

Derde en afsluitende deel van de serie over de toepassing van DFM en DFA

# Boothroyd/Dewhurst methode geeft baar inzicht in samenstelling eind

In de voorgaande delen van deze serie maakten we kennis met de begrippen Design for Manufacturing (DFM) en Design for Assembly (DFA). Duidelijk werd dat de toepassing van deze ontwerpmethodieken leiden tot duidelijke kostprijsreducties. In dit derde deel van de serie maken we kennis met de Boothroyd/Dewhurst methode, waarin inzicht wordt verkregen in de assemblagehandelingen en -tijden die nodig zijn voor het samenstellen van een eindproduct en waar eventueel besparingen en optimalisaties in het ontwerp kunnen worden doorgevoerd. Tegen het eind van dit laatste deel maken we kennis met Failure Mode and Effect Analysis, kortweg FMEA. Net als DFA is dit een systematische manier om een product te analyseren, het eventueel falen te beschrijven en de ernst daarvan in te schatten.

door Tom Kieboom, senior designer producibility bij MMID full service design team B.V. (eindredactie Hugo van der Horst)

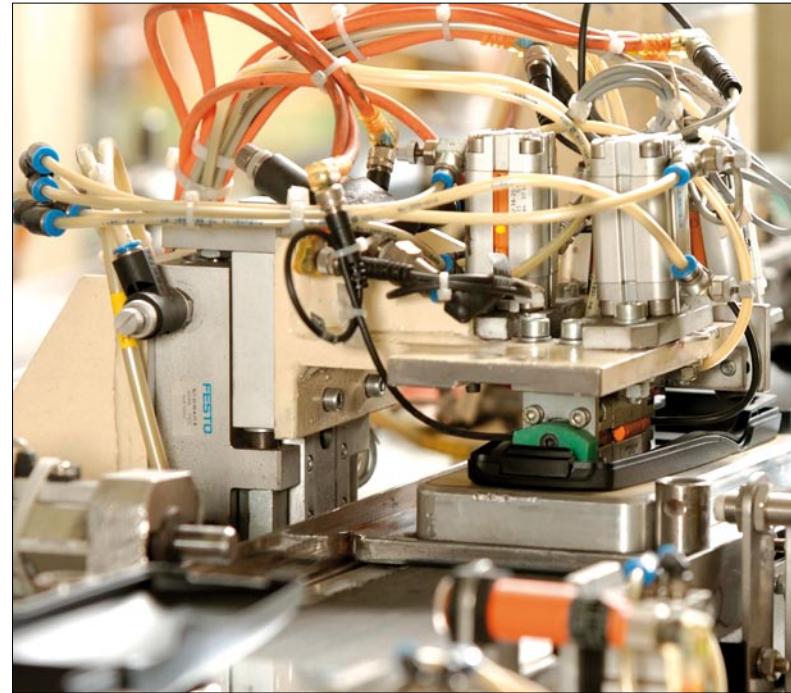
DFA begint met bewustwording van het belang. Vervolgens kunnen eenvoudige regels helpen bij het realiseren van een verbeterd productontwerp. Een volgende stap in het toepassen van DFA is het gebruiken van tools en software. In de figuur vindt u een beschrijving van de (wereldberoemde) Boothroyd/Dewhurst methode, waarin het doorlopen van een aantal stappen leidt tot een overzicht van alle assemblagehandelingen die nodig zijn voor het

samenstellen van een eindproduct en waarmee je een inschatting kunt maken van de bijbehorende assemblagetijden. Tevens geeft deze uitsplitsing inzicht in waar eventueel besparingen en optimalisaties in het ontwerp kunnen worden doorgevoerd.

De analyse werkt volgens een aantal stappen, die hierna kort beschreven worden.

### Stap 1: de voorbereiding

Om de analyse goed uit te kun-



nen voeren is het van belang eerst voldoende informatie over het product te verzamelen. Denk hierbij aan technische tekeningen, exploded views of een prototype. De analyse bestaat uit het beschrijven en waarderen van iedere stap in het assemblageproces: onderdelen en benodigde bewerkingen tijdens de assemblage. Het is daarom nodig van tevoren de volgorde van montages en

bewerkingen eenduidig vast te leggen. Dit kan gevisualiseerd worden in een montageschema. In dit schema kan iedere stap geïdentificeerd worden met een naam en nummer.

