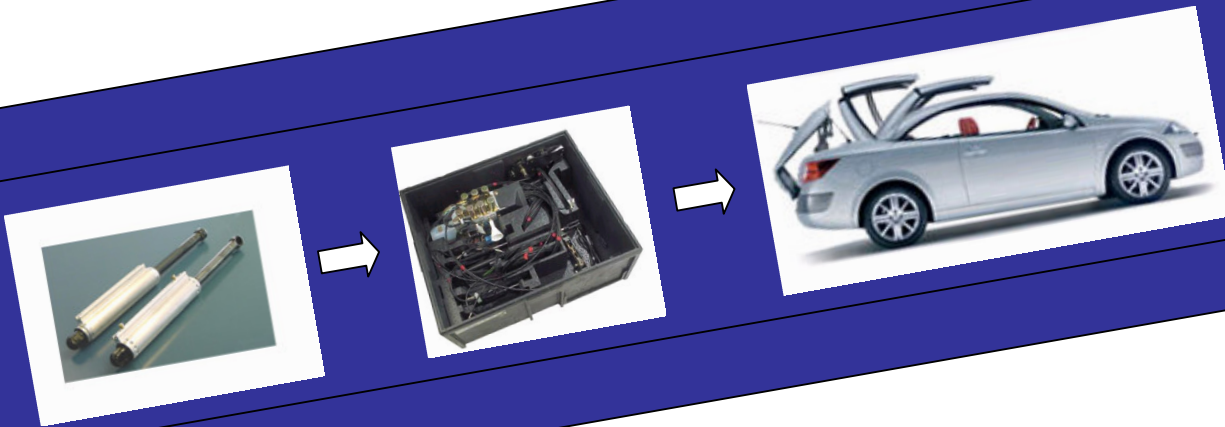


Capaciteitsmanagement voor de cilinderafdeling



Hoe Power Packer de optimale inzet van machinecapaciteit bij de cilinderassemblage nu en in de toekomst kan bepalen

Capaciteitsmanagement voor de cilinderafdeling

Auteur:	Ing. M.C.M. de Koning
Studentnummer:	s0052175
Opdrachtgever:	Power Packer
Onderwijsinstelling:	Universiteit Twente
Faculteit:	Management en Bestuur
Opleiding:	Technische Bedrijfskunde
Studieonderdeel:	Afstudeerproject
Begeleider Power Packer:	E. Admiraal
Begeleiders Universiteit Twente:	Ir. W. Bandsma Dr. ir. J.M.J. Schutten

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie over het onderzoek dat ik heb uitgevoerd ter afronding van de opleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Dit onderzoek is uitgevoerd bij Power Packer, een bedrijf dat gespecialiseerd is in electro-hydraulische aansturingssystemen en dat gevestigd is in Oldenzaal.

Het eerste contact over deze afstudeeropdracht vond plaats in juli 2005. In het begintraject was mijn onderzoek te breed opgezet, maar uiteindelijk is 'capaciteitsmanagement voor de cilinderafdeling' het onderwerp van het onderzoek geworden. Gedurende mijn periode bij Power Packer ben ik begeleid door Erik Admiraal, die ik hartelijk wil bedanken voor de tijd en aandacht die hij aan mijn afstudeerwerk heeft besteed.

Dit onderzoeksproject was een uitdaging en heeft veel doorzettingsvermogen geëist, maar het was ook een zeer leerzame periode. Graag wil ik dan ook mijn begeleiders van de Universiteit Twente, de heren Bandsma en van der Heijden bedanken voor de discussies, kritieken, adviezen en aanbevelingen die uiteindelijk geleid hebben tot het voltooien van mijn scriptie.

Vanwege ziekte moest de heer van der Heijden helaas de begeleiding van mijn afstuderen in de eindfase stoppen. Ik wens hem van harte beterschap. De heer Schutten is gelukkig bereid gevonden de begeleiding van het eindtraject over te nemen, waarvoor ik ook hem speciaal wil bedanken.

Tevens wil ik mijn broer Tim en zijn vriendin Diana bedanken, die goede commentaren en adviezen hebben gegeven in de loop van mijn afstudeertraject. Zij hebben mij geholpen met het focussen op de grote lijn van het onderzoek. Tenslotte wil ik mijn ouders bedanken voor de voortdurende steun en positieve houding tijdens mijn afstudeerperiode.

Veel plezier bij het lezen van mijn scriptie.

Enschede, mei 2007
Martijn de Koning

Samenvatting

Power Packer is een bedrijf dat gespecialiseerd is in electro-hydraulische aandrijfsystemen. Bij de BU Automotive worden dakaandrijvingen voor cabriolets geassembleerd. Een dakaandrijving bestaat uit een pomp, diverse cilinders en een slangenset. Met ingang van juni 2005 is het assemblageproces van cilinders veranderd. Er is een aparte cilinderafdeling opgestart, waar cilinders voor diverse merken geassembleerd worden. Voorheen werden de cilinders per merk nog op de eindassemblagelijnen geassembleerd. De inzet van capaciteit voor de cilinderassemblage is nu afhankelijk van een meervoudige fluctuerende vraag. De vraag is meervoudig omdat er cilinders voor verschillende eindsets geassembleerd worden. De cilinderassemblage is ingedeeld per buisdiameter. Er worden vijf buisdiameters onderscheiden: 14 mm., 16 mm., 18 mm., 20 mm. en 22 mm. Per buisdiameter moet de inzet van machinecapaciteit bepaald worden. Door de verandering in het productieproces wordt het moeilijker om de capaciteit af te stemmen op de capaciteitsbehoefte.

In dit onderzoek wordt een kwantitatief model opgesteld waarmee Power Packer nu en in de toekomst inzicht verkrijgt in de afstemming van de machinecapaciteit van de cilinderassemblage op de fluctuerende vraag naar cilinders. Hiervoor wordt eerst de theoretische achtergrond bij capaciteitsmanagement geformuleerd en is de cilinderassemblage beschreven. Variabiliteit in het productiesysteem heeft een grote invloed op capaciteitsplanning, vandaar dat deze variabiliteit is geanalyseerd. De variabiliteit bestaat uit variatie in de vraag naar cilinders en variatie in de output van de cilinders.

Variabiliteit in het productiesysteem maakt de capaciteitsinzet complexer. Bij het analyseren van de variabiliteit in het productiesysteem is naar voren gekomen dat er sprake is van zeer hoge mate van variatie in de vraag naar cilinders. De variabiliteit in de output van de cilinderassemblage is beperkt. Een uitgangspunt bij dit onderzoek is dat deze variabiliteit opgevangen wordt door de voorraad cilinders.

De variatie in de vraag naar cilinders is nader onderzocht. Naast de maandelijkse variatie in de vraag is er ook nog sprake van wekelijkse variatie. Uit de analyses blijkt dat de vraag naar cilinders volgens een normale verdeling te benaderen is.

Bij het modelleren van de kosten van capaciteitsinzet zijn verschillende scenario's opgesteld waarin het aantal machinelijnen per buisdiameter varieert. Van ieder scenario zijn de verwachte kosten bepaald. Deze kosten bestaan uit drie factoren: arbeidskosten, machinekosten en boetekosten.

De arbeidskosten worden berekend door de verwachte arbeidstijd te vermenigvuldigen met de arbeidskosten per uur.

De machinekosten zijn afhankelijk van het aantal extra machinelijnen, dat aangeschaft wordt. Deze kosten bestaan uit investeringskosten en kosten voor de ruimte die deze lijnen innemen. Bij het bepalen van de maandelijkse machinekosten wordt rekening gehouden met een afschrijvingsperiode van drie jaar.

De boetekosten worden gehanteerd om de verwachte kosten aan te geven die ontstaan als er niet (op tijd) geleverd kan worden aan de klant. Deze kosten worden bepaald door het aantal cilinders dat niet geleverd kan worden te vermenigvuldigen met een boete per cilinder. De bezettingsgraad geeft in combinatie met het aantal cilinders een indicatie van het aantal cilinders dat niet geleverd kan worden. Hierbij wordt er ook rekening gehouden met een veiligheidsmarge omdat ondercapaciteit van de cilinderassemblage deels opgevangen kan worden door de voorraad eindsets.

Voor het bepalen van de verwachte kosten worden er vier weken per maand gesimuleerd met behulp van Monte Carlo Simulatie. Een deterministisch model kan met Monte Carlo

Simulatie relatief eenvoudig omgezet worden in een stochastisch model door de invoerparameters te genereren uit een bepaalde verdeling. De verwachte wekelijkse kosten worden bepaald bij inzet van 2-ploegendienst en 3- ploegendienst. De kosten van de ploegendienst waarbij de laagste kosten per week optreden worden meegenomen in de berekening van de totale kosten van capaciteitsinzet per maand.

Er worden drie scenario's onderzocht waarin de inzet van machinecapaciteit varieert. Bij het eerste scenario wordt er voor iedere diameter één machinelijn ingezet. Deze configuratie is minimaal nodig om aan de vraag naar cilinders te kunnen voldoen. Bij het tweede scenario worden twee machinelijnen aangeschaft voor cilinders met een buisdiameter van 14 mm. Bij het derde scenario wordt er geïnvesteerd in twee extra machinelijnen (14mm en 20mm).

Op basis van de voorspelling in de vraag naar eindsets van juni 2006 is bepaald dat het derde scenario de minste kosten met zich meebrengt. Deze kosten zijn gebaseerd op de vijfde en zesde maand, dit zijn de eerste twee maanden waarin de nieuwe machinelijnen operationeel kunnen zijn. Bij de eerste twee scenario's zijn de verwachte boetekosten in combinatie met de hogere arbeidskosten, hoger dan de extra machinekosten die ontstaan door in twee extra machinelijnen te investeren.

Bij Power Packer is een rekenmodel achtergelaten, waarmee de verwachte gemiddelde bezettingsgraad per diameterlijn bepaald kan worden. Deze bezettingsgraden geven een indicatie van de noodzaak tot investeren in extra machinelijnen. Hierbij wordt er uitgegaan van 2-ploegendienst, waarbij de variabiliteit in het productiesysteem opgevangen kan worden door het overschakelen naar 3-ploegendienst. Het veranderen van ploegendienst geeft zoveel extra capaciteit dat de variabiliteit in het productiesysteem helemaal opgevangen kan worden. Er kan dus afgestemd worden op een gemiddelde bezettingsgraad van 100% bij 2-ploegendienst. Voor een goed overzicht van de verwachte kosten is het beter om de stochastische modellering toe te passen. Hierbij wordt de variabiliteit in het productiesysteem gemodelleerd.

Naast het opvangen van variabiliteit in het productiesysteem door een combinatie van tijd en capaciteit, kan variabiliteit ook opgevangen worden door voorraad. In dit onderzoek is voorraad als een vaste waarde beschouwd. Het is aan te raden om nader onderzoek uit te voeren naar de mogelijkheden om meer variabiliteit op te vangen met voorraad.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	4
Hoofdstuk 1 Inleiding.....	8
1.1 Probleemschets	8
1.2 Probleemstelling	10
1.3 Onderzoeksafbakening	11
1.4 Onderzoeksaanpak	12
Hoofdstuk 2 Theoretisch onderzoekskader	15
2.1 Inleiding.....	15
2.2 Het productiesysteem	15
2.3 Capaciteitsplanning.....	15
2.4 De invloed van variabiliteit op de capaciteitsplanning	16
2.5 Analyseren van het systeem	17
Hoofdstuk 3 Beschrijving van de cilinderassemblage	19
3.1 Procesbeschrijving	19
3.2 Typering van het productiesysteem	20
3.2.1 Opbouw van een eindset.....	21
3.2.2 Fysieke inrichting van de cilinderassemblage	22
3.2.3 Belangrijkste middelen voor de assemblage van cilinders	24
3.2.4 Product volume uitgedrukt in cilinders	25
3.2.5 Variëteit van cilinders.....	28
3.2.6 Product-flow beheersing bij de cilinderassemblage.....	28
3.2.7 Order-initiatie van cilinders	29
3.2.8 Autorisatie voor de assemblage van cilinders.....	31
3.2.9 Tijd horizon van het planningsmodel.....	31
3.3 Afbakening van het productiesysteem	32
Hoofdstuk 4 Variabiliteit in het productiesysteem	33
4.1 Inleiding.....	33
4.2 Variabiliteit in de vraag naar cilinders	34
4.2.1 Inleiding.....	34
4.2.2 Variabiliteit in de vraag naar cilinders per maand	36
4.2.3 Variabiliteit in de vraag naar cilinders binnen de maand	40
4.3 Variabiliteit in de assemblage van cilinders.....	41
4.3.1 Inleiding.....	41
4.3.2 Aantal operators per machinelijn	41
4.3.3 Variabiliteit per bewerkingsstation	42
4.3.4 Opvangen van verstoringen van de machinelijnen	45
4.3.5 Prestatiemeting bij Power Packer.....	49
4.4 Conclusie	50

Hoofdstuk 5	Modelbeschrijving voor de inzet van machinecapaciteit.....	52
5.1	Inleiding.....	52
5.2	Het bepalen van de gevraagde productietijd.....	53
5.2.1	Inleiding.....	53
5.2.2	Het genereren van de vraag naar cilinders.....	53
5.2.3	Berekening van de totale gevraagde productietijd.....	55
5.3	De beschikbare productietijd voor de cilinderassemblage.....	56
5.4	De kosten van de inzet van capaciteit.....	57
5.4.1	Inleiding.....	57
5.4.2	Bepalen van de arbeidskosten.....	58
5.4.3	Bepalen van de machinekosten.....	59
5.4.4	Bepalen van de boetekosten.....	60
5.4.5	Het modelleren van de kosten van capaciteitsinzet.....	63
5.5	Interpretatie van de resultaten van het model.....	64
5.5.1	Inleiding.....	64
5.5.2	Verificatie van het model.....	64
5.5.3	Verhogen van de validiteit en geloofwaardigheid van het model.....	66
5.6	Conclusie.....	66
Hoofdstuk 6	Resultaten verkregen met het stochastische model.....	68
6.1	Inleiding.....	68
6.2	Bepalen van de scenario's van capaciteitsinzet.....	68
6.3	Kosten van de capaciteitsinzet.....	70
6.4	Gevoeligheidsanalyse.....	72
6.5	Ontwikkeling van de vraag naar cilinders na de vijfde en zesde maand.....	75
6.6	Deterministische benadering voor Power Packer.....	76
6.7	Conclusie.....	77
Hoofdstuk 7	Conclusies en aanbevelingen.....	78
7.1	Inleiding.....	78
7.2	Conclusies.....	78
7.3	Aanbevelingen en nader onderzoek.....	79

Referenties

Bijlage 1	Cilinders per eindset
Bijlage 2	Eigenschappen van de cilinders
Bijlage 3	Extra analyses van de variabiliteit in de vraag naar cilinders
Bijlage 4	Verdiscontering van de initiële investering
Bijlage 5	Verificatie van de invoerparameters
Bijlage 6	Vereenvoudigde berekening van de bezettingsgraad
Bijlage 7	Bepalen van het aantal runs met het model
Bijlage 8	Aantal weken in 3-ploegendienst per scenario
Bijlage 9	Spreiding van de totale kosten
Bijlage 10	Extra analyses bij gevoeligheidsanalyse

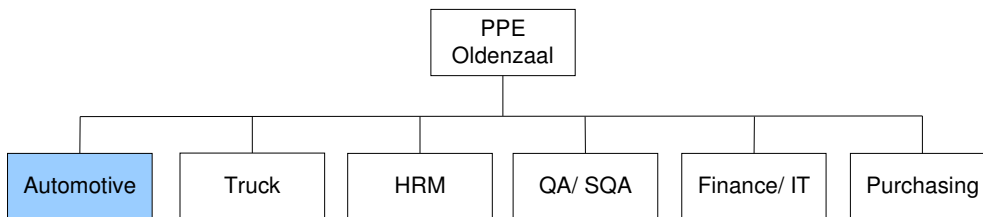
Hoofdstuk 1 Inleiding

1.1 Probleemschets

Gezien de dynamiek binnen de Automotive industrie, dienen bedrijfsprocessen continu geoptimaliseerd te worden. Er is in de Automotive branche een voortdurende concurrentiestrijd gaande tussen fabrikanten van de grote automerken, zoals Volkswagen, Peugeot en Renault (www1, 2006). Vooral voor deze merken met hoge afzetvolumes is de kostprijs van groot belang, wat zijn doorwerking heeft op leveranciers. Eén van deze leveranciers is Power Packer.

Power Packer is een zelfstandige dochteronderneming van het Amerikaanse Actuant en is gespecialiseerd in electro-hydraulische aansturingssystemen. Deze aansturingssystemen worden niet alleen toegepast in auto's, maar ook in cabinekantelsystemen voor vrachtauto's, bij pleziervaartuigen, in agrarische werktuigen, bij ziekenhuisbedden, stretchers en behandelafels (www2, 2005). Voor de productie van de diverse aansturingssystemen worden binnen Power Packer vijf Business Units (BU) onderscheiden, weergegeven in het organigram in Figuur 1. Dit zijn: Automotive, Truck, Marine, Agrarische sector en de Medische sector.

Het hoofdkantoor van Power Packer Europa en Azië bevindt zich in Oldenzaal. In de vestiging aan de Edisonstraat in Oldenzaal is het hoofdkantoor van de Business Units Automotive en Truck gevestigd. De afdelingen Inkoop, Financieel / IT, Human Resource Management en Kwaliteit (QA / SQA) opereren voor beide Business Units. Dit onderzoek vindt plaats bij de Business Unit Automotive.



Figuur 1 Organigram Power Packer Europe (Automotive & Truck)

De BU Automotive produceert electro-hydraulische dakaandrijvingen voor cabriolets. Deze productie vindt plaats in Glendale (US) en Oldenzaal. In Oldenzaal worden er voor zowel standaard-merken (bijv. Volkswagen, Peugeot en Renault) als exclusieve merken (bijv. Maserati, Bentley en Corvette) geproduceerd. De BU Automotive levert dakaandrijvingen aan dakleveranciers. Deze dakleveranciers assembleren de dakaandrijvingen in de daken en leveren het dak van een auto aan de desbetreffende fabrikant. Slechts de dakaandrijvingen van enkele exclusieve merken worden direct aan de autofabrikant geleverd, bijvoorbeeld Bentley. Het product is zeer specifiek en wordt volledig op basis van de klantwens ontworpen.

De klant vraagt dus om een electro-hydraulische dakaandrijving, die bij Power Packer en in het vervolg van het rapport aangeduid wordt met eindset. Iedere klant vraagt een specifieke eindset die ontworpen is voor een bepaald type auto. Een eindset bestaat uit verschillende onderdelen die bij Power Packer worden geassembleerd: een pomp, diverse cilinders en een slangenset. Per type eindset varieert het aantal cilinders, het type pomp en de slangenset.

Het assemblageproces kan op verschillende manieren worden ingericht. Power Packer heeft in januari 2005 besloten om het assemblageproces op een andere manier in te gaan richten. Binnen Power Packer is de afdeling Proces Engineering belast met de optimalisatie van de productielijnen en verantwoordelijk voor de andere inrichting.

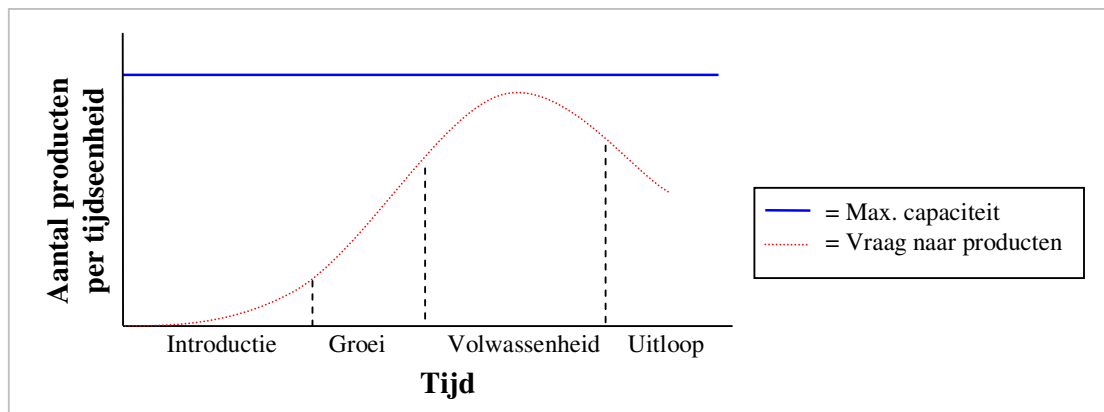
De verandering sluit aan bij de doelen van Power Packer. De hoofddoelstelling bij Power Packer is het behoud van bedrijfscontinuïteit en de versterking van de marktpositie door het realiseren van groei. Power Packer wil zich onderscheiden door een goede kwaliteit, leveringsnelheid en leverbetrouwbaarheid. Indien Power Packer ook nog de kosten kan reduceren, wordt de concurrentiepositie sterker en kunnen er nieuwe projecten binnengehaald worden (Damhuis, 2005). De grootste kostenreductie valt te behalen door de assemblage van cilinders aan te passen, vanwege de hoge afzetvolumes van deze onderdelen.

De vraag naar eindsets stijgt door de recente ontwikkelingen in de markt, zoals het dalen van het prijsniveau van cabriolets en de overgang van bijna ieder merk naar een cabrio-uitvoering. Daarnaast worden de producten complexer, er worden meerdere cilinders per dakaandrijving gebruikt. De beschikbare ruimte in de auto wordt namelijk belangrijker. Met het gebruik van meer cilinders per eindset neemt het dak in geopende toestand minder ruimte in. Daarnaast wordt ook steeds vaker de kofferbak van een auto hydraulisch aangestuurd, wat ook leidt tot extra cilinders per eindset.

Sinds juni 2005 is er een veranderingstraject ingezet voor de inrichting van het productiesysteem. De cilinders van standaardmerken gaan via een aparte cilinderafdeling geassembleerd worden. Door deze verandering moet de machinecapaciteit van de cilinderassemblage afgestemd worden op de meervoudige vraag (de vraag naar cilinders voor diverse eindsets).

Gedurende de looptijd van een eindset is er sprake van sterke variatie in de vraag. De vraag naar eindsets stijgt in het begin sterk en is vervolgens redelijk stabiel. Als het product de eindfase bereikt, daalt de afzet weer.

Voor de komst van de cilinderafdeling werd de machinecapaciteit afgestemd op de maximaal verwachte afzet van één eindset. De cilinderassemblage vond hierbij plaats in de eindassemblagelijijn. In Figuur 2 is grafisch weergegeven dat vooral in de beginfase en eindfase van de productlevenscyclus van een eindset sprake is van overcapaciteit. Dit komt door de lage vraag in deze periode en de vaste machinecapaciteit.



Figuur 2 Vraag naar producten afgezet tegen de maximale capaciteit (Op basis van Kotler 2003; p. 328)

Naast de variatie in de vraag afhankelijk van de fase in de productlevenscyclus, is er ook sprake van seizoensinvloeden. In het voorjaar worden er in totaal beduidend meer producten afgezet dan in het najaar. De verwachting van het aantal te leveren producten wordt in samenspraak met de klant(en) opgesteld. Deze verwachting is onderhevig aan onzekerheid. De daadwerkelijke af te leveren aantallen zullen van de voorspelling afwijken.

Het bepalen van de machinecapaciteit voor de cilinderassemblage op lange termijn draagt bij aan de beslissing over de locatie van de cilinderafdeling. Het aantal machinelijnen heeft een grote invloed op de benodigde ruimte voor de cilinderafdeling. De beslissing over de locatie van de cilinderafdeling is nog niet genomen (augustus 2005).

Op middellange termijn is er inzicht nodig in de behoefte aan machinecapaciteit voor de cilinderassemblage omdat de investeringsbeslissing voor extra machines maanden van tevoren genomen moet worden. Door de onzekerheid en hoge mate van fluctuatie in de vraag naar eindsets en dus de vraag naar cilinders, is het optimaal afstemmen van de machinecapaciteit een lastig vraagstuk. Voor Power Packer is de uitdaging om met de komst van de cilinderafdeling, de machinecapaciteit van de cilinderassemblage zo goed mogelijk af te stemmen op de toekomstige vraag naar cilinders.

1.2 Probleemstelling

Uit de probleemschets is naar voren gekomen dat de optimale afstemming van de machinecapaciteit voor de cilinderassemblage door de meervoudige vraag complexer is geworden. Vandaar dat dit onderzoek zich zal richten op het ondersteunen van de beslissing tot inzet van extra machinecapaciteit voor de cilinderassemblage. Hierbij wordt de volgende doelstelling gehanteerd:

- Het ontwikkelen van een kwantitatief model waarmee Power Packer nu en in de toekomst inzicht verkrijgt in de afstemming van de machinecapaciteit van de cilinderassemblage op de fluctuerende vraag naar cilinders

Om aan deze doelstelling te voldoen dient de volgende vraag beantwoord te worden:

- Hoeveel machinecapaciteit is er nu en in de toekomst nodig voor de cilinderassemblage ter waarborging van de beschikbaarheid van cilinders om aan de variërende naar eindsets te kunnen voldoen?

Ter sturing en structurering van de beantwoording van de hoofdvraag, is deze onderverdeeld in de volgende vier deelvragen en sub-deelvragen:

1. Welke theorie is van belang bij het bepalen van de inzet van machinecapaciteit voor de cilinderassemblage?
 - a. Welke theoretische achtergrond wordt er gebruikt bij het beschrijven van het productiesysteem?
 - b. Hoe wordt het belang van capaciteitsplanning in de theorie behandeld?
 - c. Welke invloed heeft variabiliteit in het algemeen op de capaciteitsplanning?
 - d. Welke vormen van modelleren van een (productie)systeem zijn er te onderscheiden?
2. Hoe ziet het assemblageproces er bij de cilinderafdeling uit?
 - a. Welke fasen worden er doorlopen, voordat de assemblage van een cilinder van een nieuw type eindset in het productiesysteem opgenomen wordt?
 - b. Hoe ziet het productiesysteem er uit voor de assemblage van cilinders?
 - c. Welke afbakeningen zijn er op systeemniveau gemaakt?

3. Welke variabiliteit wordt meegenomen in de beslissing tot het veranderen van de machinecapaciteit bij de cilinderassemblage?
 - a. In welke mate is extra machinecapaciteit nodig om variabiliteit in de vraag naar cilinders op te vangen?
 - b. In welke mate is extra machinecapaciteit nodig om de variabiliteit in de output van de cilinderassemblage op te vangen?

4. Hoe ziet het model ter ondersteuning van de inzet van de machinecapaciteit van de cilinderassemblage eruit?
 - a. Welke factoren zijn van belang bij het bepalen van de inzet van machinecapaciteit bij de cilinderassemblage?
 - b. Hoe wordt de capaciteitsinzet voor de cilinderassemblage gemodelleerd?
 - c. Is het model correct ten opzichte van de modelspecificatie en ten opzichte van de werkelijkheid?

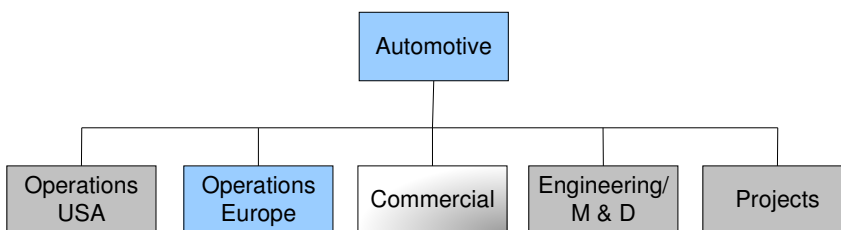
5. Hoe kan de inzet van machinecapaciteit met het model ondersteund worden?
 - a. Wanneer worden de volgende investeringen in machines volgens het model verwacht?
 - b. Hoe is het model in de toekomst door Power Packer te gebruiken?

1.3 Onderzoeksafbakening

Voor het bepalen van de onderzoeksvragen en dus de scope van het onderzoek zijn er een aantal afbakeningen gemaakt. In deze paragraaf worden de afbakeningen weergegeven die na de verkenning van het probleem gemaakt kunnen worden. In de systeemafbakening (paragraaf 3.3) worden er meer gedetailleerde afbakeningen gemaakt, op basis van de beschrijving van het productiesysteem.

De gemaakte keuzes die geleid hebben tot dit onderzoek en de aanleiding hiertoe, zullen niet geanalyseerd worden. De beslissing om over te gaan tot een nieuwe cilinderafdeling (Damhuis, 2005) is dan ook een uitgangspunt voor dit onderzoek.

De Business Unit bestaat uit Operations USA, Operations Europe, Commercial, Engineering / Marketing & Development en Projects, zie Figuur 3. Het ontwerp van de productie-lijnen in Glendale (Operation USA) wordt ook verricht door de afdeling Process Engineering in Oldenzaal. In Glendale worden cilinders echter nog in de eindassemblagelijnen geassembleerd. Indien de overgang naar een aparte cilinderafdeling in Oldenzaal een succes wordt, kan ook in Glendale hiertoe overgegaan worden. Aangezien hiervoor eerst ervaringen vereist zijn van de huidige overgang, wordt de overgang in Glendale buiten beschouwing gelaten. De ondersteuning van de capaciteitsinzet voor de afdeling in Oldenzaal kan echter bij een overgang in Glendale ook daar gebruikt worden.

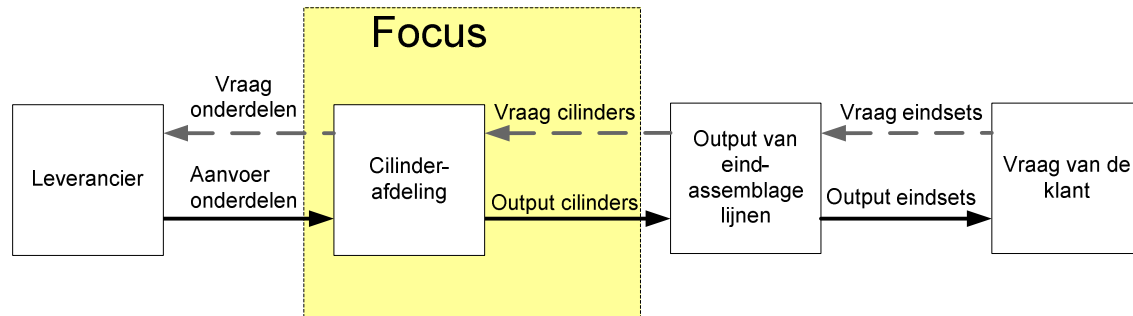


Figuur 3 Afbakening binnen de BU Automotive

Naast Operations Europe is het bedrijfsonderdeel Commercial interessant, aangezien hier onder andere de verwachting van het aantal te leveren eindsets in samenspraak met de klant

opgesteld wordt. Gezien het feit dat enkel deze activiteit in de BU Commercial relevant is binnen het onderzoekskader, zal slechts dit aspect van deze BU nader beschouwd worden.

De focus van dit onderzoek ligt op de cilinderafdeling, zoals weergegeven in Figuur 4. De vraag naar cilinders en de output van cilinders is het belangrijkste bij de bepaling van de capaciteitsinzet. Dit zal op de volgende pagina nader worden toegelicht.



Figuur 4 Focus binnen de productstroom

Dit onderzoek richt zich niet op het verbeteren van de aanvoer van de onderdelen. Deze factor wordt wel meegenomen in het bepalen van fluctuaties in de output van cilinders, maar hier zullen geen inhoudelijke aanbevelingen tot verbetering voor gedaan worden. De aanvoer van onderdelen is dus minder van belang.

De assemblage van eindsets op de eindassemblagelijnen zorgt voor de vraag naar cilinders. Deze vraag komt tot stand door de vraag naar eindsets van de klant. Aanbevelingen voor verbeteringen in de assemblage van de eindsets vallen ook buiten het bereik van dit onderzoek. De fluctuaties in de output van eindsets en de vraag naar eindsets worden wel behandeld. Dit is namelijk relevant voor de vraag naar cilinders.

De assemblage van pompen blijft in de huidige eindassemblage-lijnen plaatsvinden. In de toekomst is het de bedoeling dat de assemblage van de pompen ook op een aparte afdeling gaat plaatsvinden. Voordat er een pompenlijn komt die meerdere typen pompen kan assembleren, moeten eerst veranderingen in het ontwerp van de pomp plaatsvinden. Omdat de overgang nog niet vaststaat en de pompenassemblage geen invloed heeft op de capaciteitsinzet voor de cilinderafdeling, wordt de pompenassemblage buiten beschouwing gelaten.

1.4 Onderzoeksaanpak

Om aan de doelstelling van dit onderzoek te voldoen, wordt een antwoord gegeven op de hoofdvraag. In de probleemstelling is de hoofdvraag opgedeeld in deelvragen en subdeelvragen. Bij dit onderzoek worden de deelvragen achtereenvolgens behandeld.

In hoofdstuk 2 wordt het theoretisch onderzoekskader weergegeven, waarmee de eerste deelvraag wordt beantwoord. Voor dit onderzoek wordt het productiesysteem gemodelleerd om een beslissing te kunnen nemen over de planning van machinecapaciteit. Variabiliteit in het productiesysteem heeft een grote invloed op de beslissing tot inzet van machinecapaciteit. Allereerst wordt de theoretische achtergrond van een productiesysteem weergegeven. Vervolgens wordt ingegaan op het belang van capaciteitsplanning. Hier wordt het belang van het onderzoek verduidelijkt. Omdat variabiliteit een grote invloed heeft op de capaciteitsplanning, wordt de theoretische achtergrond van variabiliteit in een productiesysteem beschreven. Hierbij wordt een methode aangedragen voor het bepalen van

het effect van variabiliteit op de output. Tot slot wordt aangegeven hoe een productiesysteem gemodelleerd kan worden.

In hoofdstuk 3 wordt er gestart met het in kaart brengen van het productiesysteem voor de cilinderassemblage, wat betrekking heeft op de tweede deelvraag. Hierbij zal de nadruk liggen op de cilinderafdeling. Voor deze beschrijving zal er gesproken worden met teamleiders, hoofd logistiek en met medewerkers van de afdeling Process Engineering, aangezien zij verantwoordelijk zijn voor het ontwerp van de productielijnen. Om inzicht te krijgen in het assemblageproces van cilinders, wordt het huidige productieproces gedurende een week gevolgd. Bij het beschrijven van het productiesysteem wordt gebruik gemaakt van de classificatie van Askin en Goldberg (2002).

De derde deelvraag wordt behandeld in hoofdstuk 4, waar de variabiliteit in het productiesysteem wordt bepaald. De variabiliteit in het productiesysteem, die van invloed is op de bezetting van de machinecapaciteit, is hierbij van belang. De daadwerkelijke vraag kan afwijken van de verwachte waarde. Voor het bepalen van de afwijking zal een medewerker van de afdeling Sales (bedrijfsonderdeel Commercial) geïnterviewd worden en zal de beschikbare data over de klantvraag naar eindsets gebruikt worden. Hierdoor wordt er inzicht verkregen in de verwachte afwijking in de vraag naar cilinders.

Voor het bepalen van de mogelijke afwijkingen in de output van cilinders wordt eerst bepaald welke factoren de output beïnvloeden. Door deze factoren te kwantificeren wordt in combinatie met de vraag naar cilinders de verwachte output bepaald. De onzekerheden in de output worden vergeleken met de mogelijkheden om deze fluctuaties op te vangen.

In hoofdstuk 5 wordt het model beschreven dat opgesteld is om de beslissing tot inzet van extra machinecapaciteit te ondersteunen. Met dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de vierde deelvraag.

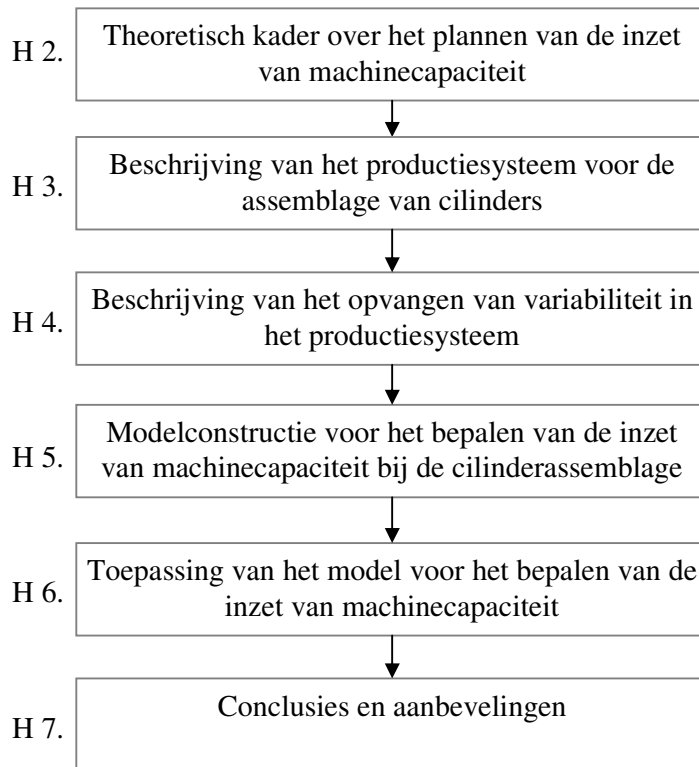
Eerst wordt bepaald welke factoren van belang zijn bij het bepalen van de inzet van de machinecapaciteit. Deze factoren worden in samenspraak met de afdeling Process Engineering bepaald. Zij zijn namelijk verantwoordelijk voor de inzet van de machinecapaciteit. Door het bepalen van deze factoren wordt duidelijk welke output het model moet genereren om de optimale inzet van machinecapaciteit te kunnen bepalen.

De volgende stap is de modellering van de inzet van capaciteit voor de cilinderassemblage. Op basis van de analyses die verricht zijn voor het bepalen van de onzekerheden in de output en de vraag, wordt bepaald hoe deze gemodelleerd worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van Monte Carlo simulatie om de variabiliteit in de vraag naar cilinders te modelleren.

Voor de juiste interpretatie van de resultaten moet bekeken worden in hoeverre het model overeenkomt met de werkelijkheid. Hiervoor wordt het model geverifieerd en gevalideerd. De verificatie wordt verricht door een controle op de rekenslagen die in het model gedaan worden. Bij de validatie wordt er bepaald of het model een goede representatie geeft van de werkelijkheid. Op basis van daadwerkelijke output van de cilinderassemblage bij de cilinderafdeling wordt bepaald in hoeverre dit overeenkomt met de verwachting van het model.

De vijfde deelvraag komt in hoofdstuk 6 aan bod bij de beschrijving van de resultaten. Hiervoor worden eerst een aantal scenario's van capaciteitsinzet vastgesteld. De mogelijkheden tot capaciteitsinzet bij de cilinderassemblage zijn namelijk beperkt. Bij maximale inzet van arbeidscapaciteit is de enige mogelijkheid om de machinecapaciteit aan te passen. Op basis van de verwachte kosten per scenario van capaciteitsinzet wordt bepaald of er extra machinelijnen aangeschaft moeten worden.

De schematische weergave van de onderzoeksopbouw is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5 Schematische weergave van de onderzoeksopbouw

In deze paragraaf is de inhoud van de diverse hoofdstukken reeds besproken. Bovenstaande figuur geeft een korte impressie van de opbouw van het onderzoek. De inhoud van de diverse hoofdstukken is hierbij in korte termen weergegeven. De hoofdstukken 2 tot en met 6 dienen een antwoord te geven op de vijf opgestelde deelvragen. Tot slot worden de conclusies en aanbevelingen gepresenteerd in hoofdstuk 7.

Hoofdstuk 2 Theoretisch onderzoekskader

2.1 Inleiding

In dit theoretische onderzoekskader wordt de theorie over capaciteitsplanning beschreven. Dit kader is weergegeven om de lezer bekend te maken met de gebruikte termen die betrekking hebben op de factoren die een rol spelen bij capaciteitsplanning. Hiervoor wordt eerst aangegeven hoe het productiesysteem gedefinieerd wordt. Vervolgens wordt ingegaan op de basis van capaciteitsplanning. Bij het plannen van capaciteit speelt variabiliteit een belangrijke rol. Vandaar dat de invloed van variabiliteit op de capaciteitsplanning ook aan de orde komt. Tot slot wordt aangegeven welke methoden er zijn om een systeem te analyseren.

2.2 Het productiesysteem

Het productiesysteem speelt een centrale rol in dit onderzoek. Een formele definitie van een productiesysteem zoals dit verder gebruikt zal worden, wordt gegeven door Askin en Goldberg (2002; p. 19). Een productiesysteem wordt gedefinieerd als: “de groep middelen en procedures betrokken bij het veranderen van ruwe materialen naar producten en het leveren van deze producten aan de klanten”. Bij deze definitie speelt dus niet alleen het produceren van producten een rol, maar ook het leveren van deze producten aan de klanten.

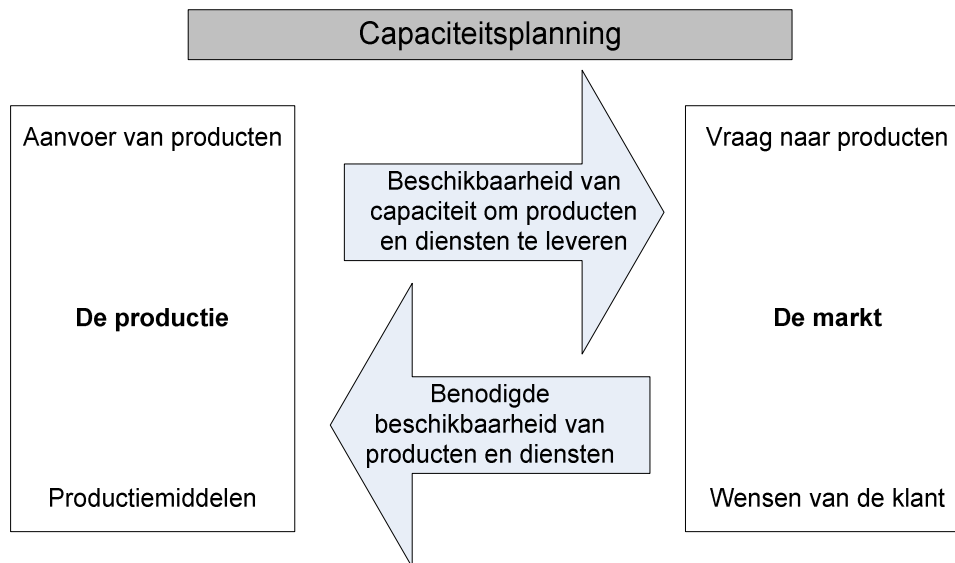
2.3 Capaciteitsplanning

Slack e.a. (2004; p. 359) beschrijven dat de meest gangbare definitie van capaciteit op een statische fysieke manier het vaste volume van een container is of de vaste ruimte in een gebouw. Hoewel deze definitie wel iets aangeeft over de schaal van de capaciteit, zegt het nog niets over de verwerkingscapaciteit. Het geeft bijvoorbeeld niet aan hoeveel er in een bepaalde periode getransporteerd kan worden met de container. Hiervoor ontbreekt de dimensie tijd. Bij de bepaling van de capaciteit bij Power Packer is de dimensie tijd zeker van belang. De capaciteit van een machinelijn is geen vaste hoeveelheid, maar er moet bepaald worden hoeveel er geproduceerd kan worden in een bepaalde periode. Slack e.a. (2004: p. 359) geven een definitie voor de verwerkingscapaciteit:

“De maximale hoeveelheid toegevoegde waarde die het proces in een tijdsperiode onder normale bewerkingsomstandigheden kan bereiken”. Het gaat dus om de toegevoegde waarde (lees: aantal cilinders) die het proces (lees machinelijn) kan bereiken.

Slack e.a. (2004; p. 357) beschrijven dat het bieden van de mogelijkheid om aan de huidige en toekomstige vraag naar producten te kunnen voldoen, een belangrijke verantwoordelijkheid is. Een juiste afstemming van de capaciteit op de vraag, kan resulteren in grote winsten. Te veel capaciteit zorgt voor een lagere bezetting van de capaciteit en dat leidt tot hogere kosten per eenheid product. Een onjuiste afstemming kan een groot potentieel gevaar zijn voor de organisatie. Voor Power Packer schuilt in de nieuwe cilinderafdeling het gevaar dat de capaciteitsinzet niet juist afgestemd wordt op de vraag naar capaciteit. Bij de nieuwe situatie moet er rekening worden gehouden met een onzekere, meervoudige, fluctuerende vraag naar cilinders. Bij te weinig capaciteit worden (interne) klanten niet goed beleverd en bij te veel capaciteit is er sprake van hogere kosten per cilinder.

