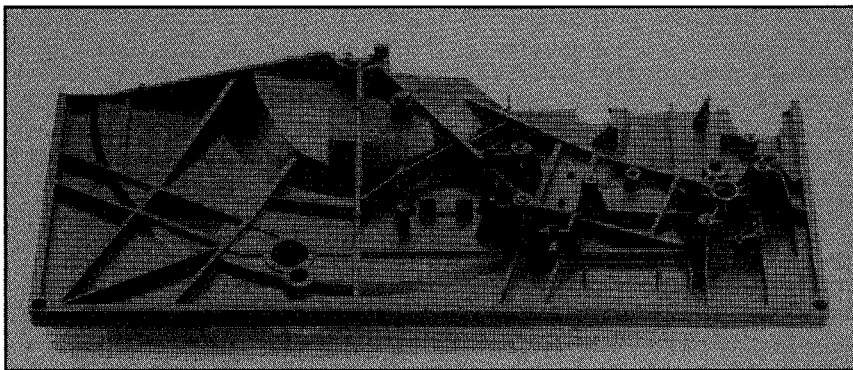


Analyse van het spuitgietproces*

Dr. Ir. J.F. Dijkman, Natuurkundig Laboratorium, Nederlandse Philips Bedrijven B.V., Eindhoven

Weergave van een voordracht gehouden in mei 1988 op het Philips Natuurkundig Laboratorium ter gelegenheid van een afscheidscolloquium. Na de opsomming van een aantal kunststofproducten wordt het spuitgietproces geschetst. Analyse ervan vindt plaats via de invalshoek van de materiaaldeskundige (o.a. amorfe kunststoffen, monomeer materiaal, mengsels), van de produktontwerper (o.a. mechanische sterkte, temperatuurgebied, vochtgevoeligheid), van de matrijsontwerper (o.a. dimensies van de vormholte in verband met krimp, verdeelkanalensysteem, deling van de matrijs) en van de reoloog (o.a. uitzettingscoëfficiënt, viscositeit, warmtegeleiding). Tevens wordt ingegaan op de relatie tussen vormgeving en producteigenschappen. Ten slotte komt de hulp ter sprake die programma-tuur kan bieden bij de voorspelling van het vulbeeld, van nadruk en koeling alsmede van vorm- en maatafwijkingen.



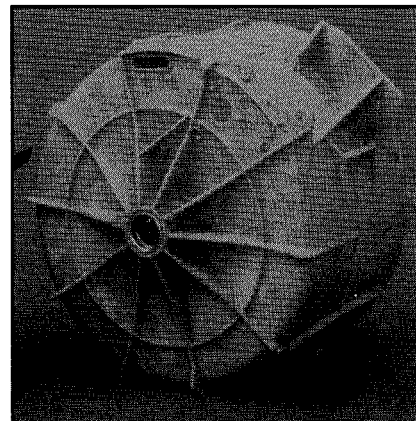
Figuur 1 De draaitafel van een platenspeler is een voorbeeld van de ingewikkelde vorm die een kunststofproduct kan hebben. De foto toont de helft van een draaitafel, gezien van de onderkant.

Inleiding

In een groot aantal gevallen kan men zeggen dat het grensvlak tussen de gebruiker van een Philips apparaat en de functie ervan bestaat uit een kunststof product. Het huis van de Philips-shave b.v. is gemaakt van kunststof, soms voorzien van een metaalkleurige lak om het apparaat er metaalachtig uit te doen zien. De buitenkant van koffiezetapparaten, keukenmachines, strijkijzers, stofzuigers, en soms gedeelten binnenin, zijn opgebouwd uit kunststof onderdelen. Opvallend is de complexe vorm (zie *figuur 1*) die mogelijk is, en die integratie van een aantal functies kan inhouden, zoals

- het overdragen van belastingen,
- het afschermen van draaiende onderdelen en elektrische aansluitingen,
- geluidsdemping.

* Dit artikel is eerder gepubliceerd in Philips Techn T 44, nr 7, 242-247, feb 1989

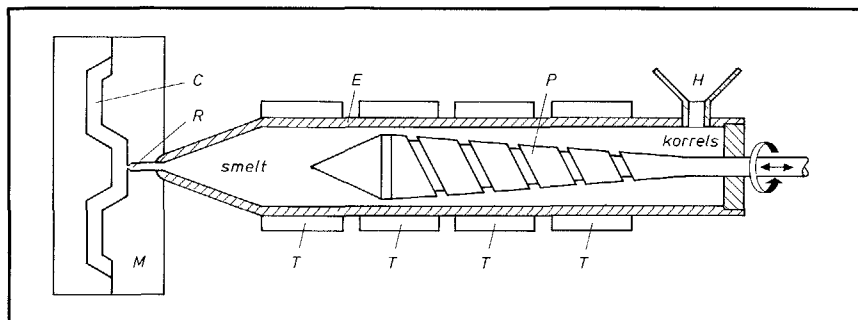


Figuur 2 De kuip van een wasmachine moet tegen zware belastingen bestand zijn. Hij is opgehangen in een freem en moet het water bevatten dat gebruikt wordt voor het wassen. In één kant van de kuip is de trommel gelagerd. Bovendien is hij voorzien van ijzeren of betonnen blokken die de massa vergroten en zo voorkomen dat de wasmachine zich bij het centrifugeren verplaatst.

ten. Als variatie op geïntegreerde schakelingen kunnen we hier spreken van mechanische onderdelen waarin verschillende functies zijn geïntegreerd.

