker invullen wat hij wil. Het invullen van deze vrije ruimte gebeurt vaak slecht (bijv. onduidelijke steekwoorden) of helemaal niet. Hier moet aandacht aan worden besteed. De productiemedewerkers moeten erop attent worden gemaakt dat de handleiding goed moet worden ingevuld. Als dit gebeurt heeft de PE een goede houvast aan de reparatiegegevens tijdens het uitvoeren van een RCA.

4.2. Methode

4.2.1. Vaste methode ontbreekt

In de wetenschappelijke literatuur worden verschillende methoden aangedragen om structuur aan te brengen in het proces van het oplossen van een probleem, hetgeen op dit moment ontbreekt bij Power-Packer.

OCAP

Een Out of Control Action Plan (OCAP) is een stappenplan dat een gebruiker moet doorlopen wanneer er een fout is geconstateerd in een productieproces (Does & Trip, 2010). Een OCAP kan variëren van een simpele checklist tot een uitgebreide flowchart. Er zijn veel methoden om structuur

aan te brengen in een actieplan. Een voorbeeld van een structuur is de 8D-probleemoplosmethode, die bij Power-Packer wordt gebruikt bij het afhandelen van een klacht. Deze methode laat de gebruikers de volgende acht stappen volgen: team samenstellen, probleem beschrijven, probleem tijdelijk oplossen, oorzaak opsporen, vinden van de oplossing, implementeren oplossing, voorkomen van het probleem en het belonen van het team.

Het doel van een OCAP is om de probleemoplossing sneller te laten verlopen en om een standaard te bieden om een probleemoplossing (bijv. RCA) te documenteren. In het geval van een RCA is de 8D-methode in eerste instantie niet de meest handige manier om de RCA te structureren, omdat de 8D-methode gericht is op het werken in teamverband. Wel kan de 8D-methode functioneel zijn wanneer de PE lang worstelt met een probleem en er niet alleen uitkomt.

PDCA

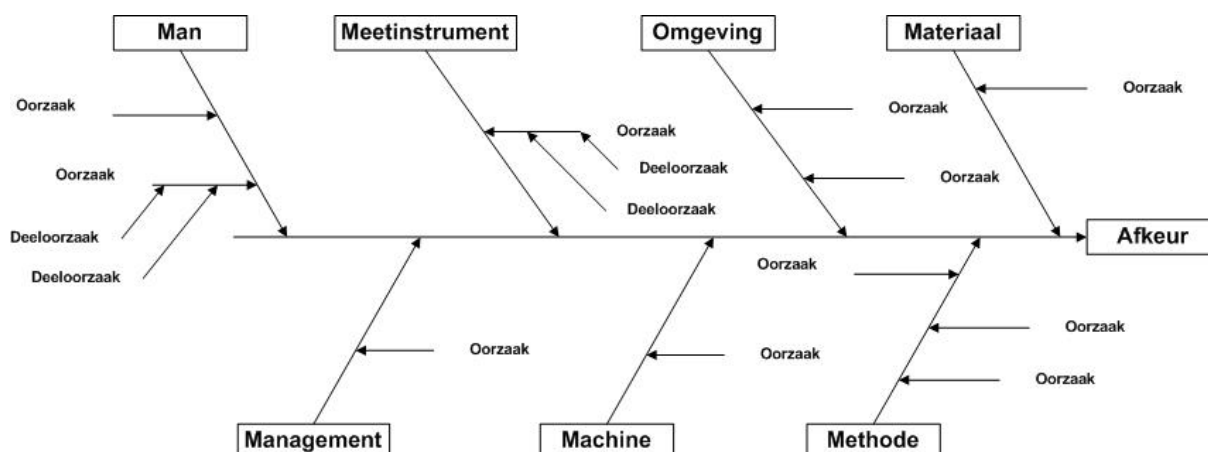
Een methode om structuur aan te brengen is de PDCA-cyclus: plan, do, check, act. De PDCA-cyclus is echter erg globaal en is dus niet erg praktisch in het geval van een RCA. Wel schenkt het ons een belangrijk inzicht bij de laatste stap: “act”. Als de implementatie van project succesvol is gebleken, dan moet er worden gekeken of deze implementatie ook vertaald kan worden naar andere delen van de organisatie. Als in het geval van een RCA een oplossing wordt gevonden voor een bepaald probleem, is het van belang om te kijken of deze oplossing ook nuttig kan zijn voor andere productielijnen.

DMAIC

Een bekende variant uit de toolbox van six-sigma is de DMAIC-methode (*Hahn et al., 1999*). Deze afkorting staat voor de stappen die doorlopen dienen te worden: define, measure, analyze, improve en control. Bij het definiëren van het probleem wordt gekeken naar wat het probleem in essentie is. Gekeken wordt wat de norm en wat de werkelijkheid is. Bij het meten gaat het erom dat er gebruik wordt gemaakt van kwantitatieve data. Bij deze stap moet uitgezocht worden welke metingen en welke representatie van de data van belang kunnen zijn bij het vervolg van het onderzoek. In de analyse-fase wordt er gekeken naar de huidige prestatie van het productiesysteem (bijvoorbeeld door te kijken naar de capability). Vervolgens wordt er nagedacht over mogelijke oorzaken van het probleem. Bij de verbeterstap wordt bepaald hoe er moet worden ingegrepen om het probleem te verminderen of te verhelpen. Als de verbeteringen zijn doorgevoerd, moet er bij de beheersstap voor worden gezorgd dat de verbeteringen daadwerkelijk in het systeem blijven. De DMAIC-methode kan een globale leidraad vormen voor de PE, de methode is niet erg specifiek.

Visgraatdiagram

Een Ishikawa-, ofwel een visgraatdiagram, is een veelgebruikte tool bij het oplossen van problemen in een productieproces. Een visgraatdiagram is een causaal model waarbij verschillende problemen die mogelijk invloed hebben op een hoofdprobleem worden weergegeven. Een veel gebruikte categorieverdeling is die van de zes M's: methode, meetinstrument, mens, machine, materiaal en management (*Gwiazda, 2006*). Vaak wordt ook de omgeving meegenomen als zevende categorie. De categorieën zijn hetzelfde als de bronnen van variabiliteit in paragraaf 4.1.1.



Figuur 10 Voorbeeld visgraatdiagram

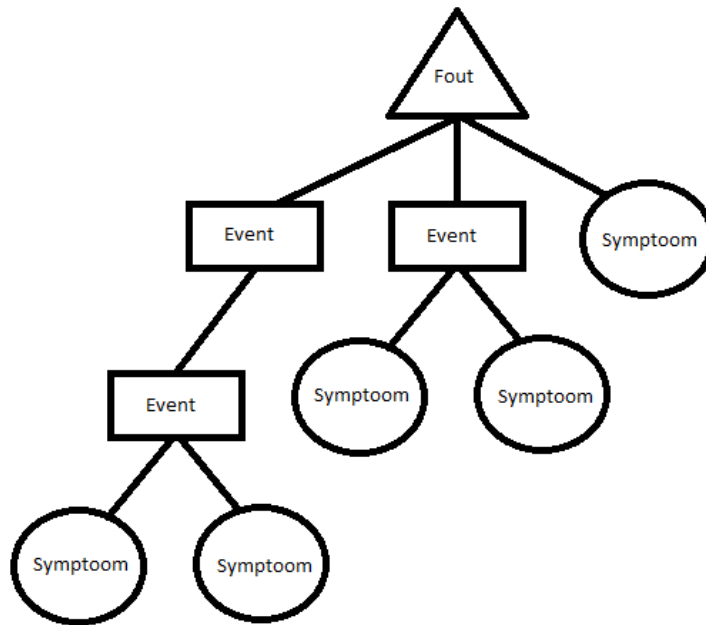
Het visgraatdiagram, zoals hierboven weergegeven, geeft de PE snel inzicht in de mogelijke oorzaken van een probleem dat de afkeur veroorzaakt. Als een PE een visgraatdiagram op moet tekenen wordt hij gedwongen om over alle mogelijke oorzaken na te denken. Bovendien is het een makkelijke manier om de relaties tussen afkeur en mogelijke oorzaken op te slaan. De PE's zouden voor elke foutcode die niet een direct aanwijsbare oorzaak heeft een visgraatdiagram kunnen maken en op een centrale plek op kunnen slaan op de harde schijf bij Power-Packer, zodat iedereen hier toegang tot heeft.

Op basis van historische gegevens kan ook een waarschijnlijkheid van bepaalde oorzaken worden gedocumenteerd in het visgraatdiagram. Het visgraatdiagram kan dus een rol spelen in het documenteren van RCA's en in het inzicht verschaffen in mogelijke oorzaken van afkeur. Een applicatie waarmee makkelijk Ishikawa-diagrammen zijn te maken is Microsoft Visio.

FTA

Een andere manier om de logische relatie tussen een oorzaak van een fout en de meetwaarden die daarmee geassocieerd kunnen worden (symptomen) overzichtelijk weer te geven is door middel van een Fault Tree Analysis (FTA). *Isermann (1993)* geeft twee voordelen van de weergave van de oorzaak-gevolg relaties in een boomstructuur: ze geven een heldere en goed te begrijpen weergave van de bestaande kennis over de relaties en ze bieden een hoge mate van flexibiliteit voor ontwikkeling en aanpassing. Deze beide voorbeelden maken FTA een ideale manier om oorzaak-gevolg relaties die worden geconstateerd in een productieproces na een rootcauseanalyse te documenteren. *Hu et al.(2003)* noemen als één van de voordelen van FTA dat het een probleem inzichtelijk maakt voor zowel leden van het management en productiemedewerkers die in eerste instantie geen inzicht hebben in de materie, maar die wel betrokken kunnen worden bij het oplossen van het probleem.

Hieronder in figuur 11 wordt een voorbeeld van een FTA weergegeven. De symptomen zijn individuele metingen die op de testbank zijn gemaakt en voldoen (of juist niet) aan een vooraf bepaalde waarde of range die voor de meting geldt. In het voorbeeld is het zo dat één fout tot meerdere symptomen leidt, dit hoeft niet zo te zijn, een fout kan ook leiden tot één symptoom. Het kan zelfs zo zijn dat verschillende fouten kunnen leiden tot één of meer dezelfde symptomen. Soms is het zo dat een combinatie van twee of meerdere symptomen moet voldoen aan een logische voorwaarde: een event. Zo kan het zijn dat symptomen bijvoorbeeld tegelijk op moeten treden.



Figuur 11 Voorbeeld FTA

D.m.v. een FTA kunnen de relaties tussen de symptomen (de meetwaardes uit tests) en de fout (rootcause) op een inzichtelijke manier worden (digitaal) gedocumenteerd. Om nog een stapje verder te gaan is het, wanneer er een groot aantal FTA's zijn gemaakt voor verschillende voorgekomen fouten bij een systeem, is het mogelijk om een applicatie te laten bepalen welke fout er past bij een gegeven testdata set (met daarin de symptomen). *Angeli (1999)* stelt echter dat je nooit alle mogelijke fouten van tevoren kan bedenken. In een complex productieproces, zoals die bij Power-Packer te vinden zijn, zal het dus nooit mogelijk zijn om de foutdiagnose compleet te automatiseren. Toch kan de FTA-methode een handig hulpmiddel zijn en kan het helpen bij het voorkomen van de noodzaak om het wiel opnieuw uit te vinden. Zo kan een PE, die een bepaald probleem op het spoor is, gebruik maken van opgedane kennis van een collega die maanden geleden met een soortgelijk probleem bezig is geweest.

In feite lijken de FTA en de visgraatdiagram erg op elkaar. Er zijn nog talloze andere manieren van het weergeven van oorzaakgevolgrelaties, die allemaal enkel qua nuances verschillen. In dit onderzoek wordt ervoor gekozen om de visgraatdiagram te verkiezen bij het zoeken van oorzaken (als onderdeel van het analysedeel van DMAIC). Er wordt gekozen voor deze methode, omdat deze specifiek is gericht op het opsporen van productiefouten. Tevens is het fenomeen visgraatdiagram door zijn relatie met six sigma al een bekend verschijnsel binnen Power-Packer.