Bij de capaciteitsplanning is het dus van belang de capaciteitsinzet zo nauwkeurig mogelijk af te stemmen op de vraag waar aan voldaan moet worden. In Figuur 6 is dit grafisch weergegeven.



Figuur 6 Capaciteitsplanning (vertaald uit Slack, 2004; p. 358)

Door de machine-investeringen goed te plannen, kan voorzien worden in de capaciteitsbehoefte, maar deze is aan variatie onderhevig. Er kunnen onverwachte wijzigingen in de vraag of de productie plaatsvinden. De oorzaak van deze onzekerheden is variabiliteit en dit aspect zal in de volgende paragraaf besproken worden.

2.4 De invloed van variabiliteit op de capaciteitsplanning

In dit onderzoek is het van belang welke invloed variabiliteit op de beschikbaarheid van cilinders voor de eindassemblagelijnen heeft. Hopp en Spearman (2001; p. 249) geven de formele definitie van variabiliteit: “de kwaliteit van niet-uniformiteit van een groep entiteiten”

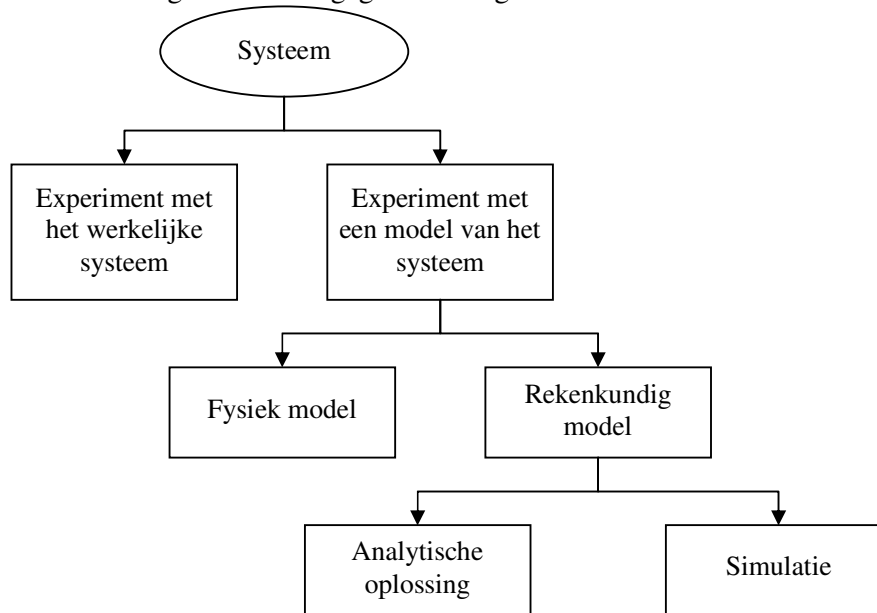
Variabiliteit komt zowel voor in de productie van cilinders als in de vraag naar cilinders. Productie is duidelijk aan variabiliteit onderhevig. Er zijn namelijk veel factoren die hierbij van invloed kunnen zijn, zoals setup-tijden, machine verstoringen en bewerkingstijden (Hopp en Spearman (2001). Er treedt ook variabiliteit op in de vraag; het aantal gevraagde producten per tijdseenheid zal niet constant zijn.

Variabiliteit in een productie-systeem kan opgevangen worden door een combinatie van voorraad, capaciteit en tijd (Hopp & Spearman, 2001). Door veel voorraad te creëren, kan de nadruk bij het opvangen van variabiliteit op voorraad liggen, wat extra kosten met zich meebrengt. Als de capaciteit de vraag duidelijk overstijgt, kan variabiliteit opgevangen worden met capaciteit. De inzet van extra capaciteit brengt ook kosten met zich mee. Ten slotte kan de factor tijd gebruikt worden om de variabiliteit op te vangen. Hierdoor gaat wel de service-graad achteruit, aangezien er in dat geval later geleverd wordt.

Door variabiliteit gaat dus de prestatiegraad achteruit. Bovenstaande opties geven de mogelijkheid om zelf te bepalen hoe de prestatie achteruit gaat.

2.5 Analyseren van het systeem

Om een uitspraak te kunnen doen hoe de capaciteitsbeslissing ondersteund kan worden, moet het systeem geanalyseerd worden. Hiervoor zijn meerdere methoden beschikbaar. Law en Kelton (2000) geven een overzicht van methoden waarmee het systeem geanalyseerd kan worden. Dit is grafisch weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7 Middelen voor het bestuderen van een systeem (vertaald uit: Law & Kelton, 2000 p.4)

Law en Kelton (2000) geven voor de verschillende middelen aan in welke situaties deze gebruikt worden. Hiervoor geven zij in drie stappen weer waarom er voor simulatie of een analytische oplossing gekozen wordt. Deze stappen worden in dit onderzoek doorlopen en zullen nu worden weergegeven.

De eerste afweging die gemaakt moet worden is of het systeem getest kan worden door het onder de nieuwe condities te laten draaien of dat er een model van het systeem gemaakt moet worden. Bij een experiment met het daadwerkelijke systeem worden scenario's met diverse machinelijnen neergezet. Dit houdt in dat de machinelijnen voor dit experiment al aangeschaft moeten worden. Deze optie wordt uitgesloten. Er wordt dus een model opgesteld om het systeem te analyseren.

De tweede afweging die gemaakt wordt, betreft de keuze uit een fysiek model en een rekenkundig model. Bij fysieke modellen wordt vaak een miniatuur versie van het daadwerkelijke systeem gemaakt. Deze optie is bij dit onderzoek niet interessant omdat het systeem van de cilinderassemblage moeilijk fysiek is na te bootsen. Er wordt dus gekozen voor een rekenkundig model.

Voor het uitvoeren van een rekenkundig model worden er twee mogelijkheden aangedragen, dit zijn het genereren van een analytische oplossing en een simulatie van het systeem. Er kan volstaan worden met een analytische oplossing als het rekenmodel eenvoudig genoeg is. Veelal zijn systemen in werkelijkheid complex doordat ze niet deterministisch maar stochastisch van aard zijn. In dit onderzoek komt de stochastische aard van het systeem vooral tot uitdrukking in de vraag naar cilinders. In dit geval moet het model ondersteund worden door simulatie. Bij simulatie worden er numerieke exercities uitgevoerd met de invoer van het model om te bekijken wat voor effect dit heeft op de uitvoer (Law en Kelton, 2000). Robinson (2002) geeft een overzicht van de voornaamste baten van simulatie, dit zijn: beperking van het risico, meer begrip van het systeem, reductie van de productiekosten, reductie van de doorlooptijd, snellere fabrieksveranderingen, reductie van de kapitaalkosten

en een verbeterde klantenservice. De vraag is of deze baten ook bereikt kunnen worden met het gebruik van een ander middel dan simulatie. Bij het bepalen van de machinecapaciteit voor de cilinderassemblage maakt de variabiliteit in de vraag naar cilinders de situatie complex, waardoor simulatie geprefereerd wordt boven een analytische oplossing.

Law en Kelton (2000; p. 4-6) classificeren simulatiemodellen over drie verschillende dimensies (dynamisch vs. statisch, deterministisch vs. stochastisch en continu vs. discreet). Deze zullen achtereenvolgens behandeld worden.

De eerste dimensie betreft statische modellen versus dynamische modellen. Een statisch model geeft het systeem op een bepaalde tijd weer en een dynamisch model geeft weer hoe het systeem zich ontwikkeld in de loop van de tijd. Bij dit onderzoek wordt gekozen voor een statische modellering.

Het onderscheid tussen deterministische en stochastisch modellen is de tweede dimensie die behandeld wordt. Een model is deterministisch van aard als het geen kansverdelingen bevat. In de praktijk treedt er in veel situaties variabiliteit op, wat stochastisch gemodelleerd moet worden. Bij dit onderzoek wordt de vraag naar cilinders (en dus de gevraagde productietijd) stochastisch benaderd, terwijl de beschikbare productietijd deterministisch benaderd wordt. De variabiliteit in het productiesysteem is reeds in hoofdstuk 4 behandeld.

De derde dimensie betreft continue versus discrete modellen. Bij een continu model veranderen de toestandsvariabelen continu in de loop van de tijd en bij een discreet model veranderen de toestandsvariabelen op verschillende momenten in de tijd. Doordat bij dit onderzoek gekozen wordt voor een statische modellering, veranderen de toestandvariabelen alleen bij een nieuwe generatie van waarden. Dit model kan dus beschouwd worden als een discreet model.

Wittwer (2004) stelt dat Monte Carlo Simulatie een methode is om een deterministisch model iteratief te evalueren gebruik makende van een set willekeurige gegevens als input. Over het algemeen wordt Monte Carlo Simulatie beschouwd als een statistische methode om een variëteit aan wiskundige problemen op te lossen, waarbij een analytische oplossing moeilijk of zelfs onmogelijk is (DeMarco, 2002). Het probleem wordt geformuleerd als een cumulatieve kansverdeling en een "pseudorandom number generator" wordt gebruikt om deze kansverdeling te bepalen aan de hand van een groot aantal runs. Iedere run representeert een oplossing van het originele probleem. In de centrale limiet theorie wordt gesteld dat als het aantal runs richting oneindig gaat, het gemiddelde resultaat de werkelijke gemiddelde waarde van het originele probleem benadert. Bij dit onderzoek geven de kosten bij een bepaalde inzet van capaciteit het probleem weer. Bij voldoende runs met Monte Carlo Simulatie wordt de werkelijke gemiddelde waarde van het probleem dus benaderd.

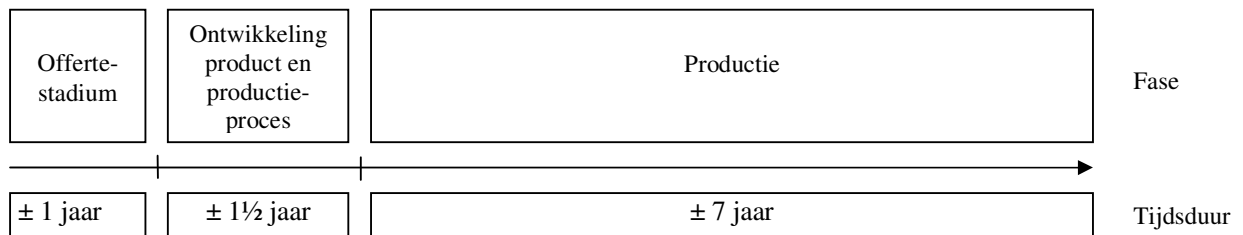
Hoofdstuk 3 Beschrijving van de cilinderassemblage

In het inleidende hoofdstuk is beschreven dat de nieuwe inrichting van het productiesysteem het bepalen van benodigde machinecapaciteit voor de cilinderassemblage complexer maakt.

In dit hoofdstuk wordt de cilinderassemblage zelf beschreven. Er wordt eerst toegelicht hoe de vraag naar cilinders ontstaat aan de hand van een procesbeschrijving van het ontwerp van een eindset tot de daadwerkelijke productie van die eindset. Vervolgens wordt het productiesysteem beschreven zoals het er uitziet voor de assemblage van de cilinders. Na de beschrijving van het productiesysteem wordt beschreven welke delen van het systeem van belang zijn en welke tijdens dit onderzoek buiten beschouwing worden gelaten. Tenslotte wordt geconcludeerd op welk gedeelte van het systeem de focus ligt en wat hiervan de belangrijkste systeemeigenschappen zijn met betrekking tot het bepalen van de machinecapaciteit.

3.1 Procesbeschrijving

De vraag naar cilinders ontstaat uit de vraag naar eindsets. Voordat de klantspecifieke eindset in grote volumes geassembleerd wordt, gaan er een aantal fasen aan vooraf. In Figuur 8 zijn de diverse fasen en tijdsduur van deze fasen weergegeven (Wiggemans, 2005).



Figuur 8 Proces van offertestadium tot productie van eindsets

Het proces start als er een nieuw type cabriolet door de autofabrikanten ontwikkeld gaat worden. Hierbij wordt Power Packer al in een vroeg stadium ingeschakeld om in samenspraak met de klant de eigenschappen van een eindset te bepalen. Hier wordt door de opdrachtgever aangegeven welke functionaliteiten de eindset moet hebben en Power Packer geeft aan in hoeverre dit te realiseren valt. Het aantal cilinders van de eindset wordt hierbij vastgesteld. De opdrachtgever geeft een verwacht vraagpatroon op, waarmee een indicatie gegeven wordt van de duur van het project en de jaarlijkse afzetaantallen. Nadat de specificaties van het systeem zijn vastgesteld, wordt er een offerte uitgebracht. Er wordt door Power Packer een kostenraming uitgevoerd. Hierin wordt onder andere bepaald wat de toeschrijving van machinekosten per eindset zijn. Deze fase eindigt met een acceptatie of afwijzing van de offerte door de klant. De duur van het offertestadium bij een nieuw project bedraagt ongeveer anderhalf jaar, bij een vervolgproject kan deze fase in een half jaar doorlopen worden.

Nadat het contract afgesloten is, wordt er een projectteam samengesteld. In het projectteam zit een Process Engineer, die zorgt voor het daadwerkelijke ontwerp van de productielijn. Tijdens deze fase worden gedetailleerde besprekingen gevoerd door het projectteam met de opdrachtgever over de producteigenschappen. In deze fase kan het product en kan het productieproces nog aangepast worden. Aan het eind van deze fase vindt een voorproductie plaats, waarbij het product in kleine aantallen wordt geleverd, zodat de klant het product kan testen. Als hier blijkt dat het product volledig voldoet aan de klantwensen en de productiemethode uitgekristalliseerd is, wordt het project in productie genomen. Deze ontwikkelingsfase duurt in totaal ongeveer anderhalf jaar.

Indien een project eenmaal in de productiefase beland is, wordt het product daadwerkelijk op grote schaal geproduceerd en afgeleverd. De duur van deze fase is direct afhankelijk van de productlevensduur van een bepaald type cabriolet en bedraagt ongeveer zeven jaar. In paragraaf 3.2.4 wordt uitgebreider ingegaan op de vraag naar producten.

3.2 Typering van het productiesysteem

Voor de typering van het productiesysteem aangaande de cilinderafdeling wordt gebruik gemaakt van de classificatie van Askin en Goldberg (2002). Deze classificatie wordt gebruikt omdat deze een volledig beeld geeft van een productiesysteem. Er worden negen dimensies behandeld en voor de leesbaarheid van dit rapport wordt de volgorde aangehouden zoals aangegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Dimensies voor classificatie van een productiesysteem

Paragraaf	Dimensie
3.2.1	Product opbouw
3.2.2	Fysieke inrichting
3.2.3	Belangrijkste middelen
3.2.4	Product volume
3.2.5	Product variëteit
3.2.6	Product-flow beheersing
3.2.7	Order initiatie
3.2.8	Productie autorisatie
3.2.9	Tijd horizon

Er wordt gestart met het beschrijven van de assemblagestappen die genomen moeten worden voor het assembleren van een eindset (§3.2.1). De opbouw van een eindset wordt hier verduidelijkt en vervolgens wordt de opbouw van een cilinder beschreven.

Bij de dimensie fysieke inrichting (§3.2.2) wordt ter verduidelijking van de verandering van de productie-inrichting het hele productiesysteem voor de assemblage van een eindset weergegeven.

Bij de beschrijving van de belangrijkste middelen (§3.2.3) wordt het gebruik van arbeid en apparatuur bij de cilinderafdeling weergegeven. In de volgende twee paragrafen wordt het product volume en de product variëteit besproken. Hier wordt beschreven hoeveel cilinders er verwacht worden af te zetten en wat de diversiteit aan cilinders is.

Daarna wordt bij de beschrijving van de product-flow beheersing (§3.2.6) aangegeven welke stappen er doorlopen worden bij de cilinderassemblage.

Vervolgens wordt er beschreven of de benadering van Power Packer met betrekking tot de order initiatie meer richting push of pull plaatsvindt (§3.2.7).

In de hierop volgende paragraaf (§3.2.8) wordt de productie autorisatie beschreven. Hierin wordt aangegeven hoe de beslissing wordt genomen welke cilinders in welke hoeveelheid geassembleerd moeten worden.

De laatste paragraaf (§3.2.9) geeft de tijdhorizon aan waarover gepland wordt en of de horizon statisch of dynamisch van aard is.

3.2.1 Opbouw van een eindset

Een eindset bestaat uit een pomp, diverse cilinders en een slangenset. Bij Power Packer worden verschillende soorten eindsets geassembleerd. In Tabel 2 staan de eigenschappen van de Volkswagen A5 als voorbeeld weergegeven. De eerste kolom geeft de naam van de eindset weer. Iedere eindset krijgt een onderscheidend nummer, wat weergegeven is in de tweede kolom. De cilinders worden ook onderscheiden met een uniek nummer, weergegeven in de derde kolom. Op de werkvloer worden cilinders onderscheiden door de naam van de cilinder, deze is weergegeven in de vierde kolom. Het aantal cilinders dat in de eindset voorkomt van het betreffende type staat in de vijfde kolom weergegeven. Cilinders hebben allen een aparte buisdiameter. In totaal worden er vijf buisdiameters onderscheiden (14, 16, 18, 20 en 22 mm). In de laatste kolom staat de buisdiameter per cilinder weergegeven. Uit de tabel is af te leiden dat de Volkswagen A5 in totaal acht cilinders bevat. Hiervan zijn van drie typen cilinders twee stuks nodig en de overige twee cilinders zijn verschillend.

Op de cilinderafdeling gaan cilinders van meerdere eindsets geassembleerd worden. In bijlage 1 is de informatie uit Tabel 2 voor alle eindsets weergegeven waarvan de cilinders op de cilinderafdeling geassembleerd gaan worden.

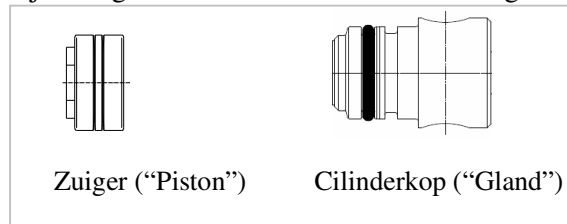
Tabel 2 Cilindereigenschappen van de Volkswagen eindset

Eindset naam	Nr eindset	Nr cilinder	Cilindernaam	Aantal	Ø (in mm)
VW Golf A5	DAI1-106703	DCD1-106584	Haupt 4-G Zylinder	2	20
		DCD1-107562	VDKD Zyl. Links	1	22
		DCD1-107563	VDKD Zyl. Rechts	1	22
		DCD1-106715	C-Saule Zylinder	2	14
		DCD1-106717	V-Zylinder	2	14

Cilinders zijn er in diverse lengtes en hebben verschillende typen onderdelen. Iedere cilinder bevat in ieder geval de volgende onderdelen:

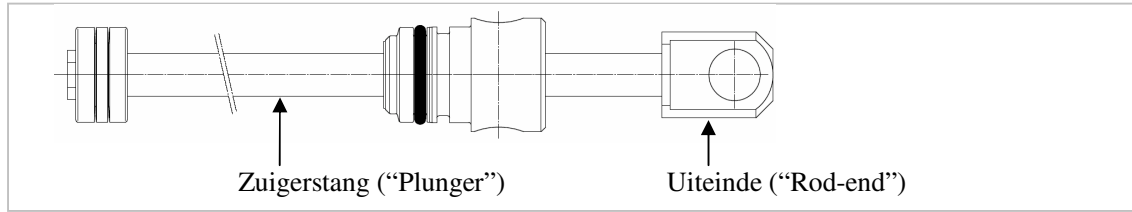
Een zuiger (“Piston”), een cilinderkop (“Gland”), een zuigerstang (“Plunger”), een uiteinde (“Rod-end”), een cilinderdeksel (“Base”) en een cilinderbuis (“Tube”).

De werkzaamheden voor de cilinderassemblage zijn allen te typeren als assemblage-werkzaamheden. De eerste stap is de assemblage van de “Piston” en de “Gland”. In Figuur 9 zijn een geassembleerde “Piston” en een geassembleerde “Gland” weergegeven.



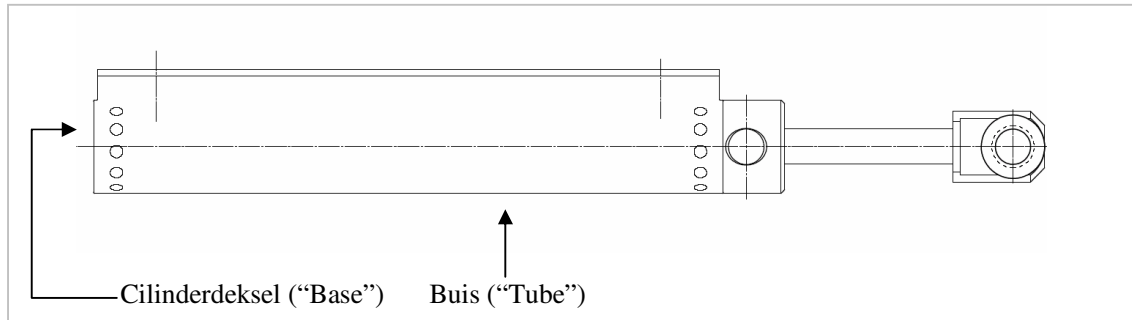
Figuur 9 Weergave van een geassembleerde “Piston” en “Gland”

De sub-assemblages “Piston” en “Gland” worden gebuikt bij de cilinderassemblage. De “Gland” wordt om de “Plunger” geschoven en het “Rod-end” en de “Piston” worden op de schroefdraad van de “Plunger” gedraaid. In Figuur 10 zijn de onderdelen in de vorm van een geassembleerde “Plunger” weergegeven.



Figuur 10 Opbouw van een geassembleerde “Plunger”

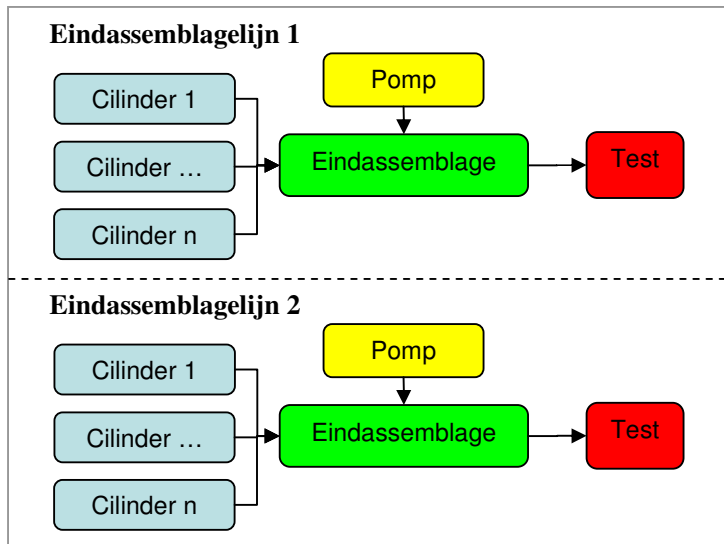
De geassembleerde “Plunger” wordt samen met een “Base” en een “Tube” in het felsapparaat tot een cilinder gefelst. In Figuur 11 is het resultaat van het felsen van de cilinder grafisch weergegeven.



Figuur 11 Grafische weergave cilinder

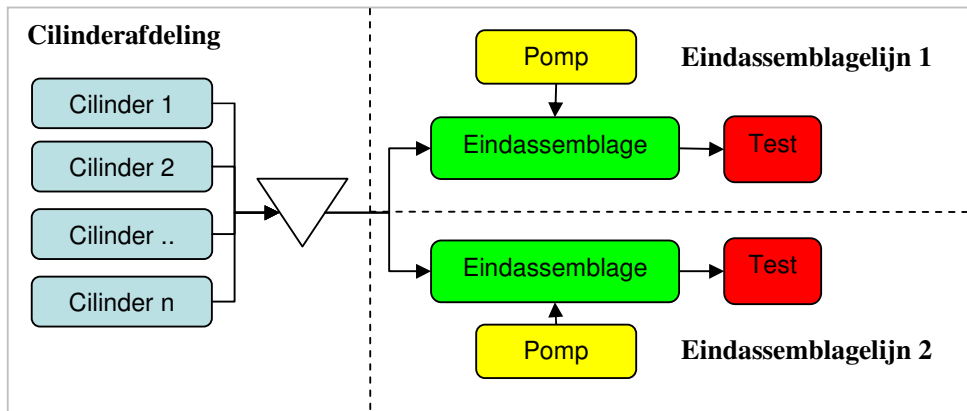
3.2.2 Fysieke inrichting van de cilinderassemblage

Vóór de overgang naar een aparte cilinderafdeling werd er voor merken met hoge afzet een aparte lijn ontworpen waarin alle assemblagewerkzaamheden plaatsvonden. Askin en Goldberg (2002) typeren dit als een volledige product-layout. Naast deze assemblage-lijnen zijn er bij Power Packer ook productielijnen die gebruikt worden voor meerdere producten, de zogenaamde multi-lijnen. Hier worden exclusieve merken in kleine aantallen geassembleerd. Deze lijnen blijven met de komst van de cilinderafdeling ongewijzigd, aangezien deze cilinders niet via de cilinderafdeling geassembleerd worden. In Figuur 12 zijn de productielijnen volledig in product-layout grafisch weergegeven.



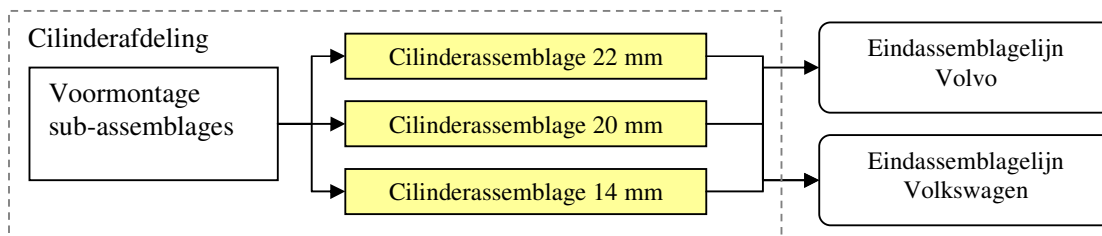
Figuur 12 Assemblage-lijnen inclusief cilinderassemblage (oude situatie)

Door de komst van de cilinderafdeling wordt er niet meer volledig in product-layout geproduceerd. De assemblage van de cilinders gaat plaatsvinden op een aparte afdeling. Askin en Goldberg (2002) typeren deze inrichting als proces-layout. De nieuwe fysieke inrichting van het productiesysteem wordt weergegeven in Figuur 13. De eindassemblagelijnen blijven slechts één type eindset assembleren en produceren dus nog in product-layout. De cilinders worden echter niet meer in de eindassemblagelijnen zelf geassembleerd, maar deze assemblage vindt plaats op een aparte afdeling, de cilinderafdeling. De cilinders voor de eindassemblagelijnen worden nu met een voorraad cilinders beleverd.



Figuur 13 Cilinderassemblage (nieuwe situatie)

In november 2005 is de cilinderassemblage voor de merken Volvo en Volkswagen al uit de eindassemblagelijnen gehaald en deze vindt plaats op de cilinderafdeling. In Figuur 14 is de inrichting van de cilinderafdeling voor deze situatie grafisch weergegeven. De toekomstige inrichting van de cilinderafdeling verschilt enigszins van dit plaatje aangezien er ook cilinders met een buisdiameter van 16 mm en 18 mm geassembleerd gaan worden. Er komen dus nog extra machinelijnen bij als de cilinders met deze buisdiameter gevraagd worden.



Figuur 14 Productverloop inclusief cilinderafdeling

Voor de voormontage van de sub-assemblages (de “Piston” en de “Gland”) gaat gebruik gemaakt worden van machines die meerdere typen kunnen assembleren. Deze automatiseringsslag kan niet voor alle “Pistons” en “Glands” opgaan, doordat de machines niet alle varianten kunnen assembleren. Hierdoor is het aantal verschillende typen “Pistons” of “Glands” per machine beperkt. Doordat er weinig verschillende types per machine geassembleerd kunnen worden is de capaciteit van deze machines ruimschoots toereikend.

De focus van dit onderzoek ligt op de cilinderassemblage. Het aantal machinelijn dat per diameter benodigd is om aan de vraag naar cilinders te voldoen moet onderzocht worden.

3.2.3 Belangrijkste middelen voor de assemblage van cilinders

Vanwege de arbeidsintensieve assemblagewerkzaamheden is het belangrijkste middel bij Power Packer arbeid. De combinatie van handmatige werkzaamheden met beschikbaarheid van machines zorgen voor een begrenzing van het productieaantal.

Power Packer werkt deels met personeel met een vast contract en deels met uitzendkrachten. De uitzendkrachten worden ingezet via uitzendbureau Capac. De ene week kunnen er minder operators benodigd zijn dan de andere. Uitzendbureau Capac heeft een pool aan beschikbare medewerkers en houdt per medewerker een vaardighedenmatrix bij. Hierdoor is bekend met welke handelingen de medewerkers ervaring hebben. Veel handelingen zijn vergelijkbaar van aard, waardoor flexibel omgesprongen kan worden met de inzet van arbeidscapaciteit.

Bij Power Packer wordt er in ploegendienst gewerkt. Er kan in één, twee of drie ploegen gewerkt worden. De beschikbare productietijd is direct afhankelijk van het aantal ploegen waarmee gewerkt wordt.

Als er in één ploeg gewerkt wordt, werkt deze ploeg gedurende normale kantooruren. In Tabel 3 zijn de werktijden en de beschikbare productietijd van deze dienst weergegeven. Hierbij wordt er een pauze gehouden van drie kwartier en bedraagt de netto werktijd acht uur. Als er één ploeg aan het werk is, wordt er vijf dagen per week gewerkt, waardoor de totale beschikbare productietijd 40 uur is.

Tabel 3 Beschikbare productietijd bij één ploeg

Ploeg	Begintijd	Eindtijd	Tijd	Pauze	Netto werktijd	# dgn / wk	# uren / wk
1	8:30	17:15	8:45	0:45	8:00	5	40

40

Bij twee ploegen werkt de eerste ploeg in de ochtenduren en de tweede ploeg in de middaguren. In Tabel 4 is de beschikbare productietijd bij deze ploegendienst weergegeven. De pauze bedraagt hier een half uur. Er wordt vijf dagen per week gewerkt, waardoor er per ploeg 38 uur en drie kwartier gewerkt wordt. De totale beschikbare productietijd komt dan uit op 77 uur en 30 minuten.

Tabel 4 Beschikbare productietijd bij twee ploegen

Ploeg	Begintijd	Eindtijd	Tijd	Pauze	Netto werktijd	# dgn / wk	# uren / wk
1	6:00	14:15	8:15	0:30	7:45	5	38:45
2	14:15	22:30	8:15	0:30	7:45	5	38:45

77:30

Als er in drie ploegen gewerkt wordt, wordt er de hele dag door gewerkt. In Tabel 5 is de beschikbare productietijd bij deze dienst weergegeven. Er wordt de gehele week gewerkt, waardoor het aantal dagen per week op zeven is gesteld. Dit betekent dat iedere ploeg per week 52 uur en 30 minuten werkt. De totale beschikbare productietijd per week komt dan neer op 157 uur en 30 minuten.

Tabel 5 Beschikbare productietijd bij drie ploegen

Ploeg	Begintijd	Eindtijd	Tijd	Pauze	Netto werktijd	# dgn / wk	# uren / wk
1	4:00	12:00	8:00	0:30	7:30	7	52:30
2	12:00	20:00	8:00	0:30	7:30	7	52:30
3	20:00	4:00	8:00	0:30	7:30	7	52:30

157:30

Zowel bij de voormontage als bij de cilinderassemblage op de cilinderafdeling zijn machines een belangrijke factor. De machines voor de voormontage zijn nog volop in ontwikkeling en worden bij dit onderzoek niet in beschouwing genomen.

De cilinderassemblage bestaat grofweg uit drie hoofdstations: de assemblage van de "Plunger", het felsen van de cilinder en het testen van de cilinder. Het testen van cilinders werd voorheen niet gedaan. Voor kwaliteitsdoeleinden is er bewust gekozen om dit bij de cilinderafdeling wel te doen. De eigenschappen van de benodigde machines, zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 Gegevens apparatuur cilinderassemblage

Bewerking	Apparatuur	Investering	Levertijd
Plungerassemblage	Aandraai-apparaat	± 10.000 €	2 maanden
Kogelfels	Kogelfels-machine	± 40.000 €	4 maanden
Testen	Cilinder Test Unit (CTU)	± 25.000 €	3 maanden

Voor het aanschaffen van nieuwe machines wordt er direct een investering gedaan in een hele machinelijn. De levertijd van de kogelfelsmachine is dus leidend in de totale duur van aanschaf van een machinelijn. Er moet interne goedkeuring verleend worden aan de investering. Inclusief de interne goedkeuring en de installatie van de machinelijn, duurt het vijf maanden voordat de nieuwe machinelijn operationeel is. Hierdoor dient de beslissing over de aanschaf van een nieuwe machinelijn gebaseerd te worden op de vraag naar cilinders over vijf maanden en verder in de toekomst.

3.2.4 Product volume uitgedrukt in cilinders

Het aantal cilinders dat gevraagd wordt voor de cilinderafdeling is direct afhankelijk van het aantal eindsets dat geassembleerd wordt. Om een indicatie te geven van de vraag naar cilinders wordt eerst de vraag weergegeven van de eindsets waarvan de cilinders via de cilinderafdeling geassembleerd gaan worden.

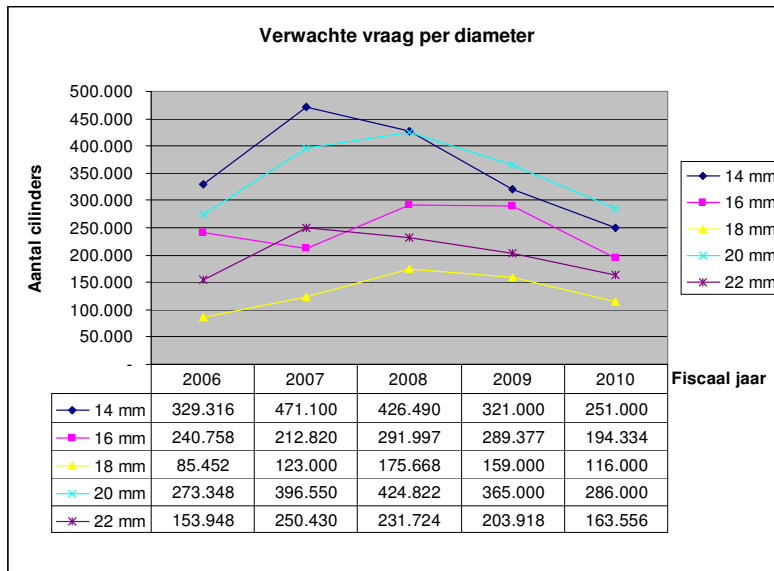
Naast de vijf eindsets waarvan de afzetgegevens over de eerstvolgende vijf jaar bekend zijn, gaan er ook cilinders op de cilinderafdeling geassembleerd worden van eindsets waarvan het contract nog binnengehaald moet worden. In Tabel 7 is de verwachte vraag voor de komende vijf jaar voor de eindsets weergegeven, waarvan het contract al is afgesloten.

Tabel 7 Verwacht aantal af te zetten eindsets (5-jaar voorspelling, nov. 2005)

Merk	Fiscaal jaar				
	2006	2007	2008	2009	2010
Audi B7	24.550	24.000	22.834	7.000	-
Mercedes A209	21.748	17.000	13.911	7.000	-
Peugeot T56	41.740	35.000	22.500	7.500	-
Saab 442	17.576	17.500	15.000	12.500	-
Renault E84	41.514	35.440	28.862	23.459	10.778
VW Golf Cabrio	21.660	49.775	47.000	42.500	40.000
Volvo P15	13.200	20.000	20.000	18.000	15.000
Ford Focus	600	20.000	20.000	18.000	16.000
Mitsubishi Colt	2.100	12.000	12.000	10.000	8.000
Audi TT	3.350	15.000	20.000	15.000	15.000
Volvo POT	-	2.000	50.000	55.000	50.000
Ford Liftgate	-	-	14.000	28.000	28.000
BMW	-	-	30.000	42.000	42.000

Zoals in paragraaf 3.1 is beschreven, gaan er twee fasen vooraf aan de productiefase, de offertefase en de ontwikkelingsfase. Projecten die in de offertefase verkeren zijn niet meegenomen in Tabel 7. Hiervan is namelijk nog niet bekend of de offerte wel geaccepteerd wordt en uit welke cilinders de eindset is opgebouwd. De projecten die in de ontwikkelingsfase verkeren zijn wel meegenomen, bijvoorbeeld de BMW. Vooral de diameter van de cilinderbuizen is van belang voor de capaciteitsbepaling van de cilinderassemblage. Dit komt doordat de cilinders toegewezen worden aan een machinelijn op basis van de buisdiameter.

Uit de vraag naar eindsets is nog geen indicatie te verkrijgen van de vraag naar de cilinders per diameter. Per eindset zijn er namelijk meerdere cilinders met diverse diameters. De verwachte afzet per eindset uit Tabel 7 moeten nog omgezet worden naar de verwachte vraag naar cilinders per diameter. Door de vraag naar een eindset te vermenigvuldigen met het aantal cilinders van bijvoorbeeld 14 mm, wordt de vraag naar 14mm berekend. In de Volkswagen Golf A5 zitten bijvoorbeeld 4 cilinders met een buisdiameter van 14 mm (zie Tabel 2). De afzetgegevens per jaar worden met vier vermenigvuldigd. Hierbij worden 14mm cilinders van de andere eindsets opgeteld. In Figuur 15 is het resultaat van deze exercitie weergegeven.



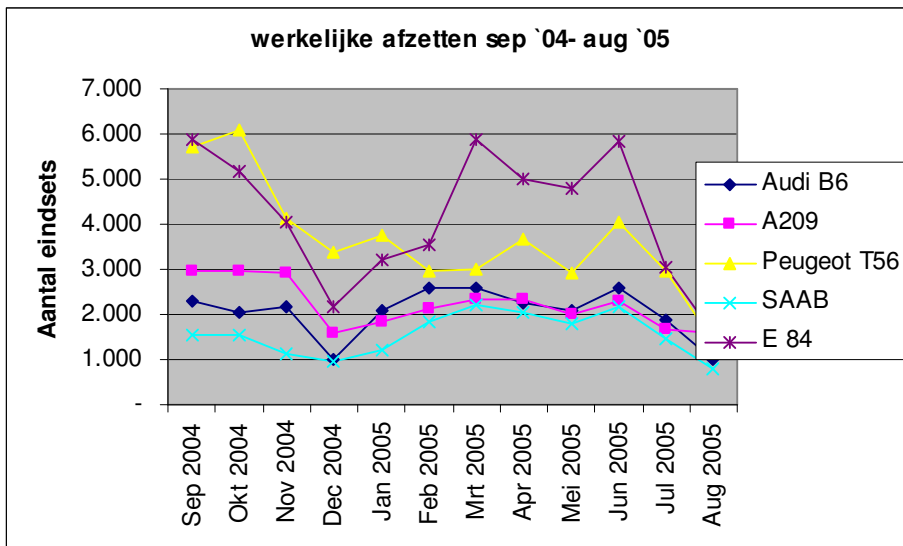
Figuur 15 Verwachte vraag naar cilinders per diameter

Uit de figuur is af te leiden dat de vraag naar cilinders niet evenredig verdeeld is over de diameters. Daarnaast zullen er in fiscaal jaar 2007 meer cilinders met buisdiameter 14, 18, 20 en 22 mm gevraagd worden ten opzichte van 2006 en zal de vraag naar cilinders met een buisdiameter van 16mm lager uitvallen.

Doordat de verwachte afzet van cilinders per diameter van projecten die momenteel in het offertestadium verkeren niet bekend is, geeft Figuur 15 een vertekend beeld voor de jaren na 2007. Vooral de aantallen in 2010 zullen erg veranderen. Dit is sterk afhankelijk van de projecten die nog binnengehaald worden door Power Packer. Het afzetvolume van de eindsets en het aantal en type cilinders dat de eindset bevat, speelt hierbij een grote rol .

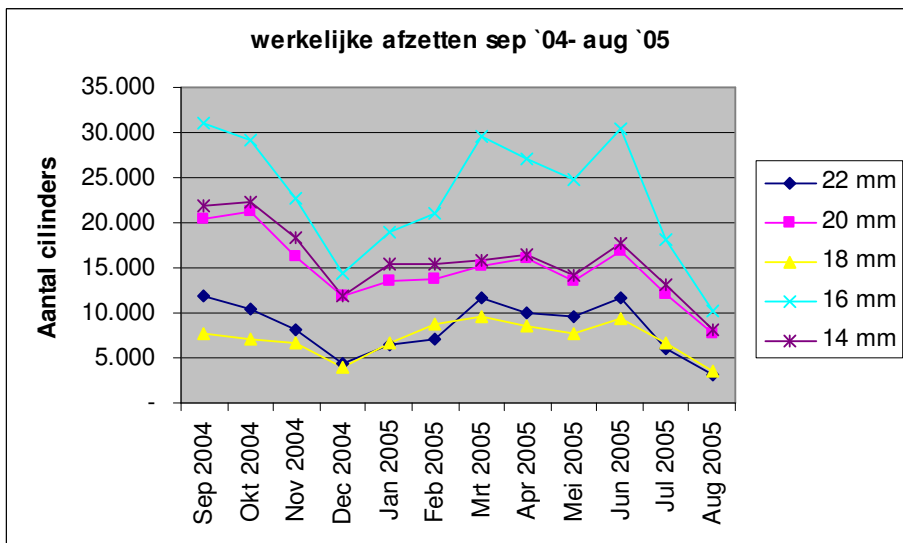
De eerste twee jaren zullen er waarschijnlijk weinig cilinders voor projecten geassembleerd worden die niet voorspeld zijn. Het duurt namelijk ongeveer anderhalf jaar (na het afsluiten van het contract) voordat er geproduceerd wordt. De aantallen zijn in deze opstartfase dan ook nog niet zo groot. Hierdoor zijn de eerste twee weergegeven jaren in Figuur 15 het meest betrouwbaar. Voor de fiscale jaren 2007 tot en met 2010 zullen de aantallen cilinders hoger uitvallen dan weergegeven.

Naast de jaarlijkse variatie in de vraag naar eindsets (en dus ook naar cilinders) is er duidelijk sprake van seizoensinvloeden in een jaar. In Figuur 16 is het aantal verstuurde eindsets weergegeven van vijf merken voor het fiscale jaar 2005 (sept. '04 tm aug. '05).



Figuur 16 Aantal verstuurde eindsets in fiscaal jaar 2005

Uit de figuur is af te leiden dat er in december beduidend minder eindsets verstuurd worden. Daarnaast zijn de afzetaantallen per merk verschillend. Dit is een weergave van de aantallen eindsets, dus niet van cilinders. Iedere eindset heeft een bepaald aantal cilinders van een bepaalde buisdiameter. Zoals vermeld zijn cilinders op te delen in vijf buisdiameters. Voor een indicatie van de aantallen cilinders per buisdiameter, zullen deze aantallen vermenigvuldigd moeten worden met het aantal cilinders per diameter. In zijn de aantallen eindsets uitgedrukt in aantallen cilinders per buisdiameter.



Figuur 17 Verstuurde eindsets uitgedrukt in cilinders per buisdiameter

Hieruit is af te leiden dat de aantallen per diameter ongeveer dezelfde tendens vertonen als de aantallen eindsets. Cilinders met een buisdiameter van 16mm fluctueren bijvoorbeeld zeer sterk. Dit wordt veroorzaakt door de sterke fluctuatie in de afzetaantallen van het merk Renault E84 (zie Figuur 16). Deze eindset bevat 3 cilinders met een buisdiameter van 16 mm.

Een goed beeld van het aantal eindsets dat verstuurd gaat worden naar de klanten wordt gegeven door de 12-maand voorspelling. Deze wordt opgesteld in samenspraak met de klant door de afdeling Sales van Power Packer. Gedurende deze tijdhorizon zullen er geen nieuwe projecten gestart worden waarvan de eigenschappen van de cilinders onbekend zijn.

