



VMI EPE HOLLAND BV

UNIVERSITEIT TWENTE.

Logistieke verstoringen: Een onderzoek naar technische onderdelencontrole.



Verslag ten behoeve van VMI Holland Epe en Universiteit Twente
als onderdeel ter verkrijging van de graad van

Bachelor of Science
in
Technische Bedrijfskunde

door

Peter Muller

Enschede, Nederland
December 2012



VMI EPE HOLLAND BV

UNIVERSITEIT TWENTE.

BSc verslag Technische Bedrijfskunde

*LOGISTIEKE VERSTORINGEN: EEN ONDERZOEK NAAR TECHNISCHE
ONDERDELENSCONTROLE*

Peter Muller

Onderwijsinstantie: Universite Twente

Stagebedrijf: VMI Holland Epe B.V.

Eerste begeleider: dr. J.M.G. Heerkens

Tweede begeleider: dr. P.C. Schuur

Externe begeleider: dhr. B. Boer

December 2012

Enschede, Nederland

Samenvatting

Voor u ligt mijn bachelor-eindopdracht in het kader van het afsluiten van mijn bachelor Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Het onderzoek bevat een empirisch gedeelte, dat uitgevoerd is bij de Veluwe Machine Industrie (VMI) te Epe, een producent van onder meer bandenbouwmachines.

Het onderzoek richt zich op de logistieke processen binnen VMI, waarbij wordt gezocht naar mogelijk verstoringen. Er is in eerste instantie vrij breed gezocht naar mogelijke inefficiënte processen met als uitkomst een zestal mogelijke kernproblemen. Om het onderzoek vervolgens diepte te geven, is de keuze gemaakt om het kernprobleem “geen technische onderdelencontrole” verder uit te werken. Deze keuze is gemaakt door mogelijke kernproblemen af te strepen die minder relevant, moeilijk beïnvloedbaar of niet met volle zekerheid vast te stellen zijn.

Het ‘probleem’ van geen technische onderdelencontrole is in eerste instantie niet zozeer een probleem, maar juist een bewuste keuze van VMI, omdat zij een dermate hoge kwaliteit van de binnenkomende onderdelen van haar leveranciers eist, waardoor controle op onderdelen niet nodig is. Echter, na onderzoek blijkt dat de eis van een maximaal gemiddeld defectpercentage van 99,5% niet wordt gehaald, maar dat dit schommelt rond 98%. Ook vinden er binnen VMI zelf de nodige discussies plaats over enerzijds de leveranciersselectie en anderzijds de inrichting van een controlesysteem voor binnenkomende onderdelen. Ik heb in overleg met VMI besloten dat ik de procedures voor het selecteren van leveranciers niet uitgebreid ga analyseren, maar dat ik daar slechts globale uitspraken over zal doen. Ik heb mij dus voornamelijk bezig gehouden met de vraag hoe VMI om zou moeten gaan met de binnenkomende onderdelen. Het gevolg van foutieve onderdelen die niet gefilterd worden is namelijk dat dit hoge kosten met zich meebrengt door de vertragingen die projecten oplopen. Mijn onderzoeksvraag heb ik daarom als volgt geformuleerd:

‘Welk onderdelencontrolesysteem moet VMI hanteren om de totale kosten van procesvertragingen te verminderen en waar moet deze controle plaatsvinden?’

Ik ben hierbij begonnen met theorieën zoeken die mij wat meer konden vertellen over de invulling van een dergelijk controlesysteem. Buiten de vergaarde kennis over steekproeffrequenties, type onderdelen en mogelijke inspectiepunten, heb ik het model van Hsieh en Liu uitgebreid geanalyseerd. Dit complexe model beschrijft aan de hand van een soort speltheorie de strategische interactie tussen leverancier en producent, met als doel om een evenwicht in winst te creëren waar beide partijen tevreden mee zijn. Hieruit volgt dan een optimale steekproeffrequentie voor zowel de leverancier als de producent. Het model eist een hele lijst aan inputvariabelen, waardoor het model realistisch, doch ingewikkeld te implementeren wordt. In dit onderzoek is echter gepoogd om de benodigde variabelen te vinden en aan te tonen dat dit model een geschikt hulpmiddel kan zijn voor het bepalen of en waar inspectie nodig is op binnenkomende onderdelen. Er is informatie van één (niet te noemen) leverancier gebruikt die onderdelen levert aan VMI en hierop is het model vervolgens toegepast.

Ten slotte is er kwalitatief gekeken hoe een vergelijkbaar bedrijf omgaat met de controle op binnenkomende onderdelen. Het bedrijf Weir Minerals te Venlo, producent van grote waterpompen, was zo vriendelijk om mij te laten zien in welke mate zij technische inspectie toepassen op binnenkomende onderdelen. Dit bleek heel anders te gaan dan bij VMI.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	1
1.1 Doelstelling	1
1.2 Bepaling kernprobleem	1
1.3 Probleemstelling	6
1.4 Aanpak	7
2. Concepten en theorieën	8
2.1 Inleiding	8
2.2 Soorten onderdeleninspectie	8
2.3 Geschikte modellen	10
2.4 Conclusie	17
3. Analyse huidige situatie VMI	19
3.1 Inleiding	19
3.2 Controle	19
3.3 Onderdelenstroom	20
3.4 Gegevens over de afkeuren	21
3.5 Toepassing van het inspectiemodel van Hsieh en Liu	22
3.6 Conclusie	26
4. Resultaten	27
5. Analyse onderdelencontrole Weir	30
5.1 Inleiding	30
5.2 Onderdelencontrole	30
5.3 Gevolgen	30
5.4 Inrichting	31
5.5 Verbeterproces	31
5.6 Toevoeging voor het inspectiemodel	31
6. Conclusies en discussies	32
6.1 Conclusies modeltoepassing	32
6.2 Antwoord op de probleemstelling	34
Bronnenlijst	35

1. Inleiding

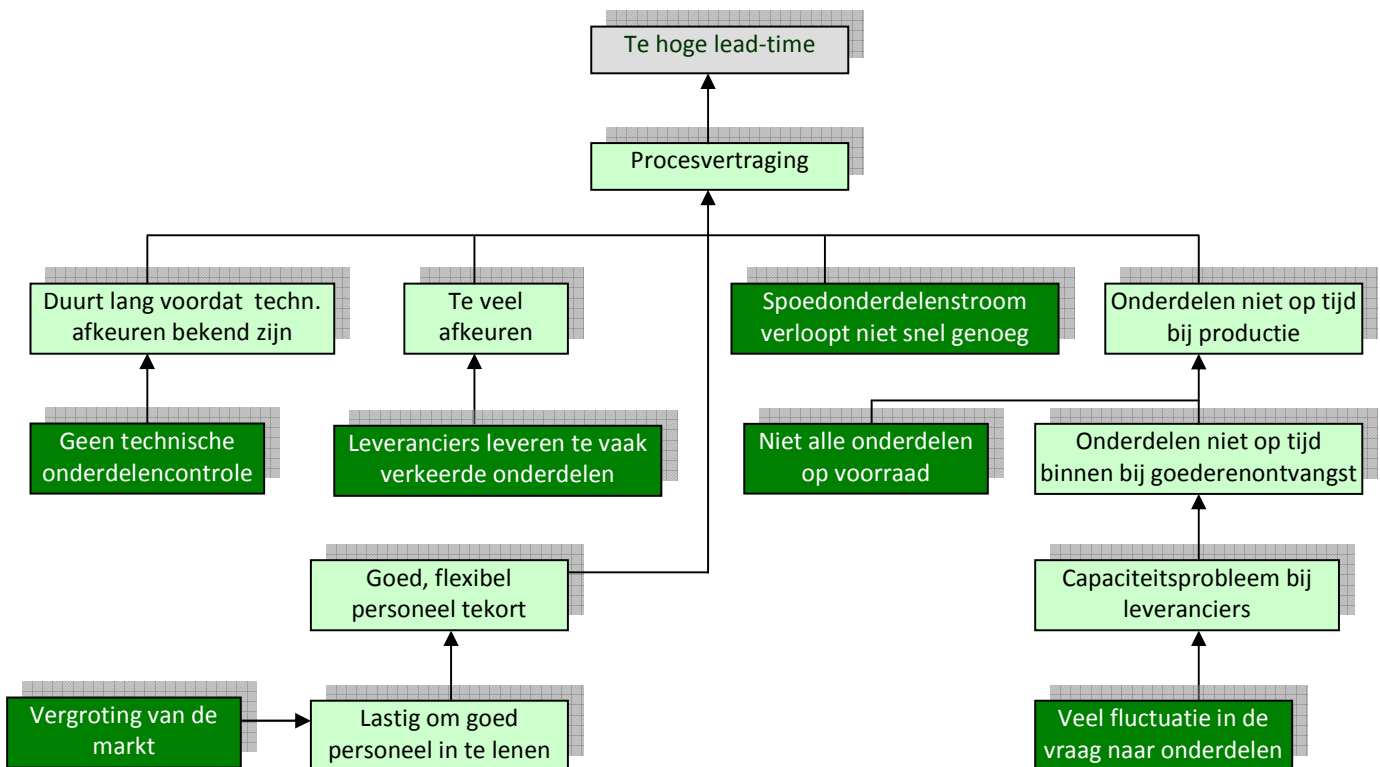
1.1 Doelstelling

De Veluwe Machine Industrie (VMI) Epe Holland, een onderdeel van de VMI Group, is een vooraanstaand fabrikant van onder meer bandenbouwmachines. Oorspronkelijk is het bedrijf opgericht voor kleine constructie- en herstelwerkzaamheden (1945), maar sindsdien uitgegroeid tot een innovatieve wereldspeler in de rubber- en bandenindustrie. Het produceren en assembleren van machines om autobanden te maken/testen is VMI's core business. Dit betekent dat er in de productiehallen van VMI Epe zelf geen autoband te zien is, maar dat hier alleen de machines zelf worden geproduceerd. Klanten van VMI zijn dus bandenproducenten over de hele wereld. Het bedrijf is op dit moment bezig om operational excellence te bereiken. Hiermee wordt bedoeld dat het bedrijf de beste kwaliteit wil leveren, volgens gemaakte afspraken en tegen concurrerende prijzen. Om dit te bereiken volgt VMI vanaf 2011 het verbeterprogramma Lean200+. Dit heeft onder andere als doel om het aantal verstoringen van het logistieke proces te verminderen en zo het proces zo lean mogelijk te laten verlopen. Op dit moment is er echter nog een aantal verstoringen dat het vloeiend verlopen van de logistieke processen tegenhoudt. Het gevolg hiervan is dat het logistieke proces vertraging oploopt en hierdoor een spoedproces ontstaat om de vertraging in te halen. Het is niet zo dat projecten altijd te laat worden geleverd bij de klant, maar wel dat er extra tijd en geld ingestoken moet worden om de vertraging in te halen. Dit is dus in strijd met de doelstelling om dit logistieke proces zo lean mogelijk te laten verlopen. Binnen het kader van het Lean200+ programma, zal het doel van dit onderzoek hierdoor worden:

'De verstoringen binnen het logistieke proces te verminderen'

1.2 Bepaling kernprobleem

Om dit doel te bereiken zal een kernprobleem gedefinieerd moeten worden. Aan de hand van onderstaande probleemkluwen, waar de geconstateerde oorzakelijke problemen in kaart gebracht zijn, bepalen we het kernprobleem. De probleemkluwen is een onderdeel van de Managerial problem solving method [9], een methode om op een structurele wijze problemen op te lossen. De gehele bepaling van het kernprobleem is tot stand gekomen door het gebruik van deze methode, in combinatie met continu overleggen met verschillende mensen binnen VMI. Er zijn problemen voorgelegd, er is waar nodig gevraagd om verificatie en de uiteindelijke probleemkluwen is voorgedragen aan de begeleiding. Het kan dus zo zijn dat het als lezer niet meteen duidelijk is waar een bepaalde uitspraak op gebaseerd is omdat er geen direct onderzoek is gedaan, maar hier is dan binnen VMI overeenstemming over.


FIGUUR 1: PROBLEEMKLUWEN

Het begint dus allemaal met het hoofdprobleem dat bovenaan staat. In eerste instantie was dit dat er te veel verstoringen binnen het logistieke proces zijn. Hoewel het aantal verstoringen best in een getal uit te drukken zou zijn, is het geen goede indicator. Om dit wat preciezer en meer meetbaar te maken, is er gekozen voor de te hoge lead-time. Immers, hoe meer verstoringen er in het proces zijn, hoe hoger de lead-time ligt. Dit is bovendien ook een vastgesteld probleem bij VMI. De lead-time is te hoog, dus ergens in het proces wordt vertraging opgelopen. Tenzij uiteraard de doelen te scherp zijn en er wellicht helemaal geen verstoringen zijn. Echter, op dit moment gaan we er vanuit dat de lead-time wel strakker kan worden, dus zien we dit als een probleem. Na enig onderzoek en een discussie met hoofd logistiek, blijkt dat er twee oorzaken aan te wijzen zijn voor het hoofdprobleem, namelijk willekeurige procesvertragingen en ingeplande procesvertragingen. Met dit laatste wordt bedoeld dat er projecten worden ingepland die sneller geleverd moeten worden dan de normale tijd die er voor staat. Hierdoor kunnen andere projecten worden vertraagd.

Met willekeurige procesvertraging wordt juist de vertraging bedoeld die ontstaat na verstoringen die niet het gevolg zijn van ingeplande afwijkende projecten. Deze verstoringen ontstaan dus willekeurig en kunnen beschouwd worden als een verspilling.

Voorraad

Eén van de oorzaken van deze willekeurige procesvertragingen, is dat onderdelen niet op tijd bij productie zijn. Het blijkt dat dit onder andere komt doordat niet alle onderdelen voorradig zijn. Dit is dan ook een mogelijk kernprobleem. Immers, als er meer voorraad aanwezig was, waren de gevolgen van een te late levering minder groot. De benodigde onderdelen zouden dan vanuit

de voorraad richting productie kunnen gaan. Dit is een vrij zwart-witte benadering, want er zijn goede redenen om bepaalde onderdelen niet op voorraad te houden. Echter, op dit punt kunnen we niet ontkennen dat dit een potentieel kernprobleem is.

Fluctuatie in de vraag

Een tweede oorzaak van het probleem dat onderdelen te laat bij productie zijn, is dat onderdelen te laat worden geleverd door de leverancier. Eén van de belangrijkste oorzaken hier weer van is dat een aantal leveranciers een capaciteitsprobleem heeft. Leveranciers zijn namelijk te laat op de hoogte van fluctuaties in de vraag van VMI en hierdoor kunnen problemen ontstaan met levertijden.