Even algemeen als u kunststofonderdelen aantreft in onze producten, kunt u ervan uitgaan dat deze onderdelen vervaardigd worden met behulp van het spuitgietproces. Het spuitgietproces is een algemeen toegepaste methode om producten en onderdelen van kunststof (maar ook van metaal) te vervaardigen in grote series. Tijdens dit proces vindt de vormgeving van het onderdeel plaats.

Het vormgeven verloopt bijna altijd als volgt. Het uitgangsmateriaal, dat zijn korrels van de geselecteerde kunststof, wordt gesmolten in de zogenaamde "extruder", zie *figuur 3*, in feite een cilinder met schroeftransporteur. De benodigde warmte wordt ten dele opgewekt door de wrijvingswarmte die ontstaat door het over elkaar bewegen van de korrels als gevolg van de roterende beweging van de schroef en ten dele door warmte die wordt opgewekt in elektrische verwarmingsbanden, die rond de cilinder zijn aangebracht. Tijdens het draaien beweegt de schroef langzaam naar achteren (rechts), waarbij het gesmolten materiaal opgeslagen wordt in de ruimte die vóór de



Figuur 3 Spuitgietsproces, schematisch. Kunststof korrels die via de vultrechter *H* aan de cilinder *E* worden toegevoerd, worden door de roterende, zich daarbij naar rechts verplaatsende schroef *P* in de richting van het aanspuitkanaal *R* getransporteerd. Onder meer door middel van de verwarmingsbanden *T* worden de korrels tijdens het transport gesmolten. Als de hoeveelheid gesmolten kunststof links van de schroef voldoende groot is, wordt de kunststof door de nu als plunjer fungerende schroef in één klap in de vormholte *C* van de matrix *M* gespoten.

schroef door de teruggaande beweging vrijkomt. Zodra voldoende gesmolten materiaal voorhanden is, stopt de draaiende beweging van de schroef. De schroef, die nu als plunjer gaat fungeren, wordt vervolgens naar voren gedrukt waarbij het gesmolten materiaal in de vormholte geperst wordt. Een terugslagklep of de weerstand over de schroef verhindert terugstroming. Nadat de vormholte gevuld is, moet het materiaal afkoelen totdat het product voldoende sterkte heeft gekregen om te kunnen worden uitgeworpen. Onderwijl wordt reeds nieuw materiaal voor het volgende product gesmolten en getransporteerd.

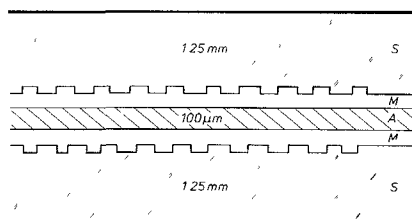
Het spuitgietsproces

Ik wil het spuitgietsproces nu gaan belichten vanuit een aantal verschillende invalshoeken, namelijk zoals het gezien wordt door

- de materiaaldeskundige,
- de ontwerper van het onderdeel of product,
- de ontwerper van de matrix,
- de reoloog

Tot nu toe heb ik van kunststoffen in het algemeen gesproken. De **materiaaldeskundige** weet echter dat achter de verzamelnaam kunststoffen verschillende materiaaltypen schuilgaan, waarvan ik er een aantal wil noemen. **Amorfe kunststoffen**. Amorfe materialen hebben in de vloeibare en vaste fase dezelfde structuur (afwezigheid van kristallijne ordening) en zijn vaak transparant. Bekende transparante kunststoffen die tot deze groep behoren, zijn polycarbonaat (PC), dat als substraat voor de CD dient, en polymethylmethacrylaat (PMMA), dat bij de Laser Vision plaat als substraat wordt gebruikt, zie **figuur 4**.

Semikristallijne kunststoffen. Deze materialen vertonen in de vaste fase een min of meer volledige kristalstruc-



Figuur 4 Dubbele Laser Vision plaat, schematische doorsnede. *S* transparant substraat van polymethylmethacrylaat (PMMA) met daarin vastgelegde beeld- en geluids informatie in de vorm van putjes *M* reflecterende metaalspiegel, $0,6 \mu\text{m}$ dik, *A* lijmlaag, $100 \mu\text{m}$ dik.

tuur. Evenals bij metalen is de kristalstructuur sterk afhankelijk van het voorafgaande temperatuurverloop. Polypropyleen, een van de weinige kunststoffen die tegen koffie is bestand, behoort tot deze groep, evenals polyethyleen en polyvinylchloride, de kunststoffen die algemeen gebruikt worden voor het isoleren van elektrische draden.

