

(R-)evolutie in assemblage-vriendelijkheid

In een reeks artikelen hebben we drie constructies vergeleken die dezelfde functie vervullen, namelijk het uitschakelen van een rolluikmotor zodra de zonnewering een eindstand heeft bereikt. Zie fig. 1.

In de laatste aflevering van deze serie vergelijken we vandaag de assemblage van de drie, en wel m.b.v. het samenstellingsdiagram.



Figuur 1: drie generaties eindschakelaars

Het ontwerp van product en productie-proces: het sam-diagram

Om te visualiseren hoe een constructie in mekaar gezet gaat worden gebruiken we hier het sam-diagram, ontwikkeld in de jaren 80 bij Philips en sindsdien in gebruik om het ontwerpen van het productie-proces te faciliteren en het ontwerp van het product te optimaliseren.

Het diagram kent drie soorten bewerkingen:

- een onderdeel wordt opgepakt en gemonteerd
- een extra bewerking wordt uitgevoerd (oriënteren, omdraaien, lijmen, smeren, controleren)
- een (sub-)samenstelling wordt voorbereid en geplaatst

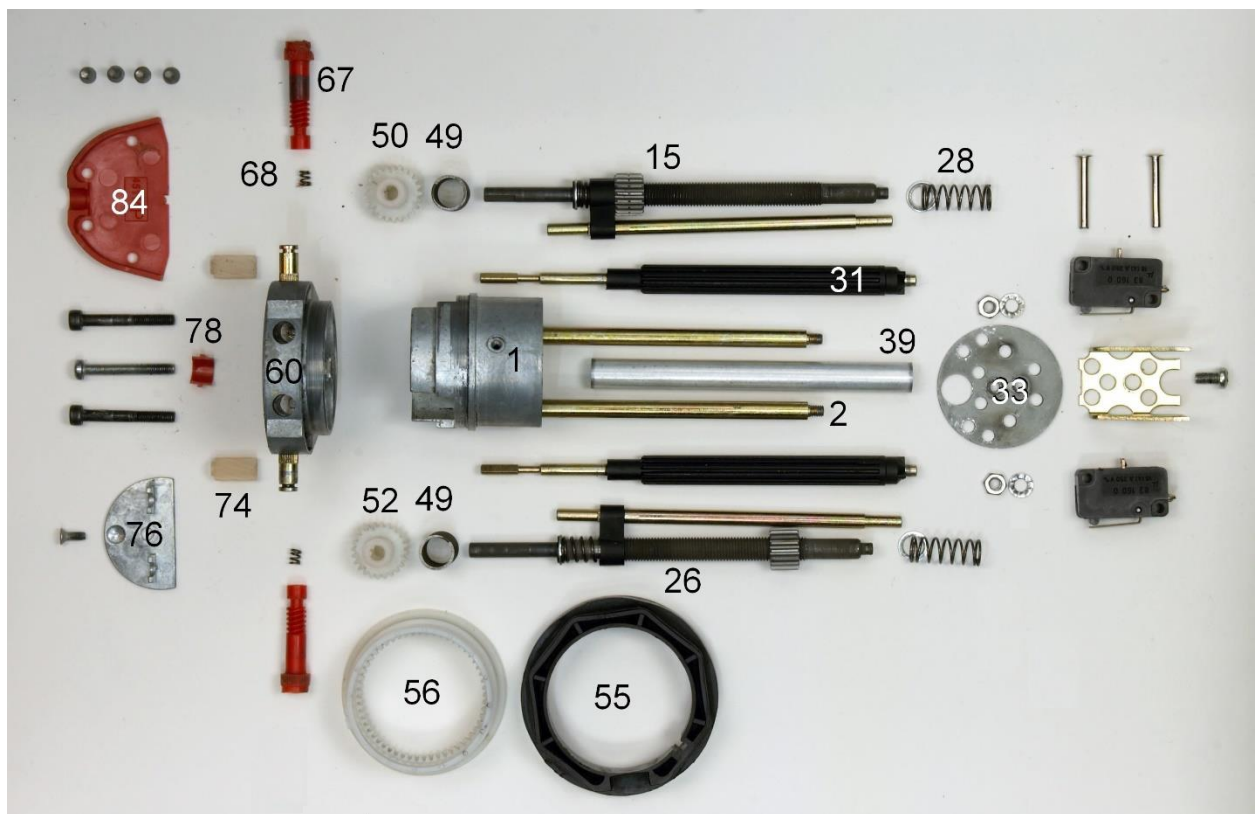
Als je het diagram gaat tekenen rijst meteen de eerste verhelderende vraag: “met welk onderdeel ga ik beginnen? Wat leg ik als eerste op de montage-tafel?” Daarmee komt het inzicht dat er een eindmontage is, de horizontale as in het diagram. Verder zijn er (misschien) samenstellingen die je moet (of wenst) voor te bereiden t.b.v. die eindmontage. In het diagram staan zulke voormontages verticaal uitgezet. Overlegend rond het sam-diagram creëren de productconstructeurs en de fabricagevoorbereiders het productieproces, want dat volgt niet vanzelf uit de stuklijst. Het sam-diagram heeft een tijds-as en is na invoering van alle ontwerpdata rijker aan informatie dan de stuklijst was. Voor ieder onderdeel is er een tijdsduur voor het pakken van het onderdeel (grijptijd) en eentje voor het plaatsen van het onderdeel (montagetijd). Hoe lang gaat het totaal duren? Door het groeperen van bewerkingen in