Spoedonderdelenstroom

Een andere belangrijke factor die procesvertraging veroorzaakt is het omgaan met spoedonderdelen. Het komt voor dat er onderdelen besteld worden die met spoed naar de betreffende productieploeg moeten. Als deze op de normale manier door het magazijn zouden gaan, zou dit vertraging opleveren. Om dit te voorkomen, zijn er op dit moment extra mensen nodig om de juiste spoedonderdelen bij de levering eruit te pikken en deze zo snel mogelijk naar productie te brengen. Hoewel dit een oplossing is voor het probleem, blijft er nog steeds verspilling over. Er blijkt namelijk dat onderdelen kwijt kunnen raken en dat mensen veel tijd kwijt zijn met het zoeken en brengen van onderdelen. Omdat dit veel tijd kost, betekent dit ook een langere leadtime. Op dit moment wordt de langere leadtime bestreden door er extra manuren aan te besteden. We kunnen dus stellen dat de langere leadtime het probleem is, dat wordt bestreden met hogere kosten. Het omgaan met spoedonderdelen verloopt dus niet optimaal en dit is dan ook een potentieel kernprobleem.

De arbeidsmarkt

Daarnaast speelt het tekort aan goed flexibel inleenpersoneel een rol. Het blijkt lastig voor VMI om altijd over genoeg capaciteit te beschikken met betrekking tot inleenpersoneel. Dit heeft als reden dat er een vergroting van de markt waarin VMI opereert opgetreden is. De vraag naar inleenpersoneel neemt toe, terwijl het aantal inleners dat beschikbaar is op de arbeidsmarkt niet veel meer toeneemt. Hierdoor ontstaat er een tekort aan flexibel personeel. We zien nu al dat dit een probleem is waar door het bedrijf zelf niets aan te doen valt, zoals we later ook duidelijker zullen toelichten.

Technische controle

Een ander potentieel kernprobleem is het probleem met technisch afgekeurde onderdelen. Dit probleem is tweeledig. In eerste instantie duurt het relatief lang voordat technische afkeuren worden opgemerkt. VMI kiest er bewust voor dat er geen technische ingangscntrole plaats vindt, omdat zij wil dat haar toeleveranciers kwalitatief goede onderdelen leveren. Dit houdt in dat goederenontvangst zo is ingericht, dat er alleen gecontroleerd wordt op het juiste aantal geleverde onderdelen. Zodoende zijn er twee verschillende afkeuren, de logistieke (verkeerd aantal) en de technische afkeuren. Onder dit laatste valt alles wat niet logistiek is. Hierbij moet gedacht worden aan onderdelen die niet volgens specificatie geproduceerd zijn, niet de juiste kleur hebben, elektrisch defect zijn, enz. De logistieke afkeuren worden dus wel bij goederenontvangst gefilterd, maar de technische afkeuren niet. Het gevolg hiervan is dat deze afkeuren pas opgemerkt worden, als ze bij de productieafdeling nodig zijn. Op dat moment ontstaat er een verstoring in het proces, aangezien er mensen tijd kwijt zijn om het probleem te verhelpen en in het ergste geval het project stil staat en dus vertraging op loopt. Pas als de

betreffende onderdelen nodig zijn bij productie worden deze opgemerkt als afgekeurd en ontstaat er vertraging. De oorzaak hiervan is dus dat er niet eerder gecontroleerd wordt op technische specificaties dan wanneer het onderdeel nodig is bij productie. Kortom, er is geen technische onderdelencontrole.

Leveranciers

Een andere reden voor de procesvertragingen is het te hoge aantal technisch afgekeurde onderdelen. Het probleem hierbij is dat leveranciers te veel afgekeurde onderdelen verzenden. In het beleid van VMI staat dat leveranciers minder dan 0,5% van hun verstuurd onderdelen als afgekeurd mogen versturen. In 2010 werd gemiddeld 1,4% van de verzonden onderdelen als afgekeurd bestempeld en in het eerste kwartaal van 2011 was dit 1,3%. Dit kan dus worden beschouwd als een mogelijk kernprobleem.

We zien dus dat de uiteinden van de probleemkluwen de 'root causes' vormen en dit zijn daarom de mogelijke kernproblemen. Er zijn, zoals hierboven is geconstateerd, zes mogelijke kernproblemen, namelijk:

- Fluctuatie in de vraag naar onderdelen
- Niet alle onderdelen voorradig
- Spoedonderdelenstroom verloopt niet snel genoeg
- Vergroting van de markt
- Geen technische onderdelencontrole
- Leveranciers leveren te vaak verkeerde onderdelen

Een kernprobleem valt af als deze niet beïnvloedbaar is of als deze niet met zekerheid vast te stellen is. Als er dan uiteindelijk meer dan één probleem over blijft, moet het meest relevante probleem worden gekozen als het kernprobleem.

Dat er geen voorspelling van de vraag van VMI bekend is bij leveranciers, is zowel een probleem dat met zekerheid vast te stellen is als dat het beïnvloedbaar is.

Dat er veel fluctuatie in de vraag naar onderdelen is, is een probleem dat vooral bij de wat meer klantspecifieke producten een probleem is. VMI kiest er ook bewust voor om deze producten aan te bieden en standaardiseert dit ook steeds meer. Er wordt een soort 'configure to order-politiek' nagestreefd, wat inhoudt dat er basisproducten worden aangeboden met allerlei verschillende opties. Dit kernprobleem is dus eigenlijk een gevolg van een bewust gekozen strategie, wat niet zomaar te beïnvloeden is. Dit probleem valt dus af.

Ook het probleem van weinig voorraad valt af. Dit is een simpel gevolg van het feit dat VMI een just-in-time-beleid nastreeft en dus zo min mogelijk voorraad wil hebben. Er is wel een voorraad aanwezig, maar dit is een zogenoemde anonieme voorraad. Hier halen werknemers van verschillende afdelingen onderdelen op die veel gebruikt worden en van weinig waarde zijn. Er is dus een splitsing in enerzijds onderdelen die op voorraad worden gehouden en worden aangevuld op een bepaald moment (two-bin systeem) en anderzijds onderdelen die niet op voorraad liggen en worden besteld wanneer deze nodig zijn. Dit is een methode om lean te werken en er worden voorraadmodellen toegepast om de totale kosten te minimaliseren. Omdat er veel extra onderzoek voor nodig zou zijn om dit te meten op optimaliteit, verwerpen we dit als kernprobleem.

Dat de binnenkomende spoedonderdelenstroom niet snel genoeg gaat, is een belangrijk en een beïnvloedbaar probleem. Als dit sneller gaat verlopen, zou dat meer rust geven in het gehele logistieke proces. Het is ook een erkend en actueel probleem bij VMI. Er wordt zelfs al aan een oplossing hiervoor gewerkt, door middel van het opzetten van een logistiek serviceteam. Dit team zou deze onderdelen moeten onderscheiden binnen de standaard (tragere) onderdelenstroom en af kunnen leveren bij productie. Ook zou dit team productie moeten voorzien van allerlei standaardonderdelen. Productiemedewerkers zijn nu veel tijd kwijt om onderdelen op te halen uit het standaardmagazijn. Er wordt op dit moment dus gewerkt aan een oplossing en daarom schrapen we dit ook als kernprobleem.

De vergroting van de markt die we constateerden als mogelijk kernprobleem, is een probleem waar weinig aan te doen valt. Dit is niet direct beïnvloedbaar en valt dus meteen af. Het is in deze tijd lastig om goed personeel in te lenen en daar moet rekening mee gehouden worden. Er kan echter niet direct wat aan dit probleem gedaan worden, behalve wellicht minder inlenen. Maar ook al zou dit worden gedaan, dan zijn waarschijnlijk de gevolgen te klein bij het oplossen van dit probleem. Als de processen nog niet goed genoeg verlopen, heb je weinig aan voldoende mankracht.

De problemen met betrekking tot de afgekeurde onderdelen zijn wel met zekerheid vast te stellen en problemen die te beïnvloeden zijn. Zowel het gebrek aan controle als het verkeerd aanleveren van onderdelen door leveranciers zijn problemen die aangepakt kunnen worden.

Zodoende blijven er nog drie problemen over, waarvan bepaald moet worden welke het meest relevant is. De laatste twee problemen hebben een groot verband met elkaar, aangezien deze beide betrekking hebben op afgekeurde onderdelen. Dit is ook een vrij groot probleem, aangezien er veel tijd verloren gaat met het oplossen van de technisch afgekeurde onderdelen. Er is in overleg met hoofd logistiek ook overeengekomen dat deze problemen relevant zijn en samen een goede opdracht vormen. Hiermee zal de focus komen te liggen op de volgende twee kernproblemen:

1. Geen technische onderdelencontrole
2. Leveranciers leveren te vaak verkeerde onderdelen

Voor het kernprobleem 'leveranciers leveren te vaak verkeerde onderdelen' richten we ons op de 'supplier quality assurance'-afdeling. Deze afdeling streeft namelijk de kwaliteit van toeleveranciers na. Na een korte discussie met de verantwoordelijke persoon van deze afdeling en hoofd logistiek, is gebleken dat er een groot knelpunt zit in de selectieprocedure van leveranciers. Deze procedure is niet eenduidig en wordt door verschillende sourcing buyers anders geïnterpreteerd. In overleg is gesteld dat het oplossen van dit probleem het aantal afkeuren zou moeten verminderen.

Ondanks dat de focus op beide problemen komt te liggen, is er in overleg met de begeleider van VMI besloten dat dit onderzoek zich primair richt op het eerste probleem (geen technische onderdelencontrole). Dit probleem zal hier volledig worden uitgewerkt, terwijl voor het tweede kernprobleem (leveranciers leveren te vaak verkeerde onderdelen) slechts na wordt gegaan wat de belangrijkste oorzaken zijn. Voor dit tweede probleem zullen slechts richtlijnen worden gegeven. Later zal blijken dat dit probleem ook terug komt bij het onderzoek naar het eerste

probleem, omdat hier raakvlakken mee zijn. Hier zal dan, waar nodig, aandacht aan worden besteed.

1.3 Probleemstelling

Om het kernprobleem op te kunnen lossen, hebben we de volgende probleemstelling opgesteld:

‘Welk onderdelencontrolesysteem moet VMI hanteren om de totale kosten van procesvertragingen te verminderen en waar moet deze controle plaatsvinden?’

Het laatste gedeelte van de probleemstelling is enigszins overbodig, aangezien de plaats van de controle als het ware een onderdeel van het controlesysteem is. Ter verduidelijking nemen we dit echter wel op in de probleemstelling. Er is bewust gekozen voor de kosten als indicator en niet de tijd, aangezien ingangscntrole geld kost. Dit moet ook meegenomen worden, anders krijgen we een foutief beeld van de beste oplossing. De deelvragen die aansluiten bij de geformuleerde probleemstelling zijn:

1. *Welke onderdelencontrolesystemen bestaan er volgens de literatuur?*

Om een goed beeld te krijgen van de soorten onderdelencontrolesystemen, moet eerst onderzocht worden welke systemen er bekend zijn en of er ervaringen zijn bij andere, vergelijkbare organisaties. Dit kan door middel van een literatuuronderzoek.

2. *Welk onderdelencontrolesysteem hanteert VMI op dit moment en wat zijn de kosten hiervan?*

Om de uiteindelijk gewenste situatie te kunnen realiseren, moet er eerst bekeken worden hoe VMI op dit moment om gaat met het controleren van onderdelen. We weten al dat er geen technische controle plaats vindt, maar wellicht dat we dit beter kunnen omschrijven in termen van de uitkomsten van de vorige deelvraag. Ook moeten we de totale kosten weten van het niet controleren om in een later stadium een correcte vergelijking te kunnen maken. Dit valt onder de noemer ‘huidige situatie’.

3. *Hoe gaan vergelijkbare organisaties om met technische controle op onderdelen?*

Om een goede uitspraak te doen over welk onderdelencontrolesysteem VMI zou moeten hanteren, kan ook naar de invulling van een onderdelencontrolesysteem door vergelijkbare organisaties worden gekeken. Het kan een goede benchmark zijn om te onderzoeken hoe organisaties met een vergelijkbaar soort productieproces en/of product omgaan met technische controles op binnenkomende onderdelen. In dit onderzoek wordt bij het bedrijf Weir te Venlo bekeken hoe zij omgaan met deze controle. Dit is, net als VMI, een bedrijf dat grote, technisch vrij specifieke machines bouwt en hiermee dus vergelijkbaar.

4. *Welke eisen stelt VMI aan het invoeren van een controlesysteem?*

Hier moet nog bekeken worden wat de randvoorwaarden zijn vanuit VMI met betrekking tot het invoeren van een dergelijk controlesysteem. Er moet dus beredeneerd worden wat de gevolgen zullen zijn voor een bepaalde keuze en dit moet dan vergeleken worden met de randvoorwaarden. Het kan zo zijn dat een oplossing in strijd is met bepaalde strategieën.

5. *Hoe scoren de alternatieven op verschillende criteria?*

Aan de hand van te verzamelen criteria, kunnen alternatieve systemen gescoord worden op criteria om uiteindelijk een keuze te kunnen maken welk systeem het meest geschikt is.

6. *Hoe moet dit systeem concreet geïmplementeerd worden?*

Ten slotte moet er bekeken worden hoe de gemaakte keuze geïmplementeerd moet worden en welke veranderingen/gevolgen dit met zich mee brengt. Dit wordt allemaal in kaart gebracht bij deze laatste deelvraag.

1.4 Aanpak

Om te beginnen zal er in de literatuur worden gezocht naar de soorten controlesystemen die bestaan, dus hoe er invulling gegeven kan worden aan het controleren op de kwaliteit van aangeleverde onderdelen. Dit wordt dus een literatuuronderzoek, gericht op mogelijke modellen die ons meer kunnen vertellen over het gebruik van controlesystemen en kwaliteitsmanagement.

Daarna zal er begonnen worden met een analyse van de huidige situatie. Hierbij wordt eerst gekeken hoe VMI op dit moment omgaat met controle. Dus waarom wordt er op bepaalde punten wel of niet gecontroleerd en in welke mate? Er zal verder onderzocht worden wat de kosten zijn van de situatie zoals men er nu mee om gaat bij de VMI. Dus feitelijk wordt er berekend wat de extra kosten zijn van technische afkeuren ten gevolge van het niet controleren van de aangeleverde producten. Dit zal als volgt onderzocht gaan worden. Er zal eerst goed moeten worden bekeken hoe het gehele bedrijf werkt door middel van rondleidingen en gesprekken met mensen van verschillende afdelingen. Dit moet echter niet teveel tijd kosten, dus dit zal in de eerste weken gebeuren. Daarna zal er snel de diepte in moeten worden gegaan. Er zullen verschillende mensen worden geïnterviewd en er zal ook gebruik moeten worden gemaakt van secundaire data, waar nodig.

In het volgende hoofdstuk zal er onderzocht worden hoe een vergelijkbaar bedrijf, dus een bedrijf met een soortgelijk product en/of productieproces om gaat met onderdelencontrole. Dit is het bedrijf Weir Minerals, gevestigd in Venlo. Hier zal ook een rondleiding worden gevolgd door het bedrijf en aansluitend een interview worden gehouden met de verantwoordelijke persoon van de afdeling kwaliteitshandhaving.

Vervolgens worden de mogelijkheden bekeken hoe VMI om zou kunnen gaan met technische afkeuren en worden hier conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

Ten slotte moet er nog geanalyseerd worden wat de consequenties zijn voor het invoeren van de gemaakte keuze.