3.2.5 Variëteit van cilinders

In deze paragraaf worden de mogelijke variaties in de eigenschappen van een cilinder besproken. In paragraaf 3.2.1 is de opbouw van een cilinder beschreven. Hier kwam naar voren dat er enkele onderdelen gebruikt worden die in iedere cilinder voorkomen. Zo heeft iedere cilinder een buis. Zoals al eerder is aangegeven is er onderscheid te maken in buisdiameters. Naast dit onderscheid zijn er nog extra bewerkingen die voor bepaalde cilinders uitgevoerd moeten worden. Vooralsnog zijn er vier extra bewerkingen te onderscheiden, deze zijn weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8 Weergave van extra bewerkingen

Nr.	Extra bewerking
1.	Busjes in "Rod-end" persen
2.	Demper aan "Piston" monteren
3.	Busjes in "Base" persen
4.	Invetten "Rod-end"
5.	Invetten "Base"

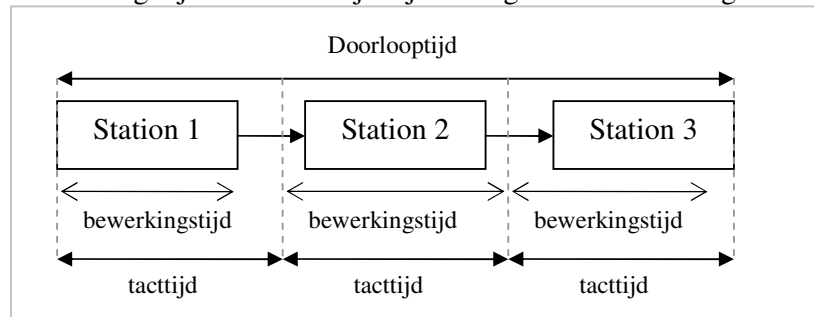
Bij projecten voor een nieuw type cabriolet kan het voorkomen dat er cilinders ontworpen worden waarbij er nieuwe extra bewerkingen gecreëerd worden. De betreffende machinelijn waar deze cilinders op geassembleerd gaan worden moet hiervoor met extra apparatuur worden uitgerust.

Voor de cilinders waarvan bekend is dat ze via de cilinderafdeling geassembleerd gaan worden kan volstaan worden met het onderscheid in deze vijf extra bewerkingen. In bijlage 2 zijn de eigenschappen van de cilinders weergegeven.

3.2.6 Product-flow beheersing bij de cilinderassemblage

In deze paragraaf wordt de product-flow beheersing besproken, dit is de manier waarop cilinders geassembleerd worden. Bij de cilinderassemblage op de cilinderafdeling wordt “one-piece flow productie” toegepast. Miltenburg (2005) beschrijft one-piece flow productie als een vorm tussen de traditionele flow-lijnen en batch-productie in. Een belangrijk concept bij deze vorm van productie is de tact-tijd.

Bertrand (1998; p. 149) geeft aan dat de tact-tijd een belangrijk concept is bij flow-productie met meerdere stations. In de praktijk komt het zelden voor dat de bewerkingstijden van de operators (stations) identiek zijn. De bewerkingstijd van de ene operator zal altijd kleiner of gelijk aan de tacttijd zijn. In Figuur 18 wordt dit grafisch weergegeven.

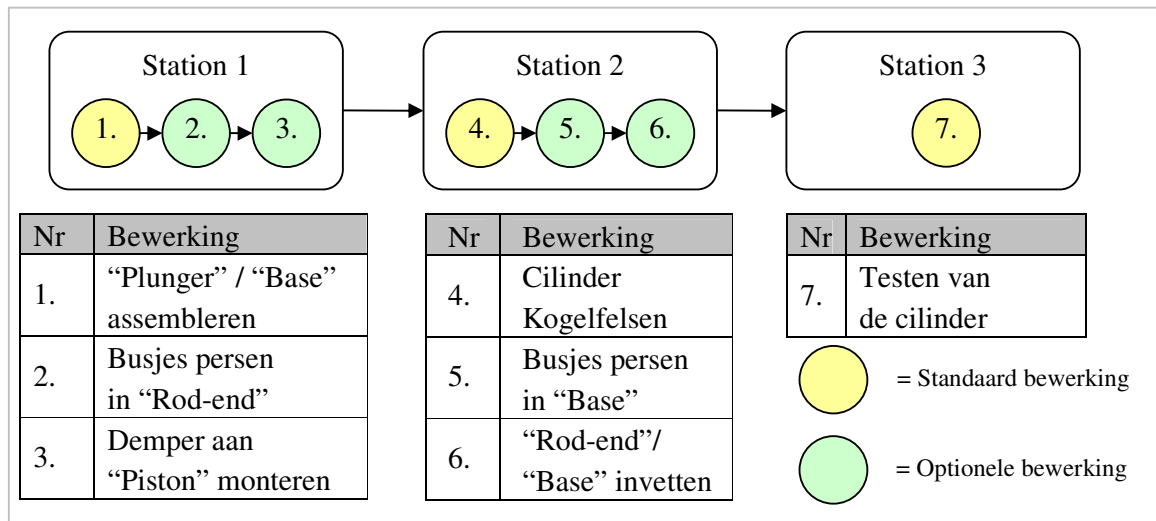


Figuur 18 Grafische weergave concepten flow-productie (Uit Bertrand, 1998 p. 149, in aangepaste vorm)

Bij de cilinderassemblage worden de bewerkingen verdeeld over drie stations, zoals ook in bovenstaande figuur is aangegeven. De duur van de bewerkingstijden wordt aangegeven met de pijlen, deze zijn fictief en geven aan dat de langste bewerkingstijd de tactijd vormt.

Als een bewerking te lang duurt om binnen de tactijd uit te voeren, kunnen bewerkingen parallel uitgevoerd worden. Bertrand (1998) geeft aan dat het parallel uitvoeren van bewerkingen in de praktijk nogal wat bezwaren heeft. Het interne transportsysteem wordt door het splitsten en samenvoegen vaak ingewikkeld en duur en het is ook niet zo eenvoudig om de faseverschillen tussen de parallel-geschakelde capaciteiten constant te houden. Bij de cilinderafdeling zijn de bewerkingen zo ingedeeld dat er niets parallel uitgevoerd wordt. Alle bewerkingen worden achtereenvolgens doorlopen op een machinelijn.

Een machinelijn bestaat uit drie bewerkingsstations. Ieder bewerkingsstation wordt bemand door één operator. In Figuur 19 zijn de bewerkingen weergegeven die per bewerkingsstation uitgevoerd worden. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt in standaardbewerkingen en optionele bewerkingen. Standaardbewerkingen moeten voor iedere cilinder uitgevoerd worden. Optionele bewerkingen zijn extra bewerkingen die voor bepaalde cilinders uitgevoerd moeten worden.



Figuur 19 Verdeling bewerkingen per bewerkingsstation

Als er een andere cilinder geassembleerd moet worden, dient de lijn veranderd te worden. De machines moeten anders ingesteld worden. Hierdoor kunnen de machines meerdere typen cilinders assembleren. Voor het veranderen van een machine worden er wisseldelen gebruikt. Het veranderen van wisseldeel wordt bij Power Packer omstellen genoemd. Afhankelijk van het verschil in eigenschappen van de cilinders moeten de machines anders omgesteld worden. Per machine zijn er meerdere wisseldelen. Voor iedere type cilinder moet de machine ingesteld worden op bepaalde wisseldelen.

3.2.7 Order-initiatie van cilinders

Met de order-initiatie wordt aangegeven waarop de productie gebaseerd is. Als een onderneming volledig make-to-order toepast, worden er geen producten op voorraad gehouden en wordt het product volledig aan de wensen van de klant opgesteld. Bij een volledige make-to-stock methodiek, worden producten op voorraad geproduceerd. Dit zijn standaardproducten, waar de klant niets aan kan wijzigen (Askin en Goldberg, 2002).

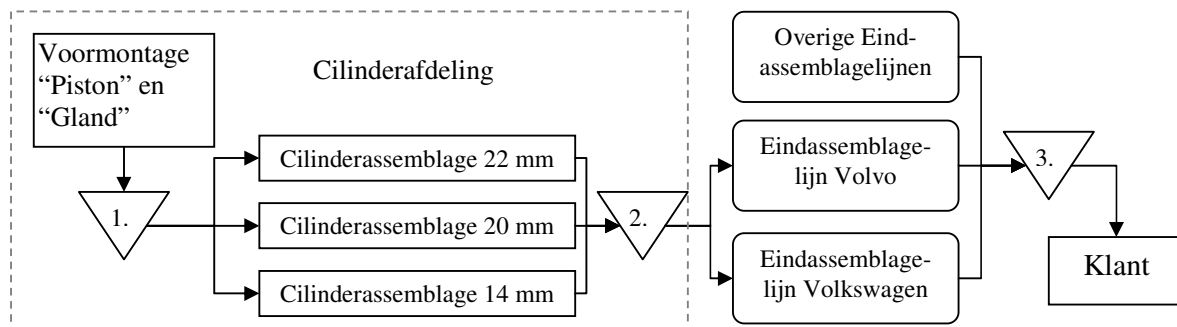
In het totale productie-systeem bij Power Packer wordt een tussenvorm van make-to-order en make-to-stock toegepast. De producten worden volledig aan de wensen van de klant

aangepast. Als het product eenmaal uitgekristalliseerd is, wordt het volledig in productie genomen. Hierbij houdt Power Packer de producten op voorraad. De voorraad eindsets is drie dagen. De voorraad wordt gebruikt om onzekerheden in de productie op te kunnen vangen.

Voor Power Packer is de levertijd en leverbetrouwbaarheid van groot belang. Daarnaast is het voor Power Packer ook belangrijk om aan de klantwensen te voldoen. Als er voor een bepaalde periode meer eindsets gevraagd worden, wil Power Packer hieraan voldoen. Doordat arbeidscapaciteit flexibel ingezet kan worden, kan het productieschema naar boven bijgesteld worden. In plaats van de gebruikelijke 2-ploegendienst kan er overgeschakeld worden naar 3-ploegendienst.

Voor de komst van de cilinderafdeling werden alleen eindsets en onderdelen van de leveranciers op voorraad gehouden. Per eindassemblagelijijn werden de bewerkingen in “one-piece flow” verricht. De gehele eindset werd met een bepaalde tact-tijd gerealiseerd. Ieder bewerkingsstation had een eigen tact-tijd. Hierbij werden de cilinders en sub-assemblages voor de cilinders (“Piston” en “Gland”) in de lijn geassembleerd. Hierdoor waren er (bijna) geen tussenvoorraden in de lijn.

Met de komst van de cilinderafdeling wordt er meer voorraad gecreëerd in het productiesysteem. Door de automatisering van de voormontage, waardoor “Pistons” en “Glands” in batches geassembleerd worden, wordt deze op voorraad geassembleerd. Daarnaast worden cilinders ook op voorraad geassembleerd. In Figuur 20 worden de voorraden in het productiesysteem in kaart gebracht (november 2005).



Figuur 20 Voorraden van subassemblages en eindproduct in het productiesysteem

De voormontage van “Pistons” en “Glands” is niet direct afgestemd op de cilinderassemblage. Er ontstaat een voorraad subassemblages. In Figuur 20 staat deze voorraad aangegeven als voorraadpunt 1.

De assemblage van eindsets op de eindassemblagelijnen heeft cilinders als input nodig. Deze assemblage mag geen vertraging oplopen. Bij Power Packer is besproken (Amiraal, 2005) dat de voorlopige richtlijn voor het aanhouden van voorraad de dagvoorraad is. Dit houdt in dat de voorraad cilinders voor een bepaald merk, ongeveer gelijk moet zijn aan het aantal cilinders dat die dag gebruikt wordt bij productie. Vanwege de vele revisiewijzigingen in de onderdelen van cilinders worden de cilinders niet op voorraad geassembleerd voor een volgende maand of week. In Figuur 20 staat de voorraad cilinders aangegeven als voorraadpunt 2.

Voor alle eindassemblagelijnen geldt dat er per merk ongeveer twee tot drie dagen aan voorraad eindproduct aangehouden wordt, om onzekerheden in de productie op te vangen. In Figuur 20 staat dit aangegeven als voorraadpunt 3.

In deze paragraaf is de order-initiatie bij Power Packer beschreven. Bij Power Packer wordt er een tussenvorm van make-to-order en make-to-stock toegepast. Door de komst van de cilinderafdeling worden er meerdere voorraadpunten gecreëerd. Dit duidt op een verschuiving richting een make-to-stock strategie. Dit is een strategische beslissing en wordt bij dit onderzoek als uitgangspunt gehanteerd.

3.2.8 Autorisatie voor de assemblage van cilinders

Bij het bepalen van het productieschema wordt aan de hand van de verwachte afzet en de voorraad bepaald hoeveel producten er geassembleerd gaan worden. Er wordt volgens een “push” benadering gewerkt (Askin en Goldberg, 2002). Het productieschema van eindsets is de autorisatie voor de productie op de eindassemblagelijnen. Iedere week wordt er op maandag een planning gemaakt voor de aankomende week. Het aantal ploegen wordt over een periode van ongeveer een maand bepaald. Hiervoor wordt de verwachting van het aantal af te leveren eindsets aan de klant op langere termijn gebruikt. De afdeling Sales stelt op basis van de verwachte afzet de verwachte winst op. De verwachte afzet wordt iedere maand in samenspraak met de klant voor de komende 12 maanden opgesteld. Er wordt ook een verwachting opgesteld per jaar voor de komende 5 fiscale jaren.

De 12-maand en de 5-jaar voorspelling zijn gebaseerd op verwachtingen. De daadwerkelijke gewenste afleveringen worden door de klant aan de afdeling Logistiek aangegeven. Bij Power Packer staat dit bekend als afleverschema, in het vervolg van dit rapport zal deze term hiervoor gebruikt worden.

Afhankelijk van het afleverschema van de klant en het aantal ploegen en het maximaal aantal te produceren per ploeg (per eindset verschillend) wordt bepaald hoeveel eindsets die week gemaakt moeten worden. Dit wordt besproken met de teamleider, die dan weet hoeveel er per merk geproduceerd moet worden. Aan de lijncoördinator wordt aangegeven wat de productiedoelstelling is op een betreffende dag. Deze krijgt een schema met het aantal cilinders en het type cilinder wat die week per dag gerealiseerd moet worden.

Uit het productieschema van eindsets volgt het aantal te assembleren cilinders. Het aantal cilinders per type wordt doorgegeven aan de teamleider van de cilinderafdeling. De teamleider van de cilinderafdeling kan zelf bepalen in welke volgorde de cilinders geassembleerd worden en in welke batchgrootte, zolang er maar voldoende cilinders beschikbaar zijn voor de eindassemblagelijnen.

3.2.9 Tijd horizon van het planningsmodel

Planningsmodellen zijn statisch of dynamisch van aard (Askin en Goldberg, 2002). Bij een statisch model wordt verondersteld dat hetzelfde productieplan geldt voor iedere periode. Een dynamisch planningsmodel beschouwt de situatie waarin de beschikbaarheid van middelen varieert en de vraag naar producten fluctueert. Bij Power Packer wordt er gewerkt met een dynamisch planningsmodel. Iedere week wordt op maandagochtend de productieplanning voor de komende 12 weken ververst. Aan de hand van de afroepschema's van klanten en het aantal eindsets op voorraad, wordt het aantal te assembleren eindsets voor de komende weken bepaald. Het aantal te assembleren eindsets is direct afhankelijk van de ploegendienst waarin gewerkt wordt. De ploegendienst voor de komende weken is dus ook van belang bij het bepalen van het productieschema.

Uit de planning van de assemblage van eindsets kunnen de aantallen cilinders afgeleid worden die geassembleerd moeten worden. Hoewel de beste indicatie van de verwachte cilinders het productieschema is, kan deze niet gebruikt worden voor de ondersteuning van de machine-investeringen. Het productieschema heeft namelijk een tijdshorizon van 12 weken. De machine-investeringen hebben invloed op de beschikbare capaciteit over vijf maanden.

Voor een verwachting van de te assembleren cilinders over een langere tijdsperiode wordt gebruik gemaakt van de 12-maand voorspelling en de vijf-jaar voorspelling.

3.3 Afbakening van het productiesysteem

In paragraaf 3.2 is het productiesysteem beschreven. In deze paragraaf worden de afbakeningen weergegeven die bij de beschrijving van het productiesysteem gemaakt zijn.

De cilinderafdeling bestaat uit machines voor de voormontage en machinelijnen per diameter voor de cilinderassemblage. Doordat de inzet van machinecapaciteit voor de voormontage afhankelijk is van technische mogelijkheden en de specifieke machinecapaciteit ruim voldoende is om aan de vraag naar “Pistons” en “Glands” te voldoen, zal het bepalen van de machinecapaciteit voor de voormontage buiten dit onderzoek vallen.

De tijdsperiode waarover uitspraken gedaan kunnen worden is maximaal vijf jaar in verband met de voorspelling van vijf jaar. Vanwege de hoge mate van onzekerheid over de verwachte afzet van cilinders na anderhalf jaar, zijn uitspraken over de bezetting van de machinelijnen over die periode niet betrouwbaar. Met deze informatie is alleen een ondergrens te verkrijgen over de bezetting, doordat er geen indicatie is te verkrijgen van de buisdiameter van cilinders van nieuwe projecten.

Een betrouwbaardere indicatie voor de vraag wordt gegeven door de 12-maand voorspelling. Ten opzichte van de 5-jaarvoorspelling hoeft deze niet gecorrigeerd te worden met seizoensinvloeden, omdat deze hierin al verwerkt zijn. Daarnaast zullen er de eerste 12 maanden geen onbekende nieuwe cilinders geassembleerd worden.

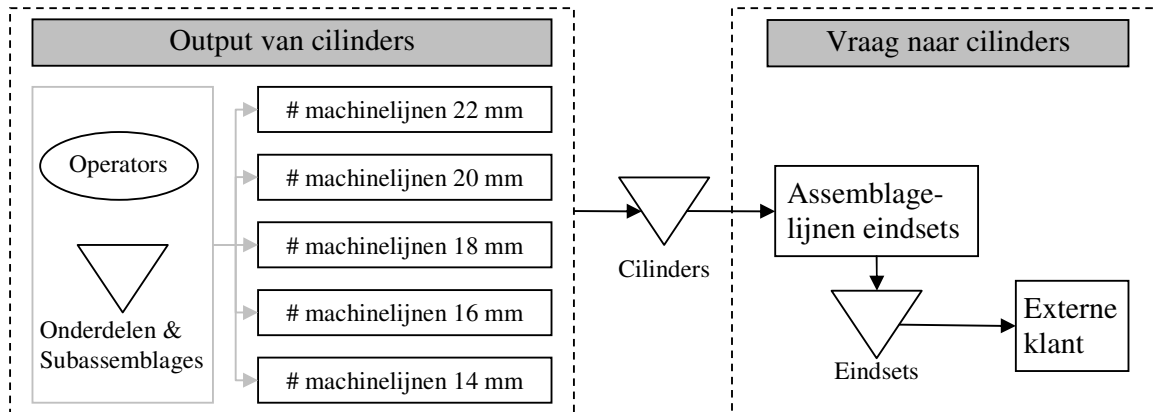
De 12-maand voorspelling geeft de verwachte vraag voor de aankomende 12 maanden. Bij Power Packer moet er in ieder geval voldaan worden aan de klantvraag en dus de vraag naar cilinders. Voorraad cilinders wordt niet gebruikt om variaties in de klantvraag naar eindsets op te vangen. Als het productieschema voor de assemblage van eindsets naar boven bijgesteld wordt, dient er ook meer capaciteit ingezet te worden bij de cilinderassemblage. Hierbij moet de machinecapaciteit bij maximale inzet van arbeidscapaciteit toereikend zijn om aan de vraag te kunnen voldoen. Een indicatie van de bezetting voor de komende 12 maanden is hierdoor toereikend om een beslissing te kunnen nemen over het al dan niet investeren in een extra machinelijn.

Hoofdstuk 4 Variabiliteit in het productiesysteem

4.1 Inleiding

In hoofdstuk 3 is een typering gegeven van het productiesysteem. Hier zijn onder meer de eigenschappen van de te assembleren cilinders besproken en de productiemethode. Voor de modellering ter ondersteuning van de inzet van machinecapaciteit, speelt variabiliteit in het productiesysteem een grote rol. In dit hoofdstuk wordt de variabiliteit in het productiesysteem besproken.

Variabiliteit in het productiesysteem is op te splitsen in variabiliteit in de output van cilinders en variabiliteit in de vraag naar cilinders. In Figuur 21 is het productiesysteem in vereenvoudigde vorm weergegeven.



Figuur 21 Overzicht van het productiesysteem

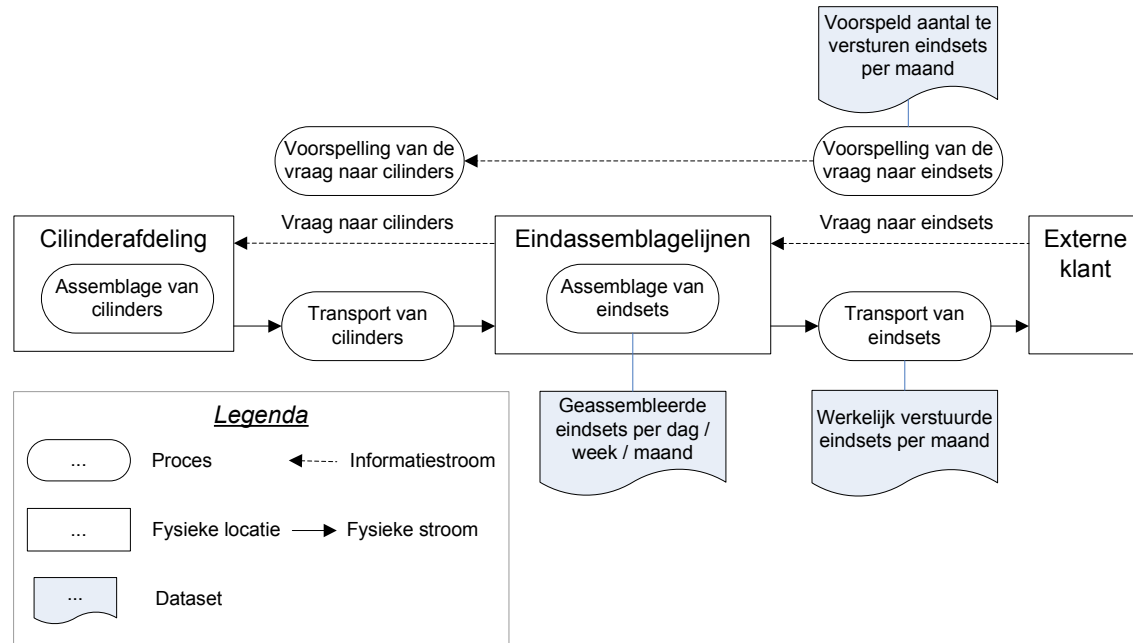
De externe klant geeft aan hoeveel eindsets er geleverd moeten worden door Power Packer. De assemblage van eindsets wordt aangepast aan de variabele vraag van de klant. Om variabiliteit in de vraag naar eindsets en in de assemblage van eindsets op te kunnen vangen, wordt er gebruik gemaakt van een voorraad eindsets. De vraag naar cilinders is direct afhankelijk van de assemblage van eindsets. Iedere dag worden de benodigde cilinders aan de eindassemblagelijnen geleverd. Voor het opvangen van variabiliteit in de vraag naar cilinders en variabiliteit in de output van cilinders worden cilinders ook op voorraad geassembleerd. In paragraaf 4.2 wordt het opvangen van de variabiliteit in de vraag naar cilinders besproken.

De output van cilinders bij de cilinderassemblage komt tot stand door operators in te zetten op de machinelijnen. Daarnaast zijn er onderdelen en subassemblages benodigd voor de assemblage van de cilinders. De cilinderassemblage is ingedeeld per buisdiameter. Voor het aanpassen van de capaciteit moet er per buisdiameter bepaald worden hoeveel machinelijnen er nodig zijn. Daarnaast kan de capaciteit ook aangepast worden door de ploegdienst aan te passen van de cilinderafdeling. In paragraaf 4.3 wordt de variabiliteit in de output van cilinders besproken.

4.2 Variabiliteit in de vraag naar cilinders

4.2.1 Inleiding

In deze paragraaf wordt de variabiliteit in de vraag naar cilinders geanalyseerd. De vraag naar cilinders komt direct van de interne klant, de eindassemblagelijnen. In Figuur 22 is het fysieke proces weergegeven waarmee de vraag naar cilinders tot stand komt.



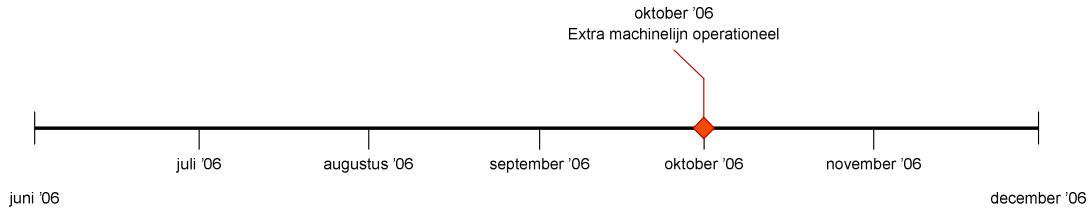
Figuur 22 Het fysieke proces waardoor de vraag naar cilinders tot stand komt

In bovenstaande figuur wordt er onderscheid gemaakt tussen processen, fysieke locaties en datasets. Naast de fysieke stroom van producten zijn er ook informatiestromen die de vraag naar producten weergeven.

Het doel van deze paragraaf is om aan te geven in hoeverre de voorspelling van de vraag naar cilinders af kan wijken. De voorspelling van de vraag naar cilinders wordt voor dit onderzoek opgesteld op basis van de voorspelling van de vraag naar eindsets. In Figuur 22 is dit weergegeven als een proces. De voorspelling van de vraag naar eindsets wordt omgezet in een voorspelling van de vraag naar cilinders. Op basis van de voorspelling van de vraag naar cilinders kan de beslissing over de inzet van machinecapaciteit van de cilinderassemblage gemaakt worden.

Het bepalen van de variabiliteit in de vraag naar cilinders wordt gedaan op basis van historische gegevens. Hiervoor worden drie datasets gebruikt. Doordat er cilinders geassembleerd gaan worden voor (nieuwe) merken waarvan geen historische afzet- en productiegegevens bekend zijn, kan dit niet voor alle merken uitgevoerd worden. Er wordt een uitspraak gedaan over de variabiliteit van alle (toekomstige) merken op basis van de gegevens van vijf merken (Audi B6, Renault E84, Peugeot T56, SAAB 442 en Mercedes A209) die al een aantal jaren geproduceerd worden. Deze vijf merken zijn gekozen omdat deze allen, zoals gedefinieerd door Kotler (2003; p.328) in de volwassenheidsfase verkeren. Merken in de volwassenheidsfase zijn het meest interessant om te onderzoeken, omdat de afzetaantallen hier het hoogst zijn en deze hebben dus de grootste impact op de behoefte aan capaciteit. Doordat deze in de volwassenheidsfase verkeren is de afzet stabiel en beter voorspelbaar. In bijlage 3 wordt er uitgebreider op de datasets ingegaan.

Het proces dat ontstaat vanaf de beslissing dat er een nieuwe machinelijn aangeschaft moet worden, totdat de nieuwe machinelijn operationeel is, bedraagt ongeveer vier tot vijf maanden. In de vijfde maand kan de machinelijn operationeel zijn. In Figuur 23 is een voorbeeld van een beslishorizon weergegeven waarbij als start het begin van de maand juni in 2006 gekozen is. De extra machinelijn zal dan in de vijfde maand (oktober '06) operationeel zijn.



Figuur 23 Beslissingshorizon voor machine-investeringen

Iedere maand wordt er door Power Packer aan het begin van de maand een 12-maand voorspelling voor eindsets opgesteld. Voor machine-investeringen is de periode na de vijfde maand interessant, aangezien de machinelijn vanaf die maand operationeel kan zijn.

Bowerman en O'Connell (1993; p. 189) geven aan dat er twee soorten voorspellingen zijn. De eerste is een puntvoorspelling, waarbij een enkele waarde de beste voorspelling van de waarschijnlijke waarde weergeeft. De tweede voorspelling is een waarschijnlijkheidsinterval voorspelling. Een voorspelling met een waarschijnlijkheidsinterval geeft een range aan waarbinnen de werkelijke waarde zal liggen, met een bepaalde betrouwbaarheid (bijvoorbeeld 95%). Bij Power Packer wordt er een puntvoorspelling opgesteld voor de vraag naar eindsets. Bij dit onderzoek is het niet alleen interessant welke waarde het meest voor de hand liggend is, maar ook binnen welke grenzen deze waarde zich zal bevinden. Er moet bij het bepalen van de inzet van machinecapaciteit namelijk ook rekening gehouden worden met afwijkingen in de vraag. In deze paragraaf wordt een waarschijnlijkheidsinterval voor de 5^e en 6^e maand voor de vraag naar cilinders opgesteld.

De vraag naar cilinders komt direct voort uit de assemblage van eindsets. De output van de eindassemblagelijnen is niet direct gelijk aan de vraag van de klant. Eindsets worden twee of drie keer per week geleverd aan de klant, terwijl er bij Power Packer de gehele week eindsets geassembleerd worden. Hierdoor ontstaat er een voorraad eindsets. Een richtlijn bij Power Packer is dat deze voorraad niet meer mag bedragen dan de vraag van drie dagen.

Doordat eindsets bij Power Packer op voorraad geassembleerd worden, geeft de output van de eindassemblagelijnen niet direct de vraag van de externe klant weer. Hierdoor is de vraag van de eindassemblagelijnen niet direct te vergelijken met de vraag naar cilinders op basis van de klantvraag. In dit onderzoek wordt er uitgegaan van de vraag naar cilinders op basis van de output van de eindassemblagelijnen. Bij het afstemmen van de capaciteit van de cilinderassemblage op de output van de eindassemblagelijnen, wordt bepaald in hoeverre stilstand van de eindassemblagelijnen voorkomen kan worden. Door voldoende capaciteit bij de cilinderassemblage heeft de beschikbaarheid van cilinders geen negatieve invloed op de leverbetrouwbaarheid van Power Packer.

De vraag naar cilinders per maand kan dus afwijken van de verwachte waarde. Daarnaast is de vraag naar cilinders binnen een maand niet evenredig verdeeld over de dagen. Het vervolg van paragraaf 4.2 kent de volgende opbouw. In paragraaf 4.2.2 wordt ingegaan op de variabiliteit in de vraag naar cilinders per maand en paragraaf 4.2.3 heeft betrekking op de variabiliteit in de vraag naar cilinders binnen een maand.

4.2.2 Variabiliteit in de vraag naar cilinders per maand

Inleiding

De vraag naar cilinders is direct af te leiden uit de assemblage van eindsets. De enige indicatie van de totale vraag naar cilinders in een bepaalde maand komt voort uit de voorspelling van het aantal te versturen eindsets in die maand. De vraag naar eindsets is onderhevig aan seizoensinvloeden. Daarnaast verschillen de afzetaantallen per merk. Dit leidt tot variatie in de vraag naar eindsets. Er wordt door Power Packer een 12-maand voorspelling opgesteld, waarmee de seizoensinvloeden en de verschillende afzetaantallen per eindset tot uitdrukking komen. Bij dit onderzoek wordt deze voorspelling gebruikt en wordt er niet uitgebreid ingegaan op de seizoensinvloeden, aangezien deze al meegenomen worden in de 12-maand voorspelling. Als de voorspelling exact uit zou komen en de productie zou exact gelijk zijn aan het aantal verstuurd eindsets, dan is er geen sprake van onzekerheid. Bij Power Packer is er echter sprake van variatie in de vraag naar eindsets en deze werkt door in de vraag naar cilinders

Het aantal eindsets dat daadwerkelijk verstuurd wordt, kan afwijken van het voorspelde aantal. Daarnaast kan ook het geassembleerde aantal eindsets afwijken van het verstuurd aantal. In Tabel 9 is aan de hand van een voorbeeld toegelicht welke afwijkingen er op kunnen treden in de maandelijkse vraag naar cilinders ten opzichte van de voorspelling.

Tabel 9 Voorbeeld van de afwijking in de vraag naar cilinders

Renault E 84 (juli 2005)	Voorspelling van aantal te versturen	Werkelijk verstuurd	Werkelijk geassembleerd
Eindset	2.480	3.036	3.245
2x 22 mm	4.960	-	6.490
3 x 16 mm	7.440	-	9.735

Uit de 12-maand voorspelling van maart 2005 was op te maken dat er van het merk Renault E84 in de vijfde maand (juli 2005) 2.480 eindsets verstuurd zouden worden. De eindset voor de Renault E84 heeft twee cilinders met een buisdiameter van 22 mm en drie met een buisdiameter van 16 mm. Per eindset is het aantal cilinders en de diameter van deze cilinders verschillend. De verwachte vraag naar cilinders is dus een veelvoud van het aantal eindsets. De verwachte vraag naar eindsets en cilinders staat in de tweede kolom weergegeven. In de maand juli 2005 zijn er daadwerkelijk 3.036 eindsets verstuurd (3^e kolom). Er zijn echter 3.245 eindsets geassembleerd in die maand. Deze aantallen zijn in de onderste twee rijen uitgedrukt in cilinderaantallen (4^e kolom).

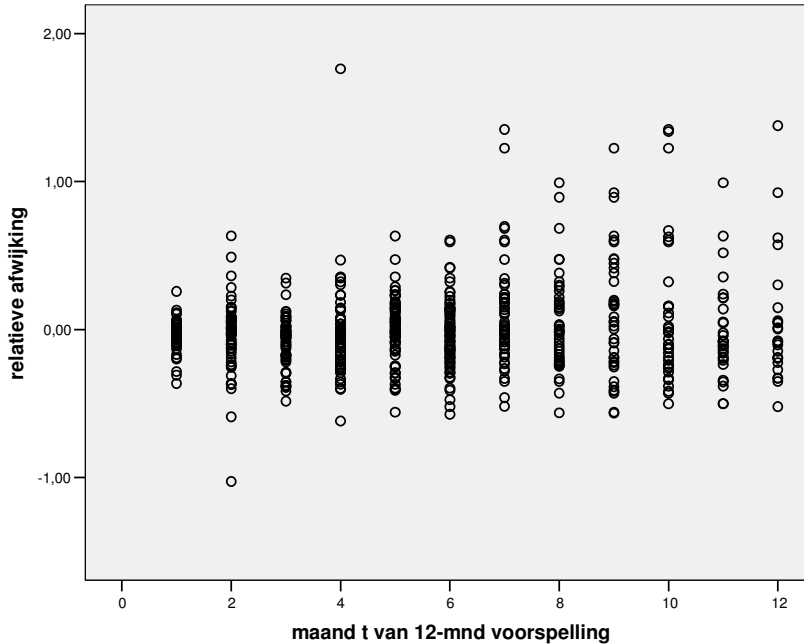
Afwijking van de daadwerkelijk verstuurd eindsets ten opzichte van de voorspelling

Doordat de waarden per maand en per eindset verschillen, heeft het bepalen van de absolute afwijking weinig toegevoegde waarde, aangezien de afwijkingen dan niet te vergelijken zijn. Vandaar dat bij deze analyse de afwijkingen relatief zijn uitgedrukt. De voorspelfout in een bepaalde maand wordt als volgt weergegeven:

$\Delta x^t = \frac{x - \bar{x}^t}{\bar{x}^t}$	<p>x = het werkelijke aantal verstuurd eindsets \bar{x}^t = de voorspelde waarde van de t^e maand Δx^t = de relatieve afwijking van de t^e maand</p>
--	--

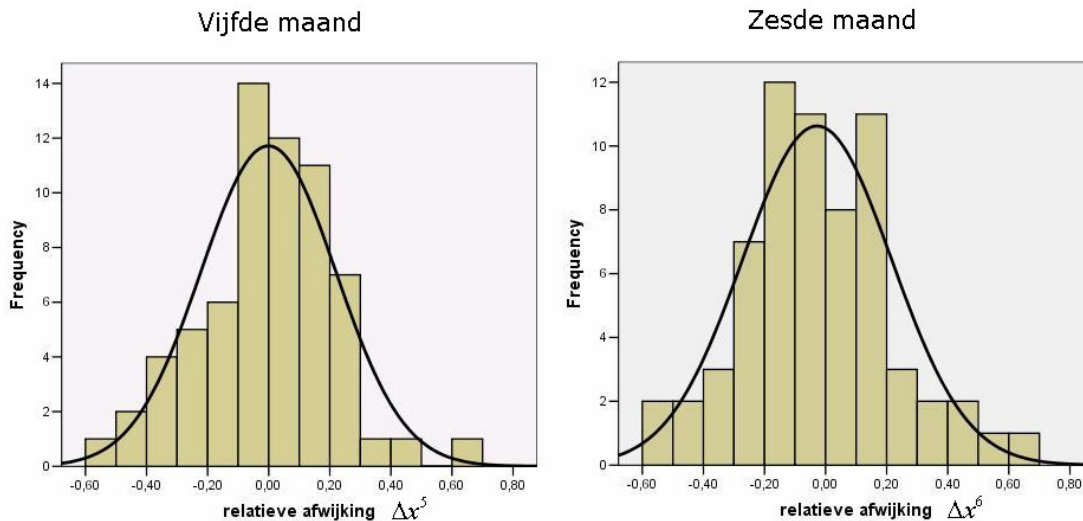
Op basis van het werkelijke aantal verstuurd eindsets en de 12-maand voorspellingen, is met behulp van bovenstaande formule de relatieve afwijking bepaald per voorspelde maand.

In Figuur 24 zijn de waarden van de relatieve afwijkingen in een spreidingsdiagram weergegeven. Dit zijn dus de afwijkingen van het werkelijke aantal verstuurd eindsets ten opzichte van het voorspelde aantal eindsets. Een positieve afwijking geeft aan dat er die maand meer eindsets verstuurd zijn dan dat er voorspeld was. Een negatieve afwijking geeft aan dat er minder eindsets verstuurd zijn ten opzichte van de voorspelling.



Figuur 24 Spreidingsdiagram van relatieve afwijkingen Δx^t per t^e maand

Uit het spreidingsdiagram is enigszins op te maken dat de spreiding in de relatieve afwijkingen toeneemt naarmate de voorspelde maand verder in de toekomst ligt. De interesse bij dit onderzoek gaat uit naar de vijfde en zesde voorspelde maand. Om een betrouwbaarheidsinterval aan te kunnen geven, wordt onderzocht hoe de relatieve afwijkingen verdeeld zijn. In Figuur 25 zijn de histogrammen van de relatieve afwijking in de vijfde en zesde maand weergegeven. Hierin staat ook het gemiddelde en de standaarddeviatie weergegeven. De theoretische waarden voor de normale verdeling zijn met een lijn ook in het histogram opgenomen.



Figuur 25 Histogram van de relatieve afwijking Δx^t voor $t=5$ en $t=6$

Uit de histogrammen is af te leiden dat de relatieve afwijkingen te benaderen zijn door een normale verdeling. De gemiddelde waarde van de relatieve afwijking van de vijfde en zesde maand ligt iets lager dan nul (respectievelijk -0,1 % en -2,8 %). In Tabel 10 zijn deze gegevens weergegeven.

Tabel 10 Verdeling van de relatieve afwijking

Relatieve afwijking		Vijfde maand	Zesde maand
Gemiddelde		-0,1%	-2,8%
95% betrouwbaarheidsinterval	Ondergrens	-5,6%	-8,8%
	Bovengrens	5,4%	3,3%
Standaarddeviatie		22,1%	24,4%

De afwijking van het gemiddelde ten opzichte van nul is zo klein dat de puntvoorspelling van Power Packer niet aangepast hoeft te worden. Dit wordt benadrukt door het 95% betrouwbaarheidsinterval van het gemiddelde. Bij zowel de vijfde als de zesde maand ligt de waarde nul ruim binnen het interval. Als verwachtingswaarde voor het betrouwbaarheidsinterval wordt dus uitgegaan van de puntvoorspelling van Power Packer.

Zoals in de histogrammen aangetoond is, kunnen de afwijkingen normaal benaderd worden. De waarde van de standaarddeviatie van de relatieve afwijkingen wordt dan ook overgenomen als waarde voor de standaarddeviatie bij het bepalen van het waarschijnlijkheidsinterval. In bovenstaande tabel zijn de standaarddeviaties van de vijfde en zesde maand weergegeven en deze bedragen respectievelijk 22,1% en 24,4%. Deze standaarddeviaties worden gebruikt voor het bepalen van het betrouwbaarheidsinterval.

Hoewel de gemiddelde afwijking vrijwel nul bedraagt (dit duidt op een zuivere voorspelling), is er sprake van een grote standaardafwijking. De daadwerkelijke waarde van het aantal verstuurd eindsets kan dus fors afwijken van het voorspelde aantal te versturen eindsets.

Vergelijking van de geproduceerde eindsets met het aantal verstuurd eindsets

De verwachting van het aantal te versturen eindsets is vergeleken met het daadwerkelijke aantal verstuurd eindsets. Vervolgens is aangetoond dat het aantal te versturen eindsets normaal te benaderen is met de verwachtingswaarde van de voorspelling van Power Packer en als standaarddeviatie 22,1% of 24,4% van de verwachtingswaarde (afhankelijk van de voorspelde maand).

Voor het bepalen van de vraag naar cilinders moet het aantal te produceren eindsets bepaald worden. Vandaar dat nagegaan wordt in hoeverre het aantal verstuurd eindsets een goede indicatie is voor het aantal geassembleerde eindsets. Doordat Power Packer voorraad niet gebruikt om maandelijkse fluctuaties op te vangen, is de veronderstelling dat het aantal verstuurd eindsets direct overeenkomt met het aantal geproduceerde eindsets.

Er zijn oorzaken aan te geven waarom het aantal geassembleerde eindsets toch significant af kan wijken van het aantal verstuurd eindsets. Een afwijking wordt significant beschouwd als de afwijking groter is dan de richtwaarde van de voorraad van eindsets (gebaseerd op de vraag van drie dagen). Uitgaande van 20 werkdagen per maand, kan de productie niet meer dan $3/20$ (=15%) afwijken van het aantal verstuurd eindsets.

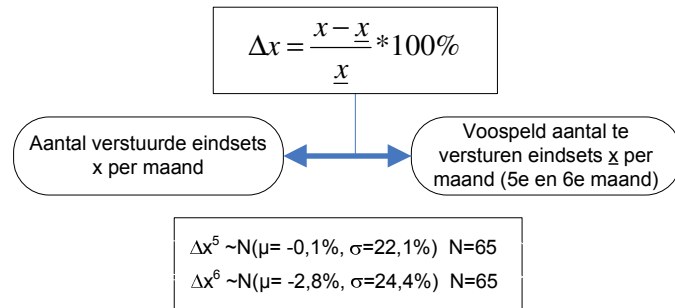
In de praktijk komt het echter voor dat er voor meer dan drie dagen op voorraad geproduceerd wordt. De grootste oorzaak hiervan is dat het leverschema van eindsets door de klant verlaagd is, maar het productieschema van Power Packer niet aangepast wordt. Hierdoor worden er meer eindsets geproduceerd dan gevraagd. De volgende maand zullen er dan minder eindsets geproduceerd worden om de voorraad weer richting drie dagen te krijgen. Als

de productie in een bepaalde maand significant lager is dan het aantal verstuurd eindsets, dan is er te veel op voorraad geproduceerd in de voorafgaande maand.