deel van gelijke lengte kan het werk verdeeld over meerdere werkplekken. Tijdens het ontwerp van het productieproces wordt duidelijk wordt hoeveel werk-oppervlak nodig is en welke montagegereedschappen er moet komen, etc.

Er kan discussie ontstaan over de vraag welke handigheid je van een monteur mag verlangen. Om dat te vermijden wordt uitgegaan van assemblage met één hand, en die hand beweegt van boven naar beneden. Daarmee wordt zichtbaar hoe ergerlijk het is voor mensen om het product-in-wording steeds te moeten wentelen en keren vooraleer ze het volgend onderdeel kunnen plaatsen. Je zou het geen robot kunnen laten doen. Voor gemechaniseerde montage is dan ook vaak een herontwerp nodig.

Het optimale diagram bestaat dan uit één horizontale lijn, waarin de onderdelen het een na het ander gestapeld worden, dus zonder tussen-samenstellingen en ook liefst zonder additionele processtappen (Lego).

De assemblage van het metalen ontwerp



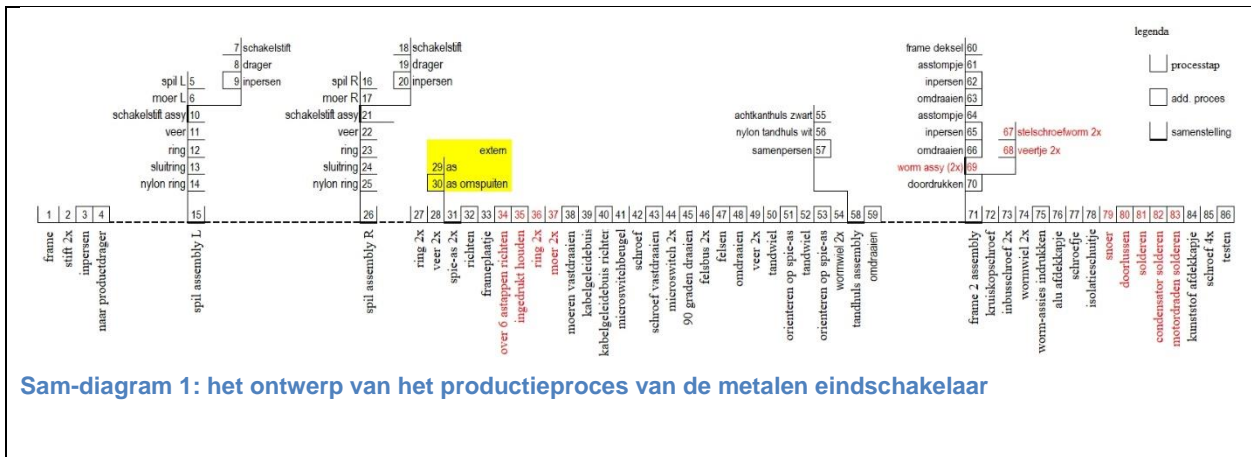
Figuur 2: onderdelen en samenstellingen uit het ontwerp in metaal