4.2.2. Geen standaarden over productielijnen

Een vervelend probleem is dat er wat betreft de dataverwerking een aantal verschillen zijn tussen de verschillende productielijnen. Eén van die verschillen is het gebruik van de foutcodes. Verschillende type pompsystemen hebben veel overeenkomsten, de meeste fouten die voor kunnen komen bij het ene pompsysteem, kunnen ook voorkomen bij andere pompsystemen. Het probleem is dat dezelfde fouten, bij verschillende lijnen, verschillend verwerkt worden. Ze worden aangeduid met verschillende foutcodes en verschillende foutomschrijvingen. Een voorbeeld hiervan is dat een foute waarde voor de veiligheid bij het systeem voor de Mercedes A207 wordt aangeduid met de code 90

en de omschrijving “Foute waarde veiligheid” en bij de BMW E88 met de code 250 en de omschrijving “PM 1 veiligheid is niet af te stellen”. Ook zijn er dit soort verschillen in de excel-bestanden bij de verschillende lijnen waarmee de PE’s werken. Dit soort verschillen hebben tot gevolg dat het PE’s te veel moeite kost om te switchen tussen bepaalde lijnen. Als bepaalde standaarden over verschillende lijnen zouden worden ontwikkeld, zouden de PE’s sneller gewend raken aan bijvoorbeeld bepaalde foutcodes. Bovendien is het beter mogelijk om verschillende lijnen met elkaar te vergelijken, als er meer inzicht is over welke foutcodes dezelfde fout representeren.

Een aanbeveling is dus om over alle lijnen één standaard te ontwikkelen, wat betreft de foutcodes en de indeling van de excel-sheets die het SPC-systeem genereert. Dit kan op twee manier gebeuren. In de eerste plaats volledig: voor alle lijnen moet één standaard komen. Een andere manier is om dit in te voeren voor alle nieuwe lijnen die bij Power-Packer komen. De tweede manier is veel minder arbeidsintensief dan de eerste manier.

4.2.3. Statistische technieken worden te weinig gebruikt

Eén van de in hoofdstuk 3 (bij de verscheidenheidsanalyse en de Peugeot-analyse) waargenomen problemen met de huidige manier van het uitvoeren van het RCA-proces is dat PE’s weinig gebruik maken van de meetdata en van statistische tools. Het probleem hiermee is dat de PE’s hun conclusies te weinig onderbouwen met kwantitatieve gegevens, waardoor ze soms inefficiënte vervolgstappen in de RCA kunnen nemen.

In de wetenschappelijke literatuur zijn er verschillende tools beschikbaar die bruikbaar kunnen zijn voor de PE’s. Het begrip variabiliteit speelt hierin een belangrijke rol.

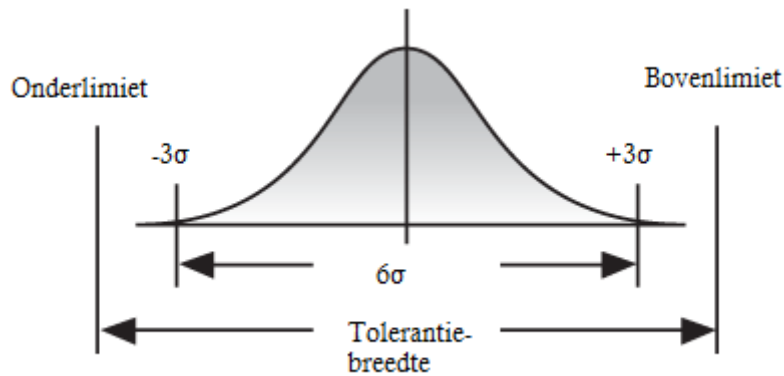
Er zijn in statistische zin drie oorzaken van afkeur te onderscheiden: er kan sprake zijn van uitschieters, grote variabiliteit in het proces (C_p) en het proces is niet nominaal (C_{pk}) (dat wil zeggen dat het normale proces niet goed tussen de toleranties zit). Het maken van onderscheid tussen deze oorzaakcategorieën kan helpen om de PE dichter bij de daadwerkelijke rootcause te laten komen.

Er worden zeven oorzaken van variabiliteit onderscheiden, de zeven M’s: man, management, machine, methode, moeder natuur (ookwel de omgeving), meetinstrument en materiaal (Gwiazda, 2006). Deze oorzaken worden ook gebruikt als de categorieën in het visgraatdiagram in figuur 10.

Er zijn twee soorten spreiding. Common cause spreiding is een willekeurige, stabiele spreiding die altijd in het systeem zit. Special cause spreiding is een onwillekeurige spreiding die wijzigt over de tijd en instabiel is. Special cause spreiding is toe te wijzen aan een speciale oorzaak, deze oorzaak dient te worden ontdekt en geëlimineerd. Te veel spreiding zorgt voor afkeur, zoals in de komende alinea’s duidelijk wordt.

In Six-Sigma wordt het begrip “capability” gebruikt om de beheersing van het proces uit te drukken. Een “capable process” is een proces waarbij de spreiding (of variatie of σ) niet te groot is ten opzichte van de toleranties (C_p -waarde) en waarbij het proces goed nominaal (C_{pk} -waarde) is, dat wil zeggen dat een proces tussen de toleranties zit.

Voor elke meting die wordt gedaan op de testbank aan het eind van een productieproces bij Power-Packer wordt een onder- en bovenlimiet (de toleranties) gesteld, waarbinnen de meetwaarden moeten zitten. Wanneer de meetwaarden daar niet tussen zitten wordt het systeem afgekeurd. De toleranties worden veelal gesteld door de klanten van Power-Packer.

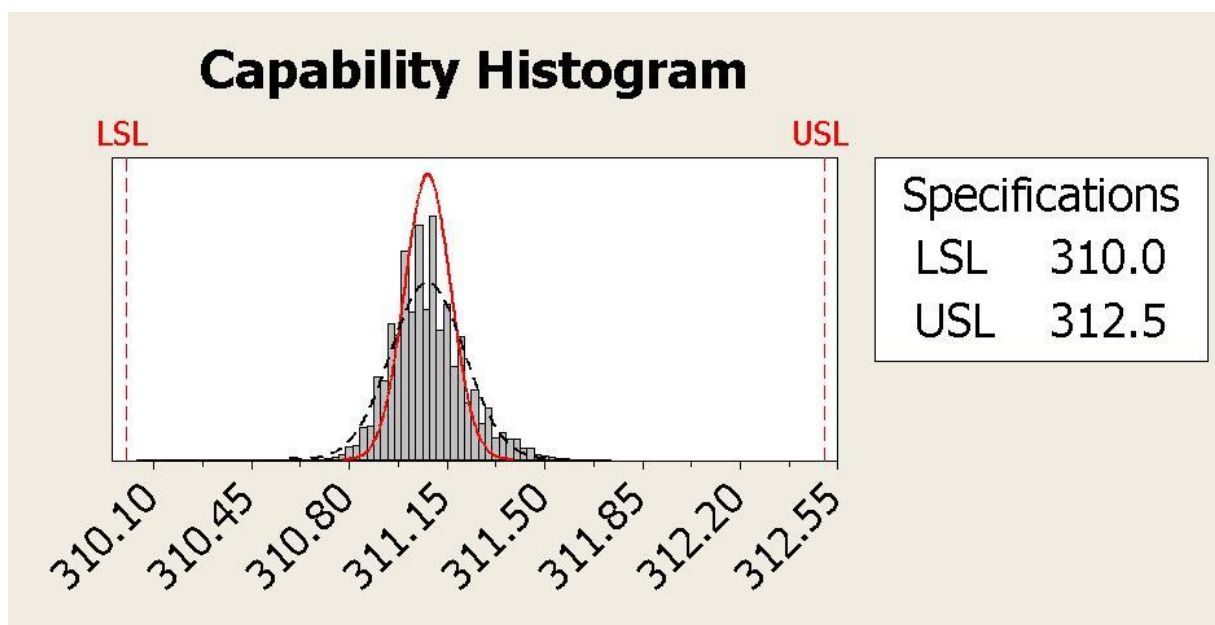


$$C_{pk} = \min \left[\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \right] \quad C_p = \frac{|USL - LSL|}{6\sigma}$$

Figuur 12 Capability-analyse

Hier boven staat een grafische weergave van een proces en de formules voor de C_{pk} - en C_p -waarden. Hoe groter de C_{pk} -waarde, hoe beter. Als de C_{pk} -waarde kleiner is dan 1 is er structureel iets mis. Als de C_{pk} -waarde groter is dan 1,33 wordt het proces bij Power-Packer capable genoemd, dit is Sigma-level 4. Ook de C_p waarde moet het liefst zo groot mogelijk zijn, een grote waarde geeft aan dat de spreiding t.o.v. de tolerantiebreedte meevalt.

Als voorbeeld voor een variabele waar weinig problemen mee zijn nemen we van een pompsysteem (de A207) de uitgeschoven (extended) lengte van (de tweede) cilinder. Hiervan is hieronder de capability-grafiek gegeven:

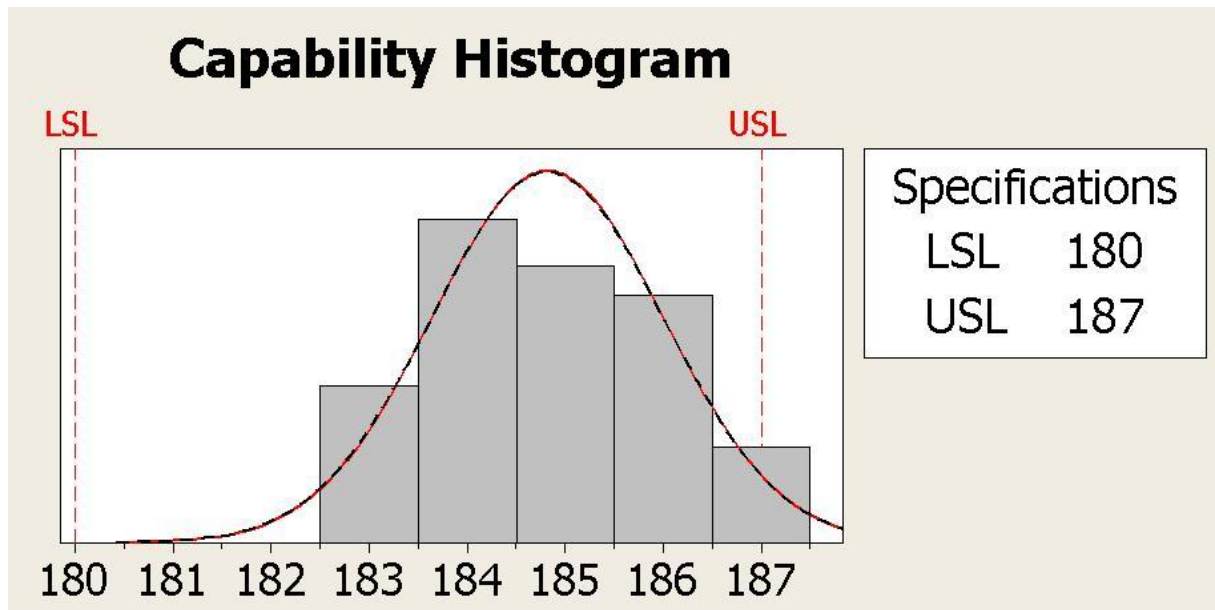


Figuur 13 Voorbeeld: beheerd proces

In deze grafiek is te zien dat het proces goed beheerd is. De spreiding van het proces ten opzichte van de upper- en lower specification limits is laag: $C_p = 5,04$. Ook is te zien dat het proces goed in het

midden van de specificatielimieten zit: $C_{pk} = 4,37$. Omdat dit proces zo goed beheerst is, is er weinig (of geen) afkeur op de uitgeschoven lengte van de cilinder.

Als voorbeeld van een proces dat niet onder controle is nemen we een fictief voorbeeld.



Figuur 14 Voorbeeld: proces niet onder controle

Wat opvalt is dat een deel van het normale proces buiten de bovenste limiet valt. Het proces ligt dus niet goed tussen de specificatielimieten: $C_{pk} = 0,62$. Ook is de (6σ) spreiding van het proces t.o.v. de tolerantiebreedte vrij groot: $C_p = 0,99$. Dat wil zeggen dat zes keer de spreiding van het proces ongeveer gelijk is aan de tolerantiebreedte van 7.