In bijlage 3 is weergegeven in hoeverre de productie afwijkt van de verstuurd eindsets per maand. Hiervoor is de relatieve afwijking berekend. Uit de analyse blijkt dat de relatieve afwijking te benaderen is met een normale verdeling met verwachtingswaarde 0,1% en standaardafwijking 23,2%. Het is logisch dat de afwijking 0% benadert, omdat het aantal verstuurd eindsets op langere termijn direct overeenkomt met het aantal geproduceerde eindsets. De standaardafwijking is wel hoger dan verwacht. De hoge standaardafwijking geeft aan dat de spreiding beduidend hoger is dan de verwachte maximale spreiding op basis van de veiligheidsvoorraad (15%). Bij het bepalen van de inzet van machinecapaciteit is de spreiding van groot belang. Bij maximale inzet van arbeidscapaciteit moet er immers voldoende machinecapaciteit zijn om aan de vraag naar cilinders in een bepaalde maand te kunnen voldoen. Doordat de variatie van het aantal geassembleerde eindsets ten opzichte van het verstuurd aantal eindsets door Power Packer zelf gecreëerd wordt, zal er in het vervolg van dit onderzoek geen aandacht aan besteed worden. Zolang er voldoende capaciteit bij de cilinderassemblage aanwezig is om aan de klantvraag te kunnen voldoen, dan is de beschikbaarheid van cilinders toereikend.

Conclusie

Voor het bepalen van de variabiliteit in de vraag naar cilinders per maand, is de voorspelling van het aantal te versturen eindsets vergeleken met het daadwerkelijke aantal verstuurd eindsets. Hiervoor zijn de vijfde en zesde maand van de voorspelling geanalyseerd. In Figuur 26 zijn de resultaten van deze analyses weergegeven.



Figuur 26 Afwijking verstuurd eindsets t.o.v. de voorspelling

De afwijking van het aantal verstuurd eindsets ten opzichte van de voorspelling van de vijfde en zesde maand worden respectievelijk weergegeven met Δx^5 en Δx^6 . Op basis van 65 waarnemingen is bepaald dat de relatieve afwijking Δx normaal te benaderen is. De verwachtingswaarde van de afwijking wordt op nul gesteld aangezien de voorspelling zuiver is. De standaardafwijking wordt voor de vijfde en zesde maand van de voorspelling respectievelijk 22,1% en 24,4% van de voorspelde waarde.

Naast de analyse van de afwijking van de voorspelling ten opzichte van de werkelijke aantal verstuurd eindsets, is er nog een analyse verricht. De afwijking van het aantal geassembleerde eindsets ten opzichte van het aantal verstuurd eindsets is bepaald. Deze afwijking wordt weergegeven met afwijking z. Door het bepalen van deze afwijking is onderzocht of de verstuurd eindsets een goede indicatie geven van het aantal geassembleerde eindsets. In bijlage 3 is deze analyse verricht, waaruit naar voren is gekomen dat de assemblageaantallen wel degelijk afwijkingen vertoonden ten opzichte van de verstuurd aantallen. Daarnaast is de onderlinge afhankelijkheid tussen de afwijking Δx^5 en de afwijking z aangetoond in bijlage 3. Door de onderlinge afhankelijkheid worden niet allebei de

afwijkingen als variabiliteit gemodelleerd. Hierdoor zou er een hogere mate van variabiliteit gemodelleerd worden dan in de praktijk aanwezig is.

Bij dit onderzoek wordt voor het modelleren van de variabiliteit in de vraag naar cilinders per maand uitgegaan van de afwijking Δx . De veronderstelling wordt gedaan, dat het aantal te versturen eindsets in de vijfde en zesde maand een goede indicatie geeft van het aantal te assembleren eindsets in deze maanden. Deze veronderstelling kan gemaakt worden, aangezien de afwijkingen die op kunnen treden, veroorzaakt worden door de keuze van Power Packer om in een bepaalde maand meer eindsets te assembleren dan er gevraagd worden.

4.2.3 Variabiliteit in de vraag naar cilinders binnen de maand

Inleiding

In deze paragraaf wordt de variabiliteit in de vraag naar cilinders binnen een maand onderzocht. Het gaat hierbij om de daadwerkelijke vraag van cilinders van de eindassemblagelijnen. De eindassemblagelijnen worden als (interne) klant gezien en hier wordt de machinecapaciteit van de cilinderassemblage op afgestemd.

De variabiliteit in de vraag naar cilinders binnen de maand wordt onderzocht omdat de inzet van machinecapaciteit van de cilinderassemblage van deze variabiliteit afhankelijk is. De vraag naar cilinders is namelijk niet iedere week in een bepaalde maand hetzelfde. De eindassemblagelijnen zijn de directe klanten van de cilinderafdeling. Variatie in de output van de eindassemblagelijnen leidt tot variatie in de vraag naar cilinders. De variatie in de assemblage aantallen van de eindassemblagelijnen wordt onderzocht door te bepalen in hoeverre de wekelijkse aantallen variëren binnen een maand.

Aan het eind van deze paragraaf moet duidelijk zijn in welke mate de wekelijkse vraag afwijkt van de gemiddelde wekelijkse vraag in een bepaalde maand. Deze variatie wordt meegenomen in de modellering van de bezetting van de machinelijnen voor de cilinderassemblage. Deze paragraaf start met de analyse van de wekelijkse variatie per maand. Er wordt aangegeven hoe deze berekend wordt. Daarbij worden de resultaten weergegeven. Tot slot zullen de conclusies gepresenteerd worden waarin aangegeven wordt in welke mate de vraag naar cilinders zal variëren in een bepaalde maand.

Wekelijkse afwijking in de vraag naar cilinders per maand

Op basis van de productiegegevens van eindsets wordt de wekelijkse afwijking in de productie van eindsets ten opzichte van het gemiddelde in de betreffende maand bepaald. De afwijking in de assemblage van eindsets bepaalt direct de afwijking in de vraag naar cilinders.

Voor het bepalen van de relatieve afwijking van de wekelijkse assemblage in een bepaalde week ten opzichte van het wekelijkse gemiddelde in een bepaalde maand, wordt de term Δw_u gebruikt. De berekening hiervan is weergegeven in Figuur 27. Het gemiddelde aantal eindsets \bar{m}_t wordt berekend door het aantal geassembleerde eindsets per maand te delen door 4,33 (52 weken / 12 maanden). De werkelijke waarde van het aantal geassembleerde eindsets wordt weergegeven met de waarde w_u .

$$\Delta w_u = \frac{w_u - \bar{m}_t}{\bar{m}_t}$$

w_u = werkelijke waarde in week u

\bar{m}_t = gemiddelde waarde van aantal geproduceerde eindsets per week in maand t

Δw_u = relatieve afwijking van de wekelijkse productie in week u

Figuur 27 Berekening van Δw_u

In Tabel 11 zijn de gegevens gepresenteerd die betrekking hebben op de verdeling van de afwijking w_u .

Tabel 11 Gemiddelde en standaarddeviatie van afwijking W_u

Afwijking W_u	
Gemiddelde	4,2%
Standaarddeviatie	30,4%

De verwachtingswaarde van de afwijking die uit de tabel is af te lezen, betreft 4,2%. Deze afwijking hoort 0% te zijn, maar doordat het aantal weken in een maand varieert, ontstaat er een afwijking. De standaarddeviatie bedraagt 30,4%. Deze standaardafwijking is groot, wat duidt op een grote wekelijkse spreiding per maand. Hieruit blijkt dat de productie de ene week beduidend kan verschillen van de andere in een bepaalde maand. In bijlage 3 is verantwoord dat de wekelijkse afwijkingen per maand normaal te benaderen zijn. Bij de modellering zal er vanuit gegaan worden dat de gemiddelde afwijking 0% bedraagt.

Conclusie

In deze paragraaf is op basis van het aantal geassembleerde eindsets bepaald in hoeverre de vraag naar cilinders zal variëren binnen een maand. De assemblage van eindsets is niet iedere week constant in een bepaalde maand.

Er moet dus bij het afstemmen van de capaciteit van de cilinderassemblage rekening gehouden worden met de wekelijkse spreiding per maand. Hiervoor is in deze paragraaf bepaald dat het aantal te assembleren eindsets in een willekeurige week in een bepaalde maand normaal te benaderen is. Hierbij geldt het gemiddelde assemblageaantal per week als verwachtingswaarde. De standaardafwijking bedraagt 30,4% van het wekelijkse gemiddelde.

4.3 Variabiliteit in de assemblage van cilinders

4.3.1 Inleiding

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de vraag hoeveel de verwachte assemblagetijd van een bepaald aantal (verschillende) typen cilinders kan variëren. Om deze vraag te kunnen beantwoorden wordt eerst de beheersbare variabiliteit behandeld, het veranderen van het aantal operators per machinelijn. Dit wordt weergegeven in §4.3.2. In de volgende twee paragrafen wordt de onbeheersbare variabiliteit behandeld. De assemblagetijd per bewerkingsstation wordt behandeld in §4.3.3. Het bepalen van de verstoringen per machinelijn is de volgende stap die genomen wordt en deze wordt weergegeven in §4.3.4. Uit deze twee paragrafen zal blijken dat het de inspanning niet waard is om gedetailleerd in te gaan op de duur en frequentie van (kleine) verstoringen. Vandaar dat er gekozen wordt voor het bepalen van de effectiviteit van de cilinderassemblage op basis van de werkelijke output van de cilinderassemblage. Hiervoor wordt in §4.3.5 aangegeven hoe de prestatiemeting bij Power Packer geschiedt.

4.3.2 Aantal operators per machinelijn

Het aantal operators per machinelijn is te beïnvloeden door Power Packer en heeft een directe invloed op de output van een machinelijn. Hopp en Spearman (2001; p. 249) typeren dit als beheersbare variabiliteit. Er kunnen één tot drie operators ingezet worden per machinelijn. Het aantal operators dat in te zetten is per machinelijn is afhankelijk van het totale aantal beschikbare operators voor de cilinderafdeling. Deze worden verdeeld over de voormontage afdeling en de machinelijnen voor de cilinderassemblage.

Het aantal beschikbare operators voor de cilinderafdeling kan variëren door onverwachte omstandigheden, zoals afwezigheid van operators. Dit kan opgevangen worden door operators

van een eindassemblagelijijn bij de cilinderafdeling in te zetten. Het aantal operators per machinelijn wordt in dit onderzoek op drie gesteld, aangezien de machinecapaciteit afgestemd wordt op maximale inzet van arbeidscapaciteit.

4.3.3 Variabiliteit per bewerkingsstation

In deze paragraaf wordt het verschil in assemblagetijd per bewerkingsstation behandeld. Hiervoor wordt eerst de assemblagetijd per bewerkingsstation bepaald, voor de cilinders die geen extra bewerkingen hoeven te ondergaan. Vervolgens worden de extra bewerkingen per cilinder toegelicht. Daarna worden verstoringen besproken die veroorzaakt worden door het controlesysteem en doordat onderdelen op de werkplek aangevuld moeten worden. Tot slot worden conclusies over de variabiliteit per bewerkingsstation getrokken.

Assemblagetijd per bewerkingsstation

De handelingssnelheid van een operator is niet constant. De bewerkingsnelheid van operators verschilt per handeling. Naast de individuele verschillen in bewerkingsnelheid, verschilt de bewerkingsnelheid onderling tussen operators ook. De verwachte output per bewerkingsstation is afhankelijk van het type cilinder en de handigheid van de betreffende operator (snelheid van de operator). Voor het vergelijken van de operators en de mogelijke variatie in de bewerkingsnelheid zijn er voor dit onderzoek tijdwaarnemingen verricht met verschillende operators. Hierbij zijn de standaardbewerkingen geklokt die gedaan moeten worden bij iedere cilinder. Op het moment van de tijdwaarneming (december 2005) zijn er drie diameterlijnen, waarop de cilinders van de Volkswagen en Volvo eindset op geassembleerd worden. Het laatste bewerkingsstation, de testbank, is nog niet geïnstalleerd. De metingen hebben dus betrekking op de eerste twee bewerkingsstations. Bij de metingen zijn de kleine verstoringen in het proces niet meegenomen. De duur en frequentie van deze verstoringen zijn per cilinder verschillend. De kleine verstoringen zullen na het bepalen van de snelheid besproken worden. Bij het bepalen van de snelheid wordt de tijd gemeten die het vergt wanneer een bewerking zonder verstoringen wordt uitgevoerd.

Voor het eerste bewerkingsstation zijn de resultaten weergegeven in Tabel 12. Er zijn drie operators gedurende vijf bewerkingen (n=5) geklokt. Dit is in de eerste kolom weergegeven. De tweede kolom geeft de gemiddelde bewerkingstijd. Dit is de tijd die het vergt om de standaardbewerkingen uit te voeren. Bij het eerste bewerkingsstation betreft dit de assemblage van de “plunger” en de assemblage van de “base”. In de derde kolom is de standaarddeviatie weergegeven.

Tabel 12 Bewerkingstijden op het eerste station (in seconden)

Station 1	Gemiddelde	Standaarddeviatie
Operator 1 (n=5)	31,2	1,3
Operator 2 (n=5)	30,0	2,3
Operator 3 (n=5)	36,0	1,9
Totaal (n=15)	32,4	3,2

Uit deze resultaten is af te leiden dat de bewerkingstijden per operator kunnen variëren. De eerste operator doet er gemiddeld 31,2 seconden over, terwijl de derde operator er 36 seconden voor nodig heeft. Dit verschil kan echter ook veroorzaakt worden doordat er een klein verschil is per type cilinder. Uit deze tijdwaarnemingen blijkt verder dat de bewerkingstijd voor standaardbewerkingen op het eerste station ongeveer 32 seconden duurt.

De resultaten van de tijdwaarnemingen van het tweede bewerkingsstation zijn weergegeven in Tabel 13. Bij dit station zijn drie andere operators gedurende vijf bewerkingen (n=5) geklokt. In de eerste kolom is dit weergegeven. Bij het tweede bewerkingsstation wordt de cilinder gefelst. Het kogelfelsen start met het inleggen van de

onderdelen. Vervolgens felst de machine de cilinder aan beide kanten (in 12 seconden) en daarna moet de gefelste cilinder uit de machine gehaald worden. De totale tijd die dit vergt is vijf keer waargenomen per operator en het gemiddelde is weergegeven in de tweede kolom. In de derde kolom is de standaarddeviatie van de vijf waarnemingen individueel en de standaarddeviatie van 15 waarnemingen gezamenlijk weergegeven.

Tabel 13 Bewerkingstijd op het tweede station (in seconden)

Station 2	Gemiddelde	Standaard deviatie
Operator 4 (n=5)	25,0	0,7
Operator 5 (n=5)	24,0	1,0
Operator 6 (n=5)	23,4	0,9
Totaal (n=15)	24,1	1,1

In de tabel is zichtbaar dat de standaarddeviatie lager is dan de standaarddeviatie op het eerste station. Dit is te verklaren doordat een aanzienlijk deel van de bewerkingstijd verricht wordt door de machine (12 seconden) en constant is. Verder blijkt uit de tijdwaarnemingen dat de bewerkingstijd op het tweede station voor de standaardbewerkingen ongeveer 24 seconden zullen duren.

Door de verschillende bewerkingstijden per operator zullen de verwachte bewerkingstijden per station kunnen variëren, waardoor de tact-tijd afhankelijk is van de betreffende operators in de machinelijn. Doordat het eerste station meer handmatige handelingen heeft, zal de variatie hier hoger zijn dan op het tweede bewerkingstation.

Assemblagetijd extra bewerkingen

Naast de standaardbewerkingen van een cilinder zijn er ook cilinders met extra bewerkingen, zoals in hoofdstuk 3 naar voren is gekomen. Deze extra bewerkingen zorgen voor extra bewerkingstijd op de bewerkingstations. Van deze extra bewerkingen zijn vijf handelingen bij één operator geklokt. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 14.

Tabel 14 Tijdsduur (in seconden) van extra bewerkingen

Extra bewerkingen	Gemiddelde	Standaard deviatie	Bewerkingstation
Demper aan Piston	9,8	1,9	1
Busjes in Rod-end	6,2	1,3	1
Invetten één kogelkop	4,2	0,8	2
Invetten beide kogelkoppen	5,8	0,8	2
Busjes in base	6,2	1,3	2

In bovenstaande tabel is per extra bewerking aangegeven wat de gemiddelde bewerkingstijd is en de standaarddeviatie bij vijf waarnemingen. In de laatste kolom is het bewerkingstation weergegeven waar de bewerking wordt uitgevoerd.

Naast de variatie van de standaardbewerkingen, treedt er ook variatie op in de bewerkingstijd van de extra bewerkingen. Als uitgangspunt voor de modellering wordt er uitgegaan van de gemiddelde bewerkingstijden. Bij sommige cilinders moeten meerdere extra bewerkingen uitgevoerd worden. In bijlage 2 is een lijst weergegeven met de extra bewerkingen per cilinder. Deze bewerkingen zullen gebruikt worden bij het bepalen van de assemblagetijd per cilinder.

Verstoring door het controlesysteem

Het controlesysteem zorgt ervoor dat er geen handelingen overgeslagen worden en waarborgt de kwaliteit van het product. Dit zorgt echter voor oponthoud in de assemblage. De frequentie en tijdsduur van deze verstoringen kan variëren afhankelijk van de gevolgen van de verstoring. Vandaar dat er onderscheid gemaakt wordt in storingen die eenmalig van aard zijn

en opgelost kunnen worden door de operator of lijncoördinator en verstoringen waarbij een ondersteunende afdeling Tooling & Maintenance (T&M), logistiek of kwaliteit (QA) ingeschakeld moet worden. Dit soort verstoringen worden behandeld bij machineverstoringen waardoor de output van de gehele machinelijn verstoord wordt.

Verstoringen die opgelost kunnen worden door de operator of de lijncoördinator zorgen voor een storing van een bewerkingsstation. Dit komt voor als de bewerkingsvolgorde niet juist is doorlopen of er een afkeur optreedt op kwaliteitsaspecten. In het eerste geval zorgt dit voor een verstoring die kleiner is dan de bewerkingstijd van het bewerkingsstation. De bewerkingen moeten namelijk herhaald worden, de tooling moet op de juiste manier teruggelegd worden, zodat het systeem herkent welke handeling gedaan moet worden. Als er verstoring optreedt waarbij de cilinder op kwaliteit afgekeurd wordt, dient bekeken te worden of het een eenmalige fout was. Bij een eenmalige fout is de verstoring klein van aard en zorgt het voor een lichte verstoring van het bewerkingsstation. Bij een voortdurende fout dient er afhankelijk van de fout een ondersteunende afdeling ingeschakeld te worden. Dit heeft tot gevolg dat de gehele machinelijn stilgezet wordt. Deze verstoring zal apart worden beschreven.

De frequentie van kleine verstoringen is moeilijk meetbaar. Hierbij spelen meerdere factoren een rol. Deze factoren zijn in ieder geval het type cilinder, de betreffende operator en de kwaliteit van de onderdelen.

Het type cilinder is de eerste factor die de frequentie en duur van verstoringen beïnvloedt. De ene cilinder is gevoeliger voor verstoringen dan de andere, doordat de assemblagewerkzaamheden variëren in complexiteit.

Een andere factor die van invloed is op kleine verstoringen kan de operator zelf zijn. De ene operator is handiger in de bewerkingen dan de andere.

Als derde is de kwaliteit van de betreffende onderdelen. Voor de onderdelen wordt er door Power Packer weliswaar een specificatie opgegeven van de marges waarbinnen de afmetingen van onderdelen aan moeten vallen. Doordat de kwaliteit (bijvoorbeeld de nauwkeurigheid van de afmetingen) kan variëren, is dit ook een oorzaak van kleine verstoringen.

Verstoring door het aanvullen van onderdelen

Tijdens de assemblage van cilinders staan de onderdelen voor de betreffende cilinder per bewerkingsstation in de lijn opgesteld. Tijdens de assemblage van een bepaald type cilinder moet de lege emballage op een aparte stelling gezet worden en moet er een volle bak onderdelen terug in de lijn gezet worden. Doordat de onderdelen verschillende maten hebben, zijn er verschillende varianten van bakken. Hierbij verschilt ook het aantal onderdelen per bak. Door de variatie van het aantal onderdelen per bak, varieert het aantal keer dat er gelopen moet worden voor het aanvullen van onderdelen per cilinder. De duur van deze verstoring is op het moment van tijdwaarnemingen (december 2005) niet meetbaar. De stellingen waarin de voorraad staat, zijn namelijk nog niet geïnstalleerd.

Conclusie

In deze paragraaf zijn meerdere oorzaken aangegeven waardoor de assemblagetijd per bewerkingsstation kan variëren. Doordat verschillende cilinders extra bewerkingen moeten ondergaan, wordt de variatie in assemblagetijd nog groter. In Tabel 15 zijn de assemblagetijden per bewerkingsstation weergegeven. De standaardbewerkingen op het eerste bewerkingsstation zullen gemiddeld 32 seconden duren. Voor het tweede en derde station duurt dit gemiddeld 24 seconden. Voor het eerste bewerkingsstation zullen de extra bewerkingen 0 tot 10 seconden duren. De gemiddelde bewerkingstijd van de extra bewerkingen op station 2 zal maximaal 12 seconden bedragen. Er zijn geen extra bewerkingen aan het derde bewerkingsstation toegewezen, aan dit station wordt dan ook geen extra tijd toegewezen.

Tabel 15 Assemblagetijd per bewerkingsstation (in seconden)

	Bewerkingsstation 1	Bewerkingsstation 2	Bewerkingsstation 3
Standaard bewerkingen	32	24	24
Extra bewerkingen	0-10	0-12	0

Er is gebleken dat de variabiliteit per bewerkingsstation moeilijk meetbaar is, vanwege de onzekerheid van vele factoren. Ieder bewerkingsstation heeft een verwachte bewerkingstijd. Het station met de hoogste verwachte bewerkingstijd vormt de bottleneck. Deze bewerkingstijd wordt bij dit onderzoek gehanteerd als tact-tijd (zoals reeds besproken is in hoofdstuk 3). Het eerste bewerkingsstation vormt bij de meeste cilinders de bottleneck. Mogelijkheden die interessant zijn om het eerste bewerkingsstation minder te belasten:

- Base-assemblage automatiseren
- Busjes persen in “rod-end” op ander bewerkingsstation uitvoeren

Het tweede bewerkingsstation kan ook de bottleneck vormen. Dit is het geval bij cilinders die wel extra bewerkingen moeten ondergaan bij het tweede bewerkingsstation, maar geen bij het eerste bewerkingsstation. De assemblagetijd van het tweede station kan beperkt worden door de extra bewerkingen te combineren met het derde bewerkingsstation.

Variabiliteit per bewerkingsstation wordt opgevangen door tussenvoorraad van sub-assemblages. Tussen ieder bewerkingsstation is er ruimte voor het creëren van tussenvorraden. Om deze tussenvorraden niet te groot te laten worden, zal de operator die de voorraad creëert de operator ondersteunen die de bottleneck in de lijn vormt. Dit kan hij doen door het aanvullen van onderdelen voor die operator op zich te nemen. Welke verstoringen leiden tot een toename van de totale assemblagetijd is dus niet duidelijk. De efficiencyverliezen door verstoringen worden behandeld bij de prestatiemeting van Power Packer. Deze komt in paragraaf 4.3.5 aan de orde.

4.3.4 Opvangen van verstoringen van de machinelijnen

Inleiding

In voorgaande paragraaf is al een aantal zaken besproken die leiden tot de stilstand van een bewerkingsstation. In deze paragraaf worden de oorzaken besproken die leiden tot verstoring van de gehele machinelijn. De oorzaken die leiden tot stilstand van een gehele machinelijn worden als volgt behandeld:

1. Machineverstoringen bij de cilinderassemblage
2. Noodscenario's
3. De afwezigheid van onderdelen voor de cilinderassemblage
4. Het instellen van de machinelijn voor de assemblage van een ander type cilinder

Deze oorzaken zullen achtereenvolgens worden besproken. Vervolgens zullen de mogelijkheden besproken worden die er zijn om de verstoringen op te vangen. Tot slot zullen er conclusies getrokken worden ten aanzien van het opvangen van de verstoringen van de machinelijnen.

Machineverstoringen bij de cilinderassemblage

Bij ernstigere verstoringen aan de machines wordt de verstoring verholpen door de ondersteunende afdeling T&M. Bij deze afdeling wordt de reparatietijd bijgehouden. De periode waarover de storingsgegevens zijn bepaald, komt overeen met de opstartperiode van

de cilinderafdeling. De cilinderafdeling is in mei 2005 gestart met de aanschaf van de kogelfelsmachines. De laatste maand waar de gegevens betrekking op hebben is de maand februari 2006. In deze maand was het derde bewerkingsstation (de testbanken) nog niet geïnstalleerd. De machinestoringen hebben dus betrekking op de opstartperiode van de cilinderafdeling. Tijdens deze opstartperiode is het aantal cilinders dat geassembleerd is laag ten opzichte van de verwachte toekomstige productie. De cijfers gepresenteerd in Tabel 16 geven een indicatie van de totale duur van verstoringen in een bepaalde maand per machinelijn.

Tabel 16 Machinestilstand uitgedrukt in totaal aantal uren per maand (T&M, 2006)

Maand Jaar	mei-`05	Jun-`05	jul-`05	Aug-`05	sep-`05	okt-`05	nov-`05	dec-`05	jan-`06	Feb-`06
14 mm					0,3		0,3		2,0	
20 mm		1,4	0,4	0,3	0,7	0,5			4,0	2,0
22 mm	2,0	0,7		0,1					1,3	1,0

Op basis van deze gegevens kunnen geen harde uitspraken gedaan worden over de frequentie en duur van de machinestoringen, omdat dit de opstartperiode van de cilinderafdeling betreft. Alle machinestoringen worden binnen twee uur verholpen en duren minimaal 10 minuten. De maximale duur van de machineverstoringen is interessant, aangezien hier de voorraad cilinders op aangepast moet worden. Machinestoringen zullen echter niet opgevangen worden door een extra machinelijn per diameter in te zetten. Hiervoor zijn de machinelijnen en de hiervoor benodigde ruimte te kostbaar. Bij investeringen in machines voor de cilinderassemblage dient echter wel rekening worden gehouden met een beperktere productietijd door de verstoringen. In paragraaf 4.3.5 wordt er verder ingegaan op de effectief bestede productietijd.

Noodscenario's

Er zijn diverse noodscenario's denkbaar waardoor de output van de machinelijnen verstoord wordt. Hierbij valt te denken aan het uitvallen van de stroom, blikseminslag of brand. Dit zijn echter scenario's die zo exclusief zijn dat hier geen rekening mee gehouden wordt bij de beslissing tot extra capaciteitsinzet en deze oorzaak zal niet verder behandeld worden.

Afwezigheid van onderdelen voor de cilinderassemblage

Bij Power Packer wordt voor de beschikbaarheid van onderdelen onderscheid gemaakt in interne en externe verstoringen door het niet beschikbaar zijn van onderdelen. Een extern onderdelentekort duidt op een tekort aan onderdelen van de leverancier. Bij een intern onderdelentekort zijn de benodigde onderdelen wel door de leverancier geleverd, maar zijn deze niet voldoende aanwezig op de productieafdeling. De diverse cilinders die geassembleerd worden hebben specifieke onderdelen. Vandaar dat het van belang is welke onderdelen een cilinder bevat voor de gevolgen van een onderdelentekort

Bij een intern onderdelentekort zijn de juiste onderdelen niet op de productielocatie. Voor een intern onderdelentekort worden in dit onderzoek twee vormen onderscheiden. De afwezigheid van de subassemblages de "Piston" en de "Gland" en de afwezigheid van de onderdelen die door een externe leverancier geleverd worden.

Als er te weinig voorgesmonteerde onderdelen zijn voor een bepaald type cilinder die geassembleerd moet worden, moeten deze onderdelen alsnog voorgesmonteerd worden. Het voormonteren kost per "Piston" of "Gland" tientallen seconden. Een dergelijke verstoring is dus snel op te lossen, mits de voormontage er direct op afgestemd wordt.

Indien er te weinig onderdelen beschikbaar zijn op de productieafdeling die wel in het externe magazijn “de Hanzepoort” liggen, worden deze onderdelen naar de productieafdeling getransporteerd. Dit duurt ongeveer een half uur voordat deze onderdelen dan beschikbaar zijn.

Bij een extern onderdelentekort moet de leverancier ingeschakeld worden om zo snel mogelijk onderdelen te leveren. Doordat de beschikbaarheid van onderdelen voor Power Packer van uitermate groot belang is, zijn er strikte richtlijnen opgesteld waar de leveranciers aan moeten voldoen. Om de kwaliteit van de onderdelen te waarborgen is er per onderdeel een specificatie opgesteld van marges waarbinnen de afmetingen van onderdelen mogen variëren. Als er onvoldoende onderdelen bij Power Packer zijn (door onvoldoende kwaliteit of onvoldoende levering) en Power Packer kan aantonen dat de leverancier hierbij in gebreke is gebleven, moet de leverancier voor de kosten opdraaien. Deze kosten kunnen snel hoog oplopen indien het onderdelentekort leidt tot stilstand van de eindassemblagelijijn bij Power Packer. Daarom wordt er in een dergelijk geval op kosten van de leverancier een taxi ingeschakeld die de onderdelen dan binnen een dag bij de productieafdeling van Power Packer bezorgt.

Het nagaan van de frequentie en duur van productieverstoringen door een extern onderdelentekort zou op basis van historische gegevens bekeken moeten worden. Bij Power Packer wordt voor verstoringen bij leveringen een “Logistic Deviation Report” (LDR) opgesteld. Een LDR is een document dat wordt opgesteld als er afwijkingen zijn in de geleverde aantallen. Deze afwijkingen kunnen veelal opgevangen worden met voorraad van het betreffende onderdeel. Uit deze data is niet af te leiden wanneer een bepaalde afwijking in levering leidde tot stilstand in de productie en hoe lang deze duurde. Er is wel na te gaan hoeveel onderdelen er te weinig waren geleverd van de betreffende afwijking en wat het probleem was. Er is echter geen algemeen overzicht van de stilstand door afwijkingen in leveringen. Voor dit onderzoek is het toereikend om ervan uit te gaan dat de verstoring door een gebrek aan onderdelen maximaal een dag kan duren, wat opgevangen wordt door de voorraad cilinders.

Indien de kwaliteit van onderdelen niet toereikend is wordt er een Corrective Action (CA) opgesteld. Een CA is een document dat wordt opgesteld waarin de te nemen acties door Power Packer en/of de leverancier vermeld staan. Op basis van de beschikbare CA's is niet vast te stellen of deze kwaliteitstekorten hebben geleid tot stilstand. Wederom geldt dat er nieuwe onderdelen binnen een dag geleverd kunnen worden, als de kwaliteit niet toereikend is.

Het instellen van de machinelijn voor de assemblage van een ander type cilinder

Op de machinelijnen worden verschillende typen cilinders geassembleerd. Hierdoor moeten de machinelijnen omgesteld worden als er een ander type cilinder geassembleerd gaat worden. De totale omsteltijd die dit vergt is afhankelijk van het aantal omstellingen per machinelijn en de tijd per omstelling.

Het aantal omstellingen per machinelijn is direct afhankelijk van de batchgrootte waarin de cilinders van de betreffende machinelijn geassembleerd worden. De batchgrootte wordt bepaald door de teamleider van de cilinderafdeling. In de praktijk is de batchgrootte gelijk aan de vraag naar dat type cilinder die dag. De gemiddelde dagelijkse vraag naar cilinders per type is ongeveer gelijk aan 100 cilinders.

Het verschil in omsteltijd is afhankelijk van de productievolverde van de cilinders en het aantal operators per machinelijn. Er zijn verschillende typen cilinders. Sommige cilinders hebben ongeveer dezelfde eigenschappen, terwijl anderen geheel verschillend zijn. Hierdoor is de omsteltijd mede afhankelijk van de productievolverde.

De productievolgorde wordt bepaald door de teamleider. Als er onderdelen missen van bepaalde cilinders, dan wordt de productievolgorde hierop aangepast. Zodoende heeft de afwezigheid van de benodigde onderdelen van een cilinder invloed op de productievolgorde.

De omstellingen worden uitgevoerd door de operators in de betreffende machinelijn. Deze veranderingen kunnen parallel uitgevoerd worden en de totale omsteltijd kan benaderd worden door de omsteltijd te delen door het aantal operators. Aangezien het aantal operators kan variëren van één tot drie, zal de omsteltijd hierdoor beïnvloed worden.

De maximale omsteltijd van standaard-cilinders kan benaderd worden door de tijd van de onderdelen die verwisseld moeten worden bij elkaar op te tellen. De standaardcilinders bevatten geen extra onderdelen. Voor het eerste bewerkingsstation (assemblage van “plunger” en “base”), zijn er in totaal zes onderdelen die verwisseld moeten worden. Daarnaast moet de machine voor de plungerassemblage ook omgesteld worden. Voor het tweede bewerkingsstation (kogelfelsen van de cilinder) hoeft alleen de buis verwisseld te worden, maar hier moet ook de machine omgesteld worden. Bij het derde bewerkingsstation (het testen van de cilinder) hoeft alleen de testbank anders ingesteld te worden. In Tabel 17 is een inschatting weergegeven van de omsteltijden. De totale omsteltijd bestaat uit het verwisselen van de onderdelen van de betreffende cilinders en het omstellen van de machines. Ten tijde van de tijdwaarnemingen waren er nog geen stellingen waar de onderdelen teruggezet werden en nieuwe onderdelen gehaald werden. Vandaar dat de tijden voor verwisseling van onderdelen op basis van een schatting tot stand gekomen zijn. De omsteltijd per machine is wel gemeten en hiervan is de gemiddelde tijd weergegeven.

Tabel 17 Omsteltijd standaard cilinders (in seconden)

Bewerking	Onderdeel	Verwisseling onderdelen	Omsteltijd machine	
Plunger-assemblage	Plunger	15	15	
	Gland	15		
	Rod-end	15		
	Piston	15		
Base-assemblage	Base	15	-	
	O-ring	15	-	
Kogelfelsen	Buis	15	60	
Testen	-	-	60	
		105	135	240

Extra bewerkingen voor bepaalde cilinders

Cilinders met extra bewerkingen vergen ook extra omsteltijd van de machinelijn. Er zijn drie extra bewerkingen te onderscheiden die zorgen voor extra omsteltijd. Dit zijn de busjes die in de “Gland” of “Base” geperst moeten worden en het monteren van een demper aan de “Piston”, zie Tabel 18 voor een weergave van de omsteltijd van de extra bewerkingen.

Tabel 18 Omsteltijd extra bewerkingen (in seconden)

Extra bewerking	Verwisseling onderdelen
Busjes in Gland	15
Demper aan Piston	15
Busjes in base	15

45

Er is één cilinder die deze drie extra bewerkingen allemaal bevat. De maximale omsteltijd wordt verkregen als er van een totaal ander type cilinder naar deze cilinder omgesteld wordt. De omsteltijd bedraagt dus maximaal 285 seconden. De tijd die het vergt om over te schakelen op een vergelijkbare cilinder is korter, namelijk ± 200 seconden.

Conclusie

In deze paragraaf zijn de vier oorzaken van verstoringen van een machinelijn behandeld. Bij het bepalen van de machinecapaciteit van de cilinderassemblage zal er geen rekening gehouden worden met noodscenario's, doordat deze zeer sporadisch optreden. In Tabel 19 zijn de overige drie oorzaken weergegeven.

Tabel 19 Oorzaken van verstoring van een machinelijn

Verstoring machinelijn	Gemiddelde duur	Maximale duur	Frequentie
Machineverstoringen	1 uur	2 uur	± 4 x / maand
De afwezigheid van onderdelen	Onbekend	1 dag	Onbekend
Het omstellen van de machinelijn	4 minuten	5 minuten	Vraag / batchgrootte

Uit de gegevens is af te leiden dat de duur van de machinestoringen maximaal 2 uur kan bedragen. Dit is echter gebaseerd op de veronderstelling dat de verstoringen in de opstartperiode van de cilinderassemblage representatief zijn voor de toekomst van de cilinderassemblage. De frequentie is zeer wisselend, de verwachting is dat er gemiddeld 1 uur storing per week per machinelijn optreedt.

Het effect van afwezigheid van onderdelen op de assemblage van cilinders is niet te achterhalen op basis van historische gegevens. Zowel de gemiddelde duur als de frequentie is onbekend. Als er echter een onderdelentekort optreedt, wordt er een spoedtransport geregeld. Dit kan maximaal één dag duren.

Het omstellen van de machinelijn om een ander type cilinder te assembleren vergt ook tijd. Deze tijd is afhankelijk van de betreffende cilinders. De gemiddelde duur van een omstelling bedraagt vier minuten. Het aantal omstellingen per dag is afhankelijk van de vraag naar cilinders en de batchgrootte.

Doordat verstoringen van de machinelijnen en kleine verstoringen tijdens de assemblage moeilijk te kwantificeren zijn, kan er op basis van voornoemde gegevens geen effectieve productietijd vastgesteld worden. Uit deze paragraaf is wel af te leiden dat de verstoringen van de machinelijnen geen reden zijn tot aanschaf van een extra machinelijn, vanwege de korte duur van de verstoringen. Deze verstoringen dienen echter wel meegenomen te worden in het bepalen van de effectieve productietijd. Hiervoor wordt in de volgende paragraaf in de prestatiemeting van Power Packer bepaald wat het effect van verstoringen is op de effectieve productietijd.

4.3.5 Prestatiemeting bij Power Packer

Uit voorgaande paragrafen is gebleken dat variabiliteit in de assemblagetijd van cilinders op dit moment lastig te bepalen is. Het effect van variabiliteit op de output van de cilinders is op basis van voorgaande analyses niet vast te stellen. De verstoringen in de output zullen in ieder geval niet langer dan een dag duren. Het is niet rendabel om voor deze verstoringen in de output een extra machinelijn neer te zetten. Dergelijke verstoringen hebben namelijk geen langdurig karakter en kunnen met voorraad cilinders opgevangen worden. Een extra machinelijn om verstoringen op te vangen zou zorgen voor een zeer lage bezettingsgraad. Een verstoring die ontstaat doordat er geen onderdelen beschikbaar zijn, kan dan bovendien nog niet opgevangen worden.

Doordat de verstoringen in voorgaande paragraaf niet allemaal te kwantificeren waren, wordt op basis van prestatiemeting een uitspraak over de effectieve productietijd gedaan. Hiervoor wordt eerst toegelicht hoe de prestatiemeting uitgevoerd is bij de cilinderassemblage.

Power Packer hanteert nu een standaard-tijd voor ieder type cilinder. Cilinders worden als gelijkwaardig beschouwd. De effectiviteit van de cilinderafdeling wordt inclusief de voormontage gemeten. Bij de voormontage is nog steeds een automatiseringsslag bezig. Deze automatisering gaat niet op voor alle typen “pistons” en “glands”. Hierdoor vindt er ook nog handmatige voormontage plaats. Hoewel deze tijden enorm variëren ten opzichte van de bewerkingstijd van de “pistons” en “glands” die geautomatiseerd gemonteerd worden, wordt er toch een zelfde tijd per cilinder gebruikt. Hierbij wordt er dus geen rekening gehouden met de verschillende typen “pistons” en “glands” en de extra bewerkingen voor een bepaalde cilinder.

Doordat alle cilinders als gelijkwaardig beschouwd worden en de voormontage in de berekening van de effectiviteit is meegenomen, zijn de resultaten enigszins vertroebeld. Toch geeft de prestatiemeting de beste indicatie van de effectieve productietijd, omdat de duur en frequentie van de verstoringen individueel niet te achterhalen zijn. In Tabel 20 is de effectieve productietijd van de cilinderafdeling bepaald op basis van de afgelopen 13 weken (november 2006).

Tabel 20 Resultaten van de prestatiemeting van de cilinderafdeling

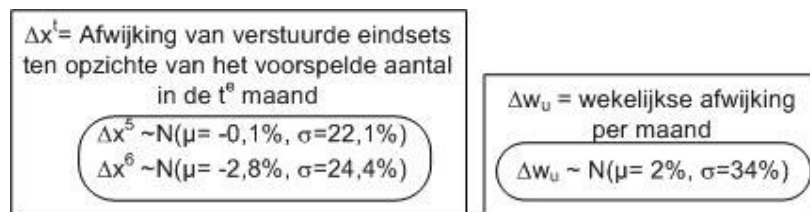
Week												Gemiddeld
33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
83%	90%	89%	78%	85%	84%	84%	82%	83%	75%	88%	90%	84%

Uit de tabel is af te leiden dat deze gemiddeld 84% bedroeg. Er is wel degelijk sprake van variatie in de effectiviteit van de assemblage. Deze variatie wordt volledig opgevangen door voorraad cilinders.

4.4 Conclusie

In dit hoofdstuk is eerst de variabiliteit in de vraag naar cilinders onderzocht. Vervolgens is de variabiliteit in de output van cilinders geanalyseerd.

Er zijn twee verschillende variaties die onderkend worden bij de variabiliteit in de vraag naar cilinders. De eerste betreft de afwijking van de voorspelde waarde per maand. Met de analyse is aangetoond dat het maandelijkse aantal eindsets normaal te benaderen is. De tweede analyse die is uitgevoerd, betreft de wekelijkse afwijking per maand. Uit de analyse blijkt dat een willekeurige week ook normaal te benaderen is met een bepaalde verwachtingswaarde en standaardafwijking. De resultaten zijn als volgt weer te geven:



De verwachtingswaarde van de afwijking benadert bij ieder resultaat de waarde nul. Er zal dan ook van de waarde nul als afwijking uitgegaan worden.

Bij het bepalen van de variabiliteit in de output van de cilinderassemblage is naar voren gekomen dat er verschil is in bewerkingstijd afhankelijk van het type cilinder. Hier treedt voorspelbare variabiliteit op. Door extra bewerkingen kan het bewerkingstation dat de bottleneck vormt per cilinder verschillen. Voor iedere cilinder wordt het bewerkingstation met de langste bewerkingstijd bepaald op basis van de standaardbewerkingstijden en de duur

van extra bewerkingen. De totale duur van het bewerkingsstation met de langste bewerkingstijd, vormt de bottleneck en dus de tact-tijd.

Verstoringen van de machinelijn en de efficiency van operators zijn onbekend. Deze verstoringen worden opgevangen met behulp van voorraad. Toch moet de gemiddelde output per week toereikend zijn om aan de vraag te kunnen voldoen. Bij het afstemmen van de machinecapaciteit dient er dus zeker rekening gehouden te worden met de verstoringen in de machinelijnen en de efficiency. Voor het bepalen van de effectieve productietijd in het model wordt er gebruik gemaakt van de prestatiemeting van Power Packer.

In dit onderzoek wordt er vanuit gegaan dat de voorraad cilinders ter grootte van de dagvraag toereikend is voor het opvangen van de variabiliteit in de assemblagetijd van cilinders. Dit neemt niet weg dat er geen rekening gehouden moet worden met de verstoringen en inefficiency. Verstoringen en inefficiency zorgen ervoor dat er minder productietijd beschikbaar is. Uit paragraaf 4.3.5 is af te leiden dat de effectiviteit van de productietijd 84% betreft. Deze waarden zullen gebruikt worden bij het bepalen van de inzet van machinecapaciteit.

Hoofdstuk 5 Modelbeschrijving voor de inzet van machinecapaciteit

5.1 Inleiding

Het productiesysteem voor de cilinderassemblage is beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 is ingegaan op de variabiliteit die op kan treden in het productiesysteem. In dit hoofdstuk wordt het model beschreven waarmee de inzet van machinecapaciteit bepaald kan worden. Een model is een representatie van iets zoals een entiteit, een systeem of een idee (Balci, 2001). Bij dit onderzoek geeft het model een representatie van het productiesysteem voor de cilinderassemblage.

In het beginstadium van dit onderzoek is gekozen voor een model dat deterministisch van aard is. Dit model is afgeleverd bij Power Packer en wordt in de praktijk gebruikt voor het bepalen van machine-investeringen voor de cilinderassemblage. Voor een nader onderzoek naar de invloed van variabiliteit in het productiesysteem op de inzet van machinecapaciteit wordt de gevraagde productietijd beschouwd als een stochastische variabele. Het model wordt in dit hoofdstuk beschreven, waarbij een overzicht van de samenhang van het model is weergegeven in Figuur 28.

Bij het inzetten van capaciteit is het afstemmen van vraag en aanbod van capaciteit van groot belang. De vraag naar capaciteit wordt uitgedrukt in de gevraagde productietijd en wordt bepaald op basis van de voorspelling van de vraag naar eindsets. In paragraaf 5.2 wordt aangegeven hoe de vraag naar cilinders gegenereerd wordt en hoe deze leidt tot de gevraagde productietijd.