2. Concepten en theorieën

2.1 Inleiding

Het probleem van geen technische controle op binnenkomende onderdelen is een complex probleem. VMI wil zo lean mogelijk zijn en dit betekent dat verspillingen uit den boze zijn. Controle (waar dan ook) betekent in zekere zin toch een verspilling, aangezien dit tijd kost en de doorlooptijd belemmert. Ook kost dit uiteraard de nodige manuren. Aan de andere kant betekent geen controle dat er afgekeurde onderdelen door het proces gaan en pas laat opgemerkt worden. Dit kan dus ook opgevat worden als een soort verspilling. De vraag is dus waar en of er controle moet plaats vinden. Deze vraag is een onderdeel van het meer algemene begrip kwaliteitsmanagement.

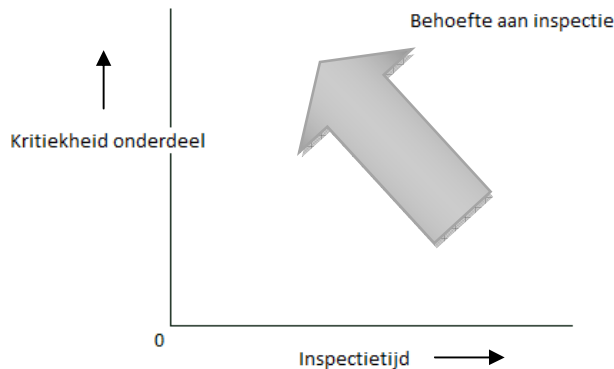
2.2 Soorten onderdeleninspectie

Er zijn verschillende mogelijkheden om de onderdelen in het logistieke proces te controleren. Eén daarvan is door honderd procent controle uit te voeren. Het blijkt echter dat het systeem van honderd procent controle niet waterdicht is. Bedrijven die dit systeem hanteren blijken inefficiënt te werk te gaan. Niet alleen omdat dit een zeer kostbare zaak is, maar ook omdat gebrekkige onderdelen alsnog de inspectie passeren. Dit laatste verschilt echter wel per bedrijf, want dit is afhankelijk van het soort product. Er blijken twee factoren te zijn die het percentage defecte doorgelaten onderdelen beïnvloeden, namelijk de technische complexiteit van de onderdelen en de diversiteit tussen de onderdelen. Ook hangt het in zekere mate af van de kwaliteit van het controlepersoneel, maar dit is direct te linken aan de kwaliteitsinvestering van een bedrijf. Uiteindelijk is het percentage defecte doorgelaten onderdelen dus een functie van de kwaliteitsinvestering (te beïnvloeden) en de (niet direct te beïnvloeden) technische complexiteit en diversiteit van onderdelen. Er zijn bedrijven die onderdelen binnenkrijgen die dermate kritisch zijn, dat er met honderd procent zekerheid moet worden vastgesteld dat ze kwalitatief goed zijn. Deze onderdelen moeten dus altijd gecontroleerd worden. Bedrijven die zulke onderdelen nodig hebben, zouden volgens Van der Bij, Broekhuis en Gieskes [1] een lijst met kritieke onderdelen moeten opstellen waarvoor dit geldt. Bij goederenontvangst zouden deze onderdelen dan altijd gecontroleerd moeten worden.

Daarnaast is het ook nog lastig om bepaalde onderdelen te controleren, omdat deze daar eigenlijk te complex voor zijn en dus alleen met bijvoorbeeld destructieve proeven te controleren zijn. Dit is dus enorm tijdsintensief en dus zeer kostbaar. Het enige voordeel van dit systeem is dat er geen onderzoek nodig is om een lijst met kritische onderdelen te maken. [1] Concluderend zijn er dus twee drivers om de binnenkomende onderdelen te controleren:

1. De kritiektheid van de onderdelen in de rest van het productieproces.
2. De tijd die het kost per onderdeel om te controleren.

In een grafiek zou dit er als volgt uit zien:

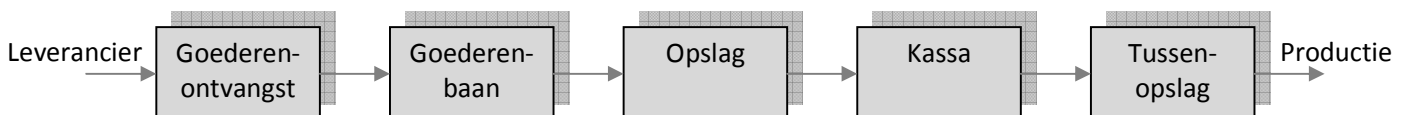


FIGUUR 2: DRIJFVEER OM INSPECTIE TOE TE PASSEN

Naast de honderd procent controle, is het dus ook mogelijk om bepaalde onderdelen altijd te controleren. Er kan bijvoorbeeld worden gekozen voor kritieke onderdelencontrole en deze controle dan bij elk kritiek onderdeel uit te voeren. Dit is een veel voorkomende oplossing. Vereiste hiervoor is dan wel een goede waterdichte lijst met kritische onderdelen. [2]

Er zijn echter ook methodes voor inspectie op basis van steekproeven ontwikkeld. Er kunnen zeer betrouwbare resultaten worden verkregen door het gebruik van statistiek om dan steekproefsgewijs te controleren. Deze methode is vooral goed hanteerbaar als de binnenkomende onderdelen standaard en niet kritisch voor het proces zijn. [1]

Ook kunnen er verschillende inspectiemomenten worden onderscheiden. Behalve controle bij goederenontvangst, kan er ook gecontroleerd worden in een andere stap voordat de onderdelen bij productie aankomen. [2] Binnen VMI verloopt de onderdelenstroom, voordat de onderdelen bij productie arriveren, als in figuur 2.



FIGUUR 3: ONDERDELENSTROOM VMI

Dit zouden potentiële stappen kunnen zijn voor controle bij VMI, maar daar wordt later verder op in gegaan.

Ook hangt controle af van de meetbaarheid en mogelijkheid tot inspectie. Er zijn verschillende punten waarop gecontroleerd kan worden. Met behulp van een analyse van afgekeurde onderdelen kan binnen een organisatie worden onderzocht welke soort gebreken er bestaan en hoe dit geïnspecteerd en gemeten kan worden. Methodes zijn bijvoorbeeld het opmeten van de juiste maten, het vergelijken van de kleur met de juiste kleur en een visuele controle op het ontbreken van bepaalde gedeeltes. [1]

Het is dus belangrijk om te onderzoeken waarom en wat er gecontroleerd zou moeten worden. Hiervoor moeten criteria worden opgesteld en aan de hand hiervan kan bepaald worden of en

waar er gecontroleerd moet worden. Uiteindelijk gaat het om de vraag welke inspectiemethode waar zou moeten worden uitgevoerd, zodanig dat de baten van inspectie groter zijn dan de kosten hiervan. De kosten van de inspectiemethode zullen alleen de personeelskosten en de kosten om dit proces in te richten omvatten. Er moet echter ook rekening gehouden worden met de extra tijd die hiermee gepaard gaat, dus dat het proces vertraging op zou kunnen lopen door de inspectie, wat voorkomen moet worden.

De baten van inspectie zullen de winst in tijd zijn die geboekt wordt wanneer foutieve onderdelen eerder kunnen worden opgemerkt (en nieuwe onderdelen eerder kunnen worden besteld) en de besparing op de kosten die gemaakt worden met het afhandelen van technische afkeuren en uiteraard de technische afkeuren zelf.

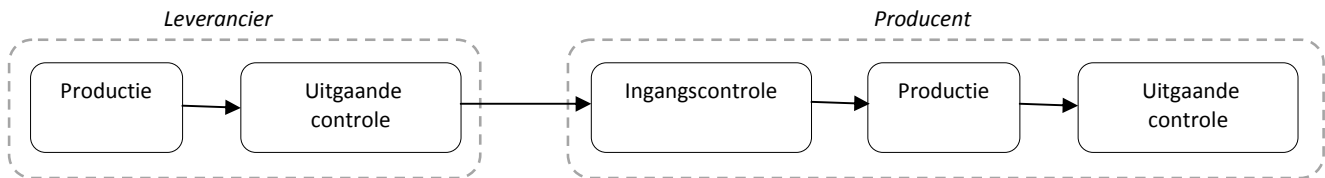
2.3 Geschikte modellen

De kwaliteit van eindproducten is niet alleen afhankelijk van het assembleren van de producent zelf, maar ook van de kwaliteit van aangeleverde componenten. Hier komen we het tweede kernprobleem weer tegen, van leveranciers die niet altijd kwalitatief goede onderdelen leveren. Het is dus van belang dat zowel de producent als de toeleverancier in zekere mate kwaliteitsmanagement toepast, zoals inspectie en kwaliteitsverbetering, zodat het aantal defecte onderdelen dat de supply chain passeert minimaal is. Hoewel een producent en toeleverancier verschillende voorkeuren kunnen hebben voor de mate van investering in kwaliteitsmanagement, zijn er volgens Hsieh en Liu [3] verschillende strategieën voor de interactie tussen producent en toeleverancier met betrekking tot kwaliteitsinvesteringen en inspectie. Het uiteindelijke doel is om, vanuit verschillende strategieën, aan te tonen dat er een optimale winst te behalen is voor zowel de leverancier als de producent bij bepaalde kwaliteitsinvesteringen en steekproefcontroles. Dit betekent dus dat het tweede kernprobleem op twee manieren zou kunnen worden bekeken:

1. De procedure voor het selecteren van leveranciers. Als de leveranciers niet aan de doelstellingen van de producent voldoen, is er wellicht ergens wat mis met de selectieprocedure.
2. Het aansturen van leveranciers op kwalitatief goede onderdelen. Het kan ook zijn dat de oplossing gezocht moet worden in het beter communiceren naar de leverancier wat de verwachtingen en eisen zijn vanuit de producent.

Nu is het voor een producent makkelijk om te eisen van een leverancier dat zij vrijwel 100% goede kwaliteitsonderdelen levert, maar uit verschillende numerieke studies, onderzocht door Hsieh en Liu [3] en Liu en Hipel [10] is gebleken dat het voor leveranciers niet rendabel is om een uitgaande controle van bijna 100% te bewerkstelligen. In het achterhoofd moet ook gehouden worden dat controle altijd een soort van verspilling is. Volgens Hsieh en Liu [3] is het al dan niet controleren van binnenkomende producten slechts een onderdeel van een soort speltheorie, waarin leverancier en producent de twee partijen zijn. Er zou dus niet zoets zijn als winstoptimalisatie, maar juist strategische acties tussen de twee partijen wat naar een soort evenwicht zou leiden waar beide partijen tevreden mee zullen zijn.

In het meest simpele geval, gaan Hsieh en Liu ervan uit dat er slechts één producent en één leverancier is, beiden met imperfecte productieprocessen en waarbij de producent levert aan de eindklant. Elk product heeft exact één onderdeel van de leverancier nodig. In figuur 3 staat de onderdelenstroom inclusief controlepunten.



FIGUUR 4: ONDERDELENSTROOM INCLUSIEF CONTROLEPUNTEN

Het model werkt nu als volgt. Omdat de leverancier en de producent tegengestelde belangen kunnen hebben, zijn we geïnteresseerd in de strategische interactie tussen beiden. We zoeken uiteindelijk naar een evenwicht in de winsten van de leverancier en de producent. Dit betekent dat de uitkomst van het model niet per se optimaal is voor de producent in de zin dat de winst wordt gemaximaliseerd. Hsieh en Liu gaan er namelijk vanuit dat er strategische beslissingen worden genomen door beide partijen en dat er dan een soort evenwicht volgt. Bij dit evenwicht horen bepaalde winsten en het kenmerk van dit evenwicht is dat er, wanneer er een positieve winstverschuiving voor de ene partij zou plaats vinden, dit negatieve gevolgen heeft voor de winst voor de andere partij. Dit betekent dat de som van de winsten ook niet per se gemaximaliseerd wordt, maar dat er voor zowel de leverancier als de producent een soort patstelling wordt gecreëerd, wat zou resulteren in bepaalde winsten voor beide partijen. Het model is een non-coöperatieve variant van de speltheorie, waarbij beide spelers dus handelen zonder bepaalde bindende afspraken te maken te kunnen maken tijdens het spel.

Hsieh en Liu hebben in hun model vier spelvarianten geschetst. De overeenkomst is dat er altijd vijf dezelfde variabelen in het model worden gebruikt, maar het verschil zit in de keuze welke van deze vijf gebruikt worden als input- en welke als outputvariabelen. De vijf variabelen die Hsieh en Liu als mogelijke input- en outputvariabelen beschrijven zijn:

- Kwaliteitsinvesteringen in het productieproces van de leverancier (q_{sp}) en van de producent (q_{mp})
- Steekproeffrequenties van de uitgaande controle van de leverancier (ρ_{so}), de ingangscntrole van de producent (ρ_{mi}) en de uitgaande controle van de producent (ρ_{mo})

In de onderstaande tabel staat de logica achter de notaties voor de indices, gebaseerd op Engelse termen.

Afkorting	Engelse term
sp	supplier production site
mp	manufacturer production site
so	supplier outbound
mi	manufacturer inbound
mo	manufacturer outbound

TABEL 1: ENGELSE AFKORTINGEN VOOR DE INDICES

Aan de hand van deze q_{sp} , q_{mp} , ρ_{so} , ρ_{mi} en ρ_{mo} kan een te verwachten winst voor de leverancier en voor de producent worden berekend. De gedachtegang achter de verschillende soorten variabelen die als input of als output worden gezien, is dat er in de praktijk verschil is tussen de openheid en vaststelling van deze variabelen. Neem bijvoorbeeld een setting waarbij de producent alleen leveranciers heeft en wil hebben die aan de doelstelling voldoen dat de kwaliteitsinvestering van het productieproces een waarde van minimaal X heeft en minimaal Y % van de uitgaande onderdelen controleert. Dan hebben we een situatie gecreëerd waarbij we drie onbekenden hebben en twee vastgestelde waardes, namelijk:

- $q_{sp} = X$
- $q_{mp} = \text{onbekend}$
- $\rho_{so} = Y$
- $\rho_{mi} = \text{onbekend}$
- $\rho_{mo} = \text{onbekend}$

Nu is dit één van de 32 verschillende varianten die kunnen ontstaan bij de keuzes van verschillende variabelen. Er zijn namelijk vijf variabelen die ofwel als input, ofwel als output worden gebruikt. Dit leidt dus tot $2^5 = 32$ mogelijke combinaties. Nu schetsen Hsieh en Liu slechts vier verschillende spelvarianten van de mogelijke 32. Het is echter zo dat de ene situatie realistischer is dan de ander en zo hebben Hsieh en Liu ongetwijfeld meer redenen om slechts vier situaties uit te werken. Het model werkt echter hetzelfde voor elke situatie. Het verschil zit in de complexiteit van het uitwerken van het model. Vier outputvariabelen en slechts één inputvariabele is veel makkelijker uit te werken dan andersom. Wanneer er een of meerdere van deze variabelen vast staan, betekent dit dat deze waarden bekend zijn voor zowel de leverancier als de producent. Dit is een belangrijke eigenschap van het model en dit zorgt er voor dat het geen coöperatief spel wordt. Tijdens het spel kunnen er namelijk geen afspraken meer worden gemaakt, maar alleen van tevoren kunnen dus bepaalde variabelen worden vastgesteld en bekendgemaakt. In onderstaande tabel zijn de vier verschillende spelvarianten die Hsieh en Liu gebruiken weergegeven, met daarbij de vijf variabelen die danwel als input-, danwel als outputvariabelen worden gebruikt.