Het eerste ontwerp bevat 86 stappen met 63 onderdelen waarvan er 7 verschillende (sub-)samenstellingen zijn. De samenstellingen in processtap 10 en 21 zijn identiek. Het omspuiten van as 29 vindt zeker off-line en misschien zelfs buiten het bedrijf plaats, want je wil geen spuitgietmachine aan de assemblagelijijn. Daarmee moet de samenstelling 30 een naam en een nummer hebben, want het ding wordt ingekocht, heeft een tekening en wordt waarschijnlijk op voorraad gelegd.

We hebben in diagram 1 gekozen om het inpersen van de stiften 2 in frame 1 'on-line' te doen en om het resulterende half-fabriekaat niet te benoemen. Als er geen tekening nodig is (inpersdiepte via werkinstructie bij stap 3?), en er geen magazijn-voorraad komt

en als het onderdeel geen service-deel is dan hoef je dit product-in-wording niet te identificeren, maar het mag natuurlijk altijd.

Gezien de aanwezigheid van drie verdere pers-bewerkingen in dit product is het goed mogelijk dat er voor gekozen wordt om alle persbewerkingen uit te voeren op een werkplek met een persje. Dan zou diagram 1 beginnen met de huidige stap 4 zijnde 'de frame-sam in productdrager zetten' en zouden de eerste drie stappen verticaal staan. De spil-moer-combinaties 15 en 26 verschillen van elkaar door de spoed van de spil en de moer. Aan de moer is dat verschil zichtbaar gemaakt: de linkse is van een groef voorzien.



Sam-diagram 1: het ontwerp van het productieproces van de metalen eindschakelaar

In sam-diagram 1 zijn dertig extra processtappen nodig, zoals het eeuwige 'omdraaien'.

De eindsamenstelling (horizontale lijn) bevat 50 stappen. Samen bepalen ze de tijd die het maken van één product vergt, aannemende dat de vijf samenstellingen een kortere doorlooptijd hebben. Als de benodigde voorraadbakjes en gereedschappen op en rond één montageplaats passen, dan kan één monteur alle 50 handelingen uitvoeren. In dit geval is de procestijd zo'n 560 sec., zeg 10 minuten. Eén montageplek levert dus 6 producten per uur af, bijna 10.000 per jaar.

Mochten alle vereiste onderdelen en gereedschappen niet passen rond een enkele werkplek dan kunnen de bewerkingen over meerdere werkplekken verdeeld worden door de processtappen te clusteren tot groepen van gelijke duur. Het product-in-wording wordt dan in takt doorgegeven van de ene naar de andere werkplek.

De totale werkinhoud van de 86 processtappen, inclusief de vier samenstellingen, bedraagt 13 minuten.