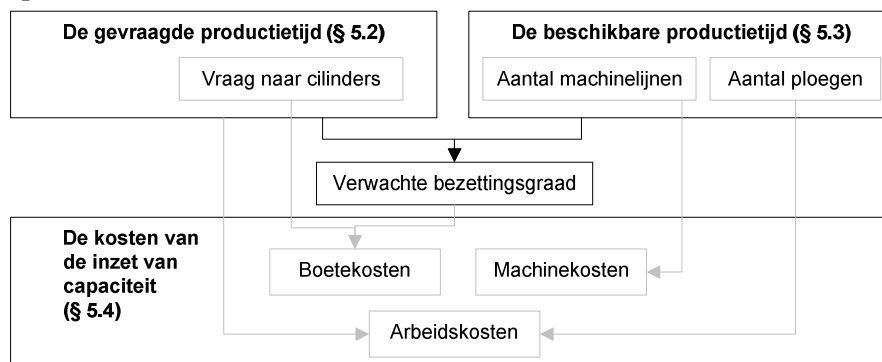
Het aanbod van capaciteit wordt in paragraaf 5.3 besproken. Het aantal machinelijnen per diameter en het aantal ploegen dat ingezet wordt, is van invloed op de totale beschikbare productietijd.

De totale kosten van de inzet van capaciteit worden in paragraaf 5.4 besproken. Deze kosten zijn onder te verdelen in boetekosten, machinekosten en arbeidskosten.

Bij het bepalen van de boetekosten wordt de verwachte bezettingsgraad berekend door de gevraagde productietijd te delen door de beschikbare productietijd. Op basis van deze bezettingsgraad wordt bepaald in welke mate er aan de vraag voldaan kan worden. De hoogte van de boetekosten is afhankelijk van het aantal cilinders dat niet op tijd geleverd kan worden. Hiervoor is de absolute vraag naar cilinders ook van belang bij het bepalen van de boetekosten.

De machinekosten zijn direct afhankelijk van het aantal machinelijnen dat ingezet wordt bij de cilinderassemblage.

De arbeidskosten worden berekend door de gevraagde productietijd te vermenigvuldigen met het gemiddelde uurtarief. Dit tarief is afhankelijk van het aantal ploegen dat ingezet wordt. Vandaar dat de factoren gevraagde productietijd en de ploegendienst van invloed zijn op de arbeidskosten.



Figuur 28 Opbouw van het model

De resultaten van het model betreffen de verwachte kosten bij de verschillende mogelijkheden van capaciteitsinzet. De verificatie en validatie van het model worden in paragraaf 5.5 beschreven voor de juiste interpretatie van de resultaten.

Tot slot worden de conclusies van dit hoofdstuk in paragraaf 5.6 gepresenteerd.

5.2 Het bepalen van de gevraagde productietijd

5.2.1 Inleiding

Voor het bepalen van de capaciteitsinzet van de cilinderassemblage is het van belang om de gevraagde productietijd te bepalen. De gevraagde productietijd bestaat uit de verwachte vraag naar cilinders vermenigvuldigd met de bewerkingstijd per cilinder. Door de hoge mate van onzekerheid in de vraag naar cilinders, zal deze stochastisch gemodelleerd worden. Het genereren van de vraag naar cilinders wordt besproken in paragraaf 5.2.2.

De bewerkingstijd van cilinders is afhankelijk van het type cilinder, aangezien niet alle cilinders gelijkwaardig zijn. Per type cilinder wordt de verwachte bewerkingstijd bepaald. Door de verwachte bewerkingstijd per cilinder te vermenigvuldigen met de gegenereerde vraag naar dat type cilinder, wordt de gevraagde productietijd berekend. In paragraaf 5.2.3 wordt dit nader toegelicht.

5.2.2 Het genereren van de vraag naar cilinders

Voor het bepalen van de verwachte vraag naar cilinders wordt gebruik gemaakt van de voorspelling van Power Packer van te versturen eindsets. Het aantal eindsets dat Power Packer de komende 12 maanden verwacht te versturen, geeft een goede indicatie van het aantal te assembleren eindsets, waardoor de vraag naar cilinders tot stand komt.

Het realiseren van capaciteitsuitbreiding door het inzetten van extra machinelijnen kost minimaal vier maanden. In de vijfde maand kan een nieuwe machinelijn operationeel zijn. Hierdoor heeft de beslissing tot investeren in een extra machinelijn effect op de situatie vanaf de vijfde maand. In hoofdstuk 4 is de vraag naar cilinders voor de vijfde en zesde maand geanalyseerd. Vanwege het beperkte aantal waarnemingen en de grote spreiding van de waarden na de vijfde en zesde maand (zie Figuur 24 op pagina 37), worden alleen de vijfde en zesde maand uitvoerig geanalyseerd. De resultaten hiervan zijn weergegeven in hoofdstuk 4. Voor de zevende tot en met twaalfde maand is de variatie niet onderzocht. Hiervoor geldt ook dat de voorspelling zuiver is, het gemiddelde aantal te versturen eindsets komt overeen met de voorspelling. De variatie zal echter groter zijn dan de variatie voor de vijfde en zesde maand.

De vraag naar cilinders is direct afhankelijk van de vraag naar eindsets. Uit de analyse van variabiliteit in het productiesysteem in hoofdstuk 4, is gebleken dat er sprake is van twee soorten variatie; variatie per maand en variatie binnen de maand.

Met behulp van Monte Carlo Simulatie worden de waarden voor ieder merk eindset gegenereerd. Het genereren en de berekening van de uitvoervariabelen wordt een run genoemd. Het aantal runs dat benodigd is voor betrouwbare resultaten wordt behandeld in bijlage 6.

Per run worden er meerdere exercities uitgevoerd om de uitvoer te berekenen. Voor de berekening van de gevraagde productietijd wordt eerst een willekeurige waarde getrokken uit de normale verdeling van de vraag naar eindsets per maand, waarmee het aantal te versturen eindsets per maand bepaald wordt. Vervolgens wordt er voor het modelleren van de wekelijkse variatie, op basis van de zojuist getrokken waarde die het maandelijkse aantal weergeeft, een wekelijks aantal te assembleren eindsets bepaald. Hieruit is direct de vraag naar cilinders te bepalen.

Om deze methode verder toe te lichten, zal de vraag naar cilinders voor de VW Golf Cabrio als voorbeeld behandeld worden. In Tabel 21 is de bepaling van de assemblage van eindsets voor de vijfde en zesde maand (oktober 2006 en november 2006) weergegeven. Deze

voorspelling is opgesteld door Power Packer. Deze waarde kan als verwachtingswaarde gehanteerd worden, omdat in hoofdstuk 4 is vastgesteld dat de relatieve afwijking van het gemiddelde te verwaarlozen is. De relatieve afwijking is in hoofdstuk 4 ook onderzocht voor de vijfde en zesde maand en bedraagt respectievelijk 22,1% en 24%. Deze relatieve afwijkingen worden uitgedrukt in een absolute standaarddeviatie s , waardoor er een willekeurige waarde getrokken kan worden uit de normale verdeling met als verwachtingswaarde m en standaarddeviatie s . In de onderste regel van de tabel is als voorbeeld een waarde uit deze verdeling getrokken. Voor de maand oktober 2006 bedraagt deze waarde 3.632 en 2.712 voor november 2006. Deze waarden zullen verder gebruikt worden om het wekelijkse aantal te assembleren eindsets te bepalen.

Tabel 21 Maandelijks te assembleren eindsets

VW Golf Cabrio	Okt `06	Nov `06
Verwachtingswaarde m	3.800	3.700
Standaarddeviatie (in %)	22,1%	24,4%
Standaarddeviatie s	840	903
Waarde uit $N(\mu=m, \sigma=s)$	3.632	2.712

Het aantal maandelijks te assembleren eindsets is benaderd voor de vijfde en zesde maand en de resultaten zijn weergegeven in Tabel 21.

De verwachtingswaarde voor een week in oktober `06 wordt 908 op basis van het gekozen voorbeeld en voor een week in november worden er 678 eindsets verwacht. In Tabel 22 zijn deze waarden voor vier weken in oktober en november weergegeven. De standaarddeviatie bedraagt 34% en op basis hiervan wordt de absolute afwijking berekend. Vervolgens wordt er voor vier willekeurige weken in de maanden oktober en november een trekking verricht.

De verwachtingswaarde voor het wekelijkse assemblageaantal van eindsets wordt berekend door de maandelijkse waarde te delen door vier. Het aantal weken per maand is echter over het algemeen meer dan vier (m.u.v. februari). Er is toch voor gekozen om de maandelijkse aantallen te delen door vier, aangezien de totale vraag dan overeenstemt met de werkelijke totale vraag per maand. In hoofdstuk 6 wordt duidelijk dat de arbeidskosten, die berekend worden op basis van de maandelijkse vraag, een groter aandeel hebben in de totale kosten dan de boetekosten. In de gevoeligheidsanalyse in paragraaf 6.4 wordt het effect van deze keuze besproken.

Tabel 22 Wekelijkse te assembleren eindsets

VW Golf Cabrio	Okt `06 (5 ^e maand)				Nov `06 (6 ^e maand)			
	1e wk	2e wk	3 ^e wk	4e wk	1e wk	2e wk	3e wk	4e wk
Verwachtingswaarde w	908	908	908	908	678	678	678	678
St. afw. (in %)	34%	34%	34%	34%	34%	34%	34%	34%
Standaarddeviatie d	309	309	309	309	230	230	230	230
Waarde uit $N(\mu=w, \sigma=d)$	712	1012	900	812	685	790	436	820

In Tabel 22 is in de onderste regel voor vier weken per maand een waarde gegenereerd. Op basis van deze waarden wordt het aantal cilinders bepaald. Doordat er soms twee cilinders van hetzelfde typen in een bepaalde eindset voorkomen, wordt de verwachting van het aantal te assembleren eindsets met twee vermenigvuldigd, voor het berekenen van de vraag naar dat type cilinder.

Het aantal machinelijnen heeft invloed op de kosten op langere termijn. In hoofdstuk 3 is al aangegeven dat er voor de lange termijn (meerdere jaren) geen goede indicatie verkregen kan worden, vanwege de onzekerheid van nieuwe projecten. De enige bruikbare indicatie voor de ontwikkeling van de vraag na de vijfde maand, wordt gegeven door de 12-maand

voorspelling. Naast de stochastische benadering van de vraag naar cilinders in de vijfde en zesde maand, wordt de vraag naar cilinders deterministisch bepaald voor de vijfde tot en met twaalfde maand. Er wordt hierbij geen rekening gehouden met mogelijke variaties van de totale waarde per maand en fluctuaties binnen de maanden. De verzamelde data is ontoereikend om uitspraken te doen over de variatie na de zesde maand. Vandaar dat volstaan wordt met een deterministische modellering van de gevraagde productietijd van de zevende tot en met twaalfde maand. Bij deze modellering wordt de gevraagde productietijd van de vijfde tot en met twaalfde maand bepaald, waardoor de ontwikkeling in de gevraagde productietijd zichtbaar wordt, zie paragraaf 6.6.

5.2.3 Berekening van de totale gevraagde productietijd

De verwachte assemblagetijd voor de verschillende typen cilinders varieert. Per cilinder is er in hoofdstuk 4 een tact-tijd vastgesteld. Deze tijd geeft het tijdsinterval aan waarin een nieuwe cilinder van een bepaald type geassembleerd kan worden.

De lijn moet omgesteld worden, omdat er meerdere typen cilinders geassembleerd moeten worden. De omsteltijd die hiervoor benodigd is, zorgt voor een verstoring van de productstroom. Het aantal keren dat er omgesteld moet worden is van invloed op de capaciteit van de cilinderassemblage. Doordat het aantal omstellingen varieert per diameterlijn en per dag, wordt de invloed van deze verstoring meegenomen in de bewerkingstijd van de cilinders. Hopp en Spearman (2001) presenteren een berekening waarbij de omsteltijd meegenomen wordt in de berekening van de bewerkingstijd. Deze formule is weergegeven in Figuur 29.

$T_e = T_o + \frac{T_s}{N_s}$	<p>T_e = Effectieve bewerkingstijd T_o = Bewerkingstijd T_s = Gemiddelde set-up tijd N_s = Gemiddeld aantal producten tussen set-ups</p>
-------------------------------	--

Figuur 29 Berekening effectieve bewerkingstijd per cilinder

De effectieve bewerkingstijd is de bewerkingstijd plus de gemiddelde set-up tijd. De gemiddelde set-up tijd per machinelijn is afhankelijk van de tijd voor omstellen en het aantal omstellingen. Het gemiddelde aantal omstellingen is direct afhankelijk van de gemiddelde batchgrootte. Als er bijvoorbeeld 500 cilinders van een bepaald type geassembleerd moeten worden en er wordt gewerkt met een batchgrootte van 100 voordat een ander type cilinder geassembleerd gaat worden, dan zal er vijf keer omgesteld moeten worden. Hoe groter de batch, hoe minder vaak er omgesteld hoeft te worden. Zoals bij de beschrijving van de onzekerheden in het te modelleren systeem is weergegeven, is de gemiddelde batchgrootte ongeveer 100 (zie paragraaf 4.4.3). Deze waarde wordt aangenomen bij de modellering.

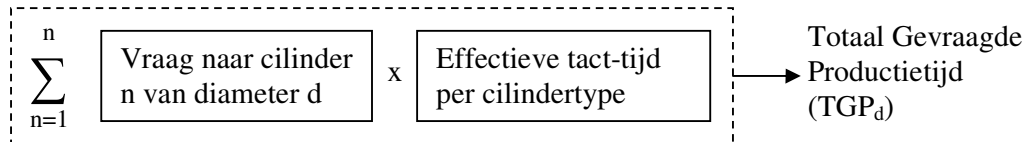
Bij de cilinderassemblage wordt gewerkt met een tact-tijd. Deze tact-tijd is afhankelijk van het aantal operators in de lijn. Per machinelijn zijn er drie stations te onderscheiden, die ieder bemand worden door één operator. Er kunnen dus drie operators per machinelijn ingedeeld worden. Indien capaciteitsuitbreiding voor een bepaalde diameter gewenst is, zal eerst het maximale aantal operators per machinelijn ingezet worden. De inzet van extra machinecapaciteit of het verhogen van de ploegendienst brengt extra kosten met zich mee, terwijl de derde operator evenveel kost als de eerste operator. Hierdoor wordt voor het bepalen van machine-investeringen de situatie gemodelleerd waarin de machinelijnen maximaal bezet zijn door operators. De tact-tijd wordt dus bepaald op basis van drie operators per machinelijn. Doordat de lijn ook omgesteld moet worden, wordt de effectieve tact-tijd bepaald. De berekening van de effectieve tact-tijd per cilinder is weergegeven in Figuur 30.

$$\text{Effectieve tact-tijd per cilindertype} = \text{tact-tijd per cilindertype} + \frac{\text{Gemiddelde set-up tijd}}{\text{Gemiddelde batchgrootte}}$$

Figuur 30 Berekening effectieve tact-tijd

In deze berekening wordt de gemiddelde set-up tijd en de gemiddelde batchgrootte meegenomen. De set-up tijd kan niet per cilinder bepaald worden, omdat deze afhankelijk is van de productievolgorde. In hoofdstuk 4 is beschreven dat de set-up tijd kan variëren tussen 200 en 285 seconden. De tijd die het vergt om over te schakelen van twee verschillende cilinders met de standaardbewerkingen geeft een goede indicatie van de gemiddelde omsteltijd en deze zal ook gebruikt worden in het model. De batchgrootte kan ook variëren, afhankelijk van de vraag naar cilinders en de beschikbaarheid van onderdelen. De variatie die hierdoor ontstaat, wordt verwaarloosbaar geacht en niet meegenomen.

Voor het berekenen van de totale gevraagde productietijd wordt de verwachte vraag naar cilinders van een bepaalde diameter vermenigvuldigd met de effectieve tact-tijd. In Figuur 31 is de berekening grafisch weergegeven.



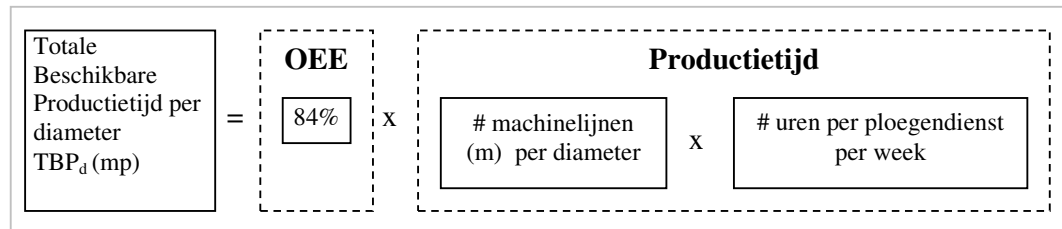
Figuur 31 Berekening van de totale gevraagde productietijd per diameter

De totaal gevraagde productietijd per diameter is dus direct afhankelijk van de vraag naar cilinders van de betreffende diameter en de effectieve tact-tijd per cilindertype. De effectieve tact-tijd wordt per cilinder als een constante behandeld. De vraag naar cilinders is wel zeer variabel. In paragraaf 5.2.2 is het bepalen van de vraag naar cilinders uitvoerig behandeld.

5.3 De beschikbare productietijd voor de cilinderassemblage

De beschikbare productietijd per diameter is afhankelijk van het aantal machinelijnen van de betreffende diameter en het aantal ploegen waarin gewerkt wordt. Zoals in hoofdstuk 3 naar voren is gekomen, wordt de beschikbare productietijd rechtvenredig vergroot als er extra machinelijnen ingezet worden.

Om de gemiddelde tijd die verloren gaat door verstoringen in het model mee te nemen, wordt gebruik gemaakt van de Overall Equipment Effectiveness (OEE), die Slack (2002) beschrijft. Dit komt erop neer dat niet alle tijd die beschikbaar is voor productie, efficiënt besteed wordt aan de productie. De beschikbare productietijd wordt vermenigvuldigd met het effectiviteitpercentage. In Figuur 32 is weergegeven hoe de totaal beschikbare productietijd per diameter berekend wordt. In hoofdstuk 4 zijn de verstoringen uitgebreid besproken en in paragraaf 4.3 is de OEE van 84% verklaard.



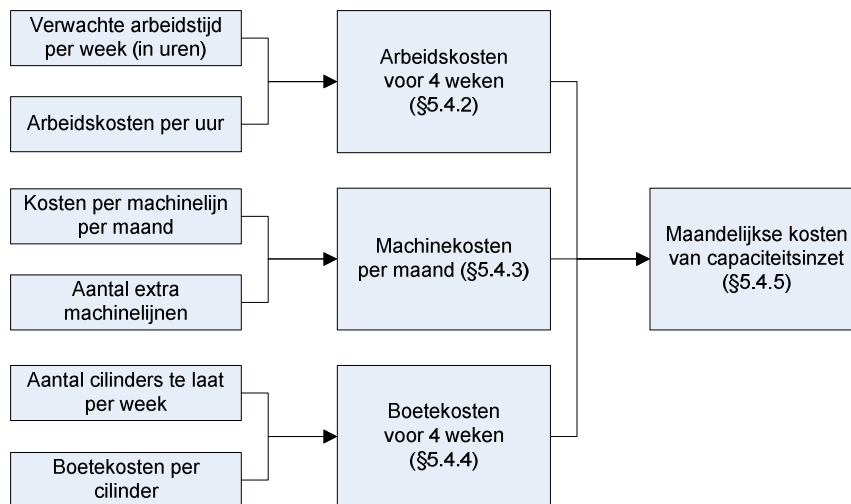
Figuur 32 Berekening van de Totale Beschikbare Productietijd per diameter TBP_d

De totale beschikbare productietijd wordt per week uitgedrukt. Dit wordt gedaan omdat de gevraagde productietijd ook per week uitgedrukt wordt. Zoals in Figuur 32 is weergegeven, is de beschikbare productietijd van meerdere factoren afhankelijk, namelijk: de OEE, het aantal machinelijnen per diameter, het aantal ploegen en het aantal uren per ploeg per week. In dit onderzoek wordt de OEE en het aantal uren per ploeg per week als vaste waarden beschouwd. Het aantal machinelijnen en ploegendiensten waarmee gedraaid wordt, zijn wel te variëren per week. In paragraaf 6.2 wordt aangegeven welke scenario's van capaciteitsinzet onderzocht worden.

5.4 De kosten van de inzet van capaciteit

5.4.1 Inleiding

In deze paragraaf worden de kosten besproken die de verschillende mogelijkheden tot inzet van capaciteit met zich meebrengen. De totale maandelijkse kosten voor het vergelijken van de scenario's bestaan uit drie verschillende kosten: de arbeidskosten, de machinekosten en de boetekosten. Deze drie soorten kosten zijn afhankelijk van een aantal factoren, zoals weergegeven in Figuur 33.



Figuur 33 Overzicht kosten van capaciteitsinzet

De verwachte arbeidstijd per week wordt vermenigvuldigd met de arbeidskosten per uur. Zoals in paragraaf 5.2 naar voren is gekomen, wordt de gevraagde productietijd voor vier willekeurige weken in de vijfde en vier in de zesde maand gegenereerd. Voor ieder van deze vier weken worden de kosten bepaald. In paragraaf 5.4.2 zullen de arbeidskosten verder toegelicht worden.

De kosten per machinelijn bestaan uit de investeringskosten in de machine en de kosten voor de ruimte die een extra machinelijn nodig heeft. Deze kosten worden per maand uitgedrukt en alleen de extra in te zetten machinelijnen zijn van invloed op de vergelijking van de verschillende mogelijkheden tot capaciteitsinzet. In paragraaf 5.4.3 worden de machinekosten per maand verder toegelicht.

Voor het bepalen van de boetekosten moet de verwachte bezetting bepaald worden. Bij onvoldoende capaciteit wordt op basis van de bezettingsgraad van de diameterlijn bepaald hoeveel cilinders er niet geleverd kunnen worden. Als Power Packer onvoldoende eindsets kan leveren en dit leidt tot stilstand van de productielijn van de klant, krijgt Power Packer een boeteclaim. De hoogte van deze claim is afhankelijk van de tijd die de productielijn van de klant stilstaat. Deze tijd is moeilijk te bepalen, vandaar dat er een boete per niet geleverde

cilinder bepaald wordt. In paragraaf 5.4.4 wordt nader toegelicht hoe het aantal cilinders bepaald wordt dat tot leverproblemen leidt en hoe hoog de boetekosten per cilinder worden. Deze kosten worden per week bepaald en er worden vier willekeurige weken in een maand gesimuleerd.

Voor het vergelijken van de kosten van de verschillende mogelijkheden tot inzet van capaciteit, worden de totale maandelijks kosten berekend. Deze kosten hebben betrekking op de vijfde en zesde maand. Tot slot wordt in paragraaf 5.4.5 weergegeven wat er uit deze kosten afgeleid kan worden.

5.4.2 Bepalen van de arbeidskosten

De arbeidskosten voor de assemblage van cilinders zijn afhankelijk van de arbeidskosten per uur en de benodigde arbeidstijd. De arbeidskosten worden dus berekend door de arbeidstijd (in uren) te vermenigvuldigen met de arbeidskosten per uur.

De benodigde arbeidstijd voor de cilinderassemblage is afhankelijk van de vraag naar cilinders. De cilinders vergen allen een bepaalde bewerkingstijd. Doordat de beslissing over de ploegendienst betrekking heeft op de gehele cilinderafdeling, moet ook de tijd die de voormontage van de cilinders in beslag neemt, meegenomen worden in het kostenoverzicht.

De tijd die de cilinderassemblage per cilinder in beslag neemt (doorlooptijd), is bij benadering gelijk aan de tact-tijd van de betreffende cilinder vermenigvuldigd met drie (aantal bewerkingsstations). De doorlooptijd is een benadering van de benodigde arbeidstijd aangezien de lijn niet perfect gebalanceerd is. Hierdoor ontstaan er verschillen in bewerkingstijden per bewerkingsstation. Het tijdverlies doordat de lijn niet perfect gebalanceerd is, moet echter wel betaald worden en wordt bij de berekening van de doorlooptijd dan ook meegenomen.

Naast de tijd van de cilinderassemblage moet de tijd die de voormontage in beslag neemt ook meegenomen worden. De werkzaamheden bij de voormontage van cilinderonderdelen, bestaat uit de assemblage van de “Piston” en de “Gland”. Hoewel deze per cilinder verschillend zijn, wordt er uitgegaan van een gemiddelde voormontage tijd van in totaal 44 seconden. Deze bewerkingstijd is gebaseerd op de normtijden voor de voormontage zoals ze door Power Packer gehanteerd worden.

De arbeidskosten per uur zijn afhankelijk van de ploegendienst. Bij Power Packer wordt er standaard in 2-ploegendienst gedraaid. Hierdoor zijn de werktijden anders dan de normale kantooruren. Bij 3-ploegendienst wordt er continu geproduceerd en wijken de arbeidstijden nog meer af van de normale kantooruren. Vandaar dat er voor 2-ploegendienst en 3-ploegendienst een toeslag op de arbeidskosten komt. In Tabel 23 zijn deze extra kosten weergegeven. Bij Power Packer wordt er gewerkt met deze bedragen.

Tabel 23 Toeslag arbeidskosten per ploegendienst

# ploegen	Toeslag	Arbeidskosten per medewerker per uur
1	0%	€ 20,-
2	15%	€ 23,-
3	25%	€ 25,-

Het gemiddelde uurloon (mannen en vrouwen) in 2005 voor werkzaamheden in de industrie was 17,78 € (www3, 2005). Dit bedrag is nog exclusief de werkgeverslasten. Doordat de operators bij Power Packer ongeschoolde werkzaamheden verrichten, zijn de genoemde bedragen in de tabel representatief voor de situatie bij Power Packer.

5.4.3 Bepalen van de machinekosten

De capaciteit van de cilinderassemblage kan uitgebreid worden door aanschaf van een extra machinelijn. Bij het bepalen van de kosten van een extra machinelijn wordt onderscheid gemaakt in de investeringskosten van de machinelijn en de huur van de ruimte die de machinelijn in beslag neemt. In hoofdstuk 4 is al beschreven dat de verwachte verstoringen zeer beperkt zijn. Voor het verhelpen van de verstoringen is de afdeling T&M verantwoordelijk. Deze zorgen ook voor het onderhoud van de machinelijnen. De voornaamste onderhoudskosten bestaan hierbij uit arbeidskosten die ontstaan door verstoringen. Het aantal verstoringen is afhankelijk van de assemblageaantallen. Een extra machinelijn brengt dus niet meer onderhoudskosten met zich mee, dan het assembleren van hetzelfde aantal cilinders met een machinelijn minder en een extra ploeg. De maandelijkse onderhoudskosten van een extra machinelijn zijn dus te verwaarlozen bij het vergelijken van de mogelijkheden tot het inzetten van capaciteit. In Tabel 24 zijn de kosten van het installeren van een extra machinelijn weergegeven (E. Admiraal, 2005).

Tabel 24 Kosten installeren machinelijn

Kostenpost	Bedrag
Besturing en productietafels	€ 12.000
Plungerassemblage + wisseldelen	€ 8.500
Kogelfels + wisseldelen	€ 61.000
CTU + wisseldelen	€ 40.000
Busjespers en of invetten	€ 2.500
Installatie	€ 3.000
Totaal	€ 127.000

Het totale investeringsbedrag bedraagt € 127.000. In Tabel 24 staat er bij de beschrijving van een aantal kostenposten dat deze inclusief wisseldelen zijn. Hierbij is er rekening gehouden met wisseldelen voor drie verschillende typen cilinders. Voor sommige diameterlijnen zijn er echter meer of minder wisseldelen nodig. Het bepalen van het exact aantal wisseldelen is zeer tijdrovend en heeft een klein effect op de resultaten. Daarom wordt er volstaan met de veronderstelling dat er drie wisseldelen per assemblagestation per extra machinelijn aangeschaft moeten worden.

Voor de beslissing tot aanschaf van een extra machinelijn is het van belang welke selectiecriteria er gehanteerd worden. Dorsman (2000; p. 115) maakt onderscheid in vier selectietechnieken voor investeringen: de terugverdienperiode, de netto contante waarde methode, de interne rentabiliteit en de gemiddelde boekhoudkundige rentabiliteit. Bij iedere methode worden de verwachte positieve kasstromen in de toekomst gebruikt om de investering te kunnen verantwoorden. Bij dit onderzoek worden de opbrengsten van de investeringen niet meegenomen in de investeringsbeslissing. De opbrengsten zijn namelijk afhankelijk van de vraag van de klant en deze is onafhankelijk van de levertijd van Power Packer. Een verandering van de capaciteitsinzet zorgt namelijk niet voor extra inkomsten. Vandaar dat geen van bovenstaande methoden exact gehanteerd wordt. Er wordt een combinatie toegepast van de terugverdienperiode en de netto contante waarde. De investeringskosten van een extra machinelijn moeten in maandelijkse kosten uitgedrukt worden. De tijdsduur waarover deze kosten verspreid worden, is gelijk aan de terugverdienperiode. Vervolgens wordt de Netto Contante Waarde gebruikt voor het vergelijken van de tijdwaarde van de investering.

Op basis van een terugverdiendtijd van drie jaar en een disconteringsvoet van 5% (Damhuis, 2005) wordt de waarde van de investering uitgedrukt in vergelijkbare negatieve kasstromen in de toekomst op basis van de NCW-methode die aangedragen wordt door Dorsman (2000; p. 116-117). In bijlage 4 is deze exercitie verricht. Uit deze analyse komt

naar voren dat de investering van € 127.000,- op tijdstip 0, vergelijkbaar is met gemiddelde jaarlijkse negatieve kasstromen zoals weergegeven in Tabel 25.

Tabel 25 Toekomstige negatieve kasstromen

Jaar	Kasstroom
1	-44.450,-
2	-46.673,-
3	-49.006,-
Totaal	€ - 140.129,-

Met het model worden er uitspraken gedaan over de investering op basis van de eerste twee maanden waarin de extra machinelijn operationeel kan zijn. Om de kosten van een extra machinelijn te vergelijken met de maandelijkse extra arbeids / boete kosten die anders op zouden treden, wordt het maandelijkse gemiddelde van de totale negatieve kasstromen berekend: $\frac{-140.129}{36} = -3.892 \text{ €}$

Naast de investeringskosten, neemt een extra machinelijn ook bedrijfsruimte in beslag. Een machinelijn neemt ongeveer 6 m² in beslag. Jaarlijkse huur van deze ruimte bedraagt € 600. Dit komt neer op een maandelijks bedrag van € 50,-. De maandelijkse kosten van een extra machinelijn worden dus in totaal € 3.892 + € 50 = € 3.942. Deze waarde wordt meegenomen in de berekening van de kosten van de capaciteitsinzet.

5.4.4 Bepalen van de boetekosten

Een tekort aan capaciteit bij de cilinderassemblage ontstaat door variabiliteit in het productiesysteem. In hoofdstuk 4 is deze variabiliteit onderzocht. Eén van de mogelijkheden om variabiliteit op te vangen, is voorraad. Cilinders worden op voorraad geassembleerd, waarbij de voorraad gelijk is aan de vraag naar cilinders van één dag. Met deze voorraad wordt de variabiliteit die ontstaat in de output van cilinders opgevangen. De variabiliteit in de vraag naar cilinders zal opgevangen moeten worden met capaciteit.

Bij onvoldoende capaciteit van de cilinderassemblage kan er niet voldaan worden aan de vraag naar cilinders. Het gevolg is dat er onvoldoende cilinders beschikbaar zijn voor de assemblage van eindsets. Dit leidt tot stilstand van de eindassemblagelijnen. De dagelijkse kosten van de eindassemblagelijnen bestaan voornamelijk uit arbeidskosten. Doordat er flexibel omgegaan kan worden met personeel, zal stilstand niet veel kosten met zich meebrengen. Van iedere operator wordt verlangd dat hij op meerdere plaatsen kan werken. Het personeel is hierdoor inzetbaar op de overige assemblagelijnen.

Een schatting van de kosten van ondercapaciteit wordt gemaakt door aan iedere cilinder die niet geleverd kan worden, een boete toe te kennen. De verwachte kosten van ondercapaciteit worden als volgt bepaald:

$\text{Kosten ondercapaciteit} = \text{Tekort aan cilinders} * \text{Boete per cilinder}$

Tekort aan cilinders

Het verwachte tekort aan cilinders wordt benaderd door het bepalen van de verwachte bezetting van de cilinderassemblage. Op basis van de gevraagde en de beschikbare productietijd die behandeld zijn in de paragrafen 5.2 en 5.3, wordt de bezetting bepaald.

Zowel de beschikbare als de gevraagde productietijd zijn uitgedrukt in aantal uren per week. Hierdoor kan de bezettingsgraad worden berekend door de gevraagde productietijd te delen door de beschikbare productietijd. De bezettingsgraad van diameterlijn d met m

machinelijnen en waarbij er met p ploegen gewerkt wordt, wordt weergegeven met $p(mp)_d$ en deze wordt als volgt berekend:

$$p(mp)_d = \frac{TGP_d}{TBP_d(mp)}$$

Deze bezettingsgraad geeft per diameterlijn aan of de cilinderassemblage kan voldoen aan de vraag naar cilinders, bij een gegeven aantal machinelijnen. Bij een verwachte bezettingsgraad in een bepaalde week van 100%, zullen de eindassemblagelijnen niet stilstaan door een tekort aan cilinders. De fluctuaties in de OEE, die de output beïnvloedt, kunnen namelijk opgevangen worden door de voorraad cilinders. Als er berekend wordt dat de verwachte bezettingsgraad hoger is dan 100%, kan er niet aan de vraag naar cilinders voldaan worden. In deze periode is dan sprake van ondercapaciteit, wat leidt tot stilstand bij de eindassemblagelijnen.

Als de eindassemblagelijnen stilstaan vanwege een gebrek aan cilinders wordt dit in eerste instantie opgevangen door de voorraad eindsets. De voorraad is voldoende om de vraag voor ongeveer drie dagen op te vangen.

Het wekelijkse tekort aan cilinders wordt benaderd door eerst het aantal cilinders dat niet geleverd kan worden te berekenen. Dit wordt uitgevoerd op basis van de verwachte bezettingsgraad en het aantal gevraagde cilinders. Vervolgens is er een veiligheidsmarge q geïntroduceerd, waardoor er rekening mee wordt gehouden dat leverproblemen naar de klant opgevangen kunnen worden door de voorraad eindsets.

In het model wordt de verwachte bezettingsgraad voor een willekeurige week in een bepaalde maand berekend. Een bezettingsgraad van 120% betekent dat er 20% van de gevraagde cilinders in die week niet geleverd kan worden. Doordat er eindsets op voorraad geassembleerd worden, leidt de afwezigheid van cilinders niet direct tot leverproblemen richting de klant. In het model dient dus rekening gehouden te worden met een bepaalde veiligheidsmarge waarbij er nog geen leverproblemen ontstaan. De berekening van het tekort aan cilinders wordt dus alleen uitgevoerd als de verwachte bezettingsgraad de veiligheidsmarge overschrijdt. Het aantal cilinders waarbij er geen leverproblemen optreden, wordt weergegeven met de variabele V_d . De berekening van het aantal cilinders dat voor leverproblemen zorgt, is weergegeven in Figuur 34.

Als $p(mp)_d > 100\% + q$

Tekort aan cilinders in stuks (T_d) = $Q_d - V_d$
Waarbij:

$$V_d = \frac{Q_d}{P(m)_d} * (100\% + q)$$

T_d = tekort aan cilinders (in stuks) van diameter d voor levering eindsets aan klant
 Q_d = vraag naar cilinders (in stuks) van diameter d
 V_d = aantal cilinders (in stuks) waarbij geen leverproblemen optreden
 $P(m)_d$ = bezettingsgraad diameter d met m machinelijnen
 q = veiligheidsmarge door voorraad eindsets (in procenten)

Figuur 34 Berekening van het tekort aan cilinders

Om het aantal cilinders te bepalen dat uiteindelijk niet geleverd kan worden aan de klant, wordt de vraag naar cilinders verminderd met het aantal cilinders waarbij geen problemen optreden (V_d). Het aantal cilinders waarbij geen problemen optreden (V_d) wordt berekend door eerst het aantal cilinders bij een bezetting van 100% te berekenen. Hiervoor wordt het aantal cilinders gedeeld door de verwachte bezettingsgraad. Vervolgens wordt het aantal cilinders bij een bezettingsgraad van 100% vermenigvuldigd met de maximale bezetting waarbij geen problemen optreden ($100\% + q$).

In het geval van ondercapaciteit van de cilinderassemblage kan alleen de eerste week in de betreffende maand opgevangen worden met voorraad eindsets. Als de voorraad de eerste week gebruikt wordt om de vraag naar cilinders op te vangen waar niet aan voldaan kan worden vanwege ondercapaciteit, is er voor de tweede week in de maand geen (of minder) voorraad meer. De voorraad zou dus dynamisch gemodelleerd moeten worden voor een goede indicatie van het tekort aan cilinders. Dynamische modellering van de voorraad maakt het model een stuk complexer en is bovendien zeer tijdsintensief. Bij dit onderzoek wordt geen gebruik gemaakt van dynamische modellering. Er wordt per week een gemiddelde beschikbare voorraad bepaald die gebruikt kan worden om ondercapaciteit op te vangen. Zoals uit de voorgaande berekening blijkt, wordt deze voorraad uitgedrukt in veiligheidsmarge q .

Als er uitgegaan wordt van vijf werkdagen houdt een bezettingsgraad van 120% in dat de eindassemblagelijnen één dag stilstaan doordat er geen cilinders beschikbaar zijn. Hierdoor wordt de voorraad eindsets gebruikt om toch te kunnen leveren aan de klant. Een wekelijkse bezettingsgraad van 160% betekent dat de volledige voorraad eindsets (3 dagen) in die week gebruikt wordt om aan de vraag te kunnen voldoen. Met de voorraad eindsets kan er maandelijks dus een overbezetting van 60% opgevangen worden. Uitgaande van vier weken per maand wordt de veiligheidsmarge q : $60\% / 4 \text{ weken} = 15\%$. In het model wordt de veiligheidsmarge q dus op 15% gezet.

Boete per cilinder

De boete die toegekend wordt per cilinder komt voort uit de kans dat onvoldoende capaciteit van de cilinderassemblage leidt tot leverproblemen van eindsets naar de klant. Leverproblemen van eindsets kunnen leiden tot stilstand van de productielijn van de klant, waarbij Power Packer een claim krijgt. Om deze claim uit te drukken in een boete per cilinder, wordt eerst een inschatting gemaakt van de hoogte van de claim. Vervolgens wordt bepaald hoeveel cilinders er gemiddeld dagelijks gebruikt worden voor een merk eindset. Door de claim te delen door het gemiddelde aantal cilinders wordt de boete per cilinder bepaald.

De hoogte van de claim is moeilijk vast te stellen. In het verleden is een dergelijke claim nog niet eerder voorgekomen. Voor Power Packer is leverbetrouwbaarheid zo belangrijk dat de capaciteit afgestemd wordt op de maximale te verwachten vraag. Hierdoor is er veelal sprake van overcapaciteit. Als er dan verstoringen optreden, is er voldoende capaciteit om de opgelopen achterstand weer in te lopen. In de uitzonderlijke gevallen dat de afgesproken leveringen niet haalbaar zijn, wordt er contact opgenomen met de klant om het leverschema aan te passen. Doordat klanten meer eindsets vragen dan ze daadwerkelijk nodig hebben, is het maximale aantal eindsets waaraan Power Packer wel kon voldoen, toereikend geweest om stilstand bij de klant te voorkomen.

Als er echter wel stilstand optreedt, zijn de kosten afhankelijk van de tijd dat de productielijn bij de klant stilstaat. De claim van een dag stilstand bij de klant hangt af van het aantal eindsets dat geleverd wordt. Bij de grote klanten, zoals de klant die de eindset VW Golf Cabrio afneemt, wordt een claim geschat op €100.000,-¹. Op een dergelijke productielijn van

¹ Interview met SOP (Sales Order Processor) afdeling Logistiek Power Packer

de klant worden ongeveer 100 eindsets per dag verwerkt. Per eindset die niet geleverd wordt, kost het dus € 1.000,-. De verkoopprijs van een eindset bedraagt ongeveer € 250,-. De claim als er niet geleverd kan worden, bedraagt dus ongeveer het viervoudige van de verkoopprijs.

Het aantal cilinders per eindset varieert. Omdat er in de nieuwe projecten meer cilinders per eindset worden gebruikt, wordt dit aantal gehanteerd in de berekening. De eindset VW Golf Cabrio is een relatief nieuw project, waarvan het aantal cilinders representatief is voor de komende projecten. De eindset VW Golf Cabrio bevat 8 cilinders. Hierdoor wordt het gemiddelde aantal cilinders per dag $8 * 100 = 800$.

De boete per cilinder wordt als volgt bepaald:

$$\text{Boete per cilinder} = \frac{\text{Boete per dag}}{\text{Aantal cilinders per dag}} = \frac{100.000}{800} \approx 125 \text{ € / cilinder}$$

Hieruit blijkt dat de boete ongeveer 125 € per cilinder bedraagt. Dit is een zeer fors bedrag aangezien de productiekosten per cilinder circa 10 € zijn. Dit geeft goed aan dat leverbetrouwbaarheid voor Power Packer van groot belang is. De boete van 125 € per cilinder wordt meegenomen in de modellering van de capaciteitsinzet.

5.4.5 Het modelleren van de kosten van capaciteitsinzet

Om te bepalen of er geïnvesteerd moet worden in een extra machinelijn is in dit hoofdstuk weergegeven hoe de kosten van de mogelijkheden tot inzet van capaciteit berekend worden. Omdat de vraag naar cilinders onzeker is, worden er mogelijke waarden gegenereerd, die als uitgangspunt gelden voor de berekening van de kosten. In paragraaf 5.2 is aangegeven hoe deze gevraagde productietijd gegenereerd wordt. Er wordt een wekelijkse indicatie van de gevraagde productietijd gegeven voor de eerste twee maanden waarin de extra machinelijn operationeel kan zijn. De beschikbare productietijd kan aangepast worden door het aantal machinelijnen of de ploegendienst aan te passen. Er wordt gevarieerd met het aantal machinelijnen door deze in een scenario aan te passen. Deze scenario's worden besproken in paragraaf 6.2. Voor ieder worden de wekelijkse verwachte kosten gegenereerd voor zowel 2- als 3-ploegendienst. Hierbij wordt het alternatief met de minste verwachte kosten gekozen voor die betreffende week.

Op basis van de gevraagde en beschikbare productietijd wordt de bezetting bepaald, waarmee de boetekosten bepaald worden. Deze kosten worden voor vier weken in de eerste maand en vier weken in de tweede maand bepaald. De arbeidskosten worden op basis van de gevraagde productietijd ook voor deze tijdperiode berekend. De machinekosten worden voor de gehele maand bepaald en blijven constant onafhankelijk van de vraag.

In het model worden alleen de machinekosten meegenomen van de extra machinelijnen. De kosten van het huidige machinepark zijn namelijk gelijkwaardig bij de diverse mogelijkheden van capaciteitsinzet.

De capaciteitsinzet waarbij de minste wekelijkse kosten optreden hoeft niet het optimale scenario te zijn. De machinekosten worden namelijk over drie jaar verdeeld en het bepalen van de verwachte kosten vindt plaats op basis van twee maanden. De ontwikkeling van de vraag naar cilinders kan er dus voor zorgen dat er op basis van de vijfde en zesde maand een investeringsbeslissing gemaakt wordt, die niet volledig terugverdiend kan worden in de opvolgende periode. Vandaar dat de ontwikkeling van de vraag na de vijfde en zesde maand interessant is voor de oplossingsrichting. De ontwikkeling van de vraag zal bij het presenteren van de resultaten in hoofdstuk 6 dus ook aan de orde komen. Eerst worden de verificatie en validatie van het model in de volgende paragraaf besproken.

5.5 Interpretatie van de resultaten van het model

5.5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is de opbouw van het model beschreven waarmee bepaald wordt met welke inzet van capaciteit de minste kosten worden verwacht. De waarde die gehecht kan worden aan de resultaten uit het model wordt in deze paragraaf beschreven. Robinson (1997) geeft aan dat verificatie en validatie gezien kan worden als een proces van het verhogen van het vertrouwen in een model, maar er wordt geen volledige correctheid mee aangetoond. Law en Kelton (2000; p. 264-265) geven methoden voor de verificatie van het model en voor de validatie en geloofwaardigheid van het model.