### Stap 2: het invullen van de werkbladen

Nu alle stappen van het assemblageproces bekend zijn kunnen de kolommen van het werkblad worden ingevuld.



| 1      | 2                            | 3                | 4                               | 5                           | 6                   | 7           | 8                                    | 9                         | 10                         |
|--------|------------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------|--------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Nummer | Aantal identieke handelingen | $\alpha + \beta$ | Codering grijpen en voorrichten | Tijd grijpen en voorrichten | Codering assemblage | Montagetijd | Totale montagetijd $(2) * (5) + (7)$ | Minimum aantal onderdelen | Omschrijving               |
| 1      | 1                            | 270              | 3                               | 1.7                         | 6/0                 | 5.5         | 7.2                                  | 1                         | Plaatsen onderzijde kastje |
| 2      | 1                            | 180              | 6                               | 2.2                         | 9/1                 | 10          | 12.2                                 | 1                         | Plaatsen bovenzijde        |
| 3      | 4                            | 180              | 1                               | 1.4                         | 9/3                 | 8           | 37.6                                 | 0                         | Dichtschroeven (4x)        |

De Boothroyd/Dewhurst methode geeft een overzicht van alle assemblagehandelingen.

# leef bruik- product



Ook bij geautomatiseerde assemblage is Design for Assembly (DFA) van groot belang. Foto: Rompa.

Elke kolom representeert een aspect van de montagestap:

- Kolom 1: identificatie van de montagestap.
- Kolom 2: het aantal identieke handelingen (bijv. vier keer een schroef indraaien).
- Kolom 3: de mate van oriëntatie van een onderdeel (hoe hoger getal, hoe langer het duurt om de juiste oriëntatie te bereiken).
- Kolom 4: classificatie met betrekking tot het grijpen en oriënteren van onderdelen (is het zwaar of licht, groot of klein, kun je het met één hand oppakken, is gereedschap noodzakelijk, enzovoort).
- Kolom 5: de tijd nodig voor grijpen en oriënteren (eindresultaat van waarden in kolom 3 en 4, waarmee een opzoektafel geraadpleegd wordt).
- Kolom 6: classificatie met betrekking tot handmontage (bereikbaarheid van de

montageplaats, benodigde krachten voor het monteren, extra handelingen voor fixatie, enzovoort).

- Kolom 7: de montagetijd (eindresultaat van waarden in kolom 6, waarmee opzoektafel geraadpleegd wordt).

Bovengenoemde kolommen resulteren uiteindelijk in een totale assemblage- of bewerkingstijd, die te vinden is in kolom 8. Dit is de tijd voor grijpen en oriënteren plus de tijd voor monteren, vermenigvuldigd met het aantal identieke handelingen, ofwel:

Kolom 8 = (kolom 5 + kolom 7) \* kolom 2

Door alle waarden van kolom 8 bij elkaar op te tellen wordt de totale assemblagetijd gevonden.

Nu deze tabel bekend is komt een belangrijk onderdeel van de analyse aan de orde, namelijk de verdere verwerking van deze resultaten.

### Theoretisch minimum aantal onderdelen (kolom 9)

Aan de hand van de ingevulde tabel kan het 'theoretisch minimum aantal onderdelen' worden bepaald. Beantwoord — ongeacht de praktische beperkingen — voor elk onderdeel van het product de volgende vragen:

- Beweegt het onderdeel ten opzichte van andere onderdelen die al zijn gemonteerd en wel op zodanige wijze dat de beweging niet kan worden opgevangen door plastische of elastische materiaaleigenschappen?
- Is het essentieel dat het onderdeel van een ander materiaal wordt vervaardigd, of is het noodzakelijk dat het geïsoleerd wordt van andere onderdelen die reeds gemonteerd zijn? Alleen fundamentele redenen die

betrekking hebben op materiaaleigenschappen mogen hier geaccepteerd worden.

- Moet het onderdeel gescheiden zijn van alle reeds gemonteerde onderdelen omdat anders de montage of demontage van andere onderdelen onmogelijk wordt?

Indien het antwoord op alle vragen 'nee' is, kan het betreffende onderdeel in principe weggelaten of geïntegreerd worden. In kolom 9 kan dan het aantal onderdelen ingevuld worden (kolom 2), verminderd met het aantal onderdelen dat volgens bovenstaande redenering kan worden weggelaten.

Als op één van de vragen 'ja' geantwoord is, dan blijft het aantal onderdelen gelijk en wordt in kolom 9 hetzelfde getal als in kolom 2 ingevuld.

In dit kader zal vooral kritisch gekeken moeten worden naar bevestigingsonderdelen en veren. Voor beiden is het vaak mogelijk deze te integreren in andere onderdelen. Denk bijvoorbeeld aan klikverbindingen in spuitgietonderdelen.