Monomeer materiaal. De tot nu toe genoemde kunststoffen zijn polymere materialen. In een aantal gevallen wordt echter ook uitgegaan van monomeer materiaal en laat men de polymerisatiereactie onder invloed van temperatuur of licht in de vormholte plaatsvinden. Het vulcaniseren van rubber is een voorbeeld van zo'n proces. Materialen zoals phenolformaldehyde (Philit), enkele nylonsoorten, polyurethanen en de meeste polyester zijn eveneens voorbeelden van materialen die polymeriseren tijdens het vormgeven.

Mengsels. Om de eigenschappen van kunststoffen te verbeteren of aan te passen aan specifieke eisen worden veel kunststoffen als mengsels van verschillende materialen geleverd. Voorbeelden hiervan zijn er legio. Om de slagvastheid van polystyreen te verhogen worden rubberdeeltjes erin

gedispergeerd. Het toevoegen van (veel) zand verlaagt de thermische uitzettingscoëfficiënt. Toepassing vindt plaats in omhullingen van IC's en in nauwkeurige producten, zoals de armpjes van CD-spelers en lagers. Een ander voorbeeld is het toevoegen van glasvezels, wat geschiedt ter verhoging van de stijfheid en sterkte. Ten slotte wil ik het bijmengen van talk noemen, dit dient om de prijs te verlagen.

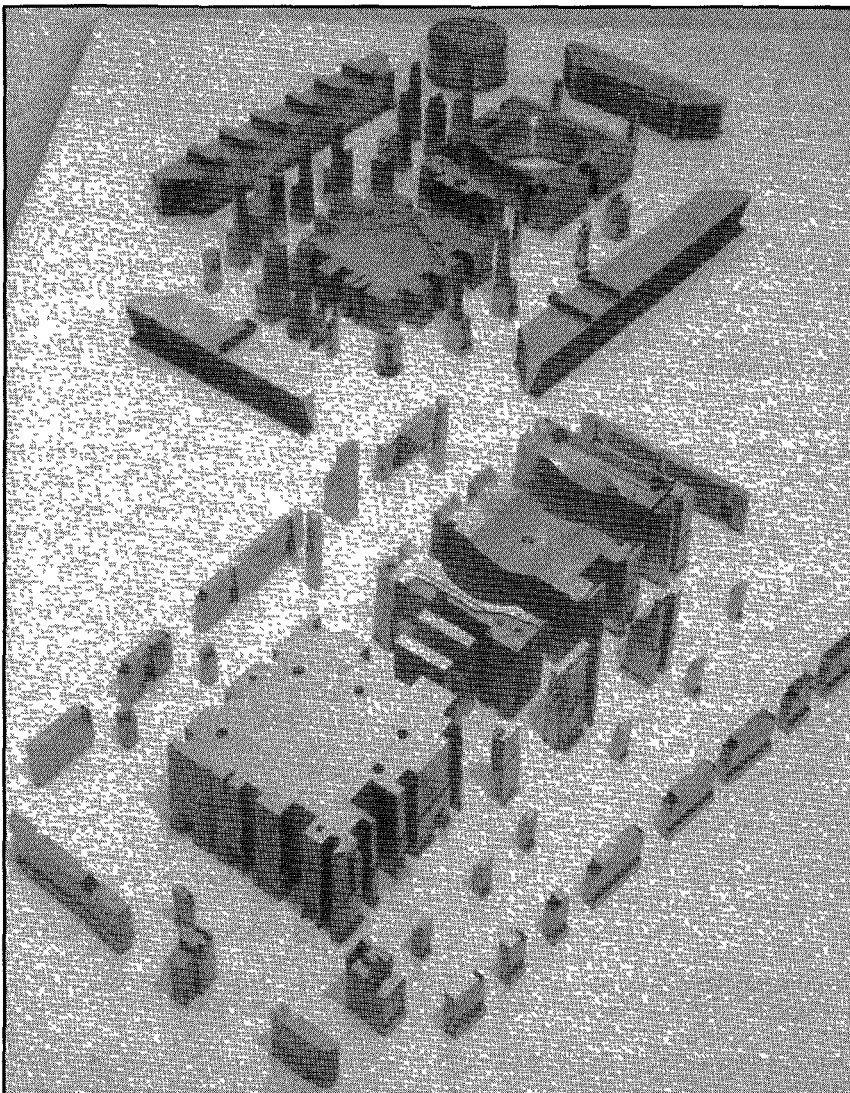