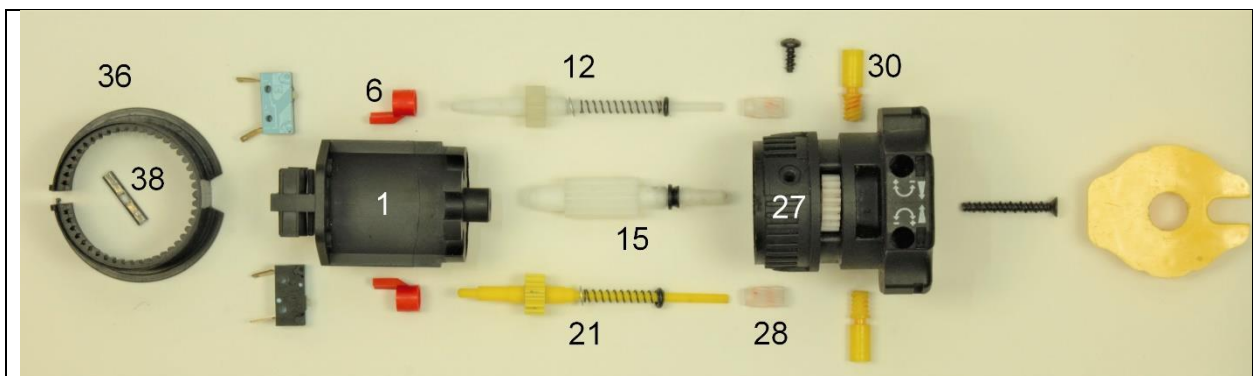
In het diagram zijn de pijnpunten uit dit proces aangegeven, bijvoorbeeld het plaatsen van onderdeel 33. Het is erg moeilijk om het frameplaatje 33 over alle zes de eerder gemonteerde assen te monteren. Bovendien drukken de veren 28 het plaatje steeds omhoog. Het plaatje moet dus, eenmaal in positie, omlaag gehouden worden voordat de ringetjes 36 en de moertjes 37 gemonteerd kunnen worden. Hier is hulpgereedschap vereist en moeten enkele harde woorden vallen richting de constructeurs.

De samenstelling 69 bestaat uit een drukveertje 68 dat bovenop een worm 67 is gelegd. Dit is geen stabiel geheel en vervolgens moet dan bij 69 het geheel van onder naar boven in de framedeksel worden gedrukt. Hier kan een productie-engineer misschien iets verzinnen, maar misschien moet het ontwerp hier onmiddellijk herzien worden. Een derde tijdvreter is het solderen van de netspanningsverbindingen, zie de rood gemarkeerde processtappen.

Het sam-diagram geeft alle samenstellingen in het ontwerp weer, los van de vraag waar ze gemaakt worden. Soms is het efficiënter om samenstellingen niet in huis maar bij een toeleverancier te laten maken (het omspuiten van as 29) en dat zien we in de laatste twee rijen van tabel 1.

Er zijn legio mogelijkheden om op een betrouwbare manier de gewenste opbrengst te behalen met zo weinig mogelijk investeringen. Het ontwerpen van een productieproces is dan ook een interessant vak. Maar belangrijker is dat de ontwerpers van het productieproces hun input geven voordat het ontwerp is vrijgegeven.

Het samenstellen van het ontwerp in kunststof.