Waarde	Game I	Game II	Game III	Game IV
q_{sp}	output	output	output	input
ρ_{so}	output	output	input	output
ρ_{mi}	output	input	output	output
q_{mp}	output	output	input	input
ρ_{mo}	output	output	input	input

TABEL 2: DE VERSCHILLENDE VARIABELEN PER SPELSITUATIE

Verder is er een lijst aan inputvariabelen die gebruikt worden in het model, zie onderstaande tabel. Hier zal later aan gerefereerd worden.

Afkorting	Betekenis
sp, so	Indices: De productie en uitgaande controle van de leverancier
mi, mp, mo	Indices: De ingangscntrole, de productie en de uitgaande controle van de producent
ss, mis, mos	Indices: Controleactiviteiten bij de leverancier (uitgaand), bij de producent (inkomend) en bij de producent (uitgaand).
X_i	Indicator; $i = \{sp, so, mi, mp, mo, ss, mis, mos\}$
$\Phi_i (X_i)$	De kans op X_i
q_{sp}, q_{mp}	De kwaliteitsinvesteringen van de leverancier en de producent
ρ_i	De steekproeffrequentie bij de controlepunten; $i = \{so, mi, mo\}$
θ_i	De kans dat een defect onderdeel/product ten onrechte correct wordt gecontroleerd
w_s	De boetekosten per onderdeel voor de leverancier
w_m	De boetekosten per product voor de producent
p_s, p_m	De verkoopprijs per onderdeel van de leverancier en per product van de producent
r_i (q_i)	De afkeurfrequentie in termen van kwaliteitsinvesteringen; $i = \{sp, mp\}$
φ_j	Een pad dat de materiaalstroom beschrijft (aan de hand van X_i 's)
Ψ_j	De kans dat pad φ_j zich voor doet
SP_j, MP_j	De relatieve winsten voor de leverancier en de producent per pad φ_j
CP_i	De productiekosten per onderdeel/product in termen van kwaliteitsinvesteringen q _i ; $i = \{sp, mp\}$
CI_i	De inspectiekosten per onderdeel/product in termen van steekproeffrequenties ρ_i ; $i = \{so, mi, mo\}$
π_s, π_m	De verwachte relatieve winsten van de leverancier en de producent

TABEL 3: DE GEBRUIKTE PARAMETERS EN VARIABELEN IN HET MODEL VAN HSIEH EN LIU [3]

Het gebruikte model werkt nu als volgt. Er worden prijzen p_s en p_m vastgesteld voor respectievelijk de prijzen van een component en voor een product. Ook worden er vaste boetes w_s ($w_s > p_s$) en w_m ($w_m > p_m$) vastgesteld, respectievelijk voor een defecte component die bij de inspectie van de producent wordt opgemerkt en voor een defect product dat aan de klant geleverd wordt. Een aanname is dat boetes niet meer op de leverancier verhaald kunnen worden als het defecte onderdeel de inspectie van de producent al voorbij is. De keuze is nu voor een leverancier en producent om te investeren in kwaliteit van het productieproces, waardoor het percentage afkeuren kleiner wordt. Dit model gaat uit van de volgende formules van kwaliteitsinvesteringen versus de ratio afkeuren:

$$r_i(q_i) = 1 - \alpha_i \cdot q_i, \quad i = \{sp, mp\}, \quad 0 < q_i < 1$$

waarbij r_i de afkeurfrequentie is, q_i de kwaliteitsinvestering is en α_i een correctiefactor is ($0 < \alpha_i \leq 1$). Met een maximale kwaliteitsinvestering ($q_i = 1$) en een α_i van 0,98 zou het afkeurpercentage dus $1 - 0,98 \cdot 1 = 0,02$ zijn. Dit betekent dat gemiddeld 2% van de gefabriceerde onderdelen of producten defect is.

Nu hebben we de kwaliteitsinvestering q_i nog niet gespecificeerd. Hsieh en Liu gebruiken de bovenstaande lineaire vergelijking waarbij r_i een functie is van q_i en waarbij $0 < q_i < 1$. Dit betekent dat er niet duidelijk is wat een minimum- en een maximuminvestering is. Echter, volgens Balachandran en Radhakrishnan [11] hoeft de kwaliteitsinvestering niet per se in bedragen uitgedrukt te worden en kan de q_i worden gezien als 'de kans dat een onderdeel voldoet aan de gewenste eisen'. Als we dit op deze manier bekijken, verklaart dit een aantal eigenschappen. Ten eerste liggen kansen altijd tussen de 0 en 1, zoals het geval is bij de q_i . Ten

tweede verklaart dit de lineaire vergelijking r_i met α_i . De kans dat een onderdeel wordt afgekeurd is namelijk gelijk aan 1 minus de kans dat het onderdeel kwalitatief goed is maal de correctiefactor. De correctiefactor is in dit geval de kans dat een onderdeel tussen het productieproces en de controle kwalitatief goed blijft.

De q_i kan dus worden opgevat als kans in plaats van als een directe investering. Dit betekent dat deze kans als input- of als outputvariabele gezien moet kunnen worden. We kunnen deze q_i dan als volgt interpreteren:

- q_i als inputvariabele: Er wordt van tevoren afgesproken wat de doelstelling is met betrekking tot de frequentie afgekeurde onderdelen. Hierbij wordt dan de q_i berekend, aan de hand van $r_i(q_i)$. Ongeacht wat het kost of wat de methoden zijn om dit te bereiken, heeft het management dus besloten dat de q_i een bepaalde waarde heeft.
- q_i als outputvariabele: De q_i wordt bepaald, zodanig dat er een evenwicht in winsten ontstaat. Dit betekent dat de gevonden waarde voor q_i een productieproces voorstelt dat zodanig ingericht moet zijn dan de kans op een kwalitatief goed onderdeel gelijk is aan deze q_i . Mocht er bijvoorbeeld uit het model resulteren dat $q_{mp} = 0,8$ en heeft de producent op dit moment een kostenintensief productieproces dat resulteert in $q_{mp} = 0,95$, dan kan de producent er voor kiezen om minder in het productieproces te investeren, om een evenwicht in winst te realiseren. Wederom: Het resultaat hoeft niet per se optimaal te zijn voor de producent, maar volgens de speltheorie van Hsieh en Liu zou dit resulteren in een uiteindelijke patstelling waarbij beide spelers 'tevreden zullen zijn'.

Nu we deze variabelen gespecificeerd hebben, noemen we nog de kostenfuncties, bestaande uit de productiekosten CP_i en de inspectiekosten CI_i , die Hsieh en Liu gelijk stellen aan:

$$CP_i = \frac{1}{2}a_i \cdot q_i^2 - b_i \cdot q_i \quad i = \{sp, mp\}, \quad q_i > 2b_i/a_i, \quad a_i, b_i > 0$$

$$CI_i = c_i + d_i \cdot p_i \quad i = \{so, mi, mo\} \quad c_i, d_i > 0$$

waarbij a_i , b_i , c_i en d_i vooraf worden bepaald. Dit zijn vrij abstracte functies die lastig zijn te beredeneren. De exacte invulling van de kostenfuncties zal per bedrijf verschillen. Het belangrijkste hier is dat we de productiekosten, voor het produceren van één onderdeel/product, hier laten afhangen van de kwaliteitsinvestering q_i . Hoe hoger de kwaliteitsinvestering aan het productieproces, hoe hoger ook deze productiekosten. Deze productiekosten zijn daarnaast relatief. Er zou zelf een dergelijke functie kunnen worden opgesteld met de juiste gegevens. Als we bijvoorbeeld een kostenstijging X per product waarnemen als we q_i verhogen van 0,7 naar 0,8, en een kostenstijging Y wanneer we q_i verhogen van 0,8 naar 0,9, kunnen we een functie opstellen. Volgens Balachandran en Radhakrishnan [11] zou in dit voorbeeld Y altijd groter zijn dan X. Er zou dus een soort paraboolfunctie ontstaan [11].

Ten slotte zijn er nog de theta parameters θ_i ($i = \{so, mi, mo\}$) die tussen de 0 en 1 liggen en aangeven hoe perfect de inspectieprocessen zijn. Een defect onderdeel wordt bij de uitgaande leverancierscontrole gemarkeerd als zijnde goed met een kans van $1 - \theta_{so}$. Daarentegen wordt een goed onderdeel nooit gemarkeerd als zijnde defect. De kwaliteit van het inspectieproces is

ook een van tevoren vastgestelde waarde. Eigenlijk is dit een soort correctiefactor voor het feit dat het voor komt dat defecte onderdelen niet altijd worden opgemerkt.

Het model gaat nu verder met indicatoren X_i ($i = \{sp, ss, so, mis, mi, mp, mos, mo\}$) die altijd 0 of 1 zijn. Er is een totaal van acht van deze indicatoren, die hieronder beschreven zijn:

- $X_{sp} = 1$ als een onderdeel, geproduceerd door de leverancier, defect is en 0 anderszins;
- $X_{ss} = 1$ als een onderdeel bij de leverancier gecontroleerd wordt en 0 anderszins;
- $X_{so} = 1$ als een defect onderdeel wordt opgemerkt bij de leverancierscontrole en 0 anderszins;
- $X_{mis} = 1$ als een onderdeel bij de producent wordt gecontroleerd en 0 anderszins;
- $X_{mi} = 1$ als een defect onderdeel wordt opgemerkt bij de ingangcontrole van de producent en 0 anderszins;
- $X_{mp} = 1$ als een product, geproduceerd door de producent, defect is en 0 anderszins;
- $X_{mos} = 1$ als een product wordt gecontroleerd bij de uitgaande controle van de producent en 0 anderszins;
- $X_{mo} = 1$ als een defect product wordt opgemerkt bij de uitgaande controle van de producent en 0 anderszins.

Als voorbeeld nemen we X_{sp} . Dit zegt dus dat een onderdeel wel of niet defect wordt geproduceerd door de leverancier. Als we deze op 0 zetten, dus dat een onderdeel dat gemaakt wordt door de leverancier niet defect is, dan kunnen we bij X_{so} geen waarde meer invullen. Dit is namelijk 0 of 1, afhankelijk van het wel of niet detecteren van een defect onderdeel. Het onderdeel is bij $X_{sp} = 0$ echter niet defect dus bestaat er na $X_{sp} = 0$ geen X_{so} meer, omdat er simpelweg geen defect onderdeel te detecteren valt. Met deze informatie kunnen we alle mogelijke paden schetsen in een boomdiagram. Een aantal routes is dan niet mogelijk waardoor er uiteindelijk een totaal van 47 paden over blijft, zie verderop.

Om nu de kans op deze paden te berekenen, wordt er in het model gebruik gemaakt van de individuele kansen op de X_i 's. Deze kansen worden als volgt beschreven:

$$\begin{aligned}
 \phi_{sp}(X_{sp}) &= \{r_{sp}(q_{sp}), \text{ if } X_{sp} = 1; & \mathbf{1} - r_{sp}(q_{sp}), \text{ if } X_{sp} = 0\} \\
 \phi_{ss}(X_{ss}) &= \{p_{so}, \text{ if } X_{ss} = 1; & \mathbf{1} - p_{so}, \text{ if } X_{ss} = 0\} \\
 \phi_{so}(X_{so}) &= \{\theta_{so} \text{ if } X_{sp} = 1; & \mathbf{1} - \theta_{so}, \text{ if } X_{so} = 0\} \\
 \phi_{mis}(X_{mis}) &= \{p_{mi}, \text{ if } X_{mis} = 1; & \mathbf{1} - p_{mi}, \text{ if } X_{mis} = 0\} \\
 \phi_{mi}(X_{mi}) &= \{\theta_{mi} \text{ if } X_{mi} = 1; & \mathbf{1} - \theta_{mi}, \text{ if } X_{mi} = 0\} \\
 \phi_{mp}(X_{mp}) &= \{r_{mp}(q_{mp}), \text{ if } X_{mp} = 1; & \mathbf{1} - r_{mp}(q_{mp}), \text{ if } X_{mp} = 0\} \\
 \phi_{mos}(X_{mos}) &= \{p_{mo}, \text{ if } X_{mos} = 1; & \mathbf{1} - p_{mo}, \text{ if } X_{mos} = 0\} \\
 \phi_{mo}(X_{mo}) &= \{\theta_{mo} \text{ if } X_{mo} = 1; & \mathbf{1} - \theta_{mo}, \text{ if } X_{mo} = 0\}
 \end{aligned}$$

Dit betekent dat de kans op $X_{sp} = 1$ bijvoorbeeld $r_{sp}(q_{sp})$ is, die we hiervoor hebben uitgelegd. De kans dat X_{sp} gelijk aan 0 is, is dan 1 minus de kans dat X_{sp} gelijk aan 1 is. Dit voorbeeld wordt als volgt geïnterpreteerd. De kans dat een onderdeel door de leverancier defect wordt geproduceerd ($X_{sp} = 1$) is gelijk aan de functie $r_{sp}(q_{sp})$ die we hierboven hebben beschreven. Aangezien deze functie gelinkt is aan de kwaliteitsinvestering van de leverancier (q_{sp}), betekent dit dat de kans op $X_{sp} = 1$ kleiner wordt, naarmate de kwaliteitsinvestering van de leverancier q_{sp} toeneemt. Kortom: De kans op een kwalitatief goed onderdeel neemt toe als de kwaliteitsinvestering van het productieproces groter wordt.

Nu zijn er in totaal 47 verschillende paden als men naar de mogelijke X_i 's kijkt. In de tabel hieronder zijn alle mogelijkheden uiteengezet, met daarnaast de winst van zowel de leverancier (SP_j) als de producent (MP_j) per pad j, waarbij SP staat voor supplier en MP voor manufacturer.