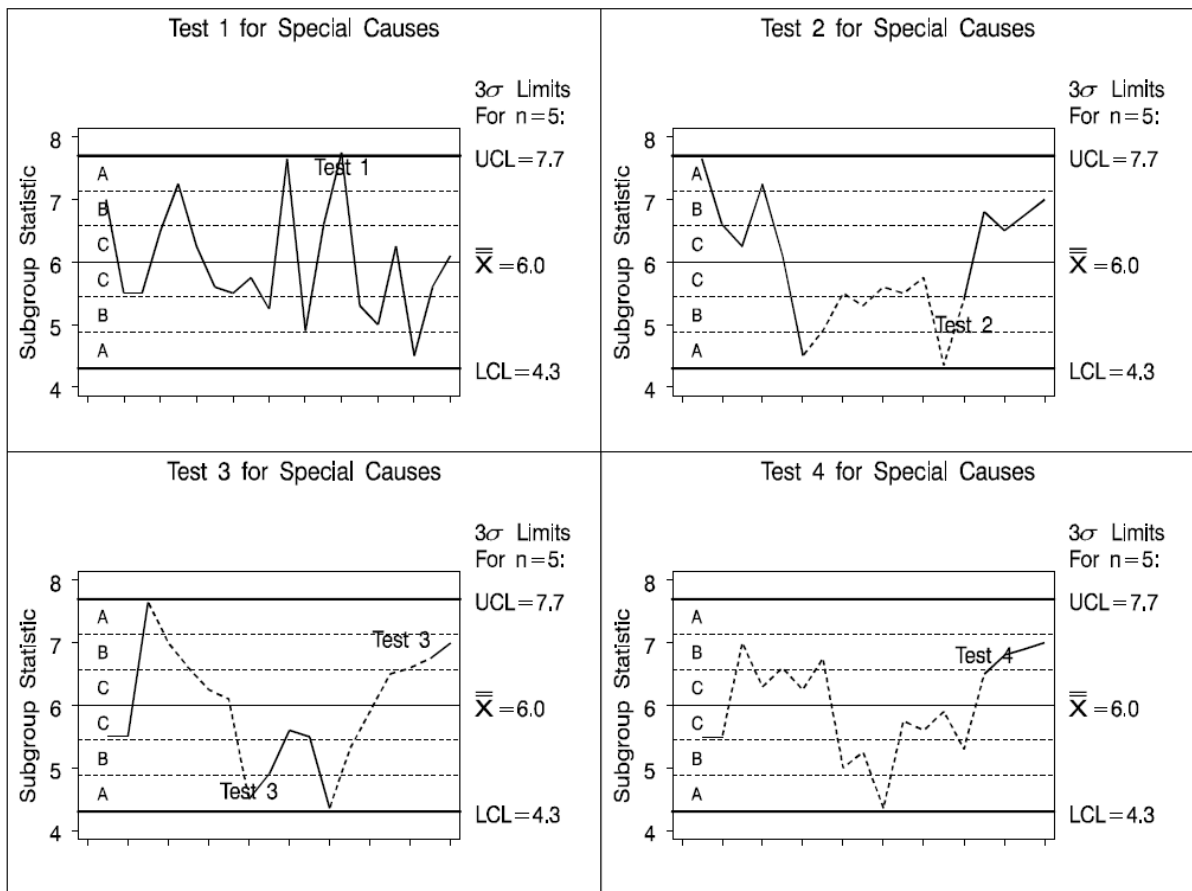
De bovenstaande voorbeelden zijn gebruikt om het nut van de capability-plot te illustreren. In één oogopslag is te zien of een proces onder controle is of niet. Als een PE veel afkeur ondervindt op een proces zoals in figuur 13 weergegeven, dan zal dit te maken hebben met uitschieters in de data. Dit wijst dan bijvoorbeeld in de richting van duidelijke fouten die zijn gemaakt in het productieproces of naar foute onderdelen.

Als een PE veel afkeur ondervindt op een proces zoals in figuur 14 weergegeven, heeft dit te maken met een structureel probleem, dat onderdeel uitmaakt van het normale proces. De PE zal in dit geval bijvoorbeeld kijken naar of de testbank wel goed functioneert of of er een structurele verandering is in aangeleverde onderdelen (misschien is er van leverancier gewisseld). De PE zal in dit geval willen weten of er in de loop der tijd veranderingen in het proces zijn te bemerken.

Hiervoor is de zogenaamde $\bar{X}$ -chart te gebruiken. Hierin worden de individuele meetwaarden of de gemiddelden van subgroepen van meetwaarden weergegeven in chronologische volgorde. Ook zijn het steekproefgemiddelde en de σ -niveau's van -3 tot 3 weergegeven, door middel van horizontale lijnen.

Een stabiel proces wordt gedefinieerd als een proces waarbij geen speciale oorzaak aan te wijzen is voor de variatie, dat wil zeggen dat de variatie volledig wordt veroorzaakt door common cause spreiding. Om te weten te komen of een proces stabiel is kan gebruik gemaakt worden van de acht

tests voor special causes, de Shewhart-procedure. Uitleg van de verschillende tests met begeleidende grafische voorbeelden zijn hieronder weergegeven. De data wordt weergegeven in $\bar{X}$ -charts.



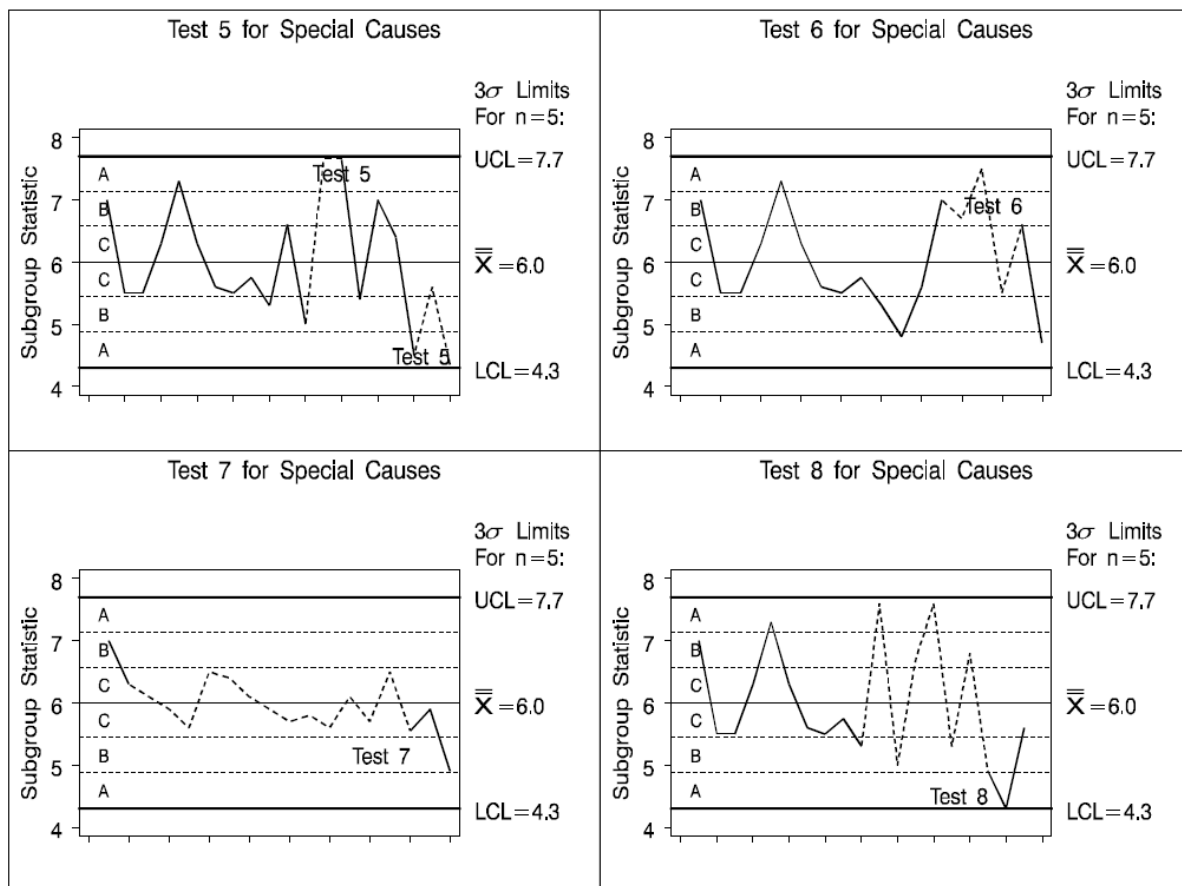
Figuur 15 Shewhart test 1-4

Test 1 test of er meetwaarden zijn die buiten de 3σ -grenzen ten opzichte van het steekproefgemiddelde valt. Als dit het geval is, is het proces niet stabiel. Deze test geeft het sterkste bewijs dat een proces niet onder controle is.

Test 2 test of er minstens negen meetwaarden op een rij aan dezelfde kant van het steekproefgemiddelde zitten. Als dit het geval is, is het proces niet stabiel. Deze test kan aangeven of er een kleine systematische verschuiving is in de data.

Test 3 test of er minstens zes meetwaarden op een rij allen stijgen of dalen ten opzichte van de voorgaande meetwaarde. Als dit het geval is, is het proces niet stabiel. Deze test kan een trend veroorzaken, dit is interessant, want er kan d.m.v. deze test van tevoren afkeer worden voorkomen.

Test 4 test of er sprake is van een alternatie in de meetwaarden voor minstens veertien meetwaarden op een rij. Als dit het geval is, is het proces niet stabiel. Een alternatie geeft aan dat het patroon van de variantie voorspelbaar is, wat aangeeft dat er een constante factor is die variantie veroorzaakt. Deze constante factor moet worden geëlimineerd.



Figuur 16 Shewhart test 5-8

Test 5 test of er voor twee van de drie meetwaarden geldt dat ze meer dan 2σ aan dezelfde kant van het steekproefgemiddelde afzitten. Als dit het geval is, is het proces niet stabiel. Test 6 test of vier van de vijf meetwaarden meer dan 1σ aan dezelfde kant van het steekproefgemiddelde afzitten.

Deze tests evalueren of er kleine verschuivingen in het proces zitten.

Test 7 test of er voor vijftien meetwaarden op een rij geldt dat ze binnen 1σ van het gemiddelde zitten. Als dit het geval is, is het proces niet stabiel. Dit patroon wordt vaak abusievelijk aangezien voor een aanwijzing van goede controle.

Test 8 test of er acht punten achter elkaar meer dan 1σ aan beide kanten van het gemiddelde afzit. Zo een patroon staat bekend als een mixpatroon, de meetwaarden liggen niet rond het gemiddelde, maar rond de beide 3σ -grenzen.

Als een bepaalde dataset niet slaagt voor één van deze tests wil dat dus, in theorie, zeggen dat het proces niet alleen onderhevig is aan common cause spreiding. Dit betekent dat het proces niet optimaal stabiel is. Dit hoeft niet meteen tot afkeur te leiden, maar in sommige gevallen kun je de tests wel gebruiken om beginnende trends vast te stellen, om een probleem te ontdekken voordat deze tot afkeur leidt.

De behandelde statistische methoden (de capability-plot, de $\bar{X}$ -chart en de Shewhart-procedure) kunnen dus een belangrijk handvat bieden voor PE's tijdens een RCA. Het biedt de PE de mogelijkheid om met feiten onderbouwde keuzes te maken. Het computerprogramma Minitab, dat beschikbaar is voor de PE's bij Power-Packer, heeft de genoemde functionaliteiten in zich.

4.3. Omgeving

4.3.1. Slecht toegankelijke informatie

Informatie die de PE tijdens het uitvoeren van de RCA nodig heeft is vaak moeilijk te vinden. Dit is zelfs zo met informatie die altijd nodig is bij het uitvoeren van een RCA, zoals toleranties (specificaties) van meetwaarden. Deze informatie is meestal na lang zoeken te vinden in de testinstructie. De TI's zelf zijn vaak ook moeilijk te vinden, omdat deze allen samen in een map op de computer zitten met nietszeggende codes als titel. De eerste aanbeveling is dan ook om de TI's namen te geven, die duidelijk maken met welk systeem ze corresponderen (dit is ingewikkelder dan het lijkt, de PE's hebben geen schrijfrechten).