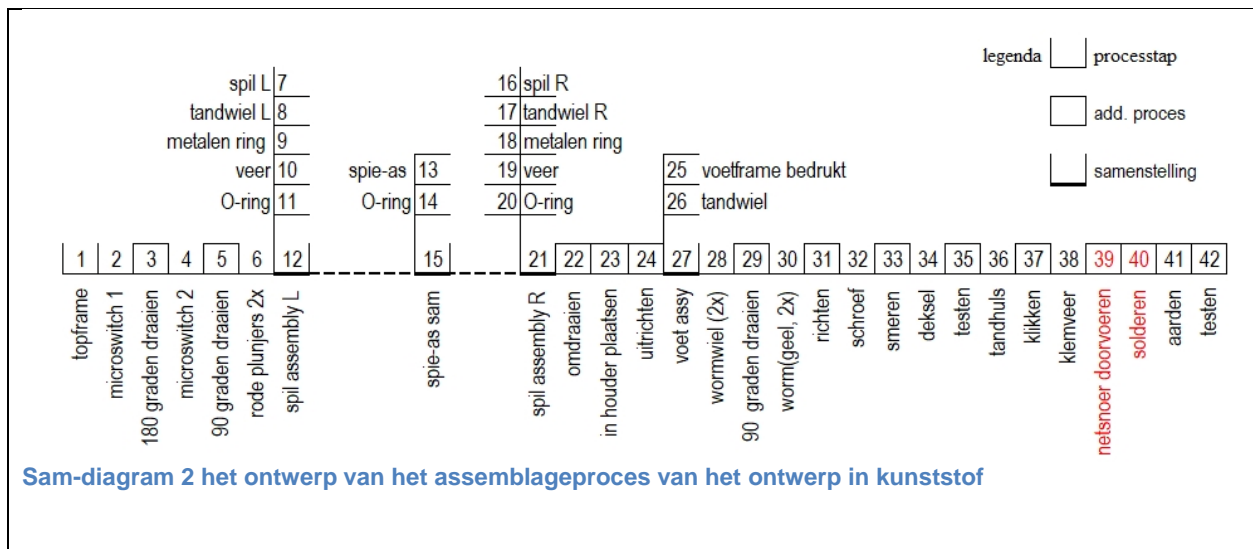


Figuur 3: onderdelen en samenstellingen uit het ontwerp in kunststof

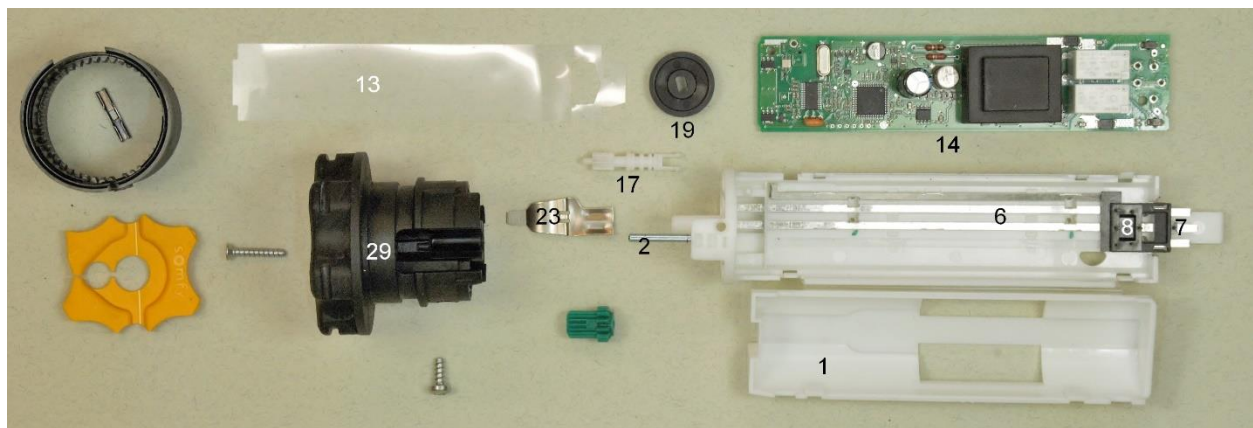
Bij het tekenen van het sam-diagram voor het kunststof ontwerp deden we de ervaring op dat er steeds weer eenvoudigere manieren mogelijk bleken om het product samen te stellen. Lang leek de voet met zijn worm en wormwiel voorbereid te moeten worden als samenstelling maar tenslotte bleken we slechts vier voormontages nodig: de twee spilmoer-combinaties 12 en 21, de spie-as waar een O-ring opgeschoven moet worden (15), en de voet-sam 27 waar we eerst tandwiel 26 in moeten laten vallen omdat bij montage de spie-as 15 er doorheen geschoven wordt.

De doorlooptijd van de eindassemblage is hier gereduceerd tot 2,5 minuten, dankzij constructieve maatregelen enerzijds, zoals de slimme manier op de microswitches te monteren. Anderzijds is de tijdreductie het gevolg van het gebruik van minder onderdelen, zoals beschreven in deel 4 van deze reeks.

Ook hier is het gepriegel met het netsnoer en het solderen van de aders aan de lipjes (n rood) duurt het langst van alle bewerkingen.