$\varphi(j)$	$X(sp)$	$X(ss)$	$X(so)$	$X(mis)$	$X(mi)$	$X(mp)$	$X(mos)$	$X(mo)$	SP(j)	MP(j)
1	1	1	1	-	-	-	-	-	$-(CP_{sp}+Cl_{so})$	0
2	1	1	0	1	1	-	-	-	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so}+w_s)$	$w_s-(p_s+Cl_{mi})$
3	1	1	0	1	0	1	1	1	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+Cl_{mo})$
4	1	1	0	1	0	0	1	1	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+Cl_{mo})$
5	1	1	0	1	0	1	1	0	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+Cl_{mo}+w_m)$
6	1	1	0	1	0	0	1	0	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+Cl_{mo}+w_m)$
7	1	1	0	1	0	1	0	-	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+w_m)$
8	1	1	0	1	0	0	0	-	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+w_m)$
9	1	1	0	0	-	1	1	1	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$-(p_s+CP_{mp}+Cl_{mo})$
10	1	1	0	0	-	0	1	1	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$-(p_s+CP_{mp}+Cl_{mo})$
11	1	1	0	0	-	1	1	0	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+Cl_{mp}+CP_{mo}+w_m)$
12	1	1	0	0	-	0	1	0	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+Cl_{mp}+CP_{mo}+w_m)$
13	1	1	0	0	-	1	0	-	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+CP_{mp}+w_m)$
14	1	1	0	0	-	0	0	-	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+CP_{mp}+w_m)$
15	1	0	-	1	1	-	-	-	$p_s-(CP_{sp}+w_s)$	$w_s-(p_s+Cl_{mi})$
16	1	0	-	1	0	1	1	1	p_s-CP_{sp}	$-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+Cl_{mo})$
17	1	0	-	1	0	0	1	1	p_s-CP_{sp}	$-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+Cl_{mo})$
18	1	0	-	1	0	1	1	0	p_s-CP_{sp}	$p_m-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+Cl_{mo}+w_m)$
19	1	0	-	1	0	0	1	0	p_s-CP_{sp}	$p_m-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+Cl_{mo}+w_m)$
20	1	0	-	1	0	1	0	-	p_s-CP_{sp}	$p_m-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+w_m)$
21	1	0	-	1	0	0	0	-	p_s-CP_{sp}	$p_m-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+w_m)$
22	1	0	-	0	-	1	1	1	p_s-CP_{sp}	$-(p_s+CP_{mp}+Cl_{mo})$
23	1	0	-	0	-	0	1	1	p_s-CP_{sp}	$-(p_s+CP_{mp}+Cl_{mo})$
24	1	0	-	0	-	1	1	0	p_s-CP_{sp}	$p_m-(p_s+Cl_{mp}+CP_{mo}+w_m)$
25	1	0	-	0	-	0	1	0	p_s-CP_{sp}	$p_m-(p_s+Cl_{mp}+CP_{mo}+w_m)$
26	1	0	-	0	-	1	0	-	p_s-CP_{sp}	$p_m-(p_s+CP_{mp}+w_m)$
27	1	0	-	0	-	0	0	-	p_s-CP_{sp}	$p_m-(p_s+CP_{mp}+w_m)$
28	0	1	-	1	-	1	1	1	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+Cl_{mo})$
29	0	1	-	1	-	1	1	0	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+Cl_{mo}+w_m)$
30	0	1	-	1	-	1	0	-	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+w_m)$
31	0	1	-	1	-	0	1	-	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+Cl_{mo})$
32	0	1	-	1	-	0	0	-	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp})$
33	0	1	-	0	-	1	1	1	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$-(p_s+CP_{mp}+Cl_{mo})$
34	0	1	-	0	-	1	1	0	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+Cl_{mp}+CP_{mo}+w_m)$
35	0	1	-	0	-	1	0	-	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+CP_{mp}+w_m)$
36	0	1	-	0	-	0	1	-	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+CP_{mp}+Cl_{mo})$
37	0	1	-	0	-	0	0	-	$p_s-(CP_{sp}+Cl_{so})$	$p_m-(p_s+CP_{mp})$
38	0	0	-	1	-	1	1	1	p_s-CP_{sp}	$-(p_s+Cl_{mi}+CP_{mp}+Cl_{mo})$

39	0	0	-	1	-	1	1	0	$p_s - CP_{sp}$	$p_m - (p_s + CI_{mi} + CP_{mp} + CI_{mo} + w_m)$
40	0	0	-	1	-	1	0	-	$p_s - CP_{sp}$	$p_m - (p_s + CI_{mi} + CP_{mp} + w_m)$
41	0	0	-	1	-	0	1	-	$p_s - CP_{sp}$	$p_m - (p_s + CI_{mi} + CP_{mp} + CI_{mo})$
42	0	0	-	1	-	0	0	-	$p_s - CP_{sp}$	$p_m - (p_s + CI_{mi} + CP_{mp})$
43	0	0	-	0	-	1	1	1	$p_s - CP_{sp}$	$-(p_s + CP_{mp} + CI_{mo})$
44	0	0	-	0	-	1	1	0	$p_s - CP_{sp}$	$p_m - (p_s + CI_{mp} + CP_{mo} + w_m)$
45	0	0	-	0	-	1	0	-	$p_s - CP_{sp}$	$p_m - (p_s + CP_{mp} + w_m)$
46	0	0	-	0	-	0	1	-	$p_s - CP_{sp}$	$p_m - (p_s + CP_{mp} + CI_{mo})$
47	0	0	-	0	-	0	0	-	$p_s - CP_{sp}$	$p_m - (p_s + CP_{mp})$

TABEL 4: DE RELATIEVE WINSTEN VAN DE LEVERANCIER EN PRODUCENT PER PAD

Nu drukt men de te verwachten, relatieve, winsten π_i ($i = \{sp, mp\}$) als volgt uit:

$$\begin{aligned} \pi_s &= \sum(j) \Psi_j \cdot SP_j && \text{(winst leverancier)} \\ \pi_m &= \sum(j) \Psi_j \cdot MP_j && \text{(winst producent)} \end{aligned}$$

waarbij Ψ_j de totale kans op pad j is, dat kan worden berekend aan de hand van de losse overgangskansen $\phi_i(X_i)$. De kans op pad j is namelijk het product van alle losse kansen $\phi_i(X_i)$ waarbij in dat pad alleen X_i 's worden gebruikt die 0 of 1 zijn. De X_i 's die niet mogelijk zijn in het betreffende pad worden dus niet meegenomen, omdat er geen kans is dat dit voorkomt. Voor pad 1 zou de totale kans dus zijn:

$$\Psi_1 = \phi_{sp}(X_{sp} = 1) * \phi_{ss}(X_{ss} = 1) * \phi_{so}(X_{so} = 1)$$

Dit betekent de kans dat er bij de leverancier een defect onderdeel geproduceerd wordt, dat deze gecontroleerd wordt bij de uitgaande controle van de leverancier en dat deze vervolgens ook wordt opgemerkt als zijnde defect. Voor elk pad kan dit op deze manier worden berekend.

Nu kan er, zoals in het artikel van Hsieh en Liu wordt gedaan, gedifferentieerd worden over de vijf variabelen. Uiteindelijk kan dit worden omgerekend naar een numeriek model, met een aantal inputvariabelen, dat resulteert in een aantal outputvariabelen plus het bijbehorende evenwicht in winsten tussen de producent en de leverancier.

Het resultaat van deze studie is dat producenten en leveranciers hun kwaliteitsinvesteringen en steefproeffrequenties goed onderbouwd kunnen bepalen, zodanig dat het evenwicht in winsten kan worden berekend. Een belangrijke conclusie, die aangetoond is met een numeriek onderzoek [3] is dat leveranciers nooit een steefproeffrequentie van 1 zullen hanteren. Dit is nooit winstgevend genoeg. Ook zijn er in enkele gevallen dezelfde preferenties wanneer het om steefproeffrequenties en/of kwaliteitsinvesteringen gaat. Dit betekent dat wanneer bijvoorbeeld de producent de steefproeffrequentie verhoogd, hier zowel de leverancier als de producent voordeel uit kunnen halen. Dit geldt overigens niet altijd: In sommige gevallen hebben beide partijen verschillende behoeften. Dit is een eigenschap van de speltheorie die dit model omvat, zoals eerder is beschreven. Zie [3] voor uitgebreide voorbeelden.

2.4 Conclusie

Ondanks dat er veel literatuur te vinden is over kwaliteitsmanagement, zijn we vooral geïnteresseerd in verschillende inspectiemethoden en modellen die ons kunnen helpen bij het

beantwoorden van de vraag hoe en waar er inspectie op binnenkomende onderdelen plaats moet vinden. We onderscheiden hier een aantal mogelijke inspectiemomenten/soorten inspectie, namelijk: honderd procent controle, bepaalde onderdelen altijd controleren en steekproefsgewijs controleren. We hebben de methoden toegelicht en de voor- en nadelen vermeld. We beschreven dat het wel of niet controleren afhangt van de kritiekheid en diversiteit van onderdelen. Als onderdelen zo kritiek zijn dat dit grote negatieve gevolgen kan hebben voor het productieproces, zou er een kritieke-onderdelenlijst moeten worden gemaakt en zouden deze onderdelen altijd gecontroleerd moeten worden. Steekproefsgewijs controleren kan goed worden toegepast wanneer het controleren niet tijdsintensief is (technisch niet erg complex) en de onderdelen niet kritiek zijn.

Ten slotte hebben we een vrij algemeen toepasbaar model beschreven, die vier typen scenario's (games) onderscheid. Ondanks dat het model redelijk recent is gepubliceerd (2010), zijn er op het moment van schrijven een tiental wetenschappelijke publicaties die hieraan refereren. Het zoeken naar meer relevante modellen heeft geen resultaat opgeleverd. Er is in eerste instantie voornamelijk op gezond verstand gezocht naar geschikte literatuur, waar later pas een duidelijker analysekader is ontstaan.

3. Analyse huidige situatie VMI

3.1 Inleiding

De analyse is bedoeld om te beschrijven wat het huidige controlebeleid is binnen VMI. Er wordt gekeken wat de knelpunten zijn en hoe er op dit moment mee wordt omgegaan. Ook zal er duidelijk in worden gegaan op de verschillende plaatsen waar controle plaats vindt of plaats zou kunnen vinden, zoals in het vorige hoofdstuk is beschreven.

Daarnaast wordt gekeken naar de exacte doelstellingen vanuit VMI met betrekking tot het aantal defecte onderdelen, en dit wordt vergeleken met de realiteit: bestaande, beschikbare historische gegevens.

Ten slotte zal de toepasbaarheid van het model van Hsieh en Liu worden onderzocht en zullen er bepaalde input variabelen worden gemeten en berekend. Als dit model goed toepasbaar blijkt te zijn, kunnen we de gevonden variabelen in het model stoppen en de uitkomsten meten. De variabelen waar we naar op zoek zijn, zijn:

- Kwaliteitsinvesteringen van de leverancier (q_{sp}) en van de producent (q_{mp})
- Steekproeffrequentie van de uitgaande controle van de leverancier (ρ_{so}), de ingangscntrole van de producent (ρ_{mi}) en de uitgaande controle van de producent (ρ_{mo})

Deze variabelen zijn niet allemaal nodig als input, zoals beschreven is in de theorie. Eén van de variabelen waar we juist naar op zoek zijn is bijvoorbeeld de steekproeffrequentie van de ingangscntrole van VMI (ρ_{mi}). Het voornaamste doel is dus om te beredeneren welke van deze vijf variabelen als input gelden en welke juist als output. De keuze om een bepaalde variabele als input te nemen is afhankelijk van de doelstellingen van VMI en de beschikbaarheid van gegevens om deze variabelen vast te kunnen zetten.

3.2 Controle

Zoals eerder vermeld, wordt er binnen VMI vrijwel niet gecontroleerd op technische afwijkingen van binnenkomende onderdelen. In het beleid van VMI staat dat er na goederenontvangst gecontroleerd wordt op de juiste hoeveelheid, het goed aanwezig zijn van een pakbon en een visuele controle. Er is dus alleen een logistieke controle, en geen technische controle. Die visuele controle is werknemersafhankelijk. De ene werknemer heeft wat meer kennis van de onderdelen dan de ander. Ook verschilt de werkdruk hier enorm. Het is wisselend wanneer onderdelen binnenkomen, met een grote piek in het begin van de ochtend en het begin van de middag. Het is dus tijdstipafhankelijk wanneer leveranciers onderdelen leveren en dus ook wanneer onderdelen op de goederenbaan komen te liggen.

Om nu terug te komen op het literatuuronderzoek, blijkt dat er bij VMI geen kritieke-onderdelenlijst aanwezig is van onderdelen die altijd worden gecontroleerd. Er wordt immers geen enkel onderdeel gecontroleerd op technische afwijkingen, dus spreekt dit voor zich. Of er een lijst nodig is met kritieke onderdelen is een lastige vraag waar uitgebreid onderzoek naar gedaan zou kunnen worden. Er moet dan per onderdeel bekeken worden wat het in termen van vertraging en/of extra kosten betekent wanneer er niet gecontroleerd wordt. Alle afkeuren zouden dan direct moeten worden gelinkt aan een onderdeelnummer, waardoor dit te traceren is. Dit valt buiten de omvang van dit onderzoek.

3.3 Onderdelenstroom

Zoals in het eerdere blokkenschema (figuur 2) is gebleken, zijn er ruwweg vijf stappen te onderscheiden waar binnenkomende onderdelen stil liggen, voordat ze doorgaan naar de volgende stap (en uiteindelijk doorgaan naar productie). Het begint bij goederenontvangst. Hier komen onderdelen binnen die door de leverancier zijn gebracht. Het beleid van VMI is dat binnen vier uur de onderdelen op de goederenbaan binnen zijn geboekt, na ontvangst van de leverancier. Na het binnenboeken worden de onderdelen doorgeschoven op de goederenbaan, waar ze vervolgens gecontroleerd worden op eerder genoemde punten. Na de controle kunnen de onderdelen, afhankelijk van het soort onderdeel, doorgereden worden naar de juiste opslagplaats. Er zijn vier soorten opslag, namelijk:

- Het standaardmagazijn: Hier worden veelgebruikte onderdelen opgeslagen, zoals bouten en moeren. Deze onderdelen worden wel per productieorder uitgeleverd, maar als een montageploeg hier een tekort aan heeft, kunnen zij dit via een aparte, snelle procedure ophalen.
- De rode bakken: Dit is een opslagplaats voor de kleinste onderdelen die in een rode bak passen. Deze onderdelen liggen per productieorder opgeslagen.
- De europallet stellingen. Hier worden de onderdelen opgeslagen die te groot zijn voor de rode bakken. Deze onderdelen liggen hier ook tijdelijk en worden per productieorder uitgereden.
- De stalen pallet stellingen. Dit is een aparte hal waar onderdelen liggen die te groot zijn voor een europallet. Ook deze onderdelen worden uitgereden per productieorder, maar omdat deze onderdelen vaak te groot zijn, worden ze direct naar de ploeg gereden, zonder eerst fysiek door het magazijn te gaan.

Na de opslag worden per project de onderdelen verzameld en naar de kassa gereden. Hier worden de onderdelen nog gescand voordat ze uitgereden worden richting productie. Bij het scannen blijkt dat er vaak onderdelen ontbreken en daarom op de naleveringenlijst komen te staan. Er wordt dan nog bepaald of er genoeg onderdelen binnen zijn om te beginnen met montage of dat er nog gewacht moet worden. Zijn er genoeg onderdelen binnen, dan wordt het project naar de tijdelijke opslag gereden. Dit is het einde van het magazijn en van hieruit worden de onderdelen met een heftruck uitgereden naar de montageploeg.