Een andere mogelijke aanbeveling is om alle toleranties van alle verschillende meetwaarden en alle verschillende lijnen gestructureerd in één (excel-)document te zetten. Zo hebben de PE's snel toegang tot informatie die vaak nodig is. Een gevaar is dan dat dezelfde informatie op verschillende plekken wordt opgeslagen (in de TI's en in het excel-bestand), het probleem is dan wanneer er een wijziging wordt doorgevoerd qua toleranties, deze informatie op meerdere plekken moet worden aangepast. Dit probleem speelt op dit moment ook al omdat de testbanken op dit moment de toleranties van een andere plek haalt, dan direct uit de TI's. Het is moeilijk om de data in al deze bronnen te koppelen, dus het is moeilijk om ervoor te zorgen dat de informatie in verschillende bronnen tegelijk wordt geüpdatet. Het advies om deze bronnen van informatie koppelen is iets om in het achterhoofd te houden wanneer er een nieuw SPC-systeem wordt ingevoerd. Het is op dit moment niet haalbaar, omdat het hele systeem op de schop zou moeten.

Tijdens de RCA heeft een PE vaak ook bepaalde informatie nodig die hij specifiek voor die RCA nodig heeft. Door het grote aanbod aan informatie en een gebrekkige infrastructuur kost het een PE vaak veel tijd om de informatie die hij zoekt te vinden. Het gaat buiten het bestek van dit onderzoek om hier verder in te duiken. Een aanbeveling is om eens te kijken naar de infrastructuur rondom de documentatie van informatie, met name op de computers bij Power-Packer.

4.3.2. Hoge werkdruk

Een oorzaak van de inefficiënte RCA is de hoge werkdruk van de PE's. Aan de andere kant is een oorzaak van de hoge werkdruk, het inefficiënt uitvoeren van RCA's. Immers, als een RCA inefficiënt wordt uitgevoerd is een PE hier meer tijd (dan nodig) mee bezig. Dus als RCA's efficiënter kunnen worden gemaakt, wat het doel is van dit onderzoek, zal de werkdruk omlaag gaan. Om andere oplossingen aan te dragen voor de te hoge werkdruk gaat te ver buiten het bestek van dit onderzoek. Wel is het aanbevelingswaardig om in gesprek te treden met de PE's over de ervaren hoge werkdruk.

4.4. Software

4.4.1. Systeem gebruikt historische data niet

Garvin (1993) noemt als één van de elementen waaraan een lerende organisatie moet voldoen, dat er moet worden geleerd van de eigen ervaring en het verleden. Dit gebeurt op dit moment onvoldoende bij Power-Packer. In paragraaf 4.2.3 is al aandacht besteed aan het feit dat statistische tools, en dus meetwaarden uit het verleden, gebruikt zouden moeten worden tijdens de RCA.

In relatie tot de reparatiehandleiding kan het gebruik van historische data ook een rol spelen. Als voor een bepaalde fout een bepaalde oorzaak vaker is voorgekomen dan een andere oorzaak, moet

de reparatiehandeling die hoort bij de meest voorkomende oorzaak als eerste aan bod komen in de reparatiehandleiding.

Een andere manier waarop kennis uit het verleden gebruikt kan worden is door middel van het documenteren van de RCA's.

4.4.2. PE moet overbodige stappen doen

In de huidige situatie is het zo dat PE's tijdens de RCA een aantal stappen moeten doen die ook geautomatiseerd kunnen worden, dus door het SPC-systeem of door andere applicaties gedaan kunnen worden.

Een voorbeeld hiervan is het zoeken van de toleranties van een meetwaarde waarop afkeur is. Als het geautomatiseerde systeem een pompsysteem afkeurt op een bepaalde meetwaarde, dan weet het systeem ook wat de toleranties zijn. Het systeem zou dus automatisch ook de toleranties als output moeten geven.

Het is ook mogelijk om het SPC-systeem te integreren met Minitab, zodat het meteen vanuit de SPC-interface mogelijk is om bijvoorbeeld grafieken en capability-analyses te maken.

In hoofdstuk 5 wordt nauwkeurig beschreven hoe en welke stappen geautomatiseerd kunnen worden, als onderdeel van een standaardstructuur die de beste manier van het uitvoeren van een RCA weergeeft.

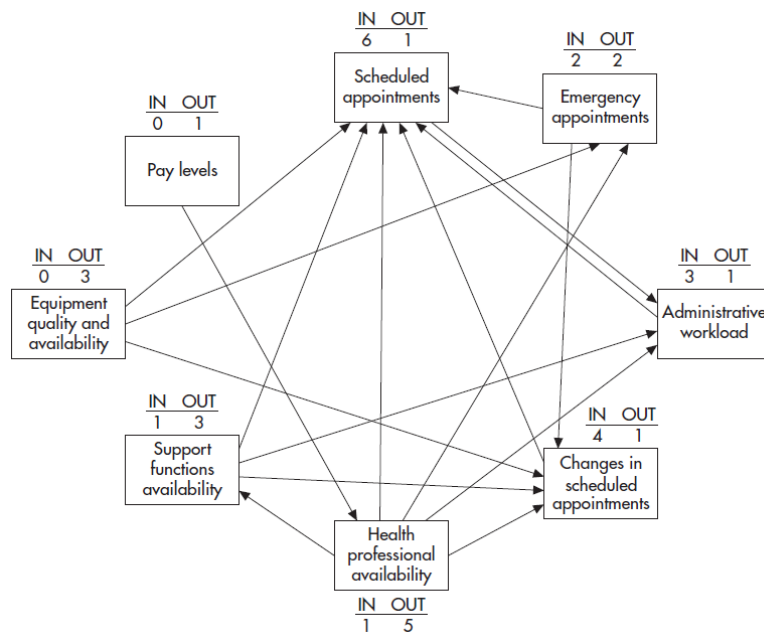
4.5. Meetinstrument

4.5.1. Verschillende foutcodes met dezelfde oorzaak

Het meetinstrument, in dit geval de testbanken, heeft invloed op de efficiency van het RCA-proces. De nauwkeurigheid van het meetinstrument behoort echter niet tot de scope van het onderzoek. De mogelijkheden van de testbanken en de meetdata die de testbanken produceren, worden als een gegeven beschouwd.

Een probleem dat in dit onderzoek toe te schrijven is aan het meetinstrument is dat er verschillende foutcodes kunnen worden gegenereerd met dezelfde oorzaak. Dit was bijvoorbeeld het geval in de Peugeot-case. De verschillende foutcodes die het SPC-systeem genereert dragen niet bij aan het geven van richting aan de PE tijdens zijn zoektocht naar een rootcause. De vraag is hoe er moet worden gereageerd in het geval dat er meerdere foutcodes worden gegeven in de Pareto-tabel en wanneer de PE vermoedt dat deze fouten weleens dezelfde oorzaak zouden kunnen hebben.

Het interrelationele diagram (ID) van *Mizuno (1988)* kan een uitkomst bieden. Het ID geeft de relaties weer tussen verschillende problemen. De pijlen in het diagram bepalen welke problemen welke andere problemen kunnen veroorzaken. Een voorbeeld van een ID is hieronder weergegeven.



Figuur 17 Voorbeeld ID

Een node met meer pijlen eruit dan erin is een mogelijke oorzaak. Een node met meer pijlen erin dan eruit is waarschijnlijk een gevolg. Het construeren van een ID geeft geen zekerheid, maar het kan wel een PE op weg helpen en meer inzicht geven in het proces wat hij beschouwt in het kader van een RCA. Het gebruik van een ID veronderstelt een bepaalde mate van voorkennis van de PE, maar wanneer het ID wordt gedocumenteerd kan het van nut zijn voor andere PE's die voor hetzelfde probleem komen te staan.

Hoofdstuk 5 – Rootcauseanalyse: Standaardisatie en documentatie

In hoofdstuk 3 hebben we een aantal problemen gevonden rondom de uitvoering van de RCA, zoals dat nu gebeurt bij Power-Packer. Deze problemen zijn de verschillende oorzaken van een niet efficiënte RCA. In hoofdstuk 4 hebben we de optimale (meest efficiënte) manier van het uitvoeren van een RCA gevonden, door deze problemen op te lossen. De volgende stap is om op basis van deze beste manier een standaard manier (paragraaf 5.1) van het uitvoeren van RCA's te ontwikkelen, zodat de PE's een houvast hebben bij het uitvoeren van de RCA, waardoor zij efficiënter zullen werken. Bovendien zal het maken van deze standaard helpen bij het maken van een gestructureerde documentatiemogelijkheid (paragraaf 5.2). Deze documentatiemogelijkheid zal het mogelijk maken om te leren van RCA's uit het verleden.

5.1. Standaardisatie

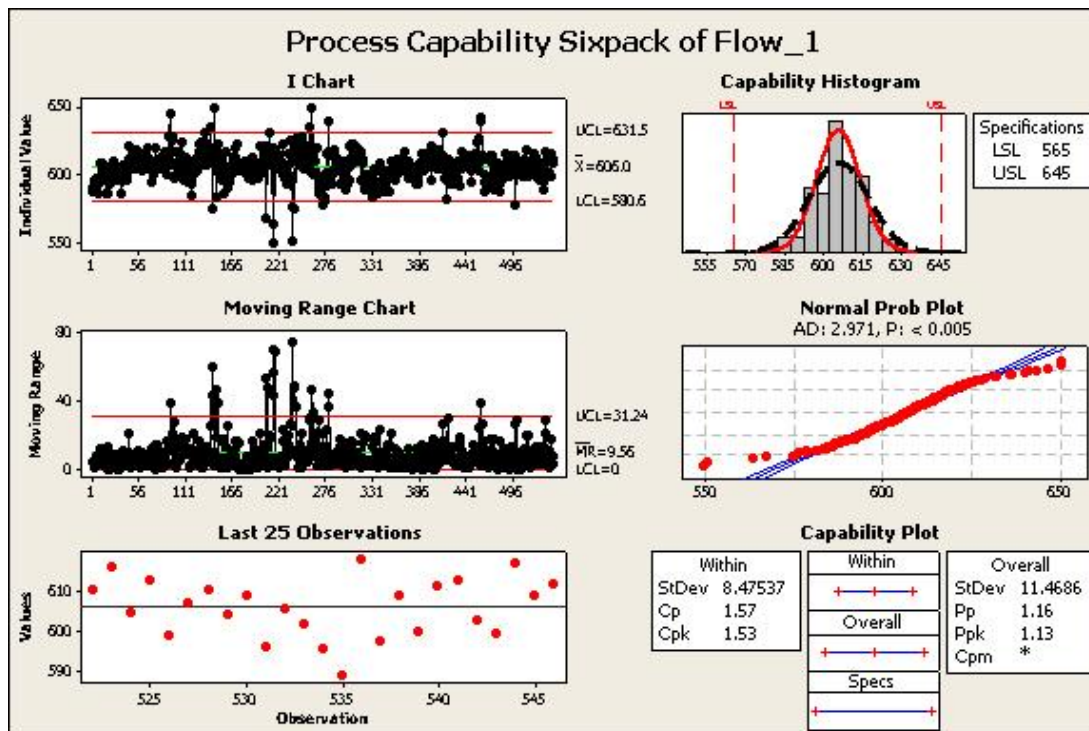
5.1.1. Software

Zoals in paragraaf 4.4.2 al was aangestipt zijn er nog een aantal stappen in de RCA die geautomatiseerd kunnen worden, dit is het onderwerp van deze subparagraaf. Zo moet er in het scherm met de yield analyse meteen, bij een fout de toleranties worden gegeven en moet de mogelijkheid om een $\bar{X}$ -chart en een capabilityanalyse uit te voeren met één druk op de knop mogelijk zijn. Zo is het (in veel gevallen) niet meer nodig voor de PE om te zoeken in de data in een excel-bestand. In het statistiek programma Minitab zit een functionaliteit: de Capability Sixpack. Deze functionaliteit geeft zowel een $\bar{X}$ -chart en een capabilityanalyse. Hieronder is in figuur 18 een voorbeeld weergegeven van hoe het venster van de yield analyse er nu uit ziet (links) en hoe het venster eruit moet komen te zien (rechts). Deze nieuwe functionaliteit maakt het simpel voor de PE om informatieve grafieken te maken van de data, op een snelle manier. Bovendien worden de PE's bijna gedwongen om deze grafieken te maken, iets wat in de huidige situatie nog niet altijd gebeurt.