Definities (Vertaald uit: Law en Kelton, 2000; p. 264-265)

Verificatie is het bepalen of het conceptuele simulatiemodel (modelveronderstellingen) juist vertaald zijn in een computer programma.

Validatie is het proces van bepaling of het simulatiemodel een correcte weergave geeft van het systeem.

Een simulatie model en de resultaten zijn *geloofwaardig* als de manager en andere belangrijke personen in het project ze als juist interpreteren.

Er worden 8 methoden gegeven voor de verificatie van een simulatiemodel. Niet al deze methoden kunnen bij dit onderzoek gehanteerd worden. In paragraaf 5.5.2 worden de methoden toegelicht die gebruikt zijn en wordt aangegeven waarom bepaalde methoden niet toegepast zijn.

Voor het verhogen van de validiteit en geloofwaardigheid van het model worden 6 methoden aangereikt. De methoden die bij dit onderzoek zijn gebruikt worden in paragraaf 5.5.3 beschreven.

5.5.2 Verificatie van het model

Er worden acht methoden aangedragen voor de verificatie van het model, deze zijn weergegeven in Tabel 26. Deze methoden zijn voornamelijk gericht op een dynamische simulatiestudie (met discrete event simulatie). Het model dat gebruikt wordt bij dit onderzoek is niet dynamisch van aard en er wordt dan ook geen gebruik gemaakt van discrete event simulatie. Vandaar dat niet alle methoden toegepast worden bij dit onderzoek. De vierde en zesde methode zijn niet van toepassing op het model dat gebruikt wordt bij dit onderzoek en deze methoden zullen verder niet behandeld worden. De overige zes methoden zullen achtereenvolgens worden besproken.

Tabel 26 methoden voor de verificatie van het model

Nr.	Methode
1.	Modulaire opbouw van het model
2.	Nakijken van het model door meerdere personen
3.	Runnen van het model met een variëteit aan input
4.	Controleren van de juiste toestand van het model
5.	Runnen van het model onder vereenvoudigde veronderstellingen
6.	Animatie van de output van de simulatie
7.	Analyseren van de ingevoerde kansverdelingen
8.	Gebruik een commercieel simulatiepakket

Modulaire opbouw van het model

Bij een modulaire opbouw van het model blijft het model overzichtelijk. Law en Kelton (2000) beschrijven hierbij vooral het belang van de juiste programmeercode, met het gevaar dat het model geen resultaten geeft. Ditzelfde geldt bij dit onderzoek voor de berekeningen in Excel. Als er niet verwezen wordt naar de juiste cellen, zullen de resultaten niet kloppen. Vandaar dat er bij het model duidelijk onderscheid is gemaakt in de berekening van de gevraagde productietijd enerzijds en de beschikbare productietijd anderzijds. Dit leidt tot een goed overzicht bij het nagaan of het model de juiste berekeningsslag maakt bij de bezettingsgraad.

Nakijken van het model door meerdere personen

Een gevaar bij het maken van een simulatiemodel is dat één persoon te diep in de programmeercode zit en problemen over het hoofd gaat zien. Tijdens het onderzoek is er in de beginfase bij de deterministische modellering nauw samengewerkt met de manager van de cilinderafdeling, waarbij de berekeningen in het model stapsgewijs geanalyseerd zijn.

Runnen van het model met een variëteit aan input

Het model wordt gerund met een variëteit aan input en vervolgens wordt bepaald of de output van het model nog steeds logisch is. Hierdoor wordt bekeken of het model wel juist geprogrammeerd is. Er is geverifieerd of de bezettingsgraad (en de kosten) inderdaad stijgen bij een stijging van de vraag naar cilinders of een daling van de beschikbare productietijd. Verder is er bekeken of extra inzet van machinecapaciteit leidt tot een verhoging van de beschikbare productietijd en een daling van de bezettingsgraad.

Runnen van het model onder vereenvoudigde omstandigheden

De correctheid van het model is gecontroleerd door de bezettingsgraad te bepalen onder vereenvoudigde omstandigheden. Als voor iedere cilinder een vergelijkbare tijd wordt ingevoerd en de bezettingsgraad van de diameterlijnen wordt op basis van deze omstandigheden berekend, komen er vergelijkbare resultaten uit. In bijlage 6 is deze berekening gepresenteerd. Hierdoor kan verondersteld worden dat de berekeningen in het model correct uitgevoerd worden.

Analyseren van de ingevoerde kansverdelingen

Voor een vergelijking van het gemiddelde en de standaardvariatie van de steekproef met het gewenste gemiddelde wordt verwezen naar bijlage 5, verificatie van de invoerparameters. Hierin is nagegaan of voor de vraagverdeling van één merk eindset de juiste waarde getrokken worden. Het resultaat van deze exercitie geeft aan dat de waarden inderdaad correct uit de betreffende verdeling worden gegenereerd.

Gebruik van een commercieel simulatiepakket

Voor de simulatie wordt gebruik gemaakt van Crystal Ball. Crystal Ball is een add in op Microsoft Excel en maakt het mogelijk om kansverdelingen in te voeren in Excel en om Monte Carlo Simulatie op een eenvoudige manier uit te voeren. De resultaten van de simulatie worden zowel grafisch als in tabelvorm weergegeven.

5.5.3 Verhogen van de validiteit en geloofwaardigheid van het model

Law en Kelton (2000; p. 273-283) beschrijven zes methoden om de validiteit en geloofwaardigheid van het model te verhogen. Deze methoden zijn weergegeven in Tabel 27. De eerste drie methoden zullen hieronder beschreven worden. Het valideren van (componenten van) het model wordt beschreven in hoofdstuk 6, waar de resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn weergegeven. De zesde methode is helemaal niet aan de orde bij deze simulatie, aangezien er geen gebruik is gemaakt van animatie.

Tabel 27 Methoden om validiteit en geloofwaardigheid van het model te verhogen

Nr.	Methode
1.	Verzamel informatie en data over het systeem van hoge kwaliteit
2.	Spreek met de manager op een reguliere basis
3.	Hou veronderstellingen bij die gemaakt zijn
4.	Valideer componenten van het model door kwantitatieve technieken te gebruiken
5.	Valideer de output van het totale simulatie-model
6.	Animatie

Verzamel informatie en data van hoge kwaliteit over het systeem

Law en Kelton (2000, p.274-275) geven aan dat er voor een hoge kwaliteit van de informatie en data, gebruik gemaakt moet worden van alle informatie die beschikbaar is. Experts op het gebied waar het te modelleren systeem betrekking op heeft, kunnen deze informatie leveren. Bovendien moet het systeem geobserveerd worden. De observatie van het systeem was alleen mogelijk toen de machinelijnen daadwerkelijk geïnstalleerd waren. Hier is de modellering op aangepast. Verder kan er gebruik gemaakt worden van bestaande theorie, bijvoorbeeld aankomstprocessen die Poisson verdeeld zijn. De aankomstprocessen zijn bij de modellering niet gedefinieerd omdat er geen discrete event simulatie is uitgevoerd. Verder kan er informatie verkregen worden van vergelijkbare simulatiestudies. Deze zijn voor de cilinderassemblage echter niet uitgevoerd, vandaar dat hier geen gebruik van gemaakt kon worden.

Spreek met de manager op een reguliere basis

De manager van de cilinderafdeling is in het beginstadium van het onderzoek nauw betrokken geweest bij de modellering. Door op een reguliere basis de manager bij het modelleren te betrekken, wordt de waarschijnlijkheid groter dat het model gebruikt wordt bij het beslissingsproces.

Hou veronderstellingen bij die gemaakt zijn

De veronderstellingen die tijdens het modelleren gemaakt zijn, worden in dit rapport beschreven bij de betreffende onderdelen. Zo is in hoofdstuk 4 al aan de orde gekomen onder welke voorwaarden de variabiliteit in het productiesysteem bepaald is. In dit hoofdstuk is al behandeld hoe de gevraagde en beschikbare productietijd bepaald zijn.

5.6 Conclusie

In dit hoofdstuk is de beschrijving van het model voor het bepalen van de capaciteitsinzet weergegeven. Hiervoor is eerst de opbouw van het model beschreven. Voor de opbouw van het model is aangegeven hoe de gevraagde productietijd en de beschikbare productietijd is berekend. Vervolgens zijn de kosten van de inzet van capaciteit toegelicht en is aangegeven hoe deze gemodelleerd worden. Tot slot is aangegeven hoe de resultaten geïnterpreteerd moeten worden.

De gevraagde productietijd is afhankelijk van de vraag naar cilinders en de assemblagetijd van deze cilinders. De assemblagetijd is per cilinder op basis van tijdwaarnemingen bepaald. De vraag naar cilinders is gegeneerd de normale verdeling, waarbij de verwachtingswaarde gelijk is aan de voorspelling van Power Packer. Hiervoor zijn de vijfde en zesde maand geanalyseerd, omdat dit de eerste twee maanden zijn waarin nieuwe machinelijnen operationeel kunnen zijn. Voor het analyseren van de opvolgende maanden zijn de gegevens waarmee deze variatie bepaald kan worden, beperkt.

De ploegendienst en het aantal machinelijnen per diameter bepalen in grote mate de beschikbare productietijd. De beschikbare productietijd wordt ook nog gecorrigeerd door deze te vermenigvuldigen met de Overall Equipment Effectiveness. Dit wordt toegepast om de verstoringen en inefficiënties van het proces te modelleren. Variaties in de efficiency van de cilinderassemblage worden opgevangen met de voorraad cilinders.

De kosten van de inzet van capaciteit bestaan uit de boetekosten, arbeidskosten en machinekosten.

De boetekosten worden berekend door het verwachte tekort aan cilinders te vermenigvuldigen met een boete per cilinder (125 €) die niet geleverd kan worden. Op basis van de verwachte bezettingsgraad (de gevraagde productietijd gedeeld door de beschikbare productietijd) en de vraag naar cilinders wordt het aantal cilinders bepaald dat niet geleverd kan worden. Hierbij wordt er rekening gehouden met de voorraad eindsets, waardoor capaciteitstekorten van de cilinderassemblage niet direct zorgen voor leverproblemen naar de klant.

De arbeidskosten worden berekend door de verwachte arbeidstijd te vermenigvuldigen met de arbeidskosten. Hierbij zijn de arbeidskosten afhankelijk van de ploegendienst, omdat er een toeslag moet worden betaald aan de medewerkers indien er buiten kantooruren gewerkt wordt.

Voor de berekening van de machinekosten is per machinelijn bepaald hoe hoog de vergelijkbare negatieve kasstromen (arbeidskosten of boetekosten) zijn bij een alternatief scenario van capaciteitsinzet. Deze machinekosten worden vermenigvuldigd met het aantal extra machinelijnen.

Bij het modelleren van de kosten van capaciteitsinzet wordt een aantal machinelijnen ingezet per buisdiameter. Op basis van deze machinecapaciteit wordt voor de vijfde en zesde maand per week geanalyseerd of de kosten het laagst zijn bij 2 –of 3-ploegendienst. De minimale kosten van vier weken worden bij elkaar opgeteld en de maandelijkse machinekosten worden hierbij opgeteld. Hierdoor kunnen de kosten van de diverse mogelijkheden tot het inzetten van extra machinelijnen vergeleken worden. Dit zijn de verwachte kosten voor de vijfde en zesde maand, terwijl machine-investeringen over drie jaar afgeschreven worden. Hierdoor kunnen de totale kosten van de periode over drie jaar anders uitvallen, waardoor de gekozen capaciteitsinzet niet de meest gunstige oplossing is.

Voor de juiste interpretatie van de resultaten is er in het begintraject nauw contact onderhouden met de manager van de cilinderafdeling. Hierdoor geeft het model een goede representatie van de werkelijkheid. Bij het model zijn er echter een aantal aannames gemaakt die de betrouwbaarheid kunnen beïnvloeden. Met name door fluctuaties in de Overall Equipment Effectiveness en de veiligheidsmarge van de voorraad kunnen de kosten in werkelijkheid afwijken van de gemodelleerde kosten. In paragraaf 6.4 wordt hier op ingegaan bij de gevoeligheidsanalyse.

Hoofdstuk 6 Resultaten verkregen met het stochastische model

6.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk is het model beschreven waarmee de beslissing tot capaciteitsinzet voor de cilinderassemblage bij Power Packer ondersteund kan worden. Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten die met het model verkregen worden bij het invoeren van de voorspelling van de vraag van juni 2006. Hiervoor zal eerst beschreven worden welke scenario's van capaciteitsinzet er geanalyseerd worden. Een scenario bestaat hierbij uit een bepaald aantal machinelijnen voor de cilinderassemblage en wordt gepresenteerd in paragraaf 6.2. Van ieder scenario worden de verwachte kosten gesimuleerd. De resultaten van deze simulatie zijn weergegeven in paragraaf 6.3. Van een aantal belangrijke invoerparameters is bepaald in hoeverre deze bij verandering de resultaten beïnvloeden. De resultaten van deze gevoeligheidsanalyse zijn weergegeven in paragraaf 6.4 en hebben betrekking op de eerste twee maanden waarin een nieuwe machinelijn operationeel kan zijn. Door het structurele karakter van machine-investeringen is het ook van belang hoe de bezetting van de machinelijnen zich ontwikkelt na deze maanden. Vandaar dat de ontwikkeling van de vraag naar cilinders in paragraaf 6.5 beschreven wordt. Bij Power Packer is er een deterministisch model afgeleverd. Dit model wordt gebruikt bij het bepalen van de noodzaak tot machine-investeringen voor de cilinderassemblage. In paragraaf 6.6 worden de resultaten die met het deterministische model tot stand zijn gekomen vergeleken met de resultaten van het stochastische model. Tot slot worden de conclusies die uit de resultaten getrokken worden gepresenteerd in paragraaf 6.7.

6.2 Bepalen van de scenario's van capaciteitsinzet

De capaciteit van de cilinderassemblage bij de cilinderafdeling bestaat uit een combinatie van arbeidscapaciteit en machinecapaciteit. De machinelijnen voor de cilinderassemblage zijn ingedeeld per diameter en de gevraagde en beschikbare capaciteit wordt ook per diameter uitgedrukt.

Per diameter kan de machinecapaciteit aangepast worden door een extra machinelijn aan te schaffen. Het duurt vier à vijf maanden voordat de capaciteit van de cilinderassemblage beïnvloed kan worden door het aanpassen van de machinecapaciteit.

De arbeidscapaciteit kan aangepast worden door de ploegendienst te veranderen. Dit heeft invloed op de capaciteit van de gehele cilinderassemblage. Er moet minimaal twee weken van tevoren besloten worden om de ploegendienst aan te passen, omdat de medewerkers hierdoor andere uren moeten werken.

In hoofdstuk 3 is al aan de orde gekomen dat de productietijd sterk afhankelijk is van de ploegendienst. In dit onderzoek wordt de afweging gemaakt in welke situatie een extra ploegendienst aan te raden is en wanneer er een nieuwe machinelijn aangeschaft moet worden. In Tabel 28 is een overzicht gegeven van de kosten van de inzet van capaciteit. De kosten per uur per machinelijn staan in de laatste kolom weergegeven.

Tabel 28 Kosten van capaciteitsinzet per uur

Aantal ploegen	Aantal operators	Tijd per week (in uren)	Arbeid per uur (in €)	Arbeid per week (in €)	Machine per week (in €)	Totale kosten (in €)	Kosten per uur (in €)
1	3	40	20	2.400	880	3.280	82,0
2	3	77,5	23	5.348	880	6.228	80,4
3	3	157,5	25	11.813	880	12.693	80,6

Er is per ploegendienst uitgerekend hoeveel één uur capaciteit kost, uitgaande van drie operators per machinelijn. Voor de machinekosten per week is uitgegaan van de kosten die in

paragraaf 5.3 aangegeven zijn. Uit de laatste kolom blijkt dat 2-ploegendienst relatief het goedkoopst is. In deze berekening wordt er vanuit gegaan dat de beschikbare productietijd volledig wordt benut. Als de bezetting lager is, worden de kosten van capaciteit per uur hoger, doordat de vaste kosten (de machinekosten) verspreid worden over minder uren. De kosten van de capaciteit bij 1-ploegendienst worden dan relatief hoger. Het aanschaffen van een extra machinelijn om in 1-ploegendienst te kunnen werken wordt dus uitgesloten. Het werken in twee of drie ploegen wordt meegenomen in de modellering van de inzet van capaciteit voor de cilinderassemblage, zoals aangegeven in paragraaf 5.4.5.

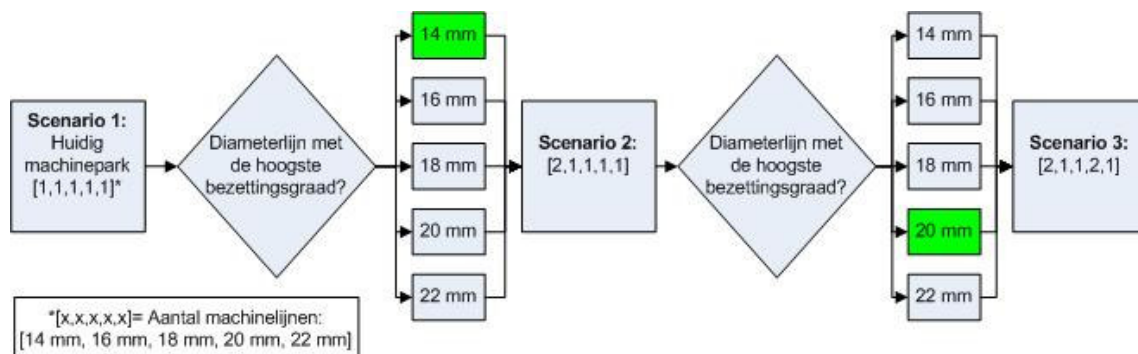
Voor iedere diameterlijn moet er gekozen worden voor een bepaald aantal machinelijnen. Er moet minimaal één machinelijn staan om de betreffende cilinders te kunnen assembleren. Het aantal mogelijkheden voor de daadwerkelijke inzet van capaciteit voor de cilinderassemblage is beperkt. Het aantal machinelijnen dat geanalyseerd wordt met het model kan variëren afhankelijk van de vraag naar cilinders en het huidige aantal machinelijnen. Er is dus sprake van een eindige oplossingsruimte, aangezien de ploegendienst kan variëren van 1 tot 3 en de inzet van extra machinelijnen vanaf een bepaalde waarde geen betere oplossing zal geven. Daarom wordt de capaciteitsinzet uitgedrukt in scenario's.

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd die met het model verkregen zijn voor de situatie van juni 2006. Voor iedere diameter is er één machinelijn voor de cilinderassemblage. Dit is het eerste scenario dat onderzocht wordt en betreft het huidige machinepark. In het model worden de kosten berekend als er in 2-ploegendienst en 3-ploegendienst gewerkt wordt. Op basis van het huidige machinepark (juni 2006), wordt bepaald welke diameterlijn de hoogste bezettingsgraad heeft. Hiervoor wordt de gevraagde productietijd gebaseerd op de verwachtingswaarde van de vraag naar cilinders voor de vijfde en zesde maand. Dit is dus een gemiddelde bezettingsgraad, waarbij er geen rekening gehouden is met variatie. De beschikbare productietijd is gebaseerd op 2-ploegendienst. Een overzicht van de bezettingsgraden van de diverse diameters is weergegeven in Tabel 29.

Tabel 29 Gemiddelde bezettingsgraad machinelijnen

Ø (in mm)	Okt 2006	Nov 2006
14	138%	142%
16	67%	69%
18	24%	27%
20	124%	131%
22	66%	67%

Op basis van deze bezettingsgraden wordt geconcludeerd dat de bezetting van de machinelijn met een buisdiameter van 14 en van 20 mm het hoogste is. Voor deze diameters wordt geanalyseerd of er geïnvesteerd moet worden in een nieuwe machinelijn. In Figuur 35 is weergegeven hoe de scenario's bepaald zijn die onderzocht worden.



Figuur 35 Scenario's van capaciteitsinzet

Er worden drie scenario's onderzocht waarbij het aantal machinelijnen varieert. Voor deze scenario's worden de eerste twee maanden geanalyseerd waarin de extra machinelijnen operationeel kunnen zijn. De resultaten die hieruit volgen zijn de kosten van vier willekeurige weken in beide maanden. Per week worden de verwachte kosten van zowel 2-ploegendienst als 3-ploegendienst bepaald. Vervolgens wordt in het model op basis van de minimale wekelijkse kosten bepaald of er die week in twee- of drie-ploegendienst gedraaid wordt.

De bezettingsgraad is leidend in het bepalen van de configuratie van de scenario's, omdat de boetekosten die hiermee berekend worden bepalend zijn in de kosten van een scenario. Het onderzoeken van andere scenario's dan weergegeven in Figuur 35 is dan ook niet nodig. Zoals uit de resultaten in de volgende paragraaf zal blijken, zijn de boetekosten bij het derde scenario (bij aanschaf van twee extra machinelijnen) te verwaarlozen.

6.3 Kosten van de capaciteitsinzet

De totale kosten van de inzet van capaciteit zijn met het model berekend. Wekelijks is er voor ieder merk eindset een verwacht assemblageaantal bepaald op basis waarvan de vraag naar cilinders is bepaald. Voor de eerste twee maanden zijn de wekelijks verwachte kosten bepaald. Deze exercitie is 100.000 maal uitgevoerd, waardoor de gemiddelde kosten per maand bepaald kunnen worden. In bijlage 7 is verantwoord waarom 100.000 runs voldoende zijn voor een betrouwbaar resultaat.

Voor de eerste maand waarin een nieuwe machinelijn operationeel kan zijn (5^e maand), zijn de resultaten weergegeven in Tabel 30.

Tabel 30 kosten van capaciteitsinzet voor de vijfde maand

Scenario	Aantal machinelijnen per Ø					Gemiddelde kosten in de 5 ^e maand (in €)			
	22 mm	20 mm	18 mm	16 mm	14 mm	Arbeid	Machine	Boete	Totaal
1	1	1	1	1	1	113.844	0	1.283	115.127
2	1	1	1	1	2	112.537	3.892	21	116.451
3	1	2	1	1	2	106.151	7.784	3	113.938

De invulling van de drie scenario's is al in paragraaf 6.2 besproken, maar staan in de tabel voor de overzichtelijkheid nog een keer weergegeven. Voor het eerste scenario zijn geen extra investeringen nodig, voor het tweede scenario één extra machinelijn (14mm) en voor het derde scenario twee extra machinelijnen (14mm en 20mm). Deze investeringskosten komen terug in de tabel bij de machinekosten. Verder zijn de boetekosten en arbeidskosten ook weergegeven in de tabel, wat leidt tot de totale kosten. De totale kosten zijn het laagst bij het derde scenario, waar er geïnvesteerd wordt in twee extra machinelijnen.

Een overzicht van de kosten van capaciteitsinzet in de tweede maand dat een machinelijn operationeel kan zijn (6^e maand), is weergegeven in Tabel 31.

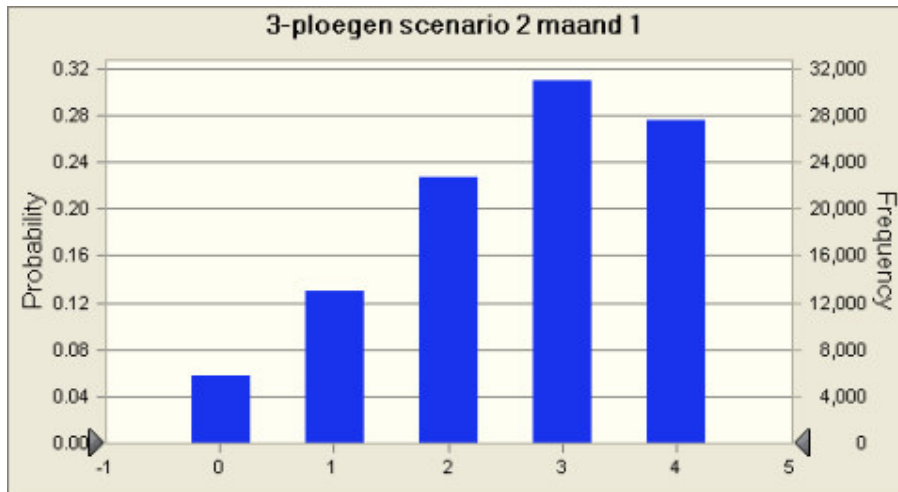
Tabel 31 kosten van capaciteitsinzet voor de zesde maand

Scenario	Aantal machinelijnen per Ø					Gemiddelde kosten in de 6 ^e maand (in €)			
	22 mm	20 mm	18 mm	16 mm	14 mm	Arbeid	Machine	Boete	Totaal
1	1	1	1	1	1	118.239	0	2.443	120.682
2	1	1	1	1	2	117.317	3.892	29	121.238
3	1	2	1	1	2	110.028	7.784	4	117.816

Uit deze tabel blijkt dat de kosten van het derde scenario wederom het laagste zijn. De machinekosten zijn bij dit scenario echter het hoogst omdat er twee extra machinelijnen aangeschaft worden. Door de grote daling van de arbeidskosten en boetekosten, kunnen de machinekosten terugverdiend worden. De lage arbeidskosten en boetekosten bij het derde scenario zijn te verklaren. De boetekosten en arbeidskosten per uur zijn namelijk afhankelijk

van de bezetting van de machinelijnen. Als de capaciteit ruim toereikend is, kan er in 2-ploegendienst gewerkt worden. Hierdoor zijn de arbeidskosten lager dan bij het werken in 3-ploegendienst. Er is ook minder kans op boetekosten als de capaciteit ruim toereikend is.

Als de totale kosten van het werken in 3-ploegendienst lager zijn dan bij 2-ploegendienst, geeft het model aan dat er in 3-ploegendienst gewerkt en vice versa. Hierdoor is aan te geven hoeveel weken er per scenario in 3-ploegendienst gewerkt moet worden. Als voorbeeld is in Figuur 36 een grafische weergave gegeven van de kans dat er een bepaald aantal weken in 3-ploegendienst gewerkt wordt. Deze figuur geeft een weergave van het tweede scenario en de eerste maand waarin nieuwe machinelijnen operationeel kunnen zijn (dit is de 5^e maand; oktober `06).



Figuur 36 Aantal weken in 3-ploegendienst voor de vijfde maand bij scenario 2

Uit deze figuur is af te leiden dat er ±6% kans is dat er 0 weken in 3-ploegendienst gewerkt hoeft te worden. De kans dat er maar 1 week in 3-ploegendienst gewerkt hoeft te worden is ongeveer 13%. De kans dat er meerdere weken in 3-ploegendienst gewerkt moet worden is dus ongeveer 81%. In bijlage 8 is het grafisch overzicht gegeven van alle scenario's van het aantal weken dat er in 3-ploegendienst gewerkt zal worden.

Een andere indicatie van het aantal weken dat er in 3-ploegendienst gewerkt moet worden wordt gegeven door het gemiddelde. Zoals uit Figuur 36 blijkt, varieert het aantal weken dat er in 3-ploegendienst gewerkt wordt. Op basis van 100.000 runs zal er gemiddeld 2,62 weken in 3-ploegendienst gewerkt worden bij het tweede scenario in de vijfde maand. In Tabel 32 is het gemiddelde aantal weken dat er in 2 en 3-ploegendienst gewerkt wordt voor ieder scenario weergegeven.

Tabel 32 Verdeling inzet ploegen per scenario voor de 5e en 6e maand

Scenario	5 ^e maand (okt `06)			6 ^e maand (nov `06)		
	2 ploegen	3 ploegen	Totaal	2 ploegen	3 ploegen	Totaal
1	0,77	3,23	4.00	0,61	3,39	4.00
2	1,38	2,62	4.00	1,04	2,96	4.00
3	3,961	0,039	4.00	3,936	0,064	4.00

Voor het eerste scenario wordt er de vijfde maand gemiddeld 3,23 weken van de 4 weken in 3-ploegendienst gewerkt. Voor de zesde maand is dit nog hoger. Dit houdt in dat de verwachting is dat er overwegend in 3-ploegendienst gewerkt moet worden, wat een hoge werkdruk met zich meebrengt. Voor het tweede scenario is het ook noodzakelijk om bij te springen met een extra ploeg. Dit hoeft weliswaar niet zo vaak als bij het eerste scenario, maar

er zal zeker nog de helft van de tijd in 3-ploegendienst gewerkt worden. Bij het derde scenario hoeft er amper in 3-ploegendienst gewerkt te worden.

De variërende vraag naar cilinders zorgt niet alleen voor variatie van de ploegendienst. De totale kosten zullen hierdoor ook beïnvloed worden. De variatie in de totale kosten is niet voor ieder scenario gelijk. Een belangrijke factor hierin vormen de boetekosten. Deze variëren per scenario van capaciteitsinzet. In Tabel 33 is de spreiding voor de vijfde en zesde maand weergegeven voor alle drie de scenario's. Voor een uitgebreider overzicht van de spreiding van de kosten wordt verwezen naar bijlage 9, waar de verdeling van de kosten per scenario en per maand grafisch is weergegeven.

Tabel 33 Spreiding van de totale kosten voor de 5e en 6e maand

Scenario	5 ^e maand (okt `06)		6 ^e maand (nov `06)	
	Gem.	Stand. Afw.	Gem.	Stand. Afw.
1	115.127	23.306	120.682	31.671
2	116.451	14.646	121.238	15.680
3	113.938	12.185	117.816	13.349

Per scenario per maand staan eerst de gemiddelde totale kosten weergegeven. De gemiddelde totale kosten zijn in voorgaande tabellen ook al gepresenteerd. De standaardafwijking van het gemiddelde staat naast het gemiddelde weergegeven.

Uit de tabel is af te leiden dat hoe meer capaciteit er ingezet wordt (geen extra machinelijnen bij het 1^e scenario, één extra machinelijn bij het 2^e scenario en twee extra machinelijnen bij het 3^e scenario), hoe lager de spreiding wordt. Dit is te verklaren omdat de boetekosten kunnen zorgen voor hoge kosten, waardoor de standaardafwijking groter wordt. Bij minder machinecapaciteit is er een grotere kans op boetekosten, waardoor de spreiding groter wordt door de hoge waarden die kunnen ontstaan.

6.4 Gevoeligheidsanalyse

Tijdens het modelleren zijn er veronderstellingen over de invoerparameters gemaakt. In deze paragraaf wordt beschreven in hoeverre de resultaten beïnvloed worden als bepaalde invoerparameters veranderen.

In bijlage 10 worden extra analyses over de gevoeligheid van het model gepresenteerd. In deze bijlage is bepaald dat de batchgrootte een marginaal effect heeft op de bezettingsgraad (en dus de boetekosten). Daarnaast is bepaald dat de beschikbare productietijd een grotere invloed heeft op de bezettingsgraad dan de gevraagde productietijd.

In deze paragraaf wordt nagegaan welke invloed de Overall Equipment Effectiveness (OEE), de veiligheidsmarge die gebruikt wordt voor het representeren van de voorraad eindsets en de afschrijvingsperiode van de machinelijn op de resultaten hebben. In Figuur 37 is de kostenopbouw weergegeven en zijn de invoerparameters die geanalyseerd worden, gearceerd weergegeven. In deze figuur is ook te zien op welke factoren de invoerparameters effect hebben. Zo zijn de Overall Equipment Effectiveness en de veiligheidsmarge van invloed op de boetekosten en is de afschrijvingsperiode van machinelijnen van invloed op de machinekosten.

Boetekosten	Bezettingsgraad	Beschikbare productietijd	OEE
			Tijd per ploeg
	Veiligheidsmarge	Gevraagde productietijd	Vraag naar cilinders
			Assemblagetijd per cilinder
Boetekosten per cilinder			
Arbeidskosten	Verwachte arbeidstijd		
	Arbeidskosten per uur		
Machinekosten	Investeringskosten	Investering machinelijn	
		Afschrijvingsperiode	
		Disconteringsvoet	
	Ruimtekosten		

Figuur 37 Invloed van parameters op kostenfactoren

In Tabel 34 zijn de resultaten weergegeven van de gevoeligheidsanalyse die is uitgevoerd. In het bovenste gedeelte van de tabel is de standaard invoer weergegeven. Vervolgens is er per alternatieve invoer bepaald wat de verwachte kosten per scenario van capaciteitsinzet zijn. Deze kosten hebben betrekking op de eerste maand waarin nieuwe machinelijnen operationeel kunnen zijn.

De eerste parameter die gevarieerd wordt betreft de effectieve productietijd (OEE). De variatie in de effectieve productietijd wordt opgevangen door voorraad cilinders. In het model geeft de OEE in combinatie met de tijd per ploeg een indicatie van de gemiddelde effectieve productietijd. De OEE is echter aan variatie onderhevig. Een uitgangspunt bij dit onderzoek is dat deze variatie opgevangen wordt door de voorraad cilinders. De gemiddelde effectiviteit kan echter gemiddeld lager of hoger uitvallen dan verwacht. De OEE varieert ongeveer van 80% tot 90% (zie Tabel 20, op pagina 50).

De afschrijvingsperiode die in het model aangehouden wordt is gelijk aan de terugverdienperiode die Power Packer hanteert voor investeringen, namelijk 3 jaar. Als het bedrijf op korte termijn positieve resultaten wil boeken, kan er geëist worden dat investeringen sneller terugverdiend moeten worden. In deze gevoeligheidsanalyse wordt bepaald wat voor effect een halvering van de terugverdientijd (1½ jaar) heeft op de resultaten. Daarnaast wordt bepaald wat het effect is van het verdubbelen van de terugverdientijd (6 jaar). Dit geeft een indicatie van de technische levensduur. Bij het halveren van de terugverdientijd, verdubbelen de investeringskosten per machinelijn en bij het verdubbelen van de afschrijvingsperiode, halveren de investeringskosten per machinelijn. Voor het gemak zijn de vergelijkbare negatieve kasstromen nog wel gebaseerd op een terugverdientijd van drie jaar, omdat het verwerken van de discontering een marginaal effect heeft op de resultaten. In het model wordt er gewerkt met een veiligheidsmarge, waarmee ondercapaciteit van de cilinderassemblage opgevangen wordt door voorraad eindsets. De voorraad eindsets is toereikend om per maand een overbezetting van 60% op te vangen. In het model wordt deze voorraad over de maand verspreid en wordt 15% gehanteerd. In deze gevoeligheidsanalyse wordt bepaald wat het effect op de resultaten is als de veiligheidsmarge niet gehanteerd wordt. Bij een veiligheidsmarge van 0% wordt er een boete toegekend aan iedere cilinder die niet geleverd kan worden aan de eindassemblagelijnen (als de eindassemblagelijnen exact de vraag van de klant assembleren).

Tabel 34 Resultaten van de gevoeligheidsanalyse

Standaard invoer		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
# weken per mnd	4	115.127	116.451	113.938
OEE	84%			
Afschrijvingsperiode	3 jaar			
Veiligheidsmarge	15%			
Alternatieve invoer		Δ Scenario 1	Δ Scenario 2	Δ Scenario 3
# weken per mnd	4,34	108.929	108.608	105.885
OEE	79%	117.471	117.218	114.049
	89%	113.363	115.091	113.844
Afschrijvingsperiode	1½ jaar	115.127	120.343	121.722
	6 jaar	115.127	114.505	110.046
Veiligheidsmarge	0%	127.008	118.311	114.540

Het bovenste gedeelte van de tabel geeft de kosten van de standaardinvoer van het model weer, deze zijn al in voorgaande paragraaf besproken. De invoer is gebaseerd op de opbouw van het model, zoals besproken is in hoofdstuk 5. De OEE bedraagt 84%, de wekelijkse vraag is gebaseerd op vier weken per maand, er wordt een afschrijvingsperiode gehanteerd van drie jaar en de veiligheidsmarge wordt gesteld op 15%.

In het onderste gedeelte van de tabel zijn de gemiddelde kosten per wijziging weergegeven. Het wijzigen van het aantal weken per maand naar het gemiddelde zorgt ervoor dat de totale kosten dalen. De wekelijkse vraag wordt namelijk bepaald door de maandelijkse afzet door 4,34 te delen. Er worden vier weken gesimuleerd, waardoor de totale maandelijkse vraag lager is dan in werkelijkheid het geval is. De arbeidskosten die direct afhankelijk zijn van de vraag naar cilinders, vormen een aanzienlijk deel van de totale kosten, waardoor de gepresenteerde kosten hier aanzienlijk lager zijn dan in werkelijkheid het geval zal zijn. Uit de resultaten blijkt dat het derde scenario ook bij deze configuratie de minste kosten met zich meebrengt.

Als de OEE wijzigt van 84% naar 80%, stijgen de verwachte kosten. De kosten van het derde scenario stijgen het minst en dit scenario krijgt bij een daling van de OEE steeds meer de voorkeur. Als de OEE op wordt 90% gesteld, waarbij er dus effectiever gewerkt wordt, dan dalen de kosten bij ieder scenario. De daling is het sterkst bij het eerste scenario, waarbij de totale kosten dan ook lager zijn dan het derde scenario. Een stijging van de OEE heeft dus tot gevolg dat het eerste scenario (niet investeren in extra machinelijnen) aantrekkelijker wordt.

Het veranderen van de afschrijvingsperiode van machinelijnen heeft ook duidelijk invloed op de totale kosten. Bij het verlengen van de afschrijvingsperiode, wordt investeren aantrekkelijker en bij het verlengen van de afschrijvingsperiode wordt het eerste scenario aantrekkelijker (niet investeren in extra machinelijnen). Verandering van de afschrijvingsperiode heeft alleen invloed op de kosten van de machinelijnen, vandaar dat er geen veranderingen in de kosten van het eerste scenario optreden. Bij dit scenario worden er namelijk geen investeringen gedaan in extra machinelijnen.

Door de voorraad eindsets ontstaat er een veiligheidsmarge, waardoor boetekosten minder snel toegekend worden. Als er geen gebruik gemaakt wordt van deze veiligheidsmarge, de cilinders moeten dus in voldoende mate aanwezig zijn bij de eindassemblagelijnen, veranderen de kosten van de scenario's van capaciteitsinzet. Het eerste scenario waarbij er niet geïnvesteerd wordt in machinelijnen, wordt ongunstiger aangezien er hogere boetekosten ontstaan. De totale kosten stijgen dan met meer dan 10.000 €. Bij het verlengen van de veiligheidsmarge wordt investeren in extra machinelijnen aantrekkelijker. Het derde scenario, waarbij er twee extra machinelijnen ingezet worden, brengt ook bij het verlengen van de veiligheidsmarge de minste kosten met zich mee.

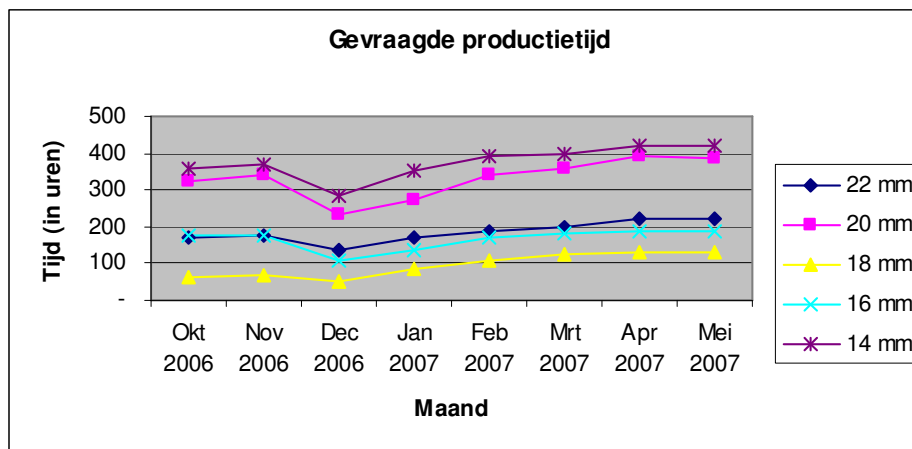
6.5 Ontwikkeling van de vraag naar cilinders na de vijfde en zesde maand

In voorgaande paragraaf zijn de kosten bepaald van diverse scenario's van capaciteitsinzet. Van deze scenario's is bekeken welk scenario de minste kosten met zich meebrengt. De machinekosten worden echter niet alleen verspreid over de vijfde en zesde maand, maar worden over drie jaar afgeschreven. Als de vraag naar cilinders daalt na de vijfde en zesde maand, kan het gekozen scenario suboptimaal zijn.

Het kan rendabel zijn om de vraag naar cilinders in de vijfde en zesde maand op te vangen met een extra ploeg, bij daling van de vraag na deze maanden. De ploegendienst kan na de betreffende maanden weer teruggedraaid worden. De aanschaf van een extra machinelijn heeft echter een structureel karakter. Hoewel het model dus aangeeft dat er op basis van de verwachte vraag in de vijfde en zesde maand gekozen moet worden voor een bepaald scenario, is het mogelijk dat dit niet het optimale scenario is. Door tijdelijk meer kosten te maken, kan de aanschaf van een extra machinelijn voorkomen worden. Hierdoor worden er op langere termijn minder kosten gemaakt. De oplossingsrichting bij een dalende vraag zal dus liggen in het oplossen van de tijdelijke extra vraag met arbeidscapaciteit. Met het model is niet inzichtelijk welke kosten op langere termijn op zullen treden. Als er een dalende vraag verwacht wordt, kan er met het model wel bepaald worden hoeveel extra kosten er verwacht worden in de vijfde en zesde maand, als de investering uitgesteld wordt.

Als de vraag naar cilinders na de vijfde en zesde maand een gelijkblijvende of stijgende tendens vertoont, is het scenario met de laagste kosten optimaal. Indien de vraag ongeveer gelijk blijft, zullen de verwachte kosten ook niet veranderen. Bij stijgende vraag kun je het aanschafmoment van extra machinelijnen uitstellen net zo lang tot het scenario met de extra machinelijnen de minste kosten met zich meebrengt.

De voorspelling van de gevraagde productietijd op basis van de verwachte afzetaantallen is grafisch weergegeven in Figuur 38.



Figuur 38 Ontwikkeling van de gevraagde productietijd

Uit Figuur 38 is af te leiden dat de gevraagde productietijd voor iedere diameter een stijgende tendens vertoont. Alleen in de maand december is er een terugval in de gevraagde productietijd. Verder lijkt de verwachte productietijd vrij constant, in tegenstelling tot de eerder gepresenteerde vraag naar cilinders (Figuur 17 op pagina 27). De eerder gepresenteerde vraag naar cilinders is namelijk bepaald op basis van de werkelijke afzetgegevens. De gevraagde productietijd in Figuur 38 is gebaseerd op de voorspelling. Deze waarden zullen dus in de praktijk af gaan wijken. Door deze variatie kan het gekozen scenario in bepaalde maanden niet de minste kosten met zich meebrengen. Door de stijgende tendens in de gevraagde productietijd, zal de vraag naar cilinders de ene maand variëren rond een hoger gemiddelde. Hierdoor blijft het investeren in twee machinelijnen gemiddeld het scenario van capaciteitsinzet met de minste kosten.

6.6 Deterministische benadering voor Power Packer

In deze paragraaf worden de resultaten uit dit onderzoek vergeleken met de uitkomst van de deterministische benadering van Power Packer. Bij deze benadering wordt de vraag naar cilinders direct afgeleid van de voorspelling en wordt er geen rekening gehouden met variatie. De beschikbare productietijd wordt bepaald op basis van 2-ploegendienst. Een uitgangspunt bij deze benadering is dat de variatie in de gevraagde productietijd opgevangen kan worden door over te gaan op 3-ploegendienst. Bij een gemiddelde bezettingsgraad van 90% per maand wordt er al getwijfeld of er een extra machinelijn nodig is. Hoewel de variatie opgevangen kan worden door het overschakelen op 3-ploegendienst, is dit voor Power Packer niet wenselijk. Dit is het laatste middel dat ingezet kan worden om aan de vraag van de klant te kunnen voldoen.

De bezettingsgraden zijn voor de drie onderzochte scenario's weergegeven per diameterlijn in Tabel 35. Per scenario worden er drie kolommen weergegeven. De eerste kolom geeft het aantal machinelijnen van de betreffende buisdiameter. De bezettingsgraad van de eerste en tweede maanden waarin extra machinelijnen operationeel kunnen zijn wordt weergegeven in de tweede en derde kolom per scenario.