3.4 Gegevens over de afkeuren

VMI houdt gegevens bij over afgekeurde onderdelen, wanneer deze opgemerkt worden. Er wordt een zogenaamd afkeurrapport opgesteld, waarin onder andere wordt vermeld wat de aard van de afkeur is, ingedeeld in een categorie plus een omschrijving van het probleem, en waar de afkeur is opgemerkt. Afkeuren worden ten eerste onderscheiden in technisch en logistiek, zoals eerder vermeld is. Daarna worden ze nog onderscheiden in extern en intern. Dit betekent simpelweg dat de oorzaak van de afkeur binnen de VMI ligt (intern) of bij de leverancier (extern). In tabel 5 zijn de statistieken verwerkt van aantal afkeuren, ingedeeld in categorieën, over de periode 07-2010 tot en met 06-2011. Deze gegevens kunnen ons wellicht helpen om variabelen voor het model van Hsieh en Liu in te vullen. Dat zal hierna worden beschreven.

Jaar/ Maand	Extern		Intern		Eindtotaal
	logistieke afkeur	technische afkeur	logistieke afkeur	technische afkeur	
2010 07	71	100	28	53	252
2010 08	55	69	25	39	188
2010 09	77	175	37	56	345
2010 10	102	138	32	64	336
2010 11	162	217	41	75	495
2010 12	163	141	62	79	445
2011 01	147	207	69	95	518
2011 02	118	195	85	119	517
2011 03	121	211	129	131	592
2011 04	100	198	106	149	553
2011 05	96	245	55	185	581
2011 06	79	189	57	90	415
Eindtotaal	1291	2085	726	1135	5237

TABEL 5: STATISTIEKEN AFGEKEURDE ONDERDELEN OVER DE PERIODE 07/2010 – 06/2011

In één oogopslag is te zien dat er in één jaar tijd ruim 3200 technische afkeuren zijn ontstaan, waarvan 35% intern is veroorzaakt en 65% een externe oorzaak kent.

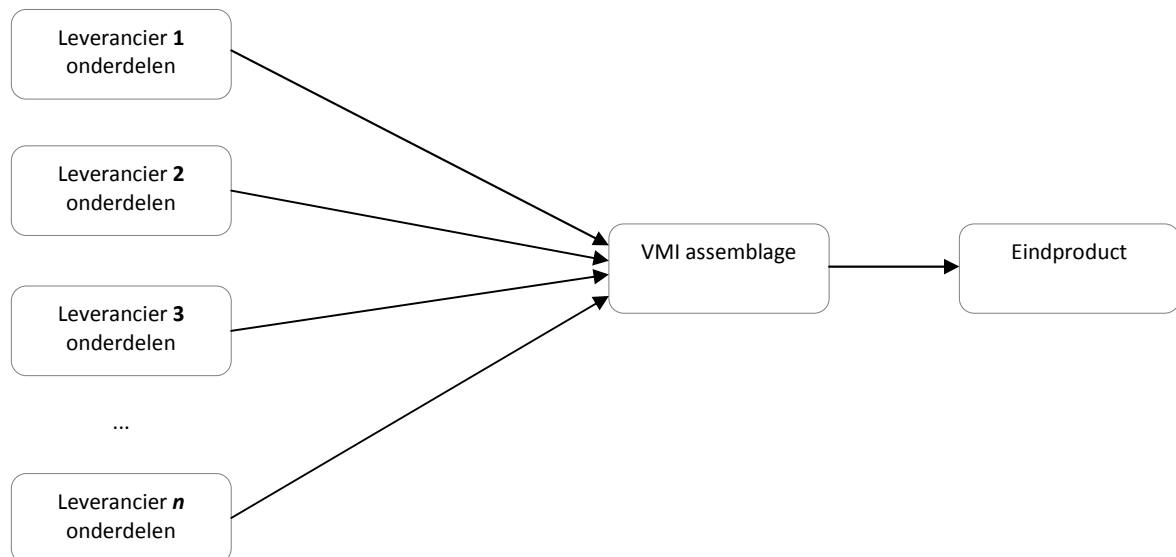
Uit verschillende gesprekken met mensen binnen VMI, kan er geconcludeerd worden dat het afhandelen van technische afkeuren tussen de 5000 en 6000 manuren per jaar kost bij VMI. Een gemiddelde technische afkeur kost dus tussen de 1,5 en 1,8 manuren.

Er moet wel onderscheid gemaakt worden tussen de interne en externe afgekeurde onderdelen. Interne afgekeurde onderdelen kunnen namelijk ontstaan bij productie. Als er dan bij goederenontvangst gecontroleerd zou worden, zouden deze interne afkeuren nog niet opgemerkt worden omdat ze nog niet foutief zijn.

3.5 Toepassing van het inspectiemodel van Hsieh en Liu

We willen nu de toepasbaarheid van het model van Hsieh en Liu onderzoeken. Nogmaals: We zijn op zoek naar verschillende input variabelen (kwaliteitsinvestering en steekproeffrequenties) op verschillende punten, zodat we het uiteindelijke doel kunnen bewerkstelligen: De steekproeffrequentie van de inkomende onderdelen berekenen.

Om het model van Hsieh en Liu [3] te gebruiken, hebben we hier inmiddels al meer informatie voor. Het model kan gebruik maken van vaste waarden voor kwaliteitsinvesteringen en steekproeffrequenties. Het probleem is dat er voor dit model niet is aangetoond dat er gegeneraliseerd kan worden over een hele productieorganisatie, waarbij één product van de producent duizenden onderdelen van verschillende leveranciers nodig heeft. Dit is eigenlijk het onderscheid tussen een supply chain waarbij één of enkele onderdelen gebruikt worden om een product van te maken en een supply chain waarbij duizenden onderdelen gebruikt worden om één product te maken (assembleren). Dit hoeft echter niet te betekenen dat het model niet gebruikt kan worden. Een oplossing is om de goederenstroom van binnenkomende onderdelen en het eindproduct als in figuur 4 te visualiseren.



FIGUUR 5: ONDERDELENSTROOM VAN LEVERANCIERS TOT EINDPRODUCT

Dit betekent dat er één kwaliteitsinvestering q_{mp} bij de VMI assemblage toegepast kan worden die geldt voor de gehele assemblage. Dus een hogere q_{mp} zou dan zorgen voor lagere defectratio's. Het probleem hier weer van is dat er niet aan de lopende band eindproducten verschijnen bij VMI, maar dat dit enorme machines zijn die bestaan uit duizenden onderdelen. Dit betekent dat er niet simpelweg een product geleverd wordt aan een klant die defect kan zijn en dat er dan een vast aftersalesbedrag aan vast hangt wat VMI moet betalen aan de klant. In werkelijkheid wordt de machine (het eindproduct) in modules naar de klant gebracht en daar opgezet en helemaal getest en gefinetuned. Alles wat op dat moment niet goed is, wordt (door en op kosten van VMI) hersteld totdat het naar behoren werkt. Kortom, het probleem dat nu geschetst is, is dat er, in termen van het inspectiemodel van Hsieh en Liu, niet simpelweg een steekproeffrequentie p_{mo} kan worden vastgesteld dat gekoppeld kan worden aan boetes w_m en kwaliteitsinvesteringen q_{mp} .

Een oplossing die hiervoor aangedragen kan worden, is om de q_{mp} zodanig te bepalen dat dit wel over het gehele product kan worden genomen. De q_{mp} is een functie van het afkeurspercentage r_{mp} dat kan worden verkregen uit eerdere data, of juist vastgesteld kan worden uit bepaalde doelen. In beide gevallen zou dit vastgesteld zijn en dit betekent dus dat game III of IV hiervoor gebruikt kunnen worden. Een andere optie is om de optimale q_{mp} te berekenen en dan zouden game I of II gebruikt kunnen worden. In dit geval gebruiken we de doelstelling van VMI en nemen we aan dat we de q_{mp} van tevoren vast kunnen stellen en wel zo, dat de $r_{mp} < 0,05$ is. Met behulp van de volgende formule is de q_{mp} bepaald:

$$r_{mp}(q_{mp}) = 1 - \alpha_{mp} \cdot q_{mp}$$

De α_{mp} zetten we op 0,98, wat volgens Hsieh en Liu een realistische waarde is:

$$\begin{aligned} 0,05 &> 1 - 0,98 \cdot q_{mp} \\ q_{mp} &> 0,97 \end{aligned}$$

Nu we dit hebben vastgesteld, moeten we vaststellen welke game we kunnen gebruiken voor deze situatie. Nu is het verschil tussen game III en game IV, dat er bij game III de kwaliteitsinvesteringen van de leverancier worden bepaald en bij game IV juist de uitgaande steefproeffrequentie van de leverancier. Bij beide games wordt ook de steefproeffrequentie van de producent bepaald. Nu hebben we informatie over afgekeurde onderdelen, zowel intern als extern, wat betekent dat we met deze informatie ook (per leverancier) kunnen berekenen wat de kwaliteitsinvesteringen zijn. Dit is namelijk simpelweg het afkeurpercentage dat we uit de informatie van tabel 5 kunnen halen, plus eventueel extra informatie over afkeuren per leverancier. Dit betekent vervolgens dat we hier een goede basis hebben om game IV van het inspectiemodel te gebruiken, met de volgende kenmerken:

- We stellen q_{sp} , q_{mp} en ρ_{mo} vast op basis van verzamelde gegevens en/of aannames.
- We berekenen de ρ_{so} en ρ_{mi} om een evenwicht in winsten te verkrijgen.

Een belangrijk kenmerk van dit model is dat er een evenwicht wordt gezocht voor winsten van zowel de leverancier als de producent. Dit hoeft dus niet altijd te betekenen dat er naar de grootste winst voor de producent of de leverancier wordt gestreefd, maar meer een soort analytische observatie van de gedragingen van beide partijen, wanneer er bepaalde kwaliteitsinvesteringen en steekproeffrequenties worden bepaald. Hierbij worden dan inkomsten en kosten berekend die dan bepaalde winsten opleveren voor zowel de leverancier als de producent. Het achterliggende doel is dus puur om te beredeneren wat de leverancier en producent zouden moeten doen, in termen van kwaliteitsinvesteringen en/of steekproeffrequenties, gegeven al dan niet een aantal van deze variabelen.

Om nu terug te komen op figuur 3 in combinatie met de variabelen voor het model, betekent dit dat we vrijwel alle variabelen kunnen plaatsen. Als we *per leverancier* willen berekenen welke outbound inspectie een bepaalde leverancier moet uitvoeren en welke inbound inspectie VMI moet uitvoeren (game IV), dan hebben we de ρ_{so} en ρ_{mi} als uitkomstvariabelen en verder:

- q_{sp} : Per leverancier te bepalen aan de hand van te verzamelen gegevens over externe afkeuren. Dit kan echter op basis van doelen worden gedaan, in plaats van de werkelijke

gegevens. Er is namelijk een verschil tussen het doel wat VMI stelt aan afkeurpercentages van leveranciers (maximaal 0,5%) en het werkelijke percentage (gemiddeld per leverancier 1,4% over 2010). Omdat er contracten met leveranciers worden afgesloten waarin het doel van 0,5% wordt nagestreefd, willen we de q_{sp} hier zo bepalen, dat dit wordt gehandhaafd. Echter, met een correctiefactor α_{sp} van 0,98, gaat dit niet werken, omdat er dan een q_{sp} van meer dan 1 uit komt, wat niet mogelijk is. Dit betekent dat een streven naar een afkeurspercentage van 0,5% vrij lastig voor een leverancier is. Met al een α_{sp} van 0,995 betekent dit dat er van de leverancier verwacht wordt dat er maximaal geïnvesteerd wordt in de kwaliteit van het productieproces ($q_{sp} = 1$). Of dit realistisch is en of een klein verschil veel invloed zal hebben, zal later worden gediscussieerd. Voorlopig zetten we de q_{sp} op 0,95, om het realistisch te houden.

- q_{mp} : Over het gehele product te bepalen door middel van een doelstelling vanuit VMI. Op dit moment zetten we deze op 0,97, berekend vanuit een afkeursratio van 0,05.
- ρ_{mo} : Dit is de enige variabele die lastig te bepalen is, zeker in combinatie met aftersale boetekosten voor VMI w_m . We willen hier in eerste instantie geen uitkomstvariabele van maken, maar het is wellicht interessant om te analyseren hoe ρ_{so} en ρ_{mi} zich gedragen wanneer we deze ρ_{mo} variëren. We houden hier voorlopig 0,8 aan, zoals ze dit in de numerieke studie van Hsieh en Liu ook aanhouden in game III en IV.

Nu is de volgende stap om de lijst met parameters in te vullen, op basis van realistische gegevens vanuit VMI, maar ook vanuit enkele richtlijnen van Hsieh en Liu [3] en Liu en Hipel [10]. Als eerst de kostenfuncties voor zowel de leverancier als de producent, die bestond uit een kwadratische vergelijking:

$$CP_i = \frac{1}{2}a_i \cdot q_i^2 - b_i \cdot q_i \quad i = \{sp, mp\}, \quad q_i > 2b_i/a_i, \quad a_i, b_i > 0$$

Hierbij moeten de a 's en de b 's bepaald worden, uitgaande van deze verdeling en de voorwaarde $q_i > 2b_i/a_i$. Dit betekent, volgens de formule, dus dat er een vastgetelde q_i moet zijn (voor beide i 's) waarvoor geldt dat als deze kwaliteitsinvestering gedaan wordt, er exact nul productiekosten zijn. Dat is dus eigenlijk een minimum van $2b_i/a_i$. Verder moet de maximale kwaliteitsinvestering ($q_i = 1$) gelijk zijn aan $\frac{1}{2}a_i - b_i$. Zoals eerder gezegd is in hoofdstuk 2, is deze functie door Hsieh en Liu niet duidelijk beredeneerd. Het is op dit moment dat we bij gebrek aan iets beters en we toch op een bepaalde manier de q_i 's aan de CP_i 's moeten linken, deze functie als acceptabel beschouwen.

Ook voor de inspectiekosten is er een vergelijking gemaakt, waarbij in dit geval de c 's en d 's moeten worden bepaald:

$$Cl_i = c_i + d_i \cdot \rho_i \quad i = \{so, mi, mo\} \quad c_i, d_i > 0$$

Deze functie is dus lineair, maar ook hiervan is niet bevestigd dat dit een honderd procent correcte formule is, zeker in onze situatie. Het is wel zo dat er bij VMI op dit moment nog geen technische onderdelencontrole plaats vindt, dus dat de kosten om dit op te zetten (gelijk aan c_{mi}) relatief hoog zullen zijn. De data voor de leverancier is lastiger om exact te bepalen, maar ook hiermee kunnen, in combinatie met richtlijnen van Hsieh en Liu [3] en Liu en Hipel [10], realistische waarden worden bepaald. De parameters zijn te vinden in tabel 6.