De assemblage van het elektrische ontwerp



Figuur 4: overzicht van onderdelen en samenstellingen uit het elektrisch ontwerp

Het sam-diagram is hier van een grote eenvoud, het bestaat uit een rechte lijn. Mogelijk wordt de as 2 bij de spuitgieter al in de matrices gelegd zodat bewerking 3 niet nodig is. Onderdeel 1 heet dat 'behuizing met as' en wordt toegeleverd. Mogelijk worden zelfs de eerste 11 stappen allemaal op een apart bewerkingsstation gedaan en krijgt het daarbij ontstaande half-fabrikaat een eigen naam en nummer. Er bestaan immers (zie deel 3) twee versies van dit half-fabrikaat: de een voor twee- en de ander voor drie-aderige elektrische aansluiting. Wij doen er 2 minuten over het product samen te stellen. Het solderen van 6 contacten van de printplaat met de geleiders (stap 15) is de langst durende bewerking. We rekenen in dit verhaal de printplaat 14 als één onderdeel omdat alle componenten gemechaniseerd geplaatst worden en in één doorgang gesoldeerd worden op de kale printplaat. Er komt geen handmatige montage aan te pas. Alleen de kale printplaat is specifiek voor dit ontwerp.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
behuizing	as	inpersen	omdraaien en inleggen	open vouwen	connectorblik 1	connectorblik 2	zwart kunststof richtblok	onder pers leggen	aandrukken	vrijstampen	naar soldeer station leggen	isolatiefolie	sam print	solderen 6x	90 graden draaien	tandwiel/asje	180 graden draaien	magneetwiel	dicht vouwen	90 graden draaien	groen tandwiel	aardveer	voet	schroef	naar tafel met buismotor	aansluiten op buismotor	montage in buis	schroef radiaal	tandhuls	sluitveer	aansluiting op netspanning	afschermkap	test

Sam-diagram 3: het samenstellen van het elektrische ontwerp

De evolutie in de assemblage van de drie ontwerpen

In onderstaande tabel zijn een aantal eigenschappen van de drie ontwerpen naast elkaar gezet, zie tabel 1.

Opvallend is hoe het aantal onderdelen van het ene ontwerp naar het volgende twee keer met de helft gereduceerd is, zoals eerder beschreven. Het kunststoffen ontwerp heeft gezorgd voor dramatisch minder onderdelen, bijvoorbeeld bij het monteren van de microswitches. Daar waren vroeger vier onderdelen voor nodig, plus vier bewerkingen, nu zijn er voor die functie nul onderdelen en twee bewerkingen nodig.

Het dalen van de arbeidsinhoud wordt ook veroorzaakt door de reductie van het aantal en door de reductie van de duur van de processtappen. Er wordt minder vaak gedraaid, gekeerd en gericht. In het derde ontwerp is het langdurige aanleggen van bekabeling en soldeerverbindingen vervangen door stekerverbindingen naar de 220 V voeding als naar de motor en de condensator. De manier waarop de plaatstalen geleidestrips in eerste instantie uit één deel bestaan, om vervolgens, na montage in het huis, los van elkaar gesneden/gestampt te worden draagt zowel bij aan onderdelen-reductie als aan de reductie van het aantal processtappen. Op groter formaat wordt deze technologie toegepast in de achterlicht-clusters van auto's.

De grootste tijdvreter uit het de mechanische sam-diagrammen zijn daarmee verdwenen bij het elektrisch ontwerp. Er komen wel processtappen voor terug bij het vrij stampen en vastzetten van de geleidestrips, en vooral: dit kost gereedschappen, zoals beschreven is in deel 4.

Zo blijkt het aantal additionele bewerkingen niet hard gedaald, het elektrisch ontwerp heeft er zelfs meer dan het kunststoffen product. Toch is het derde ontwerp sneller in elkaar te zetten dan het tweede, door de kortere duur per stap.

Het derde ontwerp laat zien dat er meerdere redenen zijn om van mechanische componenten af te willen en naar digitale functievulling te streven.

Het plaatsen en solderen van elektrische componenten op een printplaat is volledig gemechaniseerd, met behulp van 'off the shelf' generieke machines die iedereen kan kopen. Dit in tegenstelling tot de mechanisatie van de assemblage van mechanische componenten. Dat blijft een kostbare aangelegenheid die voor ieder nieuw ontwerp weer een ontwerp-inspanning vergt en een investering in specifieke grippers, trilvullers en transportsystemen. Apple vindt ook daarin een argument om afscheid te nemen van het laatste knopje (home button) in zijn smartphone.

	metaal	kunststof	electrisch
totaal # te plaatsen onderdelen	63	27	16
# processtappen	86	42	33
# add. processen	30	14	17
arbeidsinhoud in minuten	13	4	2
# processtappen in eindassemblage	50	28	33
doorlooptijd in minuten	9	3	2
# sams in ontwerp	7	4	1
# sams in eigen fabriek	6	4	0

Tabel 1: een aantal kenmerken van de drie assemblage-processen

Het mechanische ontwerp verplicht ons om 7 samenstellingen voor te bereiden, het elektrische ontwerp hoeft geen enkele samenstelling te hebben, uitgezonderd de print.