Tabel 35 Bezettingsgraad diameterlijnen met deterministische benadering (5e en 6e maand)

Buis-diameter	Scenario 1			Scenario 2			Scenario 3		
	# lijnen	Okt `06	Nov `06	# lijnen	Okt `06	Nov `06	# lijnen	Okt `06	Nov `06
22 mm	1	66%	67%	1	66%	67%	1	66%	67%
20 mm	1	124%	131%	1	124%	131%	2	62%	65%
18 mm	1	24%	27%	1	24%	27%	1	24%	27%
16 mm	1	67%	69%	1	67%	69%	1	67%	69%
14 mm	1	138%	142%	2	69%	71%	2	69%	71%

Uit bovenstaande tabel is af te leiden dat er twee diameterlijnen bij het eerste scenario een bezettingsgraad hebben die hoger is dan 100%. Dit betreft machinelijnen met een buisdiameter van 14 mm en 20 mm. Door de inzet van een extra machinelijn wordt de capaciteit verdubbeld en dus de bezettingsgraad gehalveerd. Dit is af te lezen uit het tweede scenario waarin de bezettingsgraad voor de diameterlijn met een buisdiameter van 14 mm door de inzet van een extra machinelijn inderdaad gehalveerd wordt. Uit dit overzicht is af te leiden dat er volgens de beslisregel bij Power Packer onvoldoende capaciteit is als er geen extra machinelijn voor zowel cilinders met een buisdiameter van 14 mm als van 20 mm wordt aangeschaft.

6.7 Conclusie

In dit hoofdstuk is met behulp van het model bepaald welk scenario van capaciteitsinzet voor de cilinderassemblage er gekozen moet worden. Om een uitspraak te kunnen doen over de machine-investeringen, zijn er drie scenario's opgesteld. Bij het eerste scenario worden er geen machine-investeringen gedaan. Bij het tweede scenario wordt er geïnvesteerd in een extra machinelijn voor de cilinders met een buisdiameter van 14 mm en bij het derde scenario dat onderzocht is, wordt er zowel voor cilinders met een buisdiameter van 14 mm als voor cilinders met een buisdiameter van 20mm een extra machinelijn aangeschaft.

Op basis van de verwachte kosten van de eerste twee maanden waarin de machinelijnen operationeel zijn (de 5^e en 6^e maand), is gesteld dat het derde scenario, waarbij er twee extra machinelijnen aangeschaft worden, de minste kosten zullen opleveren. Bij aanschaf van minder machinelijnen (scenario 1 en 2), zullen de arbeidskosten gecombineerd met de boetekosten hoger uitvallen dan de extra machinekosten. Bij beide scenario's zal er overwegend in 3-ploegendienst gewerkt moeten worden, wat extra arbeidskosten tot gevolg heeft. Als er geen extra machinelijnen aangeschaft worden (scenario 1), zal dit leiden tot boetekosten.

De netto beschikbare productietijd is niet stochastisch benaderd. De effectieve productietijd is bepaald op basis van de Overall Equipment Effectiveness (OEE). De variatie in de effectiviteit van de productie wordt opgevangen door cilinders die op voorraad geassembleerd zijn. Als de OEE gemiddeld lager uitvalt dan verwacht, wordt het aantrekkelijker om extra machinelijnen aan te schaffen. Het gekozen scenario waarbij er twee extra machinelijnen aangeschaft worden, blijft dan het scenario met de minste kosten. Bij een stijging van de OEE, wordt investeren in extra machinelijnen minder aantrekkelijk. Een stijging van de OEE van 84% naar 90% zorgt voor ongeveer gelijkwaardige kosten voor het eerste (niet investeren) en derde scenario (investeren in twee extra machinelijnen).

Als de terugverdientijd naar beneden wordt gesteld, omdat er op korte termijn resultaten geboekt moeten worden, kan de oplossing ook veranderen. Bij een halvering van de terugverdientijd wordt niet investeren in machinelijnen het scenario waarbij de minste kosten optreden. Bij dit scenario is de verwachting dat er wel boetekosten op zullen treden. Er zal dus een trade-off gemaakt moeten worden tussen het accepteren van een langere terugverdientijd van machine-investeringen of het accepteren van een daling van de leverbetrouwbaarheid.

De kosten van de capaciteitsinzet zijn gemodelleerd voor de eerste twee maanden waarin nieuwe machinelijnen operationeel kunnen zijn (5^e en 6^e maand). Hierdoor kan de oplossingsrichting wijzigen bij een verandering van de vraag naar cilinders. Machine-investeringen hebben namelijk een structureel karakter. Als de vraag naar cilinders na de vijfde en zesde maand af zou nemen, kan het gunstiger zijn om te volstaan met inzet van 3-ploegendienst en/of het accepteren van boetekosten in plaats van te investeren in extra machinelijnen. De verwachting is dat de vraag naar cilinders zal stijgen, waardoor het derde scenario (investeren in twee extra machinelijnen) het meest rendabel blijft.

Bij de deterministische benadering van Power Packer wordt er eerder geïnvesteerd in extra machinelijnen. Als de verwachte gemiddelde bezettingsgraad hoger is dan 90%, zullen machine-investeringen besproken gaan worden. Hoewel de verwachte variatie in de vraag wel hoog is, kan er veel opgevangen worden met het overschakelen op 3-ploegendienst. Hierdoor is een verwachte bezettingsgraad van 100% met inzet van 2-ploegendienst nog niet direct zorgwekkend. De beslissing van Power Packer kan dus naar boven bijgesteld worden naar ongeveer 100%. Het stochastisch modelleren geeft vervolgens meer inzicht in de kans dat er ondercapaciteit op zal treden.

Hoofdstuk 7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Inleiding

In dit afsluitende hoofdstuk worden de conclusies en aanbevelingen gepresenteerd. Bij dit onderzoek is het doel gesteld om *een kwantitatief model te ontwikkelen waarmee Power Packer nu en in de toekomst inzicht verkrijgt in de afstemming van de machinecapaciteit van de cilinderassemblage op de fluctuerende vraag naar cilinders.*

Voor het inzicht in de afstemming van de machinecapaciteit is per diameterlijn de verwachte gemiddelde bezettingsgraad per maand bepaald. Bij het bepalen van de gemiddelde bezettingsgraad per maand wordt uitgegaan van de voorspelling van Power Packer. Hierbij is er geen rekening gehouden met variatie in de vraag. Dit model is opgesteld in Microsoft Excel en is afgeleverd bij Power Packer.

In dit rapport is het model beschreven dat opgesteld is na nader onderzoek naar de invloed van variabiliteit in het productiesysteem op de capaciteitsplanning. Op basis van de voorspelling van de vraag naar eindsets van juni 2006 is bepaald welke beslissing Power Packer moet nemen aangaande machine-investeringen bij de cilinderassemblage.

7.2 Conclusies

Op basis van de vraagvoorspelling van juni 2006 kan geconcludeerd worden dat investering in twee extra machinelijnen noodzakelijk is. Voor cilinders met een buisdiameter van 14mm en 20mm is één machinelijn namelijk niet toereikend om aan de vraag te kunnen voldoen.

De kosten van capaciteitsinzet zijn bepaald voor de eerste twee maanden waarin de nieuwe machinelijnen operationeel kunnen zijn. Hieruit is naar voren gekomen dat als er niet geïnvesteerd wordt (scenario 1) of alleen één extra machinelijn voor cilinders met een buisdiameter van 14 mm (scenario 2), de kosten hoger uitvallen dan dat er in twee extra machinelijnen wordt geïnvesteerd (scenario 3). Bij de eerste twee scenario's zal er namelijk beduidend meer in 3-ploegendienst gewerkt moeten worden. Hierdoor zijn de arbeidskosten hoger, door de toeslag die per uur betaald moet worden. Bij het eerste scenario is de kans groot dat er niet aan de vraag voldaan kan worden en dit zal leiden tot een claim van de klant. De totale verwachte kosten zijn weergegeven in Tabel 36. Dit zijn de gemiddelde kosten op basis van 100.000 runs met het model. De verwachting is dus dat het derde scenario het meest gunstig is. De totale kosten die bespaard worden door te investeren in twee extra machinelijnen ten opzichte van helemaal niet investeren, bedragen over twee maanden ongeveer € 4.000,-.

Tabel 36 Gemiddelde kosten voor de vijfde en zesde maand bij 100.000 runs (in €)

Scenario	Okt `06 (5e)	Nov `06 (6e)	Totaal
1	115.127	120.682	235.809
2	116.451	121.238	237.689
3	113.938	117.816	231.754

Bij het bepalen van deze kosten zijn een aantal invoerparameters gebruikt die in de praktijk anders uit kunnen vallen. Door het effect van variatie van deze invoerparameters op de resultaten te bepalen, wordt bepaald hoe gevoelig het model is voor veranderingen van de invoerparameters. Bij wijziging van de gestelde terugverdientijd van investeringen van 3 jaar naar 1,5 jaar, wordt het eerste scenario gunstiger dan het derde scenario. Hierbij wordt er dan wel veel in 3-ploegendienst gewerkt en worden boetes geaccepteerd. Een andere wijziging die op kan treden is de effectiviteit van de cilinderassemblage. Als blijkt dat de Overall Equipment Effectiveness (OEE) stijgt van 84% naar een OEE van hoger dan 90%, kunnen de investeringen in extra machinelijnen uitgesteld worden. Deze stijging lijkt niet aannemelijk en

het anticiperen op een dergelijke stijging is dus riskant. Hierdoor blijven de kosten zoals gepresenteerd in Tabel 36 hetzelfde en is het investeren in twee extra machinelijnen aan te raden.

Doordat de ontwikkeling van de vraag naar cilinders na de eerste maanden een stijgende tendens vertoont, kunnen de investeringen (die een structureel karakter hebben) verantwoord worden. Op basis van het optimale scenario van de eerste twee maanden waarin de extra machinelijnen operationeel zijn, kan gesteld worden dat machine-investeringen terugverdiend worden in de opvolgende periode.

Bij het toepassen van het stochastische model wordt inzicht verkregen in de financiële consequenties bij een bepaalde capaciteitsinzet. Het deterministische model dat is afgeleverd bij Power Packer geeft alleen de gemiddelde bezettingsgraad per maand aan. Bij Power Packer wordt er bij een bezettingsgraad van 90% (op basis van 2-ploegendienst) getwijfeld over de inzet van een extra machinelijn. Uit de resultaten verkregen met de stochastische modellering blijkt dat de inzet van 3-ploegendienst een groot effect heeft op de capaciteit. Vandaar dat de variatie in de vraag opgevangen kan worden met de 3-ploegendienst. Machine-investeringen zullen bij een bezettingsgraad die lager is dan 100% (op basis van 2-ploegendienst) nog niet noodzakelijk zijn. Voor het bepalen van de machine-investeringen geniet het stochastische model duidelijk de voorkeur. Hiermee wordt de kans dat ondercapaciteit leidt tot boetekosten meegenomen en wordt de combinatie tussen extra arbeidskosten / boetekosten afgewogen tegen de extra machinekosten.

7.3 Aanbevelingen en nader onderzoek

De variatie in de vraag naar cilinders is bijzonder hoog. Het komt voor dat klanten de vraag naar eindsets bijstellen, waardoor deze 50% kan veranderen ten opzichte van de voorspelling een aantal maanden geleden. De beslissing tot machine-investeringen voor de cilinderassemblage wordt een stuk eenvoudiger indien deze variatie teruggedrongen wordt. Om de variatie in de vraag naar eindsets terug te dringen kan er vaker overlegd worden met de klant en eventueel door Power Packer geclaimd worden dat het wijzigen van de leveraantallen gevolgen heeft voor de kosten, aangezien de capaciteit daarop afgestemd moet worden.

Variabiliteit in het productiesysteem kan opgevangen worden door een combinatie van capaciteit, voorraad en tijd. In dit onderzoek is de voorraad vastgesteld en is de combinatie tussen het opvangen van variabiliteit met capaciteit en tijd onderzocht. De inzet van extra machinelijnen en het veranderen van de ploegendienst heeft betrekking op de factor capaciteit. Het accepteren van boetekosten heeft betrekking op het opvangen van variabiliteit met de factor tijd. Tijdens dit onderzoek is er niet uitgebreid ingegaan op het opvangen van variabiliteit in het productiesysteem door voorraad. Bij Power Packer wordt er voor het bepalen van de voorraad gevoelsmatig gewerkt. Voorraad wordt bij Power Packer ook als negatief ervaren, omdat dit kosten met zich meebrengt. Maar juist voorraad kan een oplossing zijn om variabiliteit in het systeem op te vangen. Het assembleren van cilinders op voorraad zou dan alsnog in beschouwing genomen kunnen worden. Voor een goede indicatie van de gevolgen van het verhogen van het voorraadvolume, zou er dynamisch gemodelleerd moeten worden.

Referenties

- Admiraal, E. *Overzicht kosten van installatie machinelijn* (2005)
- Askin, R.G. en Goldberg, J.B. *Design and Analysis of Lean Production Systems* (2002)
- Balci, O. *A Methodology for Certification of Modeling and Simulation Applications* ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation 11 (4): 352–377 (2001)
- Bertrand, J.W.M. e.a. *Productiebeheersing en material management*, 2^e druk (1998)
- Bowerman, B.L. en O`Connell, R.T. *Forecasting and time series*, 3^e druk (1993)
- Damhuis, E. *Presentatie "Strategie werkvloer"*; 8 Juni 2005
- DeMarco, J.J., Chetty, I.J. en Solberg, T.D. *A Monte Carlo tutorial and the application for radiotherapy treatment planning* Medical Dosimetry 27 (1): 43-50 (2002)
- Dorsman, A.B. *Vlottend Financieel Management; Analyse en planning*, 5^e druk (2000)
- Hinton, P.R. *SPPS Explained*, (2004)
- Hopp, W.J. en Spearman, M.L. *Factory Physics; Foundations of Manufacturing Management*, 2^e druk (2001)
- Kotler, P. *Marketing Management*; 11^e druk (2003)
- Law, A.M. en Kelton, W.D. *Simulation Modeling and analysis*, 3^e druk (1991)
- Miltenburg, J. *One-piece flow manufacturing on U-shaped production lines: a tutorial*; IIE Transactions (2001)
- Robinson, S. *Simulation model verification and validation: increasing the users` confidence* Proceedings of the 1997 Winter Simulation conference (1997)
- Robinson, S. *Succesful Simulation; A Practical Approach to Simulation Projects* Reader Universiteit Twente (2002)
- Slack, N. e.a. *Operations Management*, 4th edition (2004)
- Wiggemans, J. *Interview over Marketing & Development projecten*, 27-07-2005
- Wittwer, J.W. *Monte Carlo Simulation in Excel: A Practical Guide* Vertex42.com, (2004)
- www1(2006). *personenautoverkopen*, bekeken op 20-06-2006, <http://www.raivereniging.nl/download.asp?did=1306>
- www2(2005). *A world of motion control*, bekeken op 01-08-2005, <http://www.power-packer.nl>
- www3(2005). *Statistisch jaarboek 2005 CBS; Gemiddeld uurloon van werknemers* <http://www.cbs.nl/nr/rdonlyres/e6e0367e-94ba-4b05-9fb1-7d0c4f919f5c/0/2005a26pub.pdf>

Bijlage 1 Cilinders per eindset

In deze bijlage zijn de gegevens van de cilinders per eindset weergegeven. De kolommen in de tabel geven de informatie van de opbouw van de eindset. De eerste kolom geeft de naam van de eindset weer. De cilindertypes die onderscheiden worden, hebben een nummer (weergegeven in de tweede kolom). Iedere cilinder heeft een naam, hierbij worden duitse en engelse termen door elkaar gebruikt. De naam die gebruikt wordt, staat weergegeven in de derde kolom. Het aantal cilinders van het betreffende type dat benodigd is voor de assemblage van de eindset staat in de vierde kolom weergegeven. De vijfde kolom geeft de betreffende buisdiameter van de cilinder weer.

Eindset naam	Nr cilinder	Naam cilinder	Aantal	Ø (in mm)
VW Golf A5	DCD1-106584	Haupt 4-G Zyli	2	20
	DCD1-107562	VDKD Zyl. Links	1	22
	DCD1-107563	VDKD Zyl. Rechts	1	22
	DCD1-106715	C-Saule Zyli	2	14
	DCD1-106717	V-Zylinder	2	14
Volvo P15	DCD1-108129	Main Cylinder	2	22
	DCD1-108386	Roof Cylinder Left	1	20
	DCD1-108387	Roof Cylinder Right	1	20
	DCD1-106833	Trunk lid Cylinder	2	20
	DCD1-106718	TC Zylinder Li	1	14
	DCD1-106719	TC Zylinder Re	1	14
	DCD1-108142	RRL Cylinder R	1	14
	DCD1-108143	RRL Cylinder L	1	14
Ford Focus	DCD1-108144	L-FR Cylinder	1	14
	DCD1-107263	Main Cylinder	1	22
	DCD1-107264	Main Cylinder	1	22
	DCD1-108093	Trunk lid Cylinder	1	18
	DCD1-108094	Trunk lid Cylinder	1	18
Mitsubishi Colt	DCD1-107051	Latch Cilinder	1	14
	DCD1-106643	Main Cylinder Left	1	20
	DCD1-106609	Main Cylinder Right	1	20
	DCD1-106642	Trunklid Cyl.	1	20
Audi B7	DCD1-106608	Trunklid Cyl.	1	20
	DCD1-103040	Haupt Zylinder	2	18
	DCD1-101164	Spb. Zyl. L. 14/8	1	14
Mercedes A 209	DCD1-101165	Spb. Zyl. R. 14/8	1	14
	DCD1-104776	Haupt Zyl. Links	1	20
	DCD1-104777	Haupt Zyl. Rechts	1	20
	DCD1-104317	Buegel Zyl.	2	14
Peugeot T56	DCD1-104657	Verschluss Zyl.	1	16
	DCD1-104262	Haupt Zylinder	2	20
	DCD1-104263	Deckel zylinder	2	14
	DCD1-104264	Verschluss Zyl.	1	16

Eindset naam	Nr cilinder	Naam cilinder	Aantal	Ø (in mm)
SAAB P442	DCD1-104211	Main Cilinder left	1	18
	DCD1-104750	Main Cilinder Right	1	18
	DCD1-104733	Bow Cyl. Left	1	16
	DCD1-104735	Bow Cyl. Right	1	16
	DCD1-104169	Tonneau Cyl. Left	1	20
	DCD1-104751	Tonneau Cyl. Right	1	20
	DCD1-104462	Latch Cyl.	1	16
Renault E84	DCD1-105198	Main Cyl. Left	1	22
	DCD1-105197	Main Cyl. Right	1	22
	DCD1-104588	Tonneau Cyl. Left	1	16
	DCD1-104587	Tonneau Cyl. Right	1	16
	DCD1-106488	Verschluss Zyl.	1	16
BMW	BMW1	Main	2	20
	BMW2	VDKD	2	18
	BMW3	SHB	2	16
Volvo POT	Volvo1	Main	1	16
Ford Liftg.	Ford1	Main	1	16
Audi TT	DCD0808-83-98	Main Cylinder Left	1	20
	DCD0808-83-99	Main Cylinder Right	1	20

Bijlage 2 Eigenschappen van de cilinders

In deze bijlage worden de eigenschappen van de cilinders weergegeven. Er zijn een aantal extra bewerkingen die bij diverse cilinders voorkomen. In de eerste kolom staat de naam van de betreffende eindset weergegeven. De tweede kolom geeft het nummer waaraan de cilinder herkend kan worden. In de laatste kolommen staan de extra bewerkingen weergegeven. Als een extra bewerking uitgevoerd moet worden voor een cilinder, staat er een 1 in de betreffende cel.

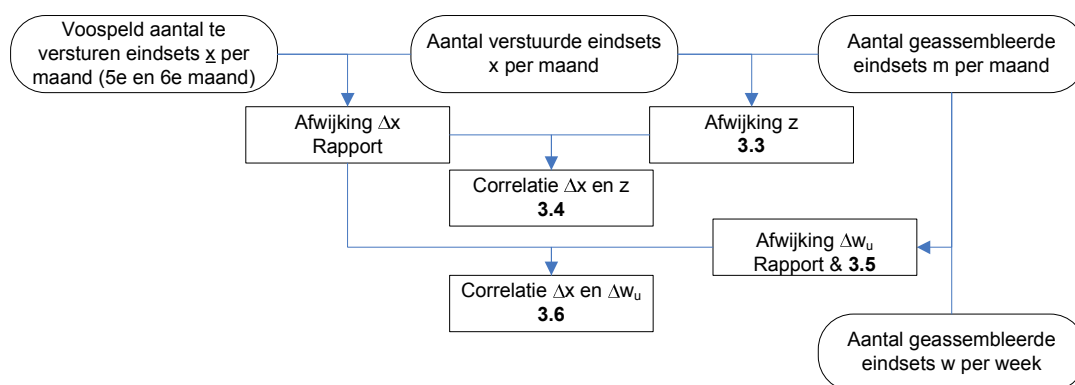
Eindset naam	Nr cilinder	Busje in Rod-end	Demper aan piston	Busje in Base	Invetten Rod-end	Inv. Rod-end en Base
VW Golf A5	DCD1-106584			1		
	DCD1-107562					
	DCD1-107563					
	DCD1-106715		1	1	1	
	DCD1-106717				1	
Volvo P15	DCD1-108129	1		1		
	DCD1-108386			1		
	DCD1-108387			1		
	DCD1-106833	1		1		
	DCD1-106718					1
	DCD1-106719					1
	DCD1-108142					1
	DCD1-108143					1
DCD1-108144					1	
Ford Focus	DCD1-107263			1		
	DCD1-107264			1		
	DCD1-108093			1		
	DCD1-108094			1		
	DCD1-107051					
Mitsubishi Colt	DCD1-106643		1	1		
	DCD1-106609		1	1		
	DCD1-106642			1		
	DCD1-106608			1		
Audi B7	DCD1-103040					
	DCD1-101164					
	DCD1-101165					
Mercedes A 209	DCD1-104776	1		1		
	DCD1-104777	1		1		
	DCD1-104317	1		1		
	DCD1-104657			1		
Peugeot T56	DCD1-104262	1	1	1		
	DCD1-104263					
	DCD1-104264			1		

Eindset naam	Nr cilinder	Busje in Rod-end	Demper aan piston	Busje in Base	Invetten Rod-end	Inv. Rod-end en Base
SAAB P442	DCD1-104211					
	DCD1-104750					
	DCD1-104733	1				
	DCD1-104735	1				
	DCD1-104169					
	DCD1-104751					
	DCD1-104462				1	
Renault E84	DCD1-105198			1		
	DCD1-105197			1		
	DCD1-104588			1		
	DCD1-104587			1		
	DCD1-106488			1		
BMW	BMW1					
	BMW2					
	BMW3					
Volvo POT	Volvo1					
Ford Liftg.	Ford1					
Audi TT	DCD0808-83-98					
	DCD0808-83-99					

Bijlage 3 Extra analyses van de variabiliteit in de vraag naar cilinders

3.1 Inleiding

In deze bijlage worden de extra analyses weergegeven die gebruikt zijn bij het bepalen van de variabiliteit in de vraag naar cilinders. Allereerst zal de dataverzameling toegelicht worden in 3.2. Hier wordt besproken welke gegevens gebruikt zijn bij het bepalen van de variabiliteit. In Figuur 39 is een overzicht weergegeven van de onderwerpen van 3.3 tot en met 3.6. De paragrafen in deze bijlage zijn vetgedrukt weergegeven. In 3.3 wordt de afwijking z bepaald. Dit is de afwijking tussen de verstuurde eindsets en de geassembleerde eindsets. Vervolgens wordt in 3.4 bepaald in hoeverre de afwijking Δx en z onderling afhankelijk zijn door het bepalen van de correlatie. In 3.5 wordt de wekelijkse afwijking per maand Δw_u verder toegelicht. Ten slotte wordt in 3.6 de correlatie tussen Δx en Δw_u bepaald.



Figuur 39 Overzicht van analyses over variabiliteit

3.2 Dataverzameling

Van de vijf merken (Audi B6, Renault E84, Peugeot T56, SAAB 442 en Mercedes A209) zijn drie soorten data verzameld, namelijk het aantal verstuurde eindsets, het aantal geproduceerde eindsets en de voorspelling van het aantal te versturen eindsets (12-maand voorspellingen).

1. Verstuurde eindsets

Het aantal verstuurde eindsets per maand is de meest complete dataset. Het aantal verstuurde eindsets is te achterhalen per maand vanaf september 2003. Voor Power Packer gaf dit in het verleden voldoende indicatie voor de prestatie van de eindassemblagelijnen. De specifieke productieaantallen waren in het verleden van ondergeschikt belang.

2. Geproduceerde eindsets

Vanaf juni 2005 wordt de prestatie van de eindassemblagelijnen nauwlettender in de gaten gehouden. Vanaf die datum zijn de geproduceerde aantallen en de prestatie van de dagen in die week in Excel bijgehouden. Op het moment van het verzamelen van data voor dit onderzoek zijn de data voor negen maanden verzameld (juni 2005 tm februari 2006)

3. Voorspelling van het aantal te versturen eindsets

De 12-maand voorspelling wordt sinds november 2003 opgesteld. Een uitgangspunt bij Power Packer is dat deze iedere maand wordt opgesteld. Er zijn echter vele voorspellingen niet meer terug te halen. De voorspelling die uit het verleden nog wel terug waren te halen, zijn verzameld. Hieruit bleek dat er 13 voorspellingen beschikbaar waren. Hierdoor is 13 keer de vijfde en zesde voorspelde maand bekend, de vijfde en zesde voorspelde maand variëren over een periode van maart 2004 tot en met februari 2006.

In Tabel 37 is weergegeven op welke maanden de tweede en derde dataset betrekking hebben. De tweede dataset betreft de geproduceerde aantallen. De geproduceerde aantallen zijn achterhaald van juni 2005 tot en met februari 2006. In de tabel zijn deze vetgedrukt weergegeven. De derde dataset betreft de 12-maand voorspellingen. Hierbij is het van belang op welke voorspelde maand deze betrekking hebben. In de kolommen staat de voorspelde maand t weergegeven. Met $t=1$ wordt de eerste voorspelde maand bedoeld. Als de voorspelde maand beschikbaar is, wordt dit weergegeven met een kruisje in de tabel. Voor de machine-investeringen zijn de 5^e en 6^e maand ($t=5$ en $t=6$) voornamelijk van belang. In de tabel zijn deze maanden gearceerd weergegeven.

Tabel 37 Beschikbare data

Mnd - Jr	Voorspelde maand t											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
nov-03	x											
dec-03	x	x										
jan-04		x	x									
feb-04	x		x	x								
mrt-04	x	x		x	x							
apr-04		x	x		x	x						
mei-04			x	x	x	x	x					
jun-04	x			x	x		x	x				
jul-04		x			x	x		x	x			
aug-04			x			x	x		x	x		
sep-04	x			x			x	x		x	x	
okt-04	x	x			x			x	x		x	x
nov-04	x	x	x			x			x	x		x
dec-04		x	x	x			x			x	x	
jan-05	x		x	x	x			x			x	x
feb-05	x	x		x	x	x			x			x
mrt-05	x	x	x		x	x	x			x		
apr-05		x	x	x		x	x	x			x	
mei-05	x		x	x	x		x	x	x			x
jun-05		x		x	x	x		x	x	x		
jul-05			x		x	x	x		x	x	x	
aug-05				x	x	x	x	x		x	x	x
sep-05	x				x		x	x	x		x	x
okt-05		x				x		x	x	x		x
nov-05			x				x		x	x	x	
dec-05				x				x		x	x	x
jan-06					x				x		x	x
feb-06						x				x		x

3.3 Vergelijking van de verstuurde eindsets met de geassembleerde eindsets

Voor het bepalen van de afwijking van het aantal geassembleerde eindsets ten opzichte van het aantal verstuurde eindsets, zijn twee datasets gebruikt. De eerste dataset is het aantal daadwerkelijk verstuurde eindsets. Hiervan zijn voor de vijf merken de maandelijkse aantallen bekend vanaf september 2003. De tweede dataset is het aantal geassembleerde eindsets per maand. Deze zijn vanaf juni 2005 bijgehouden. De data heeft betrekking op juni 2005 tot en met februari 2006. Dit zijn negen maanden. Voor vijf merken negen maanden is de relatieve afwijking z berekend ($N=45$). Deze relatieve afwijking z_t wordt als volgt berekend:

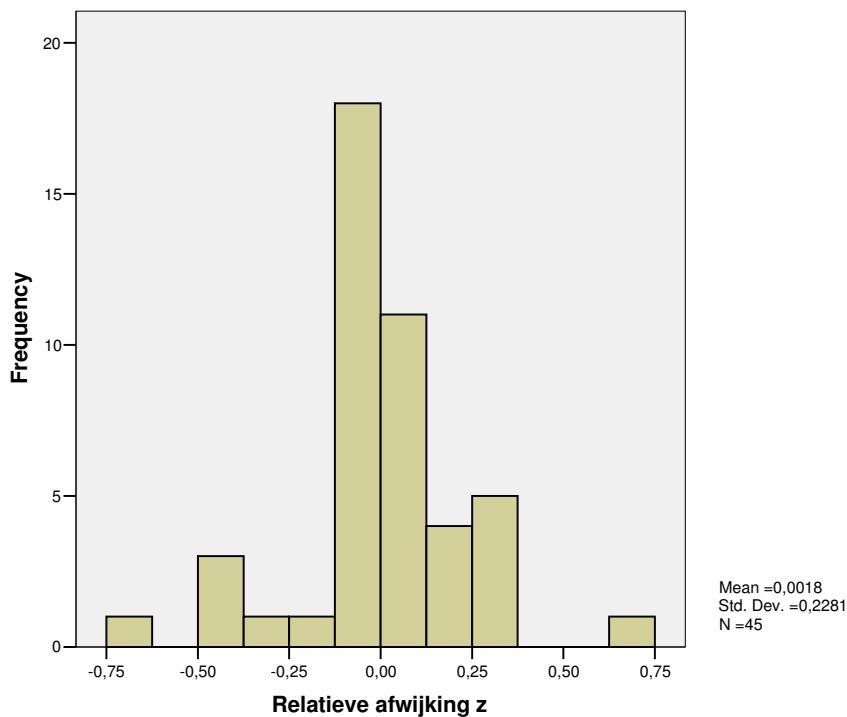
$$z_t = \frac{m_t - x_t}{x_t}$$

z_t = relatieve afwijking in maand t

m_t = aantal geassembleerde eindsets in maand t

x_t = aantal verstuurde eindsets in maand t

De enige verklaring voor de afwijking van het aantal geassembleerde eindsets ten opzichte van het aantal verstuurde eindsets is namelijk voorraad eindsets. Als er meer is geassembleerd dan verstuurd, wordt er voorraad gecreëerd. Als er minder is geassembleerd dan verstuurd, wordt er uit de voorraad geput. Als de maximale grootte van de voorraad eindsets drie dagen betreft, kan de maximale afwijking $3/20$ zijn (15%). In Figuur 40 is het histogram weergegeven waar de relatieve afwijkingen z weergegeven zijn.



Figuur 40 Histogram van relatieve afwijkingen z

De gemiddelde afwijking van z bedraagt $-0,0018$. Dit houdt in dat er $0,18\%$ minder eindsets zijn geproduceerd dan dat er verstuurd zijn. Het is logisch dat deze waarde nul benadert, aangezien er niet meer eindsets verstuurd kunnen worden dan dat er geproduceerd worden en de voorraad vrij constant blijft. Toch zijn er in het histogram een aantal uitschieters waarneembaar en zijn er meerdere significante afwijkingen. De standaarddeviatie van $22,8\%$ benadrukt dit.

De twee grootste afwijkingen zijn nader onderzocht. De twee uiterste waarden (0,71 en -0,65) zijn in twee opeenvolgende maanden tot stand gekomen. In januari 2006 is er voor het merk Renault meer geassembleerd dan verstuurd (+71%). De oorzaak hiervan was een wijziging in het afleverschema van de klant. Power Packer heeft de ploegendienst hier niet op aangepast en dus meer geassembleerd dan verstuurd. Hierdoor zijn er eindsets op voorraad geassembleerd, die de volgende maand gebruikt zijn om naar de klant te versturen. In februari 2006 werden er voor het merk Renault dus beduidend minder eindsets geassembleerd dan verstuurd (-65%). De wijziging in het klantschema was niet voorspeld. Uit de 12-maand voorspelling van september 2005 (januari 2006 is hierbij de vijfde voorspelde maand), was de afwijking Δx^5 gelijk aan -50%. Er waren dus 50% minder eindsets verstuurd dan voorspeld. De afwijking z is dus afhankelijk van de afwijking Δx .

3.4 Analyse van de correlatie tussen Δx^5 en z

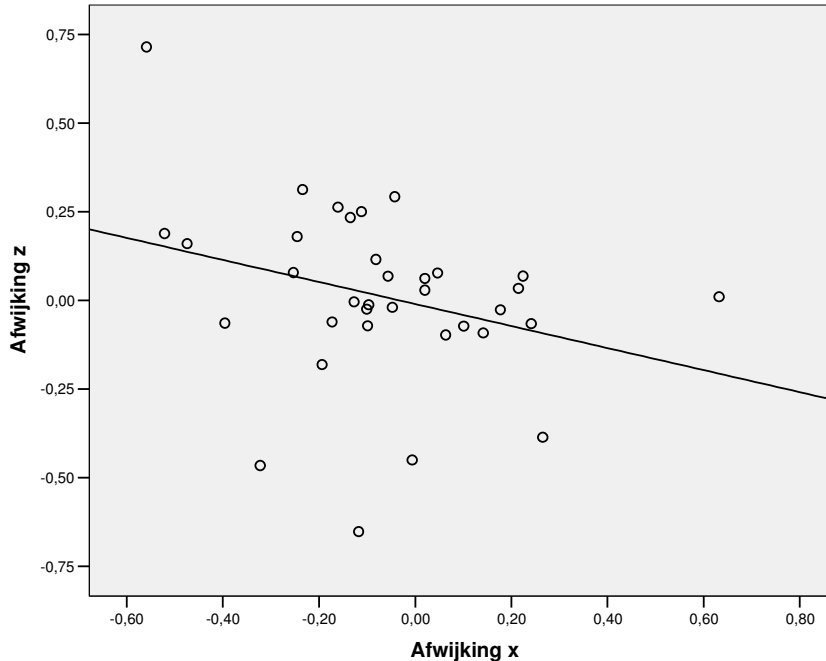
De afwijking die in het rapport behandeld is, betreft de afwijking van het aantal verstuurd eindsets ten opzichte van het voorspelde aantal te versturen eindsets Δx^t . In deze bijlage is nagegaan in hoeverre het aantal te versturen eindsets overeenkwam met het aantal geassembleerde eindsets. Hierbij is de afwijking z bepaald. Deze afwijking bleek veelal significant en bij de extreme waarde is aangetoond dat de afwijking z afhankelijk is van de afwijking Δx^t . In deze paragraaf wordt de correlatie onderzocht tussen Δx^t en z .

Hiervoor worden alledrie de datasets gebruikt. Uit

Tabel 37 is af te leiden dat er vijf waarnemingen zijn voor zowel de vijfde als de zesde voorspelde maand (van de negen maanden waarvan de productiegegevens bekend zijn). Deze vijf waarnemingen bevatten de gegevens van vijf merken. Hierdoor zijn er 25 waarden om te vergelijken. Doordat het verschil niet zo groot is tussen de afwijking ten opzichte van de vijfde of de zesde voorspelde maand, wordt voor deze analyse gebruik gemaakt van een combinatie van beide. Als de vijfde maand bekend is, wordt deze geprefereerd boven de zesde maand. Hierdoor is er van zeven maanden data te vergelijken (zie

Tabel 37).

In Figuur 41 op de volgende pagina is het spreidingsdiagram weergegeven waarin de relatieve afwijking Δx^t (voor $t=5$ of $t=6$) afgezet is tegen de relatieve afwijking z . Uit dit figuur is af te leiden dat de mogelijke afhankelijkheid negatief gecorreleerd is. Als Δx^t een lage waarde aanneemt (minder eindsets verstuurd dan voorspeld), dan zal de afwijking z hoog uitvallen (meer eindsets geassembleerd dan verstuurd).



Figuur 41 Spreidingsdiagram van afwijking y ten opzichte van afwijking x

Voor het toetsen van correlatie zijn meerdere methoden beschikbaar. Hinton e.a. (2004) beschrijven drie methoden: Pearson, Spearman en Kendall tau-b. Deze tests geven allen een uitkomst die varieert van -1 (wat een perfecte negatieve correlatie weergeeft) tot +1 (wat een perfecte positieve correlatie weergeeft). Indien de waarde nul aanneemt, geeft dit aan dat er helemaal geen correlatie is.

De Pearson test is een parametrische test. De overige twee methoden zijn niet parametrisch. Een parametrische test is krachtiger en maakt gebruik van de echte waarden. Een niet-parametrische test gebruikt minder veronderstellingen, maar baseert de analyse meer op de ranking van de waarden (Hinton, 2004).

Voor het uitvoeren van de parametrische Pearson test moet echter aan een aantal voorwaarden voldaan worden. Zo moet de relatie tussen de variabelen lineair zijn. Uit het spreidingsdiagram is af te leiden dat deze veronderstelling niet helemaal opgaat. Daarnaast is de tweede veronderstelling dat de punten gelijk verspreid zijn rond de veronderstelde lijn. Indien er uitschieters zijn, is de Pearson test geen betrouwbare test om uit te voeren. Uit het spreidingsdiagram is af te leiden dat er wel degelijk uitschieters zijn, vandaar dat er gekozen wordt om een ander type test uit te voeren, namelijk de Spearman test. Als er veel waarnemingen dicht bij elkaar liggen, wordt de correlatie coëfficiënt beïnvloed. Deze wordt dan door deze test hoger veronderstelt dan de correlatie in werkelijkheid is. In dit geval moet er gekozen worden voor de Kendall tau-b test (Hinton e.a., 2004). Uit het spreidingsdiagram is echter af te leiden dat er weinig waarnemingen echt dicht bij elkaar liggen en er wordt gekozen om de Spearman test uit te voeren.

De correlatie tussen Δx^t en z wordt negatief verondersteld. Een belangrijke oorzaak van de afwijking van het aantal verstuurd eindsets ten opzichte van het aantal geassembleerde eindsets was namelijk dat de klant op het laatste moment minder vraagt dan voorspeld. De afwijking Δx^t is dan negatief (minder eindsets verstuurd dan voorspeld) en de afwijking z is dan positief (meer eindsets geassembleerd dan verstuurd). Het spreidingsdiagram bevestigde deze veronderstelling. Doordat de richting van de correlatie bekend is, kan er eenzijdig getoetst worden. In Tabel 38 zijn de resultaten van de Spearman test weergegeven.

Tabel 38 Resultaten Spearman test op correlatie

			Afwijking x	Afwijking z
Spearman's rho	Afwijking x	Correlation Coefficient	1,000	-,329(*)
		Sig. (1-tailed)	.	,027
		N	35	35
	Afwijking z	Correlation Coefficient	-,329(*)	1,000
		Sig. (1-tailed)	,027	.
		N	35	45

* Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).

De Spearman test op correlatie geeft een correlatiewaarde van -0,329. Dit negatieve getal geeft aan dat er sprake is van negatieve correlatie. Het teken * geeft aan, zoals in de voetnoot is te lezen, dat de correlatie significant is voor een eenzijdige voorspelling. De werkelijke p-waarde is 0,027. Deze resultaten worden als volgt gepresenteerd:

$$r_s = -0,329, N=35, p < 0,05$$

Er is dus sprake van negatieve correlatie tussen de afwijking Δx en de afwijking z. Daarom zal als de afwijking Δx hoger uitvalt, de afwijking z lager uitvallen. Door de afhankelijkheid van de twee afwijkingen, zullen deze niet beide meegenomen worden bij het bepalen van de totale variabiliteit in de vraag naar cilinders per maand.

3.5 Analyses van de wekelijkse afwijking in de vraag naar cilinders

De variabiliteit in de vraag naar cilinders is niet alleen per maand te bepalen. Binnen een maand zijn er ook nog pieken en dalen waar te nemen in de vraag. Als de eindassemblagelijijn stilstaat, worden er geen cilinders gevraagd. Daarnaast speelt de efficiency van de eindassemblagelijijnen een belangrijke rol in de vraag naar cilinders. Voor het bepalen van de variabiliteit in de vraag naar cilinders in een maand, is in het onderzoek uitgegaan van de wekelijkse afwijkingen per maand. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de dagelijkse afwijkingen per week niet meegenomen worden in de beslissing tot inzet van extra machinecapaciteit.

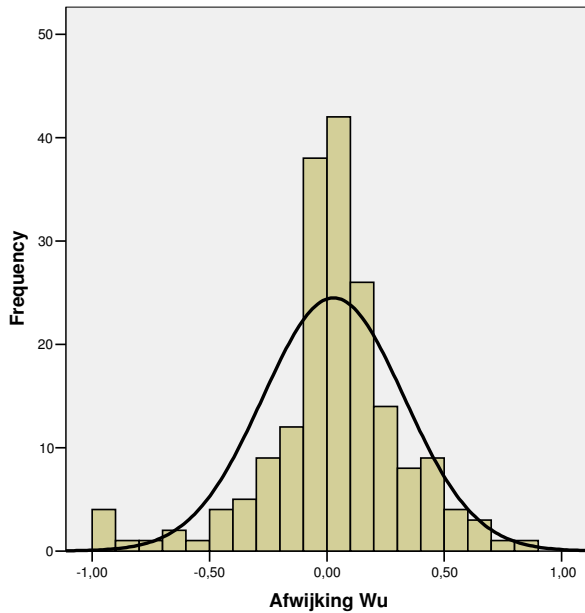
De maanden (t) en weken (u) waarvan de data geanalyseerd is, staan weergegeven in

Tabel 39. Hierbij zijn de weken toegeedeeld aan een bepaalde maand. Als er drie dagen of meer van een bepaalde week in de betreffende maand valt, wordt de week bij die maand ingedeeld. Zo is week 26 van kalenderjaar 2005 ingedeeld in de maand juni, aangezien deze grotendeels in deze maand valt.

Tabel 39 Indeling van de weken per maand

Maand (t)	jun `05	jul `05	aug `05	sept `05	Okt `05	nov `05	dec `05	jan `06	feb `06
Weken	22,23,24,	27,28,	31,32,	35,36,37,	40,41,	44,45,46,	49,50,	1,2,	5,6,7,
(u)	25,26	29,30	33,34	38,39	42,43	47,48	51,52	3,4	8

Van het merk SAAB zijn van de eerste twee weken (week 22 en 23) geen data bekend. Er is dus ook niet bekend hoeveel eindsets er in de maand juni `05 geassembleerd zijn. Deze maand wordt voor de analyse van de wekelijkse afwijking per maand voor het merk SAAB buiten beschouwing gelaten. Hoewel de productieaantallen ook van week 9 bekend zijn, worden deze buiten beschouwing gelaten, omdat er geen vergelijkingsmateriaal is van de maand maart `06. Hierdoor komt het totaal aantal weken die vergeleken kunnen worden neer op 185 ((38 weken x 5 merken) – 5 weken van SAAB). In totaal waren er dus 185 geldige waarden om te vergelijken. De resultaten van de verdeling van de afwijkingen staan weergegeven in het histogram in Figuur 42.



Figuur 42 Histogram van de wekelijkse afwijking per maand

Uit het histogram is af te leiden dat er veel waarnemingen rond het gemiddelde blijken te liggen. Verder kan de afwijking naar beneden niet kleiner zijn dan -1. Dit geeft namelijk aan dat er een 100% afwijking naar beneden was. Er is dus niets geproduceerd in de betreffende week. Minder dan niets kan er niet geproduceerd worden, dus zullen er geen waarden lager uitvallen dan -100%.

In Tabel 40 zijn de resultaten van de analyse van de afwijking w_u weergegeven. Hieruit blijkt dat het gemiddelde van de afwijking w_u ongeveer nul bedraagt. De nulwaarde ligt in ieder geval binnen het 95% betrouwbaarheidsinterval.