PTU STATION 20				PTU STATION 20			
Yield	First pass yield			Yield	First pass yield		
Number of tests:	131	Number of unique systems:	126	Number of tests:	131	Number of unique systems:	126
Number of approved tests:	127	Number of systems first time right:	122	Number of approved tests:	127	Number of systems first time right:	122
Number of rejected tests:	4			Number of rejected tests:	4		
Yield:	96.9%	First pass yield:	96.8%	Yield:	96.9%	First pass yield:	96.8%
Pareto based on first pass yield				Pareto based on first pass yield			
Error#	Description	No.	Cumul.	Error#	Description	No.	Cumul. Tol. 6-Pack
250	PM 1 veiligheid is niet af te stellen	2	50%	250	PM 1 veiligheid is niet af te stellen	2	50% 34.49 Start
6300	Houdtfunctie F3 + AND valve + check valve NOK	1	75%	6300	Houdtfunctie F3 + AND valve + check valve NOK	1	75% 0-10 Start
2000	Druk-flow curve rechts NOK, druk buiten specificaties	1	100%	2000	Druk-flow curve rechts NOK, druk buiten specificaties	1	100% 0-500 Start

Figuur 18 Yield-analyse

Na het drukken op de knop "Start" voor een bepaalde fout komt er een scherm in beeld, zoals hieronder weergegeven in figuur 19. De periode van welke de data wordt gebruikt correspondeert met de periode bij de yield analyse, die de PE heeft ingegeven bij het scherm voor figuur 18. Linksboven in figuur 19 is de $\bar{X}$ -chart weergegeven (met een andere benaming) hierin is te zien hoe het proces in de loop der tijd is verlopen. Hierin zouden dus bepaalde trends zichtbaar kunnen zijn. De rode lijnen in de $\bar{X}$ -chart zijn niet de toleranties, maar de six-sigma spreidingsgrenzen ($\bar{X} \pm 3\sigma$).



Figuur 19 Capability Sixpack

In de grafiek onder de $\bar{X}$ -chart zijn de verschillen tussen twee opeenvolgende waarden weergegeven. Deze grafiek is niet zo interessant voor de PE. In de grafiek linksonder zijn de laatste 25 metingen geplot. In de grafiek rechtsboven is de capability-histogram te zien met de toleranties. Deze grafiek geeft weer of het proces onder controle is, dus of de spreiding groot is en of de mediaan dicht bij een specificatiegrens ligt. Onder de capability-grafiek zijn de uitkomsten van de normaal-test weergegeven, hier is dus te zien of de beschouwde data normaal verdeeld is. Dat de data normaal verdeeld is is een vereiste voor het berekenen van de C_p - en de C_{pk} -waarden, welke rechts onderaan weergegeven zijn tezamen met de standaardafwijking. De benchmarks die Power-Packer gebruikt zijn dat de C_p - en de C_{pk} -waarden op lange termijn groter moeten zijn dan 1,33.

In feite is nu al het hele proces dat is weergegeven in figuur 6 in korte tijd doorlopen. In de volgende paragraaf wordt een methode besproken om meer structuur te geven aan het vervolg van de RCA.

5.1.2. Stappen tijdens een RCA

Niet alle handelingen in de RCA kunnen worden geautomatiseerd, deze subparagraaf is gewijd aan de vraag hoe de PE de RCA het beste stap voor stap kan doorlopen. De aanbevelingen wat betreft de stappen die moeten worden doorlopen, zijn slechts aanbevelingen. Niet bij elk probleem is het nodig om alle stappen te doorlopen. De ervaren PE moet een bepaalde vrijheid behouden bij het doen van een RCA en moet zelf inschatten of een bepaalde stap in een bepaalde situatie van toegevoegde waarde is. Het is echter wel van belang dat zonder uitzondering de reparatiehandleiding moet worden geüpdatet en het documentatiedocument moet worden ingevuld als de RCA is afgerond.

Als de aanbeveling uit paragraaf 5.1.1 wordt opgevolgd heeft de PE met een paar drukken op de knop de capability-analyse en de $\bar{X}$ -chart voor zich. Op basis van de capability-histogram kan de PE beoordelen of het proces onder controle is, dus hoe groot de spreiding is, of het proces normaal verdeeld is en of het normale proces wel tussen de specificatielimieten zit. In de $\bar{X}$ -chart is te zien of

de geconstateerde afkeur voort komt uit uitschieters of dat er een structurele verandering in de meetwaarden is (trend of sprong in de data). Deze grafieken kunnen worden gemaakt voor verschillende tijdspannen.

De RCA's moeten worden opgeslagen op de computer in de map die gewijd is aan een bepaald type pompsysteem. In deze map moet een map komen met de titel "RCA". Daarin moeten mappen komen voor elke foutcode waarvoor een RCA is uitgevoerd, deze mappen moeten de foutcode als naam hebben. In deze mappen moeten de bestanden met de gedocumenteerde RCA's komen, gerangschikt op datum van uitvoering. In bijlage 6 is grafisch weergegeven hoe dit eruit moet komen te zien.

Vervolgens kan de PE kijken of er al gedocumenteerde RCA's zijn, die te maken hebben met dezelfde foutcode en hetzelfde systeem. Als het nodig is kan ook in gedocumenteerde RCA's worden gekeken of de fout is voorgekomen in andere lijnen. Ook moet de PE kijken of er nuttige informatie te vinden is in de reparatiehandleiding. Daarna moet de PE kijken in de reparatiedata van de lijn om te kijken wat er is gebeurd met de afgekeurde systemen (zijn ze bijv. gerepareerd en daarna goedgekeurd?).

Een aanbeveling uit paragraaf 4.2.1 is om een visgraatdiagram te maken van de mogelijke oorzaken van een specifieke fout. Het is nuttig om te kijken of er al eerder een visgraatdiagram is gemaakt. Als dit het geval is kan het een goede bron van informatie zijn voor de PE. Wellicht is het nodig om het visgraatdiagram te updaten. Als er nog geen visgraatdiagram is, kan het zinvol zijn dat de PE er één opstelt. Het opstellen van een visgraatdiagram is handig voor toekomstige referentie, maar als de oorzaak van een probleem al evident is, heeft het geen hoge prioriteit om een visgraatdiagram te maken. Het visgraatdiagram kan worden opgeslagen in de map van de RCA's voor een bepaalde foutcode.

Een visgraatdiagram kan ook al gemaakt worden voordat een fout is opgetreden. Bij het maken van FMEA's wordt al nagedacht over fouten die mogelijk op kunnen treden, het zou van toegevoegde waarde zijn om tegelijk met het opstellen van FMEA's ook visgraatdiagrammen op te stellen. Een FMEA (failure mode and effects analysis) is een analyse van een productieproces, waarbij mogelijke fouten die kunnen optreden d.m.v. een brainstormsessie worden opgesomd. Vervolgens wordt het risicoprofiel van deze fouten ingeschat (*Pillay & Wang, 2002*).

In het geval dat er meerdere foutcodes tegelijk een grote rol spelen, is het een goed idee om een ID te maken, zoals besproken in paragraaf 4.5.

In veel gevallen zal de PE op dit punt al een idee hebben waar de rootcause ligt. Op dit punt wordt de analyse een divergent proces. Het zal sterk afhangen van het probleem welke stappen de PE moet ondernemen. Het is niet mogelijk om verder te standaardiseren. In deze gevallen zal het nuttig zijn om gebruik te maken van de DMAIC-methode, zoals behandeld in paragraaf 4.2.1.

Het moet, voordat de RCA wordt afgerond, zeker zijn dat de aanpassing het probleem heeft opgelost. Dit is in feite de "Control"-stap van het DMAIC-model, er moet worden gekeken of het proces weer hetzelfde functioneert als voor het optreden van het probleem (in termen van zaken als spreiding, gemiddelde, FPY). Als er een blijvende verandering in het proces is moet deze worden verantwoord. Ook moeten er maatregelen worden genomen om te zorgen dat het probleem niet meer optreedt. Nagegaan moet worden of een gevonden oplossing direct van belang kan zijn bij andere lijnen.

Misschien kunnen er naar aanleiding van de RCA ook verbeteringen worden bedacht voor de productie van andere pompsystemen, om bijvoorbeeld te voorkomen dat een bepaalde fout in de toekomst op zal treden bij een andere lijn.

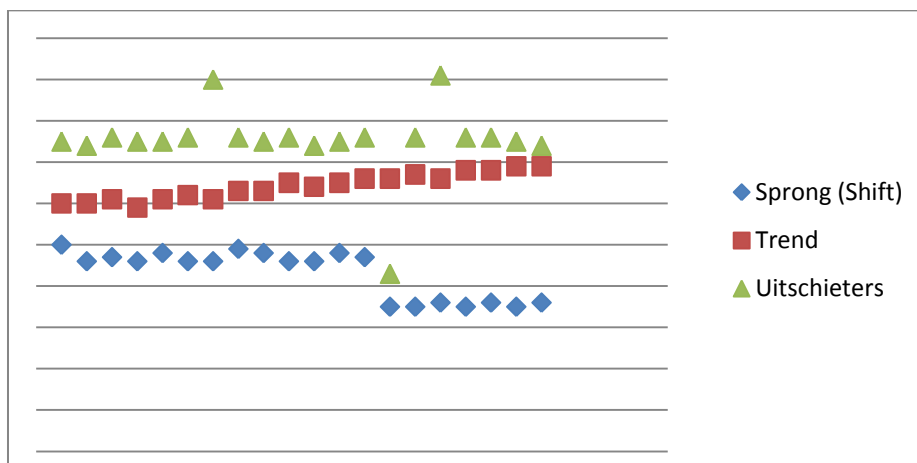
Na afloop van een RCA moet de reparatiehandleiding worden geüpdatet. Er moet dus worden gekeken of voor de beschouwde foutcode aanvullende adviezen kunnen worden gegeven aan de productiemedewerkers als het probleem zich herhaald. Ook moet het standaarddocument (bijlage 5) om de RCA te documenteren nauwkeurig worden ingevuld.

5.1.3. Vervolgstappen

Op een bepaald punt in de RCA wordt het moeilijk om nog verdere standaardisatiestappen te maken. In figuur 6 is dit punt de laatste node, dus na het bijeenzoeken van alle informatie en na het maken van de capability-sixpack. In termen van de DMAIC-methode is dit het laatste deel van de analysestap. Op dit punt wordt de analyse erg specifiek voor het probleem en omdat er honderden verschillende problemen te onderscheiden zijn met allemaal weer meerdere mogelijke rootcauses.

Een laatste onderscheid tussen verschillende fouten dat we kunnen maken wordt gegeven door *Demirli and Vijayakumar (2008)*, zij onderscheiden drie oorzaken van afkeur:

Oorzaken van uitschieters, oorzaken van verschuivingen en oorzaken van geleidelijke verschuivingen. Een meetwaarde wordt een uitschieter genoemd als hij buiten de $\pm 3\sigma$ -grens vanaf het gemiddelde. Verschuivingen worden gedetecteerd als het gemiddelde van een groep meetwaardes in één sprong opvallend verandert. In termen van de tests van Shewhart, worden verschuivingen in data gedetecteerd door tests 2, 5 en 6. Een derde patroon die te ontdekken is in data is een trend, een geleidelijke verschuiving van het gemiddelde. De drie soorten patronen die te zien zijn in data zijn hieronder grafisch weergegeven in een soort $\bar{X}$ -chart met op de y-as de meetwaarden en op de x-as de twintig metingen op volgorde.



Figuur 21

Door het indelen van rootcauses in categorieën, wordt het vinden van de rootcause door middel van patronen in de $\bar{X}$ -chart van de meetdata vergemakkelijkt. Het brengt de PE sneller dicht bij de daadwerkelijke oorzaak van de afkeur.

Na het bepalen van de categorie waarin de afkeur valt, zou aan de hand van historische data moeten worden bepaald welke vervolgstappen in de RCA zinvol zijn. Aan de hand van historische data zou namelijk bepaald kunnen worden welke stappen in het verleden het meeste effect hebben gehad, wanneer een bepaald afkeurpatroon is opgetreden. Het is moeilijk om uitspraken te doen over vervolgstappen bij verschillende patronen, omdat deze historische data (nog) niet beschikbaar is bij Power-Packer.