### Stap 3: aangeven problemen in montageschema

De resultaten van de analyse kunnen visueel worden aangegeven in het montageschema. Dit kan bijvoorbeeld als volgt gedaan worden:

- Aantal onderdelen: Omcirkel alle volgnummers in het schema waarvoor geldt dat het theoretisch aantal onderdelen lager is dan het daadwerkelijke aantal onderdelen.
- Tijd voor grijpen en voorrichten: Kies een drempelwaarde om de verbeterpunten te bepalen; markeer in het montageschema alle lijnstukjes met tijden die hoger zijn dan de drempelwaarde. Een typische drempelwaarde ligt tussen 3 en 5 seconden.
- Tijd voor handmontage:

Kies ook hier een drempelwaarde; markeer de lijnstukjes met tijden hoger dan de drempelwaarde (gebruik een andere markering!).

Nu alle informatie van het huidige ontwerp beschikbaar is en alle verbeterpunten in het montageschema aangegeven zijn, kunnen we beginnen met het doorvoeren van verbeteringen.

### Stap 4: verminderen van het aantal onderdelen

Dit is de belangrijkste stap voor het herontwerp; niets is sneller en goedkoper te monteren dan een onderdeel dat er niet is. Kijk kritisch naar alle omcirkelde volgnummers en overweeg welke mogelijkheden er zijn om tot een kleiner aantal onderdelen te komen.

### Stap 5: wijzigen van onderdelen

Met behulp van de tabellen kan bij elk onderdeel onderzocht worden wat de belangrijkste oorzaak is van de totale assemblagetijd en hoe deze mogelijk verlaagd kan worden door het onderdeel aan te passen. Wellicht kan het onderdeel symmetrisch uitgevoerd worden (snellere oriëntatie) of een extra zoekkant krijgen, zonder dat de functie wordt aangetast.

### Stap 6: invullen van werkbladen voor het aangepast ontwerp

Nu de verschillende wijzigingen in het ontwerp zijn doorgevoerd kunnen voor het verbeterde ontwerp dezelfde werkbladen opnieuw worden ingevuld. Door het oorspronkelijke ontwerp met het vernieuwde ontwerp te vergelijken, wordt een goed beeld verkregen van de veranderingen. Indien van het oorspronkelijke ontwerp reeds assemblagetijden uit de praktijk bekend zijn, kan de mogelijke verbetering van het vernieuwde ontwerp het best worden uitgedrukt in percentages.



### Stap 7: opstellen van een nieuw assemblageschema

Met de nieuwe werkbladen kan opnieuw een assemblageschema worden opgesteld, waarmee de overblijvende problemen in het verbeterde ontwerp worden aangegeven.

### Een volledig nieuw concept-idee!

Het is goed mogelijk dat tijdens de analyse een idee ontstaat voor een geheel nieuw concept. Het gevaar bestaat dan om enthousiast met het nieuwe idee aan de slag te gaan en de analyse niet volledig af te maken. In de praktijk blijkt dat het nuttig is eerste de analyse af te ronden. Mogelijk ontstaan verderop nog meer goede ideeën of komen extra aandachtspunten aan het licht die kunnen helpen bij uitwerking van het nieuwe idee. Uiteraard dient ook van het nieuwe concept een nieuwe analyse gemaakt te worden, waarmee wederom verbeteringen kunnen worden doorgevoerd.

### Beschikbare software

Bovengenoemde analysemethode gaat uit van het handmatig invullen van allerlei tabellen en schema's. Hoewel dit voor eenvoudige productsamenstellingen nog goed uitvoerbaar is, zal blijken dat tabellen bij gro-

In nauwe samenwerking met Heineken Brouwerijen en diverse gespecialiseerde toeleveranciers ontwikkelde MMID het innovatieve biervat dat deel uitmaakt van het thuis-tapsysteem van Heineken, de BeerTender. Dit gebruiksvriendelijke product voldoet aan de uiterst strenge kwaliteitseisen van Heineken en is geschikt voor massaproductie, grootschalige verwerking en retourgebruik.

tere assemblages al snel zeer groot worden. Uiteraard is een dergelijke analyse ideaal voor verwerking in de computer. Niet alleen kan een tabel sneller compleet gemaakt worden, ook worden eventuele knelpunten duidelijker zichtbaar. De Boothroyd/Dewhurst methode is ook beschikbaar als softwarepakket ([www.dfma.com](http://www.dfma.com)).