Een denkbeeldige evolutie van de Firma en de conclusie

Hoe mogen we ons de evolutie van het bedrijf voorstellen, aannemende dat de drie eindschakelaars van een en dezelfde firma komen?

We stellen ons een denkbeeldige Firma voor die het maken van buismotoren als kerncompetentie had. Die motoren in rolluiken zijn speciaal door de slanke stator en rotor, door de ingebouwde motor-rem en de aangebouwde drietraps planeetwielstelsels die voor vertraging en voor koppel zorgen.

Laten we fantaseren dat het prototype van de ijzeren eindschakelaar is gemaakt in 1980 in de proevenwerkplaats van deze denkbeeldige Firma. De Firma was immers thuis in electromechanica, produceert enkele onderdelen van de eindschakelaar zelf en doet de assemblage in huis. Men is trots op zijn kundige medewerkers en vooral, op het ontwerp dat werkt.

De verkoop blijkt een succes. Voor verdere groei zou het product goedkoper moeten worden. De constructeurs maken in 1999 een tweede ontwerp, met aandacht voor assemblage-vriendelijkheid, dus 'kunststof-constructie'. Ze werken nu veel beter samen met de fabricagevoorbereiders. De productie van de onderdelen wordt uitbesteed, de assemblage blijft in het bedrijf zelf plaatsvinden. Ook dit ontwerp is een succes, de Firma zit goed bij kas en is trots op zichzelf, iedereen heeft het goed gedaan.

De productie kan alleen nog efficiënter als de aantallen groter worden maar de lokale markt is niet groter dan hij is. Dus moet de Firma globaliseren. Er wordt een wereld-omspannende verkooporganisatie opgebouwd. Tegelijk doen de micro-electronica en de digitalisering hun intrede, de Firma ziet de mogelijkheden van domotica-systemen, en denkt nu niet meer in producten, maar in diensten, laten we fantaseren: 'sun safety' of 'home comfort'. Voor die dienst zullen allerlei nieuwe fysieke producten nodig zijn, en de vraag waar je die koopt. De fabriek van de aardbol staat intussen in het verre Oosten. Het hoofdkantoor van de Firma verhuist van de provincie naar de hoofdstad, de fabrieken worden verbouwd tot lofts boven en restaurants beneden. De Firma is trots op haar aandelenkoers.

Tja, en hoe gaat het de Nederlandse constructeurs in de provincie? Voor massa producten construeren ze de behuizing en verder tekenen ze nu de investeringsgoederen, zoals de genoemde machines voor het plaatsen en solderen van elektrische componenten op printplaten. En verder worden er productiesystemen ontworpen voor 3D-printing, voor de fabricage van halfgeleiders, zonnecellen, autobanden, en voor robotisering en de verwerking van de eindproducten in de agrarische sector en (slachterijen). Ook wordt gewerkt aan high- en low-tech investeringsgoederen zoals schepen, hijskranen, bouwmachines, draaideuren. En dan de robots en de apparaten voor de medische sector! Werk zat voor 2018.

Tekst, tekeningen en foto's: Hein Reinders

Onderstaande personen hebben aan de totstandkoming van deze reeks bijgedragen:
Dhr. Marco de Waal RolluikDirect.nl, Nuene
mevr. B. Engel, fa. Tielemans Zonwering, Eindhoven
Dhr. Bernie Pruissen, Somfy BV, Hoofddorp
Dhr Lars Hoegger, Simu GmbH, Iserlohn, D.
Ir. F.G.A. Homburg, TU/e Microsystems