Wel kunnen er een aantal algemene regels worden geformuleerd per patroon. Zo is het verstandig om bij een sprong in de data te kijken wat er is gebeurd op het moment van die sprong. Is er bijvoorbeeld van leverancier gewisseld? Of zijn er andere wijzigingen doorgevoerd? Verschuivingen in de data kunnen worden veroorzaakt door kapotte machines, verwisseling van leveranciers, verandering in testmethodes of instellingen van machines en door de introductie van nieuwe werknemers in de productielijn. Uitschieters kunnen worden veroorzaakt door zaken als assemblagefouten, meetfouten en verkeerde onderdelen. Een trend kan worden veroorzaakt door slijtage van machines of testbanken en veranderingen in de omgeving waarin wordt geproduceerd.

Nogmaals, op basis van historische data kunnen nauwkeurigere uitspraken worden gedaan over de relatie tussen het patroon, de foutcode en de rootcause.

5.2. Documentatie

5.2.1. Reparatiehandleiding

Ten eerste is het belangrijk om de afgeronde RCA te documenteren in de reparatiehandleiding, voor toekomstige referentie. Bovendien is, als het probleem zich nog een keer voordoet, de kans groter dat het probleem door de productiemedewerkers op de productievloer direct kan worden opgelost.

Ook moet het mogelijk worden gemaakt om de reparatiehandleiding een lerende applicatie te maken. Op dit moment worden bij een foutcode een aantal (of één of geen) adviezen gegeven. De productiemedewerker kijkt eerst naar het eerste advies en volgt het al dan niet op en kijkt vervolgens als het nodig is naar het tweede advies enzovoort. Het programma zou zo geprogrammeerd moeten worden dat eerst het advies wordt gegeven wat in het verleden het meest heeft geholpen.

In principe kunnen alle soorten fouten worden gedocumenteerd in de reparatiehandleiding, ook fouten die niet direct kunnen worden opgelost op de productievloer. Er is altijd wel een handeling die door de productiemedewerkers ter plekke gedaan kan worden.

Het goed invullen van de reparatiehandleiding faciliteert dus een snellere probleemoplossing en kan fungeren als steun voor de PE. Het invullen van de reparatiehandleiding is echter niet afdoende. Een to-the-point documentatie van de hele RCA is ook van belang, hier gaat de volgende paragraaf over.

5.2.2. Verdere documentatie

Alle uitgevoerde RCA's moeten op een centrale plek, met een vaste structuur opgeslagen worden. Hier is het belangrijk dat de koppeling tussen de foutcode en de gevonden rootcause duidelijk wordt gemaakt. Ook is het van belang dat duidelijk is welke stappen er zijn ondernomen om het probleem op te lossen. Zelfs als een RCA voor de PE vrij voor de hand ligt (de oorzaak is snel duidelijk), is het belangrijk dat een rootcause gedocumenteerd wordt. Andere PE's, bijvoorbeeld nieuwe PE's, kunnen namelijk toch uit deze informatie putten.

Het kan ook voorkomen dat er tijdens een RCA een verkeerde diagnose wordt gesteld, uiteindelijk zal dit dan nog tijdens een RCA blijken. Het is belangrijk dat ook deze foute diagnoses worden gedocumenteerd, want het kan houvast bieden in toekomstige RCA's.

Een RCA wordt opgeslagen, corresponderend met een foutcode en een bepaald type pompsysteem. Er kan tijdens een RCA ook informatie worden ingewonnen door het bekijken van gedocumenteerde RCA's van andere pompsystemen. Als de aanbeveling wordt opgevolgd om over alle lijnen de foutcodes gelijk te trekken, dus dat dezelfde fout bij verschillende lijnen wordt aangeduid door dezelfde foutcode en omschrijving, wordt het makkelijk om dit te doen.

In paragraaf 2.3 zijn de volgende eisen aan de documentatie geformuleerd:

- De documentatie moet niet te veel tijd kosten.
- Het document moet duidelijk en niet multi-interpreteerbaar zijn.
- Wanneer een reeds ingevuld document wordt geraadpleegd moet snel duidelijk zijn welke stappen er gedaan moeten worden om een probleem op te lossen.
- Een document moet direct verwijzen naar een type product en een type fout.
- Een document moet altijd gemakkelijk toegankelijk zijn.

In bijlage 5 is een voorstel voor een standaarddocument voor de documentatie van RCA's bij de automotive-afdeling bij Power-Packer bijgevoegd. Het idee is dat dit document bij elke RCA op de computer wordt ingevuld en opgeslagen. Het is dus mogelijk om een template te maken voor de PE's. Hier kan bij sommige invulvelden gebruik worden gemaakt van lijsten, waaruit de PE een bepaalde optie kan kiezen. Bijvoorbeeld een lijst waaruit de foutcode geselecteerd kan worden.

De DMAIC-methode wordt gebruikt om structuur aan te brengen in het document. Ook krijgt de PE in het document de mogelijkheid om ook buiten de standaardvelden nog extra informatie te geven. Als de PE bijvoorbeeld een uitgebreider onderzoek heeft gedaan (bijvoorbeeld een DMAIC-analyse) dan moet deze ook bij het document worden gevoegd.

Om te voldoen aan de gestelde eisen is het document vrij simpel en kort gehouden. Toch zit alle informatie die van belang is in het document. De PE heeft een grote mate van vrijheid wat betreft het detail waarmee hij het document invult, sommige RCA's vereisen meer detail dan andere.

Hoofdstuk 6 - Conclusies

In dit hoofdstuk wordt gereflecteerd op het verslag. In paragraaf 6.1 wordt het aangedragen geheel van oplossingen aan de in paragraaf 2.3 gestelde criteria voor de RCA getoetst. In paragraaf 6.2 worden de conclusies samengevat, door antwoord te geven op de probleemstelling. In paragraaf 6.3 worden de aanbevelingen nog eens kernachtig opgesomd.

6.1. Prestatieverbetering

A.d.h.v. de criteria voor het beoordelen van een foutendiagnosemethode van *Venkatasubramanian et al (2003)*, zoals besproken in paragraaf 2.3, kan worden bekeken op welke punten en op welke manier de onderdelen van de aangedragen oplossing bijdragen aan een verbetering van het RCA-proces. Deze analyse is gedaan voor belangrijke deeloplossingen uit het totaalpakket van oplossingen en bijgevoegd in bijlage 7.

Op basis van de analyse uit bijlage 7 wordt hier het totaalpakket aan aanbevelingen beschouwd. Bepaalde verbetervoorstellen hebben invloed op bepaalde criteria en minder op andere, dus de verbetervoorstellen worden behandeld waar ze van toepassing zijn.

- **Snelheid**

De snelheid waarmee gediagnosticeerd kan worden zal toenemen door een aantal van de aangedragen oplossingen. Zo zullen de verbeteringen met betrekking tot de software, zoals voorgesteld in paragraaf 5.1.1, ervoor zorgen dat de PE veel overbodig zoekwerk (bijvoorbeeld het zoeken van de toleranties) en overbodige stappen (bijvoorbeeld het invoeren van data in Minitab) bespaard blijft. Bovendien zullen een gestructureerde manier van werken en het gebruik van kwantitatieve hulpmiddelen helpen om eerder tot een juiste diagnose te komen. Wel is het zo dat bepaalde stappen in eerste instantie de PE extra tijd kosten, maar uiteindelijk wel bijdragen aan het effectiever uitvoeren van een RCA en zo op het eind tijdwinst opleveren.

- **Isolatiemogelijkheden**

Door het gebruik van statistische tools kan eerder, dichterbij een rootcause gekomen worden. Het is bijvoorbeeld, wanneer er sprake is van uitschieters, vaak al mogelijk om verschillende oorzaken uit te sluiten. De isolatie van de rootcause gebeurt door de aanbevelingen sneller.

- **Robuustheid**

De aangedragen standaardisatie zal er voor zorgen dat alle informatie die van belang is wordt meegenomen, ongeacht welke PE de RCA uitvoert. Dit zal ervoor zorgen dat de efficiency van een RCA minder afhankelijk is van de PE die hem uitvoert. Het systeem zal dus in grotere mate op continue wijze presteren.

- **Identificatiemogelijkheid van nieuwe fouten**

Het documenteren van oude RCA's zorgt ervoor dat fouten die in het verleden zijn opgetreden sneller kunnen worden gediagnosticeerd, wanneer ze opnieuw optreden. Het is echter moeilijk om van tevoren manieren te bedenken waarop nieuwe fouten kunnen worden geïdentificeerd. Door middel van het opstellen van een visgraatdiagram, wordt de PE uitgedaagd om alle mogelijkheden te beschouwen, maar hij zal niet altijd in staat zijn om nieuwe fouten te identificeren voor ze optreden. Uiteindelijk zal de PE (wellicht in samenwerking met anderen) altijd in staat zijn om de rootcause te vinden, ook bij het optreden van nieuwe fouten, dit is in de huidige situatie ook al het geval.

- **Schatting waarschijnlijkheid aangedragen oorzaak**

Het gebruik van statistische tools en van de historische gegevens uit gedocumenteerde RCA's zorgt ervoor dat de PE een gedegen afweging kan maken wat de meest waarschijnlijke oorzaak van een probleem is.

- **Flexibiliteit/aanpasbaarheid**

Er zijn verschillende verbetervoorstellen gedaan om te zorgen voor een meer lerend systeem. Zo is het de bedoeling dat de reparatiehandleiding na een RCA wordt geüpdatet en dat hierdoor het reparatieadvies dat de meeste kans op succes heeft als eerste wordt aangedragen. Wel is het zo dat het aanbrengen van structuur in algemene zin tegenovergesteld is aan flexibiliteit.

- **Duidelijkheid van de uitleg**

De verschillende aanbevelingen wat betreft de verbetering van de RCA hebben allemaal een positieve invloed op de manier waarop een PE de door hem uitgevoerde RCA uit kan leggen. Het gebruik van een methode als DMAIC voor de structurering van de RCA kan bijvoorbeeld zeer verhelderend zijn voor een buitenstaander. Ook het gebruik van de capability-histogram en de $\bar{X}$ -chart kunnen verhelderend werken voor andere PE's of andere mensen die betrokken moeten worden bij het vinden of oplossen van een probleem.

- **Identificatie van meerdere fouten**

Het identificeren van meerdere fouten die tegelijkertijd optreden blijft een lastig probleem. Het interrelationele diagram (ID), zoals besproken in paragraaf 4.5, kan helpen bij het identificeren van interactie tussen meerdere geconstateerde fouten.

6.2. Beantwoording van de probleemstelling en de aanbevelingen

De probleemstelling, zoals geformuleerd in paragraaf 2.2 was: "Hoe kan de RCA in het productieproces bij Power-Packer worden geoptimaliseerd, gestandaardiseerd en gedocumenteerd om de effectiviteit van het productieproces te verhogen?"

De aanleiding van deze probleemstelling is de notie die leeft binnen Power-Packer dat de RCA niet op de meest efficiënte manier wordt uitgevoerd. De veronderstelling is dat een meer gestructureerde aanpak deze efficiency zal verbeteren. Dit zal via de in hoofdstuk 2 beschreven relaties weer een positieve invloed hebben op de effectiviteit van het productieproces.

Om de probleemstelling te beantwoorden is een aantal aanbevelingen gedaan, die in de volgende paragraaf worden opgesomd. In het analysehoofdstuk (hoofdstuk 3) is een aantal problemen gevonden die een rol speelden rondom de uitvoering van de RCA. In hoofdstuk 4 is een aantal aanbevelingen gedaan en tools aangereikt om een groot deel van deze problemen op te lossen. In paragraaf 5.1 is een voorstel gedaan voor een standaardmanier voor de PE's bij Power-Packer om de RCA uit te voeren. De documentatiemogelijkheid correspondeert met deze standaardmanier. De documentatie wordt gefaciliteerd door het document dat wordt voorgesteld (bijlage 5). Deze moet voor elke RCA worden ingevuld door de PE.

Hieronder volgen kernachtig de aanbevelingen die volgen uit hoofdstukken 4 en 5, verdeeld in drie categorieën: aanbevelingen voor tijdens de uitvoering van een RCA, aanbevelingen rondom de documentatie en overige aanbevelingen (zaken die aan het licht zijn gekomen tijdens het onderzoek, maar minder direct betrekking hebben op de RCA of de documentatie van de RCA).