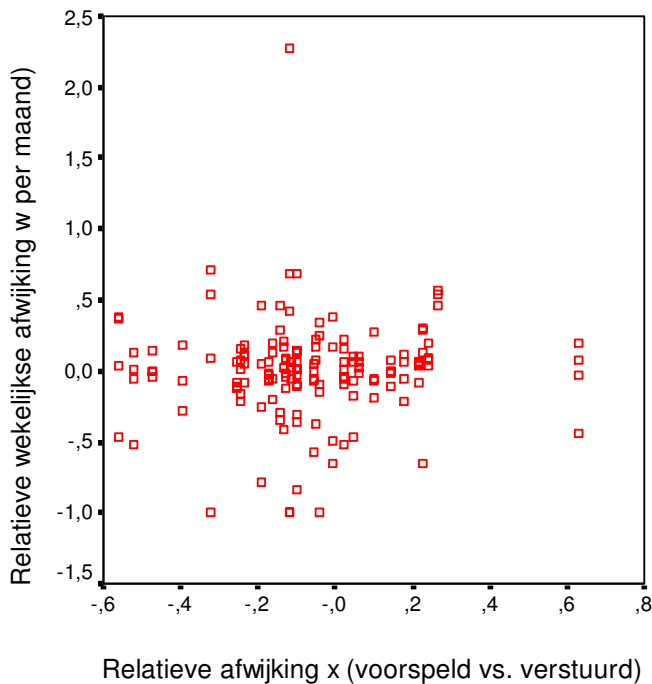
Tabel 40 Resultaten afwijking w_u

Afwijking w_u		
Gemiddelde		2,8%
95% Betrouwbaarheidsinterval	Ondergrens	-1,5%
	Bovengrens	7,2%
Standaarddeviatie		30,1%

3.6 Correlatie maandelijkse afwijking met afwijkingen binnen een maand

In deze paragraaf wordt besproken welke variabiliteit in de vraag naar cilinders relevant is voor dit onderzoek. Variabiliteit in de vraag naar cilinders per maand en variabiliteit in de vraag naar cilinders binnen de maand is al besproken. In deze paragraaf wordt nagegaan in hoeverre deze variabiliteit onderling onafhankelijk is. Er wordt antwoord gegeven op de vraag of er in een bepaalde maand waarin meer eindsets geassembleerd worden dan voorspeld, ook variabiliteit op kan treden binnen de maand.

De veronderstelling is dat er geen relatie is tussen de variabiliteit in de vraag naar cilinders per maand en de variabiliteit in de vraag naar cilinders in een bepaalde maand. Met behulp van een spreidingsdiagram is de eerste indicatie van de eventuele onderlinge afhankelijkheid te bepalen. Deze is weergegeven in Figuur 43.



Figuur 43 Spreidingsdiagram van relatie tussen variabiliteit per maand en variabiliteit binnen de maand

Op de x-as zijn de relatieve afwijkingen x^t weergegeven. Dit geeft de afwijking van het aantal daadwerkelijk verstuurd eindsets weer ten opzichte van de voorspelde waarde in die maand (5^e of 6^e maand). Een positieve waarde geeft aan dat er die maand meer eindsets verstuurd zijn dan voorspeld en voor een negatieve waarde geldt het tegenovergestelde. Iedere maand bestaat uit meerdere weken waarbij er niet iedere week evenveel geassembleerd wordt. Voor iedere week in een bepaalde maand is de afwijking ten opzichte van het wekelijks gemiddelde in die maand bepaald. Deze relatieve afwijking is weergegeven op de y-as.

Uit het spreidingsdiagram is af te leiden dat er een puntenwolk zonder enige trend lijkt te zijn. Bij een hoge relatieve afwijking x (zowel negatief als positief) is er niet een beduidend lagere relatieve afwijking binnen de maand te zien (relatieve wekelijkse afwijking per maand). Bij het bepalen van de correlatie tussen deze twee variabelen (relatieve afwijking per maand en relatieve wekelijkse afwijking per maand) is gebruik gemaakt van de Pearson's test op correlatie. In Tabel 41 zijn kort de belangrijkste resultaten weergegeven.

Tabel 41 Resultaten uit de Pearson correlatie test

Pearson Correlation	0,033
Sig. (2-tailed)	0,686

Uit deze tabel is af te leiden dat de correlatie 0,033 bedraagt. Een waarde die 1 zou benaderen geeft een perfecte afhankelijkheid tussen variabelen weer. Deze waarde is dus bijzonder laag en de correlatie is dus volgens de Pearson nauwelijks sprake van correlatie. Bovendien is de correlatie die er is niet significant bewezen. De waarde 0,686 geeft aan dat deze correlatie in 68,6% van de gevallen niet op zal treden.

Bijlage 4 Verdiscontering van de initiële investering

In deze bijlage wordt toegelicht hoe de initiële investering uitgedrukt kan worden in een vergelijkbare maandelijks negatieve kasstroom in de toekomst. Een investering op tijdstip 0 zorgt voor een negatieve kasstroom. In plaats van deze investering kunnen er ook negatieve kasstromen in de toekomst geaccepteerd worden (extra arbeidskosten of boetekosten). Het is niet juist om de investering evenredig over de terugverdienperiode te verdelen, negatieve kasstromen in de toekomst hebben namelijk een andere tijdwaarde dan een negatieve kasstroom op tijdstip 0. Om de vergelijkbare negatieve kasstromen in de toekomst te bepalen wordt gebruik gemaakt van de Netto Contante Waarde (NCW). Met de NCW worden toekomstige kasstromen uitgedrukt in de waarde die de kasstromen op tijdstip 0 hebben. Voor dit onderzoek is het juist van belang om de negatieve waarde op tijdstip 0 uit te drukken in negatieve kasstromen in de toekomst. Eerst zal de formule van de NCW toegelicht worden, waarna deze formule omgezet wordt om de gemiddelde negatieve kasstromen in de toekomst te kunnen bepalen.

De NCW wordt als volgt berekend (Dorsman, 2000; p.116-117):

$$NCW = CW - I_o = \sum_{(t=1, 2, \dots, n)} \frac{C_t}{(1+k)^t} - I_o \quad (1.1)$$

Waarbij:

NCW = netto contante waarde;

CW = contante waarde van de toekomstige vrije kasstromen;

C_t = kasstroom in periode t;

k = disconteringsvoet per periode;

I_o = initiële investering;

N = looptijd van het project.

Bij dit onderzoek wordt de looptijd van het project gezet op drie jaar. De contante waarde van de kasstromen in de toekomst worden dus als volgt bepaald:

$$CW = \frac{C_1}{(1+k)} + \frac{C_2}{(1+k)^2} + \frac{C_3}{(1+k)^3} \quad (1.2)$$

Voor dit onderzoek is het van belang om de toekomstige kasstromen C₁, C₂ en C₃ te bepalen. De gemiddelde waarde van deze kasstromen zal gebruikt worden voor het vergelijken van de initiële investering met de toekomstige arbeids –en boetekosten per maand.

De negatieve kasstroom in het tweede jaar is gelijk aan de negatieve kasstroom van het eerste jaar inclusief de rente. Hieruit volgt voor C₂ en C₃:

$$\begin{aligned} C_2 &= (1+k) * C_1 \\ C_3 &= (1+k) * C_2 \end{aligned} \quad (1.3)$$

Door alle waarden in C₁ uit te drukken wordt de contante waarde door een combinatie van de formules 1.2 en 1.3 als volgt berekend:

$$CW = \frac{C_1}{(1+k)} + \frac{C_1}{(1+k)} + \frac{C_1}{(1+k)} = \frac{3 * C_1}{(1+k)}$$

Bij dit onderzoek wordt als disconteringsvoet 5% per jaar gekozen. Deze wordt gebruikt bij Power Packer (Damhuis, 2005). De contante waarde (CW) op tijdstip 0 moet gelijk zijn aan de investering van een nieuwe machinelijn; in dit geval € 127.000,-.

C_1 wordt dan als volgt berekend:

$$127.000 = \frac{3 * C_1}{(1,05)} \rightarrow 3 * C_1 = 127.000 * 1,05 \rightarrow C_1 = \frac{133.350}{3} = 44.450 \text{ €}$$

Met behulp van formule 1.3 kan gemakkelijk C_2 en C_3 berekend worden. In Tabel 42 zijn de kasstromen in deze perioden weergegeven.

Tabel 42 Berekening negatieve kasstromen

Periode t	Berekening	Kasstroom C
1	= C_1	44,450
2	$44,450 * 1,05$	46,673
3	$46,673 * 1,05$	49,006

Deze kasstromen worden gebruikt voor de vergelijking van de investering met toekomstige negatieve kasstromen.

Bijlage 5 Verificatie van de invoerparameters

Voor het bepalen van de gevraagde productietijd wordt er een effectieve tact-tijd per cilinder en wordt het aantal cilinders ingevoerd dat gevraagd wordt. De effectieve tact-tijd is eveneens geheel deterministisch bepaald. De effectieve tact-tijd bestaat uit een combinatie van de tact-tijden, de omsteltijden en de batchgrootte. Deze variabelen zijn continu van aard, maar het bepalen van de correcte invoer van deze variabelen is eenvoudig te achterhalen. De vraag naar cilinders wordt met een normale verdeling ingevoerd. Het model genereert iedere run een willekeurig getal uit deze normale verdeling. Aan de hand van de gegenereerde data wordt nagegaan of deze inderdaad normaal verdeeld zijn. De vraag naar cilinders wordt bepaald uit de verwachte vraag naar eindsets. De verwachte vraag naar eindsets voor het merk Renault E84 in oktober 2006 is 3.100. De standaardafwijking bedraagt 685,1. Deze waarden zijn weergegeven in Tabel 43.

Tabel 43 Gegevens over de vraag naar eindsets van het merk Renault E84

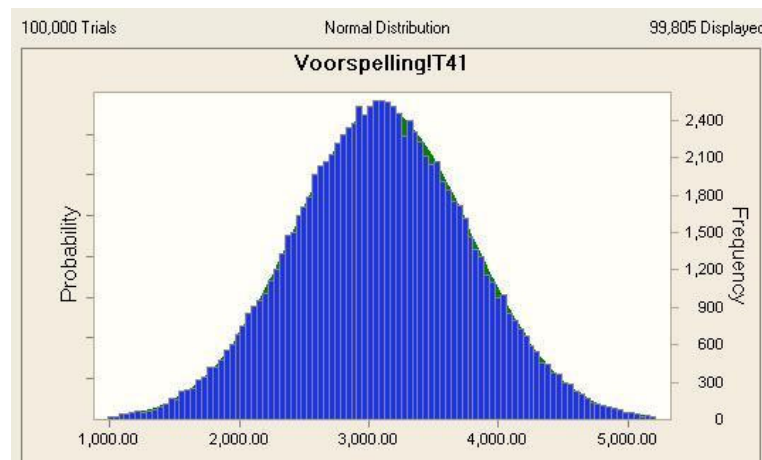
Okt. '06	Gemiddelde	Standaardafwijking
Renault E84	3100	685.1

Met 100.000 runs van het model worden de resultaten verkregen die weergegeven zijn in Tabel 44. De eerste kolom geeft aan wat er weergegeven wordt in de tabel. De tweede kolom geeft de gegenereerde waarde en de derde kolom geeft aan welke verdeling van de waarde er opgegeven is.

Tabel 44 Resultaten van de gevraagde productietijd met 100.000 runs

Statistic	Assumption values	Normal distribution
Trials	100.000	-
Mean	3.094	3.100
Standard Deviation	685,6	685,1

Uit deze resultaten is af te leiden dat de waarde zeer weinig van de veronderstelde verdeling afwijken. In Figuur 44 zijn de resultaten grafisch weergegeven.



Figuur 44 Resultaten van de gevraagde productietijd inclusief de verwachte verdeling

Uit deze grafiek is af te leiden dat de waarde die het meeste voorkomt iets hoger uitvalt dan 3.000. Dit strookt met het gemiddelde van 3.100. Achter de balkjes die de frequentie van de waarnemingen van de betreffende waarde weergeven, is de veronderstelde

verdeling nauwelijks te zien. Dit geeft aan dat de gegenereerde trekkingen overeenkomen met de veronderstelde verdeling.

Op basis van de statistische gegevens van de gegenereerde waarden en de grafische weergave is vast te stellen dat het model de ingevoerde verdeling prima uitvoert. De gegenereerde waarden komen direct overeen met de veronderstelde waarden.

Bijlage 6 Vereenvoudigde berekening van de bezettingsgraad

In deze bijlage wordt de bezettingsgraad berekend onder vereenvoudigde omstandigheden. Hierdoor wordt het model gecontroleerd. De eerste stap in het model is de vraag naar eindsets invoeren. Deze vraag voor 12 maanden is hieronder in tabelvorm weergegeven.

Merk eindset	Jun 2006	Jul 2006	Aug 2006	Sep 2006	Okt 2006	Nov 2006
Audi B7	2.228	1.728	1.600	1.500	1.600	1.700
Mercedes A209	1.600	1.324	1.072	1.600	1.700	1.700
Peugeot T56	2.940	2.880	1.000	2.500	2.500	3.000
Saab 442	1.952	1.450	464	1.500	1.500	1.500
Renault E84	3.900	2.500	1.602	3.800	3.100	3.100
VW Golf Cabrio	4.800	4.200	4.600	3.800	3.800	3.700
Volvo P15	1.540	160	2.060	1.700	1.700	1.700
Ford Focus	700	400	400	250	250	500
Mitsubishi Colt	1.420	1.120	600	1.000	1.000	1.000
Audi TT	100	500	1.000	-	250	500

Merk eindset	Dec 2006	Jan 2007	Feb 2007	Mrt 2007	Apr 2007	Mei 2007
Audi B7	1.100	2.400	2.700	2.800	2.800	2.700
Mercedes A209	1.400	1.400	1.500	1.500	1.500	1.500
Peugeot T56	2.000	2.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Saab 442	600	1.000	1.500	1.750	1.750	1.750
Renault E84	2.000	2.500	2.800	2.900	3.200	3.200
VW Golf Cabrio	3.000	3.600	3.900	3.900	4.200	4.200
Volvo P15	1.200	1.500	1.500	1.500	1.600	1.600
Ford Focus	1.000	1.250	1.500	2.000	2.500	2.500
Mitsubishi Colt	500	500	1.000	1.000	1.500	1.500
Audi TT	500	1.000	1.000	1.750	1.750	1.500

Iedere eindset heeft een bepaald aantal cilinders met een specifieke diameter. De vraag naar eindsets kan uitgedrukt worden in een totale vraag naar cilinders per diameter. In onderstaande tabel is deze exercitie uitgevoerd.

Ø (in mm)	Jun 2006	Jul 2006	Aug 2006	Sep 2006	Okt 2006	Nov 2006
22	21.880	14.520	17.324	19.100	17.700	18.000
20	34.624	25.828	26.912	29.600	30.300	31.600
18	9.760	7.156	4.928	6.500	6.700	7.400
16	22.096	16.054	8.270	20.000	18.000	18.500
14	41.136	29.864	36.444	35.150	35.550	36.600

Ø (in mm)	Dec 2006	Jan 2007	Feb 2007	Mrt 2007	Apr 2007	Mei 2007
22	14.400	17.700	19.400	20.600	23.000	23.000
20	21.800	26.000	31.800	33.800	36.800	36.300
18	5.400	9.300	11.400	13.100	14.100	13.900
16	11.200	13.900	17.400	18.450	19.350	19.350
14	28.000	34.750	39.000	39.700	41.900	41.700

In onderstaande tabel is een vereenvoudigde berekening weergegeven van de bezettingsgraad voor oktober 2006 voor alle vijf de diameterlijnen.

De vraag naar cilinders wordt per week uitgedrukt door het aantal cilinders per maand te delen door 4. Per cilinder wordt er een aparte assemblagetijd bepaald in het model. In deze vereenvoudigde berekening wordt per diameterlijn de gemiddelde assemblagetijd per cilinder berekend. Door de vraag naar cilinders te vermenigvuldigen met de gemiddelde tijd per cilinder, wordt de gevraagde productietijd verkregen. Deze worden in uren uitgedrukt.

Er wordt uitgegaan van één machinelijn per diameter en 2-ploegendienst. De OEE wordt gesteld op 84%. De totale beschikbare productietijd per diameter per week wordt hierdoor 65,1 uur (# machinelijnen * productietijd (2-ploegen) * OEE).

De laatste kolom geeft de verwachte bezettingsgraad weer.

Ø (in mm)	Okt 2006	per week				
		# cilinders	tijd / cilinder	vraag (in u)	beschikbare tijd (in u)	bezettingsgraad
22	17.700	4.425	34,7	42,6	65,1	65%
20	30.300	7.575	37,2	78,2	65,1	120%
18	6.700	1.675	33,8	15,7	65,1	24%
16	18.000	4.500	34,9	43,6	65,1	67%
14	35.550	8.888	35,1	86,7	65,1	133%

In onderstaande tabel zijn de bezettingsgraden per diameterlijn die berekend zijn onder vereenvoudigde omstandigheden, vergeleken met de bezettingsgraad uit het model. Uit deze tabel is af te leiden dat de bezettingsgraad goed overeenkomt. Voor cilinders met een buisdiameter van 20 en 14 mm is er een klein verschil waar te nemen. Dit wordt veroorzaakt doordat de assemblagetijd van de cilinders op deze lijnen meer varieert dan de andere. Hierdoor ontstaat er een verschil in de vereenvoudigde berekening omdat hier uitgegaan wordt van een gemiddelde tijd.

Ø (in mm)	Met het model	Simpele berekening	Δ bezettingsgraad
22	66%	65%	1%
20	124%	120%	4%
18	24%	24%	0%
16	67%	67%	0%
14	138%	133%	5%

Bijlage 7 Bepalen van het aantal runs met het model

Law en Kelton (2000; p. 525-527) beschrijven een methode om het aantal runs in een simulatie te bepalen. Er worden n onafhankelijke runs uitgevoerd. Hierbij worden er bij iedere replicatie nieuwe willekeurige nummers getrokken. Voor de eenvoud wordt de veronderstelling gemaakt dat er één prestatie-indicator interessant is, X_j . Law en Kelton (2000) gebruiken als voorbeeld voor X_j de gemiddelde vertraging van klanten in een bank. In dit onderzoek wordt de methode van Law en Kelton (2000) toegepast en wordt voor x_j de gevraagde productietijd van cilinders met een buisdiameter van 14 mm gebruikt. Dit is één van de vijf uitvoervariabelen in het model die stochastisch benaderd worden. Deze variabele wordt volgens dezelfde methode berekend als de overige vier variabelen en is dus representatief voor de uitvoervariabelen in het model.

Er kan een puntschatting opgesteld worden voor $\mu=E(X)$, waarbij X een willekeurige variabele is die betrekking heeft op een aantal runs. Door n onafhankelijke runs te genereren, worden de waarden X_1, X_2, \dots, X_n verkregen. $\bar{X}(n)$ is een schatting voor μ en wordt als volgt berekend:

$$\bar{X}(n) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

De variantie wordt als volgt berekend:

$$S^2(n) = \frac{\sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}(n)]^2}{n-1}$$

Er wordt een betrouwbaarheidsinterval opgesteld voor het gemiddelde. Hiervoor wordt de t verdeling gebruikt met $n-1$ vrijheidsgraden. Het betrouwbaarheidsinterval wordt als volgt berekend:

$$\bar{X}(n) \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{n}}$$

De hoeveelheid die wordt afgetrokken van en opgeteld bij het gemiddelde wordt de “half-length” van het betrouwbaarheidsinterval genoemd. Het is een indicatie van hoe goed μ bekend is. Law en Kelton (2000) tonen aan dat als n verhoogd wordt naar $4n$, dan zal de “half-length” verminderen met een factor twee.

Een manier om de fout te meten in de schatting van X is door middel van de absolute fout. De absolute fout β wordt als volgt berekend: $|\bar{X} - \mu| = \beta$

Zoals hierboven vermeld, wordt bij dit onderzoek voor X_j de waarde van de gevraagde productietijd gekozen. Deze waarde komt tot stand doordat er trekkingen verricht worden uit de normale verdeling voor het bepalen van de vraag naar cilinders. Indien van al deze verdelingen de ingevoerde verwachtingswaarde wordt gekozen, kan μ berekend worden van de totaal gevraagde productietijd voor cilinders met een buisdiameter van 14 mm. Deze verwachtingswaarde bedraagt 83,20449 uur. In Tabel 45 is een overzicht gegeven van meerdere runs. De resultaten van de gevraagde productietijd waar deze tabel op is gebaseerd, zijn onderaan deze bijlage weergegeven. In de eerste kolom staat het betreffende aantal runs n . De tweede kolom geeft de gemiddelde waarde $\bar{X}(n)$ weer. De derde kolom geeft de absolute fout β aan. Hieruit is af te leiden dat naarmate het aantal runs stijgt, de waarde van de

absolute fout daalt. Ditzelfde geldt voor de variantie die in de vierde kolom is weergegeven. De “half-length” in de vijfde kolom is bepaald op basis van de waarde van de t-verdeling met een α van 0,1. Dit houdt in dat er met 90% betrouwbaarheid te stellen is dat de afwijking van het gemiddelde maximaal β kan bedragen.

Tabel 45 Resultaten van de onbetrouwbaarheid van de gevraagde productietijd bij n runs

Gevraagde productietijd 14 mm				
n	X (n)	β (X(n)- μ)	S^2 (n)	“Half-length”
10	84.15	0.95	300.2	10.04
20	80.16	3.04	567.8	9.21
50	80.70	2.51	515.6	5.38
100	80.60	2.60	403.2	3.33
1.000	83.35	0.15	358.4	0.98
10.000	83.36	0.15	343.4	0.30
100.000	83.30	0.09	339.5	0.10

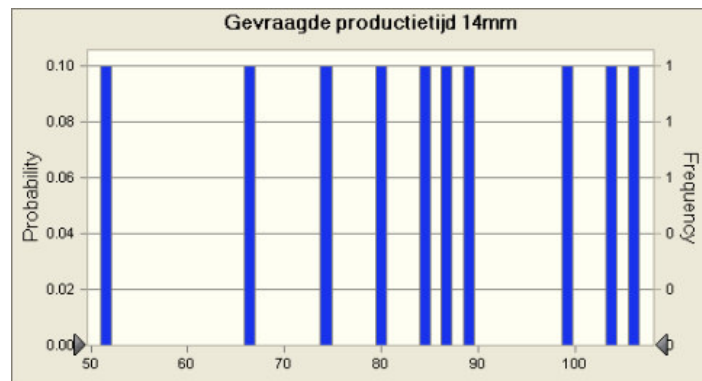
Law en Kelton (2000) stellen dat als verondersteld wordt dat de variantie niet zal veranderen naarmate het aantal runs stijgt, een geschatte uitdrukking voor het totaal benodigd aantal runs verkregen wordt door:

$$n_a^*(\beta) = \min \left\{ i \geq n : t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta \right\}$$

Dit houdt in dat het aantal runs toereikend is om te voldoen aan de gestelde betrouwbaarheid indien de “half-length” kleiner is dan β . Uit tabel Tabel 45 is af te leiden dat de “half-length” de absolute afwijking β benadert bij 100.000 runs. De Monte Carlo Simulatie zal afgestemd worden op dit aantal runs.

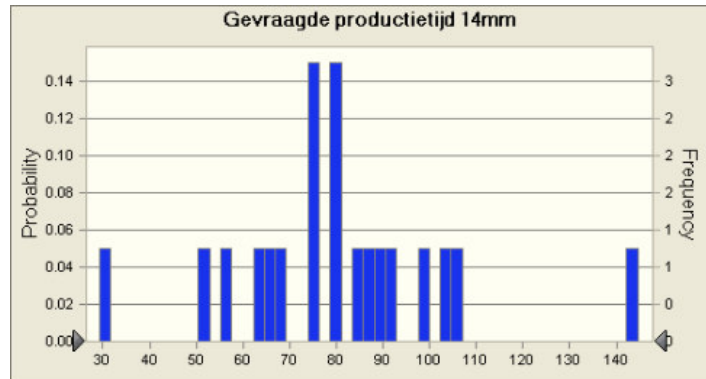
10 runs

Statistics:	Forecast values
Trials	10
Mean	84
Median	85
Mode	---
Standard Deviation	17
Variance	300
Skewness	-0.39286
Kurtosis	1.99
Coeff. of Variability	0.20590
Minimum	51
Maximum	107
Range Width	56
Mean Std. Error	5



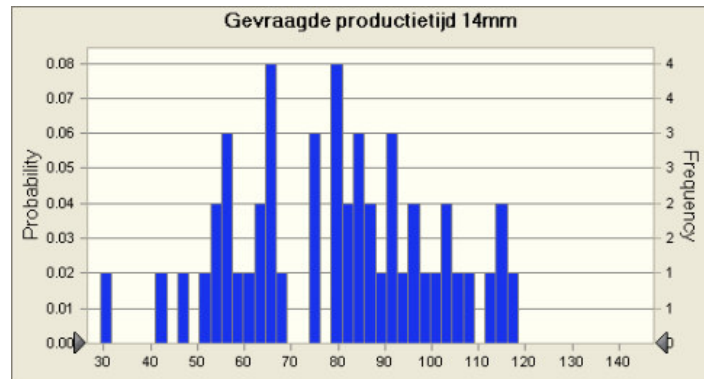
20 runs

Statistics:	Forecast values
Trials	20
Mean	80
Median	80
Mode	---
Standard Deviation	24
Variance	568
Skewness	0.47988
Kurtosis	4.05
Coeff. of Variability	0.29724
Minimum	29
Maximum	145
Range Width	115
Mean Std. Error	5



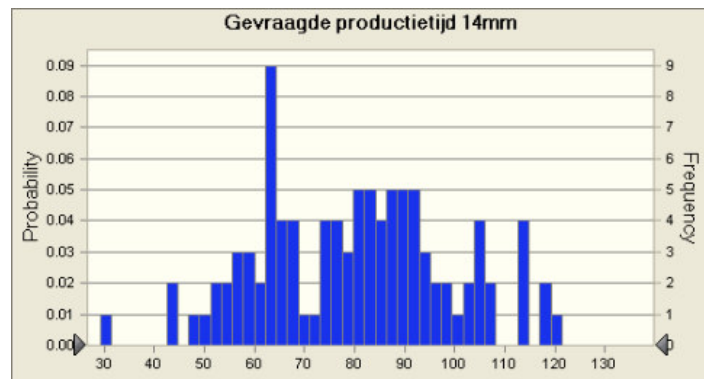
50 runs

Statistics:	Forecast values
Trials	50
Mean	81
Median	80
Mode	---
Standard Deviation	23
Variance	516
Skewness	0.23006
Kurtosis	2.88
Coeff. of Variability	0.28138
Minimum	29
Maximum	145
Range Width	115
Mean Std. Error	3



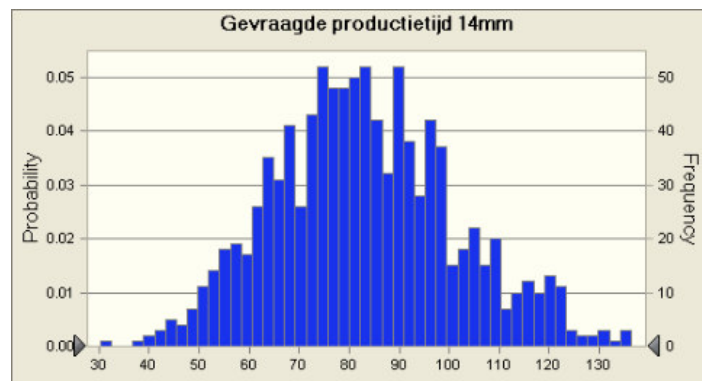
100 runs

Statistics:	Forecast values
Trials	100
Mean	81
Median	80
Mode	---
Standard Deviation	20
Variance	403
Skewness	0.25556
Kurtosis	3.05
Coeff. of Variability	0.24911
Minimum	29
Maximum	145
Range Width	115
Mean Std. Error	2



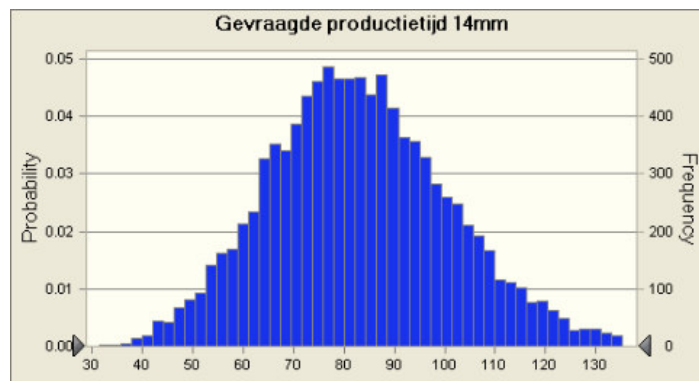
1.000 runs

Statistics:	Forecast values
Trials	1,000
Mean	83
Median	82
Mode	---
Standard Deviation	19
Variance	358
Skewness	0.34761
Kurtosis	3.23
Coeff. of Variability	0.22713
Minimum	29
Maximum	153
Range Width	124
Mean Std. Error	1



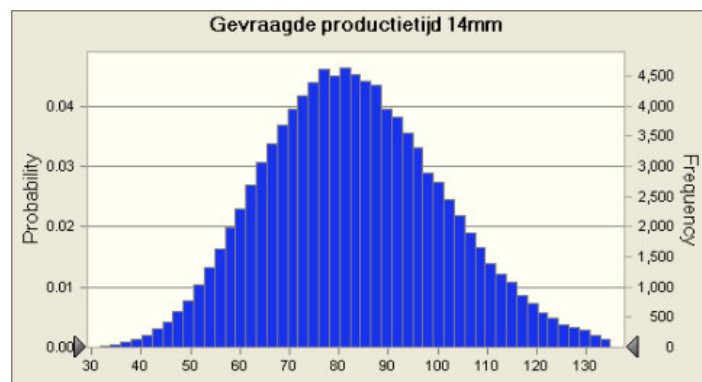
10.000 runs:

Statistics:	Forecast values
Trials	10,000
Mean	83
Median	82
Mode	---
Standard Deviation	19
Variance	343
Skewness	0.39616
Kurtosis	3.37
Coeff. of Variability	0.22229
Minimum	27
Maximum	174
Range Width	147
Mean Std. Error	0



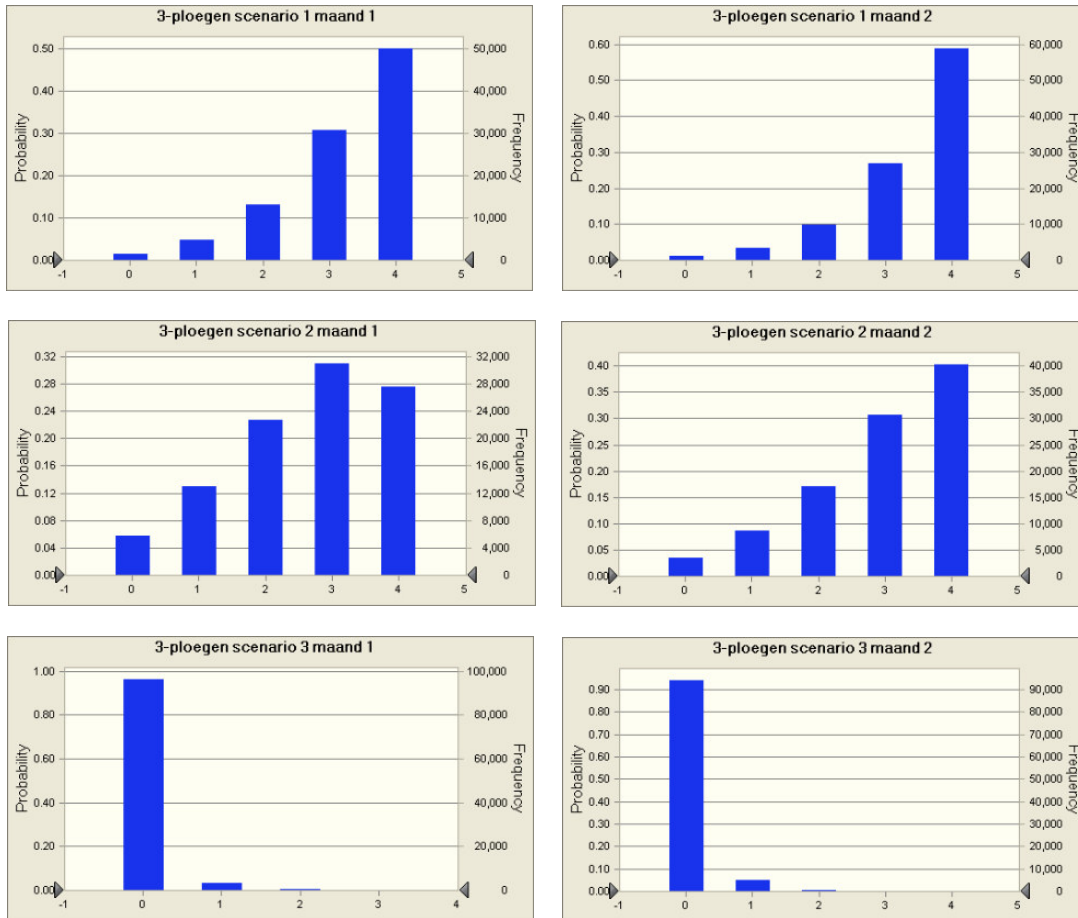
100.000 runs:

Statistics:	Forecast values
Trials	100,000
Mean	83
Median	82
Mode	---
Standard Deviation	18
Variance	339
Skewness	0.34764
Kurtosis	3.20
Coeff. of Variability	0.22119
Minimum	21
Maximum	197
Range Width	176
Mean Std. Error	0



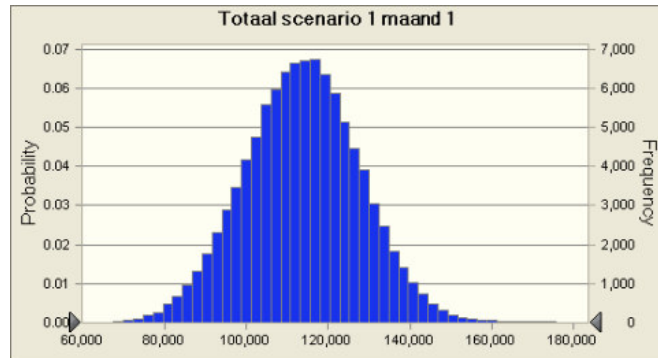
Bijlage 8 Aantal weken in 3-ploegendienst per scenario

In onderstaande figuren is de kans weergegeven dat er een bepaald aantal weken in 3-ploegendienst gewerkt moet worden. De eerste figuur linksboven geeft voor de eerste maand in het eerste scenario bijvoorbeeld aan dat er 50% kans is dat er vier weken in 3-ploegendienst gewerkt gaat worden. Bij het derde scenario dat in de onderste figuren is weergegeven, zal er zeer waarschijnlijk in 2-ploegendienst gewerkt kunnen worden.

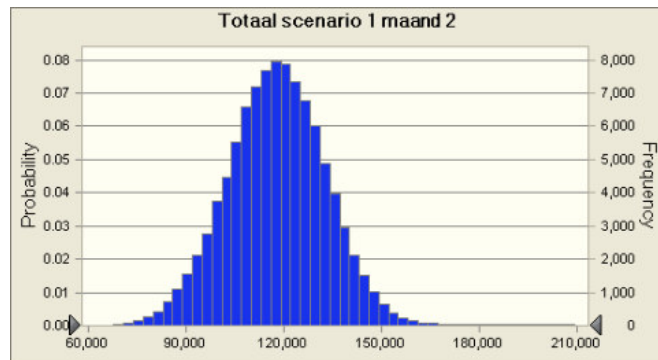


Bijlage 9 Spreiding van de totale kosten

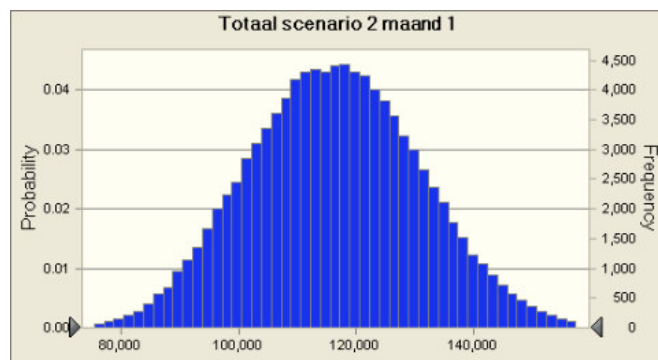
Totaal scenario 1 maand 1	
Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Mean	115.127
Median	113.868
Mode	---
Standard Deviation	23.306
Variance	543.151.798
Skewness	9
Kurtosis	150
Coeff. of Variability	0
Minimum	62.761
Maximum	982.955
Range Width	920.195
Mean Std. Error	74



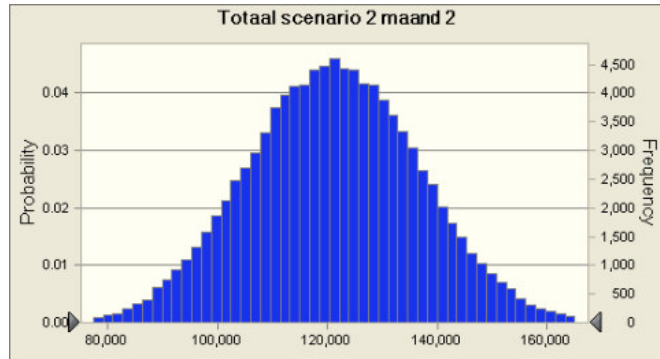
Totaal scenario 1 maand 2	
Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Mean	120.682
Median	118.187
Mode	---
Standard Deviation	31.671
Variance	1.003.040.879
Skewness	10
Kurtosis	177
Coeff. of Variability	0
Minimum	61.917
Maximum	1.352.647
Range Width	1.290.730
Mean Std. Error	100



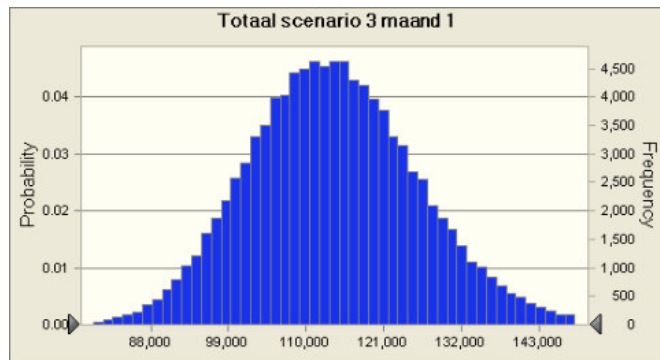
Totaal scenario 2 maand 1	
Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Mean	116.451
Median	116.285
Mode	---
Standard Deviation	14.646
Variance	214.493.819
Skewness	0,10
Kurtosis	2,85
Coeff. of Variability	0,13
Minimum	66.653
Maximum	179.823
Range Width	113.170
Mean Std. Error	46



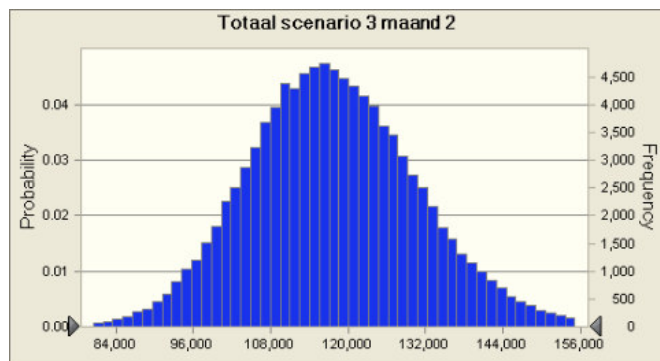
Totaal scenario 2 maand 2	
Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Mean	121.238
Median	121.159
Mode	---
Standard Deviation	15.680
Variance	245.862.817
Skewness	0,15
Kurtosis	3,89
Coeff. of Variability	0,13
Minimum	65.809
Maximum	376.288
Range Width	310.478
Mean Std. Error	50



Totaal scenario 3 maand 1	
Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Mean	113.938
Median	113.469
Mode	---
Standard Deviation	12.185
Variance	148.466.776
Skewness	0,28
Kurtosis	3,26
Coeff. of Variability	0,11
Minimum	70.545
Maximum	180.168
Range Width	109.623
Mean Std. Error	39



Totaal scenario 3 maand 2	
Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Mean	117.816
Median	117.184
Mode	---
Standard Deviation	13.349
Variance	178.191.610
Skewness	0,32
Kurtosis	3,36
Coeff. of Variability	0,11
Minimum	69.701
Maximum	187.043
Range Width	117.342
Mean Std. Error	42



Bijlage 10 Extra analyses bij gevoeligheidsanalyse

Om aan te geven welke invloed de onnauwkeurigheden in de data heeft op de resultaten, wordt er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De eerste exercitie die wordt uitgevoerd betreft het bepalen van het effect van de veranderingen van de batchgrootte, de omsteltijd en de tact-tijd bij het berekenen van de netto tact-tijd. In Tabel 46 zijn de resultaten hiervan weergegeven.

Tabel 46 Gevoeligheidsanalyse van de netto-tact tijd

Invoer	Δ invoer	Δ netto tact-tijd
Batchgrootte	10%	-0.20%
Omsteltijd	10%	0.23%
Tact-tijd	10%	9.77%

Een stijging van deze variabelen met 10% heeft de resultaten tot gevolg die in de derde kolom zijn weergegeven. Hieruit blijkt dat bij een stijging van de gemiddelde batchgrootte, de netto tact-tijd iets afneemt (-0,20%). Bij een stijging van de omsteltijd neemt de netto tact-tijd licht toe (0,23%). Veruit de meeste invloed op de netto tact-tijd heeft de tact-tijd, bij een stijging hiervan neemt de netto tact-tijd met 9,77% toe. Hieruit blijkt dat omsteltijd n batchgrootte zeer weinig invloed hebben op de netto tact-tijd.

De netto tact-tijd per cilinder wordt vermenigvuldigd met de vraag naar cilinders. Hieruit komt de gevraagde productietijd naar voren. Een stijging van de netto tact-tijd heeft dus een evenredige stijging van de gevraagde productietijd tot gevolg. Ditzelfde geldt voor de vraag naar cilinders.

De beschikbare productietijd is mede afhankelijk van de ploegendienst en het aantal machinelijnen per diameter. Dit zijn de beslisvariabelen en verandering van deze variabelen op de resultaten zullen in hoofdstuk 6 besproken worden. De beschikbare productietijd is echter ook afhankelijk van de Overall Equipment Effectiveness (van 84%). Een procentuele verandering van de OEE heeft tot gevolg dat de beschikbare productietijd evenredig veranderd. In Tabel 47 staat het effect van de verandering van de netto tact-tijd, de vraag naar cilinders en de OEE weergegeven.

Tabel 47 Gevoeligheidsanalyse van de gevraagde en beschikbare productietijd

Invoer	Δ invoer	Δ gevraagde productietijd	Δ beschikbare productietijd
Vraag naar cilinders	20%	20%	0%
Netto tact-tijd	20%	20%	0%
Overall Equipment Effectiveness	20%	0%	20%

Hieruit is af te leiden dat de procentuele stijging (of daling) de gevraagde productietijd of beschikbare productietijd evenredig beïnvloedt.

De invloed van stijging van de gevraagde productietijd op de bezettingsgraad is ook evenredig. Als de gevraagde productietijd met 10% stijgt, zal ook de bezettingsgraad met 10% stijgen. Voor de beschikbare productietijd gaat dit niet op. Een stijging van de beschikbare productietijd heeft een daling van de verwachte bezettingsgraad tot gevolg. Deze daling is niet evenredig met de stijging. In Tabel 48 is weergegeven hoe de bezettingsgraad beïnvloedt wordt bij verandering van de beschikbare en gevraagde productietijd.

Tabel 48 Gevoeligheidsanalyse van de bezettingsgraad

Invoer	Δ invoer	Δ bezettingsgraad
Δ gevraagde productietijd	10%	10%
	-10%	-10%
Δ beschikbare productietijd	10%	-9%
	-10%	11%

Uit Tabel 48 is af te leiden dat een daling van de beschikbare productietijd een groter effect heeft op de verandering van de bezettingsgraad dan een stijging van de beschikbare productietijd. Dit komt doordat de beschikbare productietijd in de noemer staat van de berekening van de bezettingsgraad.

De bezettingsgraad stijgt dus wanneer de gevraagde productietijd stijgt of de beschikbare productietijd daalt.