Verder moeten de prijzen (per stuk) worden bepaald en de boetekosten (per stuk) voor zowel de leverancier als VMI. Hierbij moeten de w_i 's hoger zijn dan de p_i 's. De stukprijzen voor de onderdelen van de leverancier zijn goed te vinden uit verzamelde data, maar de overige parameters zijn lastiger te bepalen. De verkoopkosten per stuk product van VMI moeten eigenlijk teruggerekend worden naar hoeveel aandeel een onderdeel in het totale product heeft, referend aan figuur 5. Dit kan simpelweg worden gedaan door een prijs van een onderdeel van de leverancier te delen door de totale inkoopkosten voor een eindproduct. Als deze ratio dan wordt vermenigvuldigd met de totale verkoopkosten van een eindproduct, komt hier een bedrag uit dat kan worden gebruikt als p_m . Het kan ook worden gezien als de toegevoegde waarde die VMI aan een onderdeel geeft als het in het eindproduct verwerkt is. De fractie dat een onderdeel dat in een product zit, voor meer wordt verkocht dan dat het als los onderdeel wordt verkocht door de leverancier is bepaald op 4, naar aanleiding van onderzoek binnen VMI. Dit betekent dat $p_m = 4 \cdot p_s$. Ten slotte worden de boetekosten w_s en w_m bepaald op respectievelijk 5 maal p_s en 2 maal p_m . De overige theta parameters (de fractie dat defecte onderdelen ook als defect worden bevonden) laten we op 0,95 staan, zoals ook Hsieh en Liu in hun model veronderstellen. Dit zijn parameters die ook bij een numerieke studie naar voren zijn gekomen en omdat dit niet relevant genoeg is om zelf uitgebreid onderzoek naar te doen, stellen we deze vast op 0,95. Een overzicht van alle parameters staat in tabel 6.

Parameter	Waarde
$a(sp)$	60
$b(sp)$	20
$a(mp)$	150
$b(mp)$	25
$\alpha(sp)$	0,98
$\alpha(mp)$	0,98
$c(so)$	3
$d(so)$	1,5
$c(mi)$	3
$d(mi)$	1,5
$c(mo)$	6
$d(mo)$	2,5
$\theta(so)$	0,95
$\theta(mi)$	0,95
$\theta(mo)$	0,95
$p(s)$	25
$p(m)$	100
$w(s)$	125
$w(m)$	200

TABEL 6: PARAMETERS VOOR HET INSPECTIEMODEL VAN HSIEH EN LIU

3.6 Conclusie

Het doel van deze analyse was om ten eerste te beredeneren wat de inputvariabelen van VMI zijn om het model van Hsieh en Liu toe te passen. We hebben geconstateerd dat er gegevens aanwezig zijn en kunnen aannemen, zodat we het vierde scenario (game IV) van het model kunnen toepassen voor VMI. Dit houdt dus het volgende in:

- We stellen q_{sp} , q_{mp} en ρ_{mo} vast op basis van verzamelde gegevens en/of aannames.
- We berekenen de optimale ρ_{so} en ρ_{mi} om een evenwicht in winsten te verkrijgen.

Dit kan als volgt geïnterpreteerd worden: We willen de optimale steekproeffrequenties voor zowel de ingangscntrole bij VMI als de uitgaande controle bij de leverancier berekenen, aan de hand van de volgende vastgestelde gegevens:

- De kwaliteitsinvestering van de leverancier q_{sp} : 0,95 (gemeten)
- De kwaliteitsinvestering van VMI: 0,97 (doelstelling van VMI)
- De steekproeffrequentie voor eindproducten: 0,80 (aanne)

De resultaten van het invoeren van de gegevens in het model komen in het volgende hoofdstuk aan bod.

4. Resultaten

Als men de parameters uit tabel 6 toepast op game IV van het model, dan krijgen we de resultaten die te vinden zijn in onderstaande tabellen.

$\Psi(j)$	$\varphi(j)$	X(sp)	X(ss)	X(so)	X(mis)	X(mi)	X(mp)	X(mos)	X(mo)	SP(j)	MP(j)
0,041402	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-12	0
0,001738	2	1	1	0	1	1	-	-	-	-112	95,74
3,43E-06	3	1	1	0	1	0	1	1	1	12,98	-83,58
6,61E-05	4	1	1	0	1	0	0	1	1	12,98	-83,58
1,81E-07	5	1	1	0	1	0	1	1	0	12,98	-183,6
3,48E-06	6	1	1	0	1	0	0	1	0	12,98	-183,6
9,04E-07	7	1	1	0	1	0	1	0	-	12,98	-175,6
1,74E-05	8	1	1	0	1	0	0	0	-	12,98	-175,6
1,31E-05	9	1	1	0	0	-	1	1	1	12,98	-79,32
0,000253	10	1	1	0	0	-	0	1	1	12,98	-79,32
6,92E-07	11	1	1	0	0	-	1	1	0	12,98	-179,3
1,33E-05	12	1	1	0	0	-	0	1	0	12,98	-179,3
3,46E-06	13	1	1	0	0	-	1	0	-	12,98	-171,3
6,66E-05	14	1	1	0	0	-	0	0	-	12,98	-171,3
0,020269	15	1	0	-	1	1	-	-	-	-108	95,74
4,01E-05	16	1	0	-	1	0	1	1	1	16,93	-83,58
0,000771	17	1	0	-	1	0	0	1	1	16,93	-83,58
2,11E-06	18	1	0	-	1	0	1	1	0	16,93	-183,6
4,06E-05	19	1	0	-	1	0	0	1	0	16,93	-183,6
1,05E-05	20	1	0	-	1	0	1	0	-	16,93	-175,6
0,000203	21	1	0	-	1	0	0	0	-	16,93	-175,6
0,000153	22	1	0	-	0	-	1	1	1	16,93	-79,32
0,00295	23	1	0	-	0	-	0	1	1	16,93	-79,32
8,07E-06	24	1	0	-	0	-	1	1	0	16,93	-179,3
0,000155	25	1	0	-	0	-	0	1	0	16,93	-179,3
4,03E-05	26	1	0	-	0	-	1	0	-	16,93	-171,3
0,000776	27	1	0	-	0	-	0	0	-	16,93	-171,3
0,01853	28	0	1	-	1	-	1	1	1	12,98	-83,58
0,000975	29	0	1	-	1	-	1	1	0	12,98	-183,6
0,004876	30	0	1	-	1	-	1	0	-	12,98	-175,6
0,375341	31	0	1	-	1	-	0	1	-	12,98	16,42
0,093835	32	0	1	-	1	-	0	0	-	12,98	24,42
0,003547	33	0	1	-	0	-	1	1	1	12,98	-79,32
0,000187	34	0	1	-	0	-	1	1	0	12,98	-179,3
0,000933	35	0	1	-	0	-	1	0	-	12,98	-171,3
0,071839	36	0	1	-	0	-	0	1	-	12,98	20,68

0,01796	37	0	1	-	0	-	0	0	-	12,98	28,68
0,010808	38	0	0	-	1	-	1	1	1	16,93	-83,58
0,000569	39	0	0	-	1	-	1	1	0	16,93	-183,6
0,002844	40	0	0	-	1	-	1	0	-	16,93	-175,6
0,218926	41	0	0	-	1	-	0	1	-	16,93	16,42
0,054731	42	0	0	-	1	-	0	0	-	16,93	24,42
0,002069	43	0	0	-	0	-	1	1	1	16,93	-79,32
0,000109	44	0	0	-	0	-	1	1	0	16,93	-179,3
0,000544	45	0	0	-	0	-	1	0	-	16,93	-171,3
0,041902	46	0	0	-	0	-	0	1	-	16,93	20,68
0,010475	47	0	0	-	0	-	0	0	-	16,93	28,68

TABEL 7: DE VERWACHTE WINSTEN VOOR DE LEVERANCIER EN DE PRODUCENT

De bijbehorende afkeurratio's zijn:

r(sp)	0,07
r(mp)	0,05

De stukprijzen per product en de inspectiekosten:

CP(sp)	8,08
CI(so)	3,95
CI(mi)	4,26
CP(mp)	46,32
CI(mo)	8,00

Ten slotte zijn de optimale steekproefratio's uitgerekend in Excel met een formule die te vinden is in de bijlage. De uitkomsten zijn:

Variabele	Waarde
q(sp)	0,95
<u>p(so)</u>	<u>0,63</u>
<u>p(mi)</u>	<u>0,84</u>
q(mp)	0,97
p(mo)	0,80

TABEL 8: DE OPTIMALE WAARDES VOOR DE BESLISSINGSVARIABLEN (ONDERSTREEPT) PLUS DE WAARDES VOOR DE VASTGESTELDE VARIABLEN

De onderstreepte waardes zijn dus de beslissingsvariabelen die zijn berekend door een evenwicht in winst te creëren. Het resultaat is dus dat bij deze vastgestelde variabelen en parameters, een evenwicht in winst zou worden bereikt door steefproefsgewijs **63%** van de onderdelen te controleren bij de uitgaande controle van de leverancier en **84%** bij de ingangscntrole van VMI.

De uitkomsten zijn zoals gezegd gegenereerd door het model in Excel in te vullen. Het model ziet er als volgt uit in Excel:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2		Input				Output			
3									
4		Parameters	Waarde				Game II	Game III	Game IV
5		a(sp)	60			q(sp)	0,9166	0,7505	0,9500
6		b(sp)	20			ρ(so)	0,8570	0,9900	0,6316
7		a(mp)	150			ρ(mi)	0,6958	0,2871	0,8394
8		b(mp)	25			q(mp)	0,9146	0,9000	0,9700
9		α(sp)	0,98			ρ(mo)	0,8917	0,8000	0,8000
10		α(mp)	0,98						
11		c(so)	3			π(s)	10,82	11,92	10,65
12		d(so)	1,5			π(m)	12,33	10,18	13,25
13		c(mi)	3						
14		d(mi)	1,5						
15		c(mo)	6						
16		d(mo)	2,5						
17		θ(so)	0,95						
18		θ(mi)	0,95						
19		θ(mo)	0,95						
20		ρ(s)	25						
21		ρ(m)	100						
22		w(s)	125						
23		w(m)	200						
24									
25									

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1																					
2		Parameters																			
3		a(sp)	60	ε1	2,5946875		Ψ(j)	φ(j)	X(sp)	X(ss)	X(so)	X(mis)	X(mi)	X(mp)	X(mos)	X(mo)	SP(j)	MP(j)	φ(sp)	φ(ss)	φ(s)
4		b(sp)	20	ε2	1,54625		0,041402	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-12	95,74	0,069	0,632	0,1
5		a(mp)	150	ε3	10,22258213		0,001738	2	1	1	0	1	1	1	1	1	-112	95,74	0,069	0,632	0,1
6		b(mp)	25	ε4	3		3,43E-06	3	1	1	0	1	0	1	1	1	12,98	-83,58	0,069	0,632	0,1
7		α(sp)	0,98	ε5	12,36342302		6,61E-05	4	1	1	0	1	0	0	1	1	12,98	-83,58	0,069	0,632	0,1
8		α(mp)	0,98	ε6	0,19665		1,81E-07	5	1	1	0	1	0	1	1	1	12,98	-183,6	0,069	0,632	0,1
9		c(so)	3				3,48E-06	6	1	1	0	1	0	0	1	0	12,98	-183,6	0,069	0,632	0,1
10		d(so)	1,5	q(sp)	0,95		9,04E-07	7	1	1	0	1	0	1	0	0	-12,98	-175,6	0,069	0,632	0,1
11		c(mi)	3	ρ(so)	0,63		1,74E-05	8	1	1	0	1	0	0	0	0	-12,98	-175,6	0,069	0,632	0,1
12		d(mi)	1,5	ρ(mi)	0,84		1,31E-05	9	1	1	0	0	-	1	1	1	12,98	-79,32	0,069	0,632	0,1
13		c(mo)	6	q(mp)	0,97		0,000253	10	1	1	0	0	-	0	1	1	12,98	-79,32	0,069	0,632	0,1
14		d(mo)	2,5	ρ(mo)	0,80		6,92E-07	11	1	1	0	0	-	1	1	0	12,98	-179,3	0,069	0,632	0,1
15		θ(so)	0,95				1,33E-05	12	1	1	0	0	-	0	1	0	12,98	-179,3	0,069	0,632	0,1
16		θ(mi)	0,95	π(s)	10,65		3,46E-06	13	1	1	0	0	-	1	0	0	-12,98	-171,3	0,069	0,632	0,1
17		θ(mo)	0,95	π(m)	13,25		6,66E-05	14	1	1	0	0	-	0	0	0	-12,98	-171,3	0,069	0,632	0,1
18		ρ(s)	25				0,020269	15	1	0	-	1	1	-	-	-	-108	95,74	0,069	0,368	
19		ρ(m)	100	CP(sp)	8,08		4,01E-05	16	1	0	-	1	0	1	1	1	16,93	-83,58	0,069	0,368	
20		w(s)	125	Cl(so)	3,95		0,000771	17	1	0	-	1	0	0	1	1	16,93	-83,58	0,069	0,368	
21		w(m)	200	Cl(mi)	4,26		2,11E-06	18	1	0	-	1	0	1	1	0	16,93	-183,6	0,069	0,368	
22				CP(mp)	46,32		4,06E-05	19	1	0	-	1	0	0	1	0	16,93	-183,6	0,069	0,368	
23				Cl(mo)	8,00		1,05E-05	20	1	0	-	1	0	1	0	0	-16,93	-175,6	0,069	0,368	
24							0,000203	21	1	0	-	1	0	0	0	0	-16,93	-175,6	0,069	0,368	
25				r(sp)	0,07		0,000153	22	1	0	-	0	-	1	1	1	16,93	-79,32	0,069	0,368	

FIGUUR 6: HET MODEL INGEVOERD IN EXCEL

5. Analyse onderdelencontrole Weir

5.1 Inleiding

Voor een goede benchmark is er onderzocht hoe een vergelijkbare organisatie omgaat met technische onderdelencontrole. Deze analyse is bij het bedrijf Weir Minerals gedaan. Dit bedrijf, dat gevestigd is in Venlo, is producent van waterpompen waarbij de onderdelen, net als bij VMI, technisch vrij specifiek en verschillend zijn. Echter, binnen dit bedrijf wordt wél gebruik gemaakt van onderdelencontrole bij goederenontvangst. Er is door middel van een rondleiding en een interview met de verantwoordelijke persoon van kwaliteitsmanagement gekeken naar de drivers om onderdelencontrole toe te passen. We zijn voor deze analyse ook op zoek geweest naar parameters voor het model van Hsieh en Liu, aangezien we dit model willen toepassen op de situatie bij VMI en we hierdoor een goede vergelijking kunnen maken. Helaas bleek dat er geen gegevens hiervoor beschikbaar waren en daarom is er alleen kwalitatief gekeken hoe de inspectie in dit bedrijf wordt toegepast.