### Extra effecten van DFA

Design for Assembly wordt vrijwel altijd geïnitieerd vanuit kostprijsoverwegingen. Besparen op assemblagetijd levert een lagere kostprijs voor het eindproduct op, maar er is meer! De focus op assemblage leidt vrijwel altijd tot een toename van de kwaliteit en betrouwbaarheid van het product en een besparing van benodigde middelen en de onderdeelinventaris. DFA biedt ruimte voor extra productiecapaciteit met gelijkblijvende middelen. Met andere woorden; er kunnen meer producten gefabriceerd worden, zonder te investeren in extra gereedschappen of medewerkers.

### Minder onderdelen, minder risico: FMEA

In het ontwerpproces is het erg belangrijk rekening te houden met de veiligheid van de eindgebruiker. Zo werd het biervatje voor de BeerTender, dat MMID in samenwerking met Heineken heeft ontwikkeld uitvoerig getest op falen door overdruksituaties, om op die manier absoluut veilige producten in de winkels te zetten. Maar hoe weet je of je alle

risico's daadwerkelijk hebt bekeken? Een methode hiervoor is de Failure Mode and Effect Analysis, kortweg FMEA. Net als DFA is dit een systematische manier om een product te analyseren. In dit geval wordt het eventueel falen beschreven en wordt een inschatting van de ernst daarvan gemaakt. Er zijn twee soorten FMEA, te weten een product-FMEA en een proces-FMEA. Beiden worden hieronder beknopt beschreven.

### Product-FMEA

In een product-FMEA wordt gekeken naar een afgeleverd product dat in gebruik is door de klant. Allereerst wordt een stuklijst opgesteld, waarin elk onderdeel wordt benoemd. Vervolgens worden de functies voor ieder onderdeel getoeterd. Hierna wordt gekeken welk defect deze functie zou kunnen belemmeren, wat het gevolg hiervan is en wat een mogelijke oorzaak van het de-

fect kan zijn. Tot slot wordt per regel een urgentie aangegeven. Deze urgentie (of prioriteit) wordt bepaald door drie factoren:

- Ernst: dit geeft aan hoe groot de gevolgen zijn bij optreden (afhankelijk van het product kan '5' betekenen 'de dood tot gevolg hebbend');
- Kans van optreden: dit specificeert hoe vaak een dergelijk defect te verwachten is;
- Kans van niet detecteren: dit geeft aan of het defect direct gesignaleerd wordt door de gebruiker of dat dit onopgemerkt blijft.

Voor bovengenoemde getallen wordt meestal een schaal van 1-5 gekozen, waarmee voor de urgentie een schaal van 1 tot 125 (5x5x5) zal ontstaan. Met behulp van een drempelwaarde kan bepaald worden welke risico's zo belangrijk zijn dat het ontwerp aangepast dient te worden.

Uiteraard zal hier uiterst be-

Projectnaam en nummer  
klantnaam  
Datum  
Naam opsteller

| Product FMEA |                   |                                                          |                                                                            |                                 |
|--------------|-------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| No           | Part/<br>sub-assy | Part-functie                                             | Defect<br>(tekortkoming)                                                   | P<br>(m                         |
| 1            | stuur             | kunnen sturen                                            | niet meer kunnen sturen door<br>breuk van de stuurpen                      | fietser<br>fiets is<br>functio  |
| 2            | stuur             | opvangen van een<br>deel van het gewicht<br>bovenlichaam | niet meer op kunnen vangen<br>gewicht vanwege doorbuigen<br>van het stuur  | fiets is<br>functio<br>klant is |
| 3A           | stuur             | vastzetten van<br>remgrepen (ed)                         | niet meer vast kunnen zetten<br>van handremgrepen vanwege te<br>dikke buis | fiets is<br>product             |
| 3B           | stuur             | vastzetten van<br>remgrepen (ed)                         | niet meer vast kunnen zetten<br>van handremgrepen vanwege te<br>dikke buis | fiets is<br>product             |
| 4            | stuur             | grijpkracht bij                                          | geen grijpkracht meer over                                                 | klant is                        |

Voorbeeld van een Product FMEA.

hoedzaam mee omgegaan moeten worden! De ontwerper maakt zelf de risico-inschattingen en bepaalt tevens de drempelwaarde. Hiermee is het dus geen absolute wetenschap, die elk risico uitsluit. Hieronder een eenvoudig voorbeeld van een dergelijke tabel, waarin de risico's voor een fietsstuur zijn bekeken.