Nieuwe stappen tijdens uitvoering RCA:

- Raadpleeg de reparatiedata.
- Raadpleeg de reparatiehandleiding.
- Raadpleeg gedocumenteerde RCA's met betrekking tot dezelfde fout (eventueel ook van andere lijnen).
- Raadpleeg het visgraatdiagram (als deze beschikbaar is voor de beschouwde fout).
- Maak een visgraatdiagram (als de oorzaak niet te zeer voor de hand ligt).
- Maak een ID als er meerdere foutcodes die met elkaar te maken lijken te hebben tegelijk optreden.
- Er moet vaker gebruik gemaakt worden van een structuratiemethode als DMAIC.
- Maak vaker gebruik van statistische en kwantitatieve onderbouwing (capability-analyse en $\bar{X}$ -charts)
- PE moet nagaan of een gevonden oplossing ook direct van nut kan zijn voor andere productielijnen.

Rondom documentatie:

- Documenteer elke RCA, d.m.v. een standaardformulier.
- Sla deze documentaties op een centrale plek (op de computer) op, zodat op foutcode en pompsysteem gezocht kan worden.
- Update na elke RCA de reparatiehandleiding.
- Zorg voor een functionaliteit in de reparatiehandleiding die ervoor zorgt dat het meest relevante reparatieadvies als eerste wordt gegeven.
- Update het visgraatdiagram (voor zover beschikbaar).

Overige aanbevelingen:

- Breid de SPC-applicatie uit, zoals beschreven in paragraaf 5.1.1.
- Zorg voor een standaard voor foutcodes en beschrijvingen over verschillende productielijnen.
- Zorg voor TI's met duidelijke bestandsnamen, corresponderende met het type pompsysteem.
- Zet alle toleranties van alle meetwaarden van alle pompsystemen overzichtelijk in één (excel-) document.
- Productiemedewerkers moeten worden geïnstrueerd dat ze de reparatiedata nauwkeurig moeten invullen.
- Onderzoek of er een efficiëntere manier te bedenken is om informatie op een handigere, meer gestructureerde manier op te slaan.
- Start een onderzoek/ treed in gesprek met de PE's over de werkdruk die als hoog wordt ervaren.

De doelstelling van het onderzoek om meer inzicht te krijgen in het RCA-proces is gerealiseerd. Ook zijn er een aantal aanbevelingen gedaan en tools aangereikt om de RCA efficiënter te maken. Tevens is er een voorstel gedaan voor een document (bijlage 5) om RCA's te documenteren. Alles tezamen biedt dit onderzoek een handvat om de efficiëntie van de RCA te verhogen en daarmee de effectiviteit van het gehele productieproces.

Literatuurlijst

- Aleaddini, A., & Dogan, I. (2011). Using Bayesian networks for root cause analysis in statistical process control. *Expert Systems with Applications* 38 , 11230–11243.
- Angeli, C. (1999). An online expert system for fault diagnosis in hydraulic systems. *Expert systems* 16.2 , 115-120.
- Boddy, D. (2008). *Management: An introduction*. Harlow: Pearson Education Ltd.
- Demirli, K., & Vijayakumar, S. (2008). Fuzzy assignable cause diagnosis of control chart patterns. *Annual Conference of the NAFIPS* .
- Does, J. M., & Trip, A. (2010). Quality Quandaries: Interpretation of Signals from Runs Rules in Shewhart Control Charts. *Quality Engineering*, 22:4 , 351-357.
- Garvin, D. A. (1993). Building A Learning Organization. *Harvard Business Review* july-august , 79-91.
- Gwiazda, A. (2006). Quality tools in a process of technical project management. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* Vol.18 , 439-442.
- Hahn, G. J., Hill, W. J., Hoerl, R. W., & Hinkgraf, S. H. (1999). The Impact of Six Sigma Improvement-A Glimpse into the Future of Statistics. *The American Statistician*, Vol. 53, No. 3 , 208-215.
- Hu, W., Starr, A. G., & Leung, A. Y. (2003). Operational fault diagnosis of manufacturing systems. *Journal of Materials Processing Technology* , 108-117.
- Isermann, R. (1993). Fault Diagnosis of Machines via Parameter Estimation and Knowledge Processing. *Automatica* 29.4 , 815-835.
- Mintzberg, H. (1980). STRUCTURE IN 5'S: A SYNTHESIS OF THE RESEARCH ON ORGANIZATION DESIGN. *Management Science* 26-3 , 322-341.
- Pillay, A., & Wang, J. (2002). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering and System Safety* 79 , 69-85.
- Venkatasubramanian, V., Rengaswamy, R., Yin, K., & Kavuri, S. N. (2003). A review of process fault detection and diagnosis - Part I: Quantitative model-based methods. *Computers and Chemical Engineering* 27 , 293-311.

Afkortingen

BPMN – Business Process Modeling Notation
DMAIC – Define, Measure, Analyze, Improve, Control
FMEA – Failure Mode and Effect Analysis
FPY – First Pass Yield
FTA - Fault Tree Analysis
ID – Interrelationeel Diagram
LSL – Lower Specification Limit
OCAP – Out of Control Action Plan
PDCA – Plan, Do, Check, Act
PE – Production Engineer
RCA - Rootcauseanalyse
SPC – Statistical Process Control
TI - Testinstructie
USL – Upper Specification Limit

Bijlagen

Bijlage 1: Bedrijfsschets

Power-Packer in Oldenzaal is een bedrijf dat zich bezig houdt met het produceren van hydraulische systemen, ookwel Controlled Motion Systems genoemd. Deze systemen worden met name gebruikt in cabrioletdaken bij auto's en voor het kantelen van de cabines van vrachtwagens, maar ze kunnen ook in andere gebieden toepassing vinden zoals in de zorg en de scheepvaart. Het bedrijf is wereldwijd marktleider op het gebied van aandrijfsystemen voor cabrioletdaken en truckcabines. Het bedrijf heeft wereldwijd een aantal vestigingen, het hoofdkantoor en een groot deel van de productie zijn gevestigd in Oldenzaal. In Oldenzaal heeft het bedrijf ongeveer 450 werknemers en wereldwijd ongeveer het dubbele. Power-Packer draait een jaarlijkse omzet van 220 miljoen euro, waarvan 160 miljoen wordt toegeschreven aan de vestiging in Oldenzaal. Het bedrijf heeft in totaal ongeveer 25 verschillende klanten, die samen een vraag veroorzaken voor honderden verschillende type aandrijvingssystemen.

Bijlage 2: Formulier Peugeot-case

Formulier Peugeot case (in te vullen door de onderzoeker)

t1:

Case Peugeot T76 van 27 april

t2:

Naam PE:

t3:

Datum & tijd van uitvoering:

[illegible]

Welke stap(pen) zou u nu ondernemen om de rootcauseanalyse voort te zetten?

Waar denkt u dat het probleem kan zitten en met welke waarschijnlijkheid (in %)? Er mogen meerdere problemen worden aangedragen.

Op basis waarvan heeft u conclusies getrokken? (bijv.: ervaring, statistische analyse)

Is het überhaupt mogelijk om een goede schatting te maken van de waarschijnlijkheid van een bepaalde oorzaak?

Ruimte voor vragen die opkomen tijdens de rootcauseanalyse:

Bijlage 3: Uitkomst Peugeot-case

Case 1

27-4; 9:30

Tijdmetingen:

Geen

Vervolgstappen:

- Kalibreren testbank

Conclusies per foutcode:

444: Heeft wellicht te maken met 430.

445: Niet bekeken.

341: Heeft waarschijnlijk te maken met 430.

430: Foute lengte cilinders(fout leverancier) **5%**
Foute afstelling meetinstrument testbank **85%**
Onbekende andere fout **10%**

Conclusies getrokken op basis van ervaring.

Case 2

18-5; 8:30

Tijdmetingen:

t1: 0:46 ; 10:01

t2: 2:43 ; 12:04 ; 16:06

t3: 18:11

Vervolgstappen:

- Cilinders (inclusief gleuf rempiston) laten nameten.
- Overleggen productiemedewerkers.
- Uitzoeken of er veranderingen hebben plaatsgevonden rond 28 februari.

Conclusies per foutcode:

444: Fout ligt bij gleuf rempiston(fout leverancier) **90%**
Onbekende andere fout **10%**

445: Onbekend

341: Heeft waarschijnlijk te maken met 444.

430: Niet bekeken.

Conclusies getrokken op basis van ervaring.

Case 3

18-5; 13:30

Tijdmetingen:

t1: 2:56

t2: 9:40

t3: 22:02

Vervolgstappen:

- Cilinders (inclusief gleuf rempiston) laten nameten.
- Cilinders laten controleren op lekkage.
- Overleggen productiemedewerkers.
- Bestuderen hydraulisch schema.

444: Fout ligt bij gleuf rempiston(fout leverancier) **60%**

Er is een lekkage ergens in de cilinder **20%**

Onbekende andere fout **20%** (bijv. foute lengte cilinders of POCV-fout)

445: Heeft misschien te maken met 444.

341: Heeft waarschijnlijk te maken met 444.

430: Heeft waarschijnlijk te maken met 444.

Conclusies getrokken op basis van ervaring.

Case 4

19-5; 13:30

Tijdmetingen:

t1: 1:48

t2: 26:56

t3: 39:48

Vervolgstappen:

- Cilinders laten nakijken op lekkage.
- Cilinders laten nakijken op ontbrekende onderdelen.

Conclusies per foutcode:

444: Fout ligt bij gleuf rempiston(fout leverancier)

Ontbrekende onderdelen in de cilinder (fout assemblage)

Er is een lekkage ergens in de cilinder

Onbekende andere fout

De PE durft geen uitspraken te doen over waarschijnlijkheid, omdat hij geen historische data bezit.

445: Niet bekeken.

341: Niet bekeken.

430: Niet bekeken.

Conclusies getrokken op basis van bouwtekeningen/ hydraulische schema's systeem en ervaring.

Bijlage 4: Reparatiehandleiding onderzoek

Er zijn slechts twee lijnen, waarvan de reparatiehandleiding redelijk is gevuld (voor ongeveer 50% van de foutcodes minstens één reparatieadvies). Dit is de E95-lijn, waarvan de systemen worden getest op een conventionele testbank en de E88-lijn, waarvan alleen de pomp wordt getest. Deze lijnen worden vergeleken met twee lijnen, waarvan de reparatiehandleiding helemaal niet is ingevuld. De hypothese is dat de kwaliteit (de FPY) van de lijnen met reparatiehandleidingen hoger is. De steekproefgrootte (twee lijnen) is niet groot genoeg om een definitieve conclusie te trekken, maar dit is de enige informatie die beschikbaar is. Ook moet worden onthouden dat er andere zaken invloed hebben op de waarde van de FPY's van de lijnen.

In onderstaande tabel staat weergegeven welke lijnen worden bekeken. Er wordt gekeken naar de totale FPY en de yield ($\frac{\text{Goedgekeurde tests}}{\text{Aantal tests}}$) op de functionele test van het afgelopen jaar, vanaf 20 april.

	Conv. testbank	Pomptestbank
Met reparatieadviezen	Renault E95	BMW E88
Zonder reparatieadviezen	Peugeot T76	Volvo P15

20-5-2010 tot 20-5-2011	FPY	Yield	# Unieke systemen
Peugeot T76	95,3%	94,4%	16649
Renault E95	94%	92,2%	14414
Volvo P15	93,5%	91,3%	10035
BMW E88	93,5%	92,4%	22222

Er zijn geen duidelijke aanwijzingen die de hypothese dat de lijnen met reparatieadviezen beter presteren ondersteunen. Het is zelfs zo dat de T76-lijn beter presteert dan de E95-lijn. Wat wel opvalt is dat de yield van de E88-lijn beter is dan de yield van de P15-lijn bij gelijke FPY. Dit wil zeggen dat als er eenmaal een afkeur is geweest, dat de lijn met reparatieadviezen effectiever de reparaties aan de systemen heeft uitgevoerd. Nogmaals, er is niet genoeg data (niet genoeg lijnen met reparatieadviezen) om een goede onderbouwde uitspraak te doen over de vraag of de aanwezigheid van reparatiehandleidingen een positieve invloed heeft op de FPY.

Bijlage 5: Documentatiedocument

Define: **RCA-Report**

POWER-PACKER®

Datum:

Foutcode:

Error description:

PE:

Systeem:	Probleemschrijving:
Korte termijn oplossing/actie (indien van toepassing):	

Measure:

USL:

LSL:

$\bar{X}$ -chart(s):
Capability Plot(s):

Uitschieters ☐

Trend ☐

Shift ☐

Info uit historische analyses:	
Info uit reparatiedata (en –handleiding):	Info uit andere bronnen:

Visgraatdiagram (indien nodig):

Spelen meerdere foutcodes een rol, maak een ID-diagram:

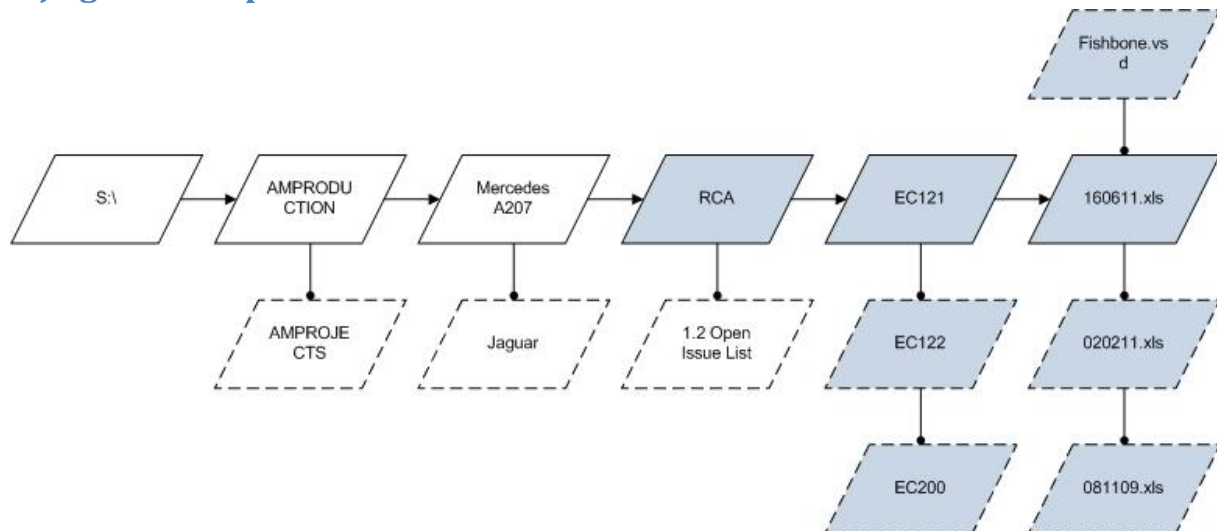
Gevonden rootcause:

Control:

- VERIFIEER DAT HET PROBLEEM IS OPGELOST
- UPDATE DE REPARATIEHANDLEIDING
-

Extra:

Bijlage 6: Het opslaan van RCA's



In de afbeelding is weergegeven waar, in welke map(pen) op de computer bij Power-Packer, de ingevulde RCA-documenten gedocumenteerd moeten worden. Met blauw is aangegeven welke mappen en bestanden nieuw zouden zijn t.o.v. de huidige situatie. De vakken met de onderbroken randen geven voorbeelden van mappen of bestanden die in dezelfde map staan als het vak waar ze aan gelinkt zijn.

Bijlage 7: Toetsing oplossingen aan criteria

Hier worden een aantal belangrijke deeloplossingen van het totaalpakket aan oplossingen ten behoeve van een hogere efficiency van de RCA getoetst aan de criteria die zijn gesteld in paragraaf 2.3. Er worden per deeloplossing enkel een aantal criteria behandeld, die beïnvloed worden door de deeloplossing.

DMAIC

De DMAIC-methode wordt in paragraaf 4.2.1 uitgelegd. De methode wordt gebruikt als oplossing voor het probleem dat er geen structuur zit in de huidige manier van het uitvoeren van een RCA.

- **Snelheid**

In eerste instantie kost het meer tijd als alle stappen van de DMAIC-methode moeten worden doorlopen. Als de PE niet gebonden is aan de DMAIC-stappen, zoals nu bij Power-Packer het geval is, zal hij bepaalde handelingen in een RCA overslaan en sneller tot een conclusie komen. De veronderstelling is echter dat deze conclusies over het algemeen minder goed zijn, dat wil zeggen dat het probleem wellicht niet wordt opgelost. Dit zorgt ervoor dat de PE opnieuw tijd moet gaan steken in het probleem, wat ervoor zorgt dat de totale tijd die wordt gestoken in de RCA langer is. Het gebruik van DMAIC is dus bevorderlijk voor de snelheid van de RCA.

- **Robuustheid**

Het doel van de DMAIC-methode is om structuur aan te brengen in de RCA. Deze structuur zorgt ervoor dat elke PE een aantal stappen moet doorlopen. Dit zorgt voor een robuustere uitkomst van de RCA, ongeacht welke PE hem uitvoert.

- **Duidelijkheid van de uitleg**

Het systematisch uitvoeren en documenteren van een RCA geeft een duidelijke houvast bij de uitleg van de RCA aan anderen die moeten worden betrokken bij het proces van de probleemoplossing. Het is voor iemand die niet direct in de materie zit duidelijker als de uitleg stapsgewijs gebeurt, de DMAIC-methode faciliteert dit.

Software verbeteren

De verbeteringen die worden voorgesteld aan de software die is gelinkt aan het SPC-systeem zijn uitgebreid besproken in paragraaf 5.1.1. Deze software wordt gebruikt aan het begin van de RCA, om de RCA efficiënter te maken door ervoor te zorgen dat de PE geen overbodige stappen hoeft te doen.

- **Snelheid**

De snelheid van de RCA verbetert, omdat de PE geen stappen meer hoeft uit te voeren die de computer een stuk sneller uit kan voeren.

- **Robuustheid**

De verbetervoorstellen voor de software zorgen ervoor dat de PE geen fouten kan maken in de stappen van de RCA die worden geautomatiseerd. Dit versterkt dus de robuustheid van het RCA-proces.

Statistische tools

De aanbevolen statistische tools worden geïntroduceerd in paragraaf 4.2.3 als hulpmiddelen voor de PE om conclusies te vormen en de conclusies kwantitatief te kunnen onderbouwen.

- **Isolatiemogelijkheden**
Door het gebruik van statistische tools kan eerder, dichterbij een rootcause gekomen worden. Het is bijvoorbeeld, wanneer er sprake is van uitschieters, vaak al mogelijk om verschillende oorzaken uit te sluiten.
- **Schatting waarschijnlijkheid aangedragen oorzaak**
Het gebruik van statistische tools en zorgt ervoor dat de PE een gedegen en onderbouwde afweging kan maken van wat de meest waarschijnlijke oorzaak van een probleem is.
- **Duidelijkheid van de uitleg**
Het gebruik van de capability-histogram en de $\bar{X}$ -chart kunnen verhelderend werken voor andere PE's of andere mensen (anders dan de PE die de RCA uitvoert) die betrokken moeten worden bij het vinden of oplossen van een probleem.

Visgraatdiagram

De visgraatdiagram wordt uitgebreid uitgelegd in paragraaf 4.2.1. Het is een handige methode om grafisch alle mogelijke oorzaken van een afkeur in een productieproces in kaart te brengen.

- **Snelheid**
Het opstellen van een visgraatdiagram kost in eerste instantie extra tijd. Als alle mogelijke oorzaken in kaart zijn gebracht kunnen er echter betere keuzes gemaakt worden wat betreft de te nemen vervolgstappen in de RCA.
- **Robuustheid**
Het opstellen van een visgraatdiagram dwingt een PE ertoe om goed na te denken over de verschillende mogelijke oorzaken van een fout. Het maakt het minder waarschijnlijk dat hij bepaalde oorzaken vergeet, wat ten goede komt aan de robuustheid van het RCA-proces.
- **Identificatiemogelijkheid van nieuwe fouten**
Door middel van het opstellen van een visgraatdiagram, wordt de PE uitgedaagd om alle mogelijkheden te beschouwen, maar hij zal niet altijd in staat zijn om nieuwe fouten te identificeren voor ze optreden.
- **Duidelijkheid van de uitleg**
De expressieve grafische manier waarop een visgraatdiagram de verschillende mogelijke oorzaken uitbeeldt, kan bevorderlijk zijn bij het uitleggen van een RCA.

Interrelationeel Diagram

In paragraaf 4.4 wordt uitgelegd hoe een ID werkt. Een ID is er voor bedoeld om de relaties tussen verschillende problemen die tegelijk optreden in een productieproces in kaart te brengen en om oorzaken en gevolgen te kunnen scheiden.

- **Identificatie van meerdere fouten**
Het interrelationeel diagram (ID), zoals besproken in paragraaf 4.5, kan helpen bij het identificeren van interactie tussen meerdere geconstateerde fouten. Ook helpt het de PE om alle fouten te identificeren.

Onderscheiden drie oorzaakcategorieën

In paragraaf 5.1.3 worden de drie oorzaakcategorieën besproken. Het plaatsen van fouten in één van deze categorieën is de laatste gestandaardiseerde stap waarin onderscheid tussen fouten kan worden gemaakt in een RCA.

- **Isolatiemogelijkheden**

Door het indelen van fouten in één van de categorieën komt de PE dichterbij de rootcause van een fout. Er kunnen op deze manier al bepaalde rootcauses worden uitgesloten.

Reparatiehandleiding updaten

De reparatiehandleiding en het idee om deze frequent te updaten is naar voren gekomen in paragraaf 5.2.1. Het updaten van de reparatiehandleiding zorgt ervoor dat problemen in de toekomst met grotere waarschijnlijkheid kunnen worden opgelost op de productievloer en het biedt een houvast tijdens toekomstige RCA's.

- **Snelheid**

Het updaten van de reparatiehandleiding kost de PE in eerste instantie meer tijd, maar kan uiteindelijk tijdswinst opleveren, doordat problemen in de toekomst al op de productievloer kunnen worden opgelost.

- **Schatting waarschijnlijkheid aangedragen oorzaak**

De reparatiehandleiding biedt een goede mogelijkheid om de oorzaak van een fout te koppelen aan een foutcode. Als er genoeg data is verzameld zorgt dit voor een beter inzicht in hoe waarschijnlijk een bepaalde oorzaak is. De reparatiehandleiding kan de fouten die in het verleden het meest zijn voorgekomen en de daarbij horende adviezen prioriteit geven boven fouten die minder vaak zijn voorgekomen.

- **Flexibiliteit/aanpasbaarheid**

De bedoeling is dat de reparatiehandleiding na een RCA wordt geüpdatet en dat hierdoor het reparatieadvies dat de meeste kans op succes heeft als eerste wordt aangedragen.

Documentatie

De in dit verslag aangedragen mogelijkheid wordt besproken in paragraaf 5.2.2 en gegeven in bijlage 5. Dit zorgt ervoor dat gewonnen informatie en kennis uit RCA's bewaard blijven voor toekomstige referentie.

- **Snelheid**

Het documenteren zelf kost de PE extra tijd bij het uitvoeren van de RCA. De documentatie zorgt er wel voor dat er tijdswinst te behalen is in de toekomst, omdat een gedocumenteerde RCA een bron van informatie is voor de PE. Als er bijvoorbeeld een fout wordt behandeld die al eerder is opgetreden hoeft de PE niet het wiel opnieuw uit te vinden.

- **Flexibiliteit/aanpasbaarheid**

De structuur die door middel van de DMAIC-methode is aangebracht in het standaarddocument (bijlage 5), zorgt ervoor dat het verloop van de RCA al redelijk vast staat

tot een bepaald punt. Het doel om structuur aan te brengen in de RCA is in die zin enigszins tegenstrijdig aan de wil om een systeem flexibel te houden. Als er bijvoorbeeld nieuwe inzichten komen wat betreft de manier dat RCA's moeten worden uitgevoerd moet het standaarddocument worden aangepast.

- **Duidelijkheid van de uitleg**

Met behulp van een gedocumenteerde RCA is het beter mogelijk om uit te leggen aan anderen welke stappen er zijn ondernomen tijdens een RCA en hoe er tot conclusies is gekomen.