5.2 Onderdelencontrole

De reden voor het uitvoeren van onderdelencontrole, is dat de leveranciers van Weir niet allemaal even betrouwbare processen hebben. Een deel van de ingekochte onderdelen van Weir is namelijk gegoten of gesmeden. Dit zijn processen waarbij afwijkingen ontstaan die lastig te voorkomen zijn. Weir eist van haar leveranciers voor deze onderdelen een dermate hoge kwaliteit die een deel van deze leveranciers niet gewend is, zodat het lastig is voor deze leveranciers om die kwaliteit te behalen. Vooral in combinatie met de korte levertijd geeft dit de nodige problemen. Dit komt dan doordat er binnen de eindfase van het proces van de leverancier een testfase zit die vaak wordt versneld ten koste van de kwaliteit, om de gestelde levertijd te halen. Bovendien, als leveranciers een foutief onderdeel hebben geproduceerd en verstuurd, zijn ze niet verantwoordelijk voor eventuele gevolgen van het inbouwen van dit onderdeel door Weir. Het is dus lastig voor Weir om deze leveranciers over te halen om honderd procent kwaliteit aan te leveren. Een belangrijk punt hierbij is dus het belang van leveranciers om kwaliteit te leveren. Ondanks boeteclausules, zijn de gevolgen voor Weir dermate hoog dat Weir liever perfecte kwaliteit aangeleverd krijgt, dan zich te moeten beroepen op deze boeteinvorderingen.

5.3 Gevolgen

De gevolgen voor Weir van het inbouwen van technische afkeuren zijn ook enorm. Als er een kritisch onderdeel niet goed is, kan er een machinecrash ontstaan. Dit is het slechtste scenario, omdat de gevolgen hiervan desastreus zijn. Het oplossen van een machinecrash is enorm tijdsintensief en dus kostbaar.

Ten tweede is het bij veel onderdelen zo dat als ze eenmaal gemonteerd zijn, ze moeilijk te demonteren zijn, mocht dit nodig zijn doordat een onderdeel als afgekeurd wordt opgemerkt. Dit kost uiteraard ook veel tijd en geld, zij het niet zoveel als een machinecrash.

Ten derde wil Weir ook stilstand van het productiewerk voorkomen doordat monteurs tijd kwijt omdat een onderdeel niet goed past. Er moet dus een goede flow in de productie zitten die niet onderbroken mag worden door gebrekkige onderdelen. Dit laatste gevolg is lang niet zo erg als de eerste twee genoemde. In de meest gunstige situatie zijn er nog onderdelen op voorraad, waardoor het project niet zoveel vertraging oploopt.

5.4 Inrichting

De binnenkomende onderdelen bij Weir worden door een groep van vier man gecontroleerd. Er is een lijst bekend met onderdelen die wel en die niet gekeurd hoeven te worden. De niet-gekeurde onderdelen gaan rechtstreeks het magazijn in en de gekeurde onderdelen komen pas na keuring het magazijn in. Er hangt bij veel onderdelen ook een testrapport van de leverancier bij. Dit is vaak een verzoek van de klant. In dit testrapport zijn resultaten opgenomen van verschillende soorten testen die door de leverancier zijn gedaan. Enkele gedeeltes zijn echter niet getest en worden dan bij Weir zelf gedaan. Dit gaat niet op een structurele manier met procedures, maar op een gevoelsmatige manier. Er wordt bij Weir voornamelijk gecontroleerd op juiste maten en afstanden en op het egaal zijn van oppervlakten (bij rubberen membranen bijvoorbeeld). Ook kan er op volume worden gecontroleerd met, mocht dit nodig zijn.

5.5 Verbeterproces

Op dit moment loopt er een heel verbeterproces ten opzichte van leveranciers. Van enkele leveranciers weet Weir dat ze te vertrouwen zijn en hoeven onderdelen hiervan niet gecontroleerd te worden. Echter, bij lang niet alle leveranciers is dit zo. Dit wil Weir verbeteren door vooral veel overleg met leveranciers te plegen. Hierbij wil Weir ze laten meedenken over kwaliteitszorg en inzien hoe belangrijk het is om kwaliteit te leveren. De nadruk moet ook op kwaliteit komen te liggen en niet op levertijd.

5.6 Toevoeging voor het inspectiemodel

Er was bij Weir helaas geen kwantitatieve data beschikbaar die geschikt zou zijn om toe te passen in ons eerder opgestelde model van Hsieh en Liu [3]. Het voornaamste verschil is de hogere kritiekheid van de onderdelen en de afhankelijkheid van een kleinere groep leveranciers, waardoor er (zonder overigens een bepaald model) wel gecontroleerd moet worden.

6. Conclusies en discussies

6.1 Conclusies modeltoepassing

Er is aangetoond dat met een aantal veronderstelde en een aantal verzamelde gegevens bij VMI ingevoerd in het model van Hsieh en Liu [3], een optimale steekproeffrequentie van 63% bij de uitgaande controle van de leverancier en 84% bij de ingangscntrole van VMI zorgen voor een evenwicht in winsten voor beide partijen. Het uigangspunt is dat hier game IV van het model wordt gebruikt, wat inhoudt dat de volgende informatie van tevoren is vastgesteld en ook volledig beschikbaar is voor beide partijen:

- q_{sp} vastgesteld op 0,95
- q_{mp} vastgesteld op 0,97
- ρ_{so} vastgesteld op 0,80

Dit zorgt voor:

- ρ_{so} = 0,63
- ρ_{mi} = 0,84
- π_{sp} = 10,65
- π_{mp} = 13,25

Nu gaat het om de interpretatie van de uitkomsten. Met een steekproeffrequentie van 84% van de producent wordt bedoeld dat letterlijk 84% van de binnenkomende onderdelen wordt gecontroleerd, zowel technisch als logistiek. Dit is een vrij intensieve uitkomst, vergeleken met het feit dat er op dit moment op technisch gebied niet wordt gecontroleerd. Hier zijn een aantal conclusies uit te trekken.

Ten eerste is de uitkomst gebaseerd op een aantal aannames, met name voor de inspectiekosten. Er is gekozen voor een zelfde kostenplaatje bij de uitgaande inspectie van de leverancier en de ingangscntrole van de producent. Veranderen we de uitkomst van c_{so} van 3 naar 2 en c_{mi} van 3 naar 4, dan blijkt dat de uitkomsten $\rho_{so} = 59\%$ en $\rho_{mi} = 70\%$ zijn. Er zal voor een verder onderzoek naar de concrete toepasbaarheid van dit model dus zeer kwantitatieve data voor wat betreft de inspectiekosten beschikbaar moeten zijn.

Verder is er een waarde voor ρ_{mo} vastgesteld op 0,8, wat ook een aanname is geweest. Wanneer we bekijken hoe gevoelig het model is voor de variatie in die variabele, zien we dat dit weinig verschil oplevert. In tabel 9 zijn de uitkomsten van de steekproeffrequenties te vinden voor verschillende waarden van ρ_{mo} .

$\rho(mo)$	$\rho(so)$	$\rho(mi)$
0,0	0,74	0,88
0,1	0,72	0,88
0,2	0,71	0,87
0,3	0,70	0,87
0,4	0,69	0,86
0,5	0,68	0,86

0,6	0,66	0,85
0,7	0,65	0,85
0,8	0,63	0,84
0,9	0,61	0,83
1,0	0,60	0,83

TABEL 9: VERSCHILLENDE WAARDEN $\rho(so)$ EN $\rho(mi)$ BIJ VARIËREN VAN $\rho(mo)$

We zien hier dat de ρ_{so} hier in de uiterste gevallen varieert van 0,60 tot 0,74 en dat ρ_{mi} varieert van 0,83 tot 0,88. We kunnen dus stellen dat het variëren van ρ_{mo} wel een bepaalde invloed heeft op de uitkomst, maar omdat lagere waarden dan 0,7 voor ρ_{mo} al onwaarschijnlijk zijn, dit dus beperkte invloed heeft. Onze aanname van 0,8 lijkt ook vrij representatief gezien de uitkomsten van de numerieke studies van Hsieh en Liu [3].

Verder staat of valt het model op de realistische parameters, zoals p_i , w_i , en θ_i . Het is belangrijk om te weten dat het bij de p_i 's en de w_i 's vooral gaat om de verhoudingen tussen deze waardes. Er moet namelijk een factor worden vastgesteld (gemeten) dat de toegevoegde waarde van p_m ten opzichte van p_s kan uitdrukken. Daarnaast moeten dan de boetekosten worden berekend. Dit wordt vaak ook gedaan door een de p_i 's met een bepaalde factor te vermenigvuldigen. Uiteindelijk kan er in een verdere studie nog worden ingegaan op de rationaliteit achter de boetes w_i waarbij zowel de leverancier als de producent baat bij kunnen hebben.

Het inspectiemodel is volledig ingevoerd in een Excel-model en naast de gebruikte game IV strategie, zijn ook de game II en game III strategieën hierin geïmplementeerd. Dit betekent dat als er in meer of minder mate informatie beschikbaar is voor en over de leverancier en producent, er ook hiervoor optimale evenwichten kunnen worden berekend. De daarbij behorende optimale steekproeffrequenties en kwaliteitsinvesteringen worden dan berekend door middel van de formules in de bijlage.

Game III is met name interessant als VMI niet direct eisen zou stellen aan de leveranciers voor wat betreft de afkeurratio's, maar juist voor de steekproeffrequenties. Als dan de steekproeffrequenties van de leverancier en de kwaliteitsinvesteringen en de uitgaande steekproeffrequenties van VMI bekend en beschikbaar zouden zijn, dan zouden daar optimale kwaliteitsinvesteringen van de leverancier en steekproeffrequenties van binnenkomende onderdelen van de producent uit komen rollen. Als deze game wordt gespeeld, blijken er ook andere strategieën uit te komen, zoals blijkt uit de studie van Hsieh en Liu [3]. Dit is wellicht een interessante richting voor een vervolgstudie.

Nu is het antwoord op het model dat er een bepaald percentage van de binnenkomende onderdelen bij VMI gecontroleerd zou moeten worden (en uiteraard ook bij de uitgaande controle van de leverancier). Maar het is nogal een impact om het hele systeem om te gooien en ineens 84% van de binnenkomende onderdelen te gaan controleren. Het wordt aanbevolen om de 84% in het achterhoofd te houden voor een vrij algemeen beeld van de hele onderdelenstroom. Als men per leverancier dit gaat beslissen, wat logischer is gezien de verscheidenheid in onderdelen/prijzen/technische specificaties/etc., zouden er wellicht andere waarden uit kunnen komen. Ook kan het zijn dat er verschillende games worden gebruikt bij andere leveranciers. Er is in dit onderzoek uitgegaan van één game, die toepasbaar is op vrij realistische data, maar dit is daarnaast ook vrij generiek. Het model kan echter breed toegepast worden voor verschillende leveranciers/producent ketens en heeft daarvoor meer realistische

en bruikbare data nodig. Dit model is een basis om de hele interactie tussen leverancier en producent met betrekking tot kwaliteitsinvesteringen en inspectiepolitieken in kaart te brengen en te modelleren.

6.2 Antwoord op de probleemstelling

We hadden de probleemstelling als volgt geformuleerd:

‘Welk onderdelencontrolesysteem moet VMI hanteren om de totale kosten van procesvertragingen te verminderen en waar moet deze controle plaatsvinden?’

We kunnen om te beginnen stellen dat een honderd procent controle niet noodzakelijk is, aangezien dit onnodig veel tijd en geld kost. Dit bleek ook al uit het literatuuronderzoek. Daarnaast zou een optie zijn om bepaalde onderdelen altijd te controleren, wat afhangt van de kritiektheid van het onderdeel. Het blijkt dat VMI op dit moment geen lijst van kritieke onderdelen heeft, omdat er niet per onderdeel (of type onderdeel) gegevens zijn over de gevolgen voor het gehele productieproces wanneer dit onderdeel defect is. Om dit te realiseren, zou er aanvullend onderzoek gedaan moeten worden wat op dit moment buiten de omvang van dit onderzoek valt. Er is uit het onderzoek bij Weir gebleken dat hier wel honderd procent controle op bepaalde onderdelen wordt uitgevoerd omdat dit om een aparte categorie onderdelen gaat (gegoten) die niet van toepassing zijn binnen VMI. We kunnen dus niet aantonen dat er bij VMI onderdelen zijn die altijd gecontroleerd zouden moeten worden.

De enige opties die dan nog openstaan zijn: geen controle en steekproefsgewijs controleren. Er is met het toepassen van het model van Hsieh en Liu aangetoond dat steekproefsgewijs controleren er voor kan zorgen dat er een optimaal evenwicht in winst kan ontstaan voor zowel VMI als haar leveranciers. Er is voor één leverancier de optimale steekproeffrequentie berekend.

Omdat de invoerparameters kunnen verschillen per onderdeel en/of per leverancier, kunnen we concluderen dat er niet één steekproeffrequentie voor de ingangscntrole van VMI hoeft te zijn, maar dat dit per leverancier of per type onderdeel kan verschillen. Er kan dan gebruik worden gemaakt van de aangeleverde Excel file, waar de invoerparameters kunnen worden aangepast en dan de resultaten worden berekend. Daarmee kan een systeem worden ontwikkeld die alle steekproeffrequenties samenvoegd en bij de goederenontvangstbanen een signaal geeft wanneer er een onderdeel gecontroleerd moet worden.

Het uiteindelijke doel is om de kosten van procesvertragingen te verminderen. Dit hangt nauw samen met de boeteclausules die in de leverancierscontracten staan. Procesvertragingen worden namelijk tegengegaan door meer geld in de processen te stoppen. Als een procesvertraging dreigt te ontstaan doordat een onderdeel van een leverancier defect is, moeten de kosten hiervoor worden opgevangen door de boetes die een leverancier dan moet betalen.

Bronnenlijst

- [1] Van der Bij, Broekhuis, Gieskes, (2001) *Kwaliteitsmanagement in beweging*, Kluwer, Deventer
- [2] Jurgens, De Bondt, (2002) *Kwaliteitsmanagement in de documentaire informatie*, Kluwer, Alphen a/d Rijn
- [3] Chung-Chi Hsieh, Yu-Te Liu, (2010) *Quality investment and inspection policy in a supplier–manufacturer supply chain*, European Journal of Operational Research 202, 717-729
- [4] Chen, Lin, Huang, (2006) *A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management*, Int. J. production Economics 102, 289-301
- [5] Wei Shi Lim, (2001) *Producer-supplier contracts with incomplete information*, Management science vol. 47, 706-715
- [6] Yadong Li, Peihua Gu, (2004) *Free-form surface inspection techniques state of the art review*, Computer-Aided Design 36, 1395-1417
- [7] Charles A. Weber, John R. Current, W.C. Benton, (1991), *Vendor selection and criteria methods*, European Journal of Operational Research 50, 2-18
- [8] Rohit Verma, Madeleine E. Pullman, (1998), *An analysis of the supplier selection process*, Omega vol. 26, 739-750
- [9] Hans Heerkens, *Managerial problem solving method*
- [10] Yuan Liu, Keith W. Hipel, (2012), *A hierarchical decision model to select quality control strategies for a complex product*, IEEE Transactions on systems, man and cybernetics – part A vol. 42, 814 – 826
- [11] K.R. Balachandran, S. Radhakrishnan, (2005), *Quality implications of warranties in a supply chain*, Management Science 51 (8), 1266–1277