### Proces-FMEA

In een proces-FMEA wordt niet het product zelf, maar het proces waarmee een product tot stand komt onder de loep genomen. Hiermee sluit deze analyse direct aan bij de DFA. Ook hier wordt gestart met een stuklijst van een product, echter nu wordt per onderdeel bekeken wat er mis kan gaan bij het fabriceren en assembleren ervan. Enkele defecten waar aan gedacht kan worden:

- Lassen: een lasverbinding wordt wel gehecht, maar wordt nooit afgelast.
- Poedercoaten: ontvetten ge-

beurt niet goed, waardoor de coating loslaat.

- Schroeven: een boutverbinding wordt niet aangedraaid, of een moertje wordt vergeten.
- Plaatsen van onderdelen: een onderdeel wordt verkeerd om in een ander onderdeel geplaatst.
- Verpakken: het product raakt beschadigd (stoten). Onderdelen worden niet in de verpakking bijgeleverd (handleiding vergeten).

Zo zijn er nog vele grote en kleine fouten te verzinnen gedurende de fabricage van producten. Ook hier kan uiteindelijk een complete lijst van alle faalmogelijkheden worden samengesteld, die op eenzelfde wijze worden gewaardeerd door de drie factoren — ernst, kans op optreden en kans op detectie — een waarde te geven. Een klein verschil geeft de kans op detectie, het gaat hier niet om detectie door een

eindgebruiker, maar de kans op detectie voordat het product de fabriek verlaat. Indien een bepaald defect niet voorkomen kan worden, is het inzetten van een 100%-eindcontrole in de productielijn een manier om dit defect toch te voorkomen. Uiteraard is ook hier voorkomen beter dan genezen.

DFA zal resulteren in een proces-FMEA die minder uitgebreid is (bijvoorbeeld minder onderdelen) en waarin minder kritische punten staan (bijvoorbeeld symmetrische onderdelen, waardoor verkeerd plaatsen kan worden vermeden).

### Tot besluit

In deze serie zijn DFM en DFA beschreven als losse metho-

den, waarmee het eindresultaat van een productontwerp kan worden verbeterd. Ook is een korte beschrijving van de controlemethode FMEA gegeven, waarmee kritische punten van een ontwerp kunnen worden opgespoord. Het streven moet zijn om het DFM/DFA-denken te integreren in de normale ontwerppraktijk. Uiteindelijk moet het als het ware 'vanzelf' gaan. De eerste stap hierin is het bewust worden van het belang van DFM en DFA. Leg een conceptontwerp naast de aanbevelingen van DFA en beoordeel het kritisch op ieder punt. Stel een tabel van assemblagestappen op en kijk welke punten verbeterd kunnen worden. Overleg of het aanschaffen van specifieke software wellicht rendabel is. Ga aan de slag! ■

**Interessante link en literatuur:**  
 Boothroyd/Dewhurst: [www.dfma.com](http://www.dfma.com)  
 Collegedictaat IDE342 :Vervaardigen 3 (TU/Delft)



FULL SERVICE DESIGN TEAM

| Possible Effect<br>(mogelijk gevolg)       | Likely Cause<br>(mogelijke oorzaak)          | Proj. Control<br>(controle maatregel)     | Proj. Control<br>(controle maatregel)     | RPN                          |                             |                                         | RPN |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-----|
|                                            |                                              |                                           |                                           | Seriousness<br>(Gevolgscore) | Occurrence<br>(Gevolgscore) | Chance to Detect<br>(Non-detectiescore) |     |
| valt, mogelijk letsel<br>niet meer<br>neel | breuksterkte stuurpen te laag gespecificeerd | breuksterkte proeven conform richtlijn... | breuksterkte proeven conform richtlijn... | 5                            | 3                           | 2                                       | 30  |
| niet meer<br>neel<br>zwaar ontevreden      | stijfheid stuurstang te laag gespecificeerd  | veldrijders proeven                       | veldrijders proeven                       | 4                            | 3                           | 2                                       | 24  |
| niet goed te<br>eren                       | te dikke buis gespecificeerd                 | onderzoek naar inkoopdelen                | onderzoek naar inkoopdelen                | 4                            | 2                           | 1                                       | 8   |
| niet goed te<br>eren                       | te grote tolerantie gespecificeerd           | pilotrun in productie                     | pilotrun in productie                     | 4                            | 3                           | 2                                       | 24  |
| zwaar ontevreden,                          | buigkracht te laag                           | buigtesten conform richtlijn...           | buigtesten conform                        | 4                            | 3                           | 2                                       | 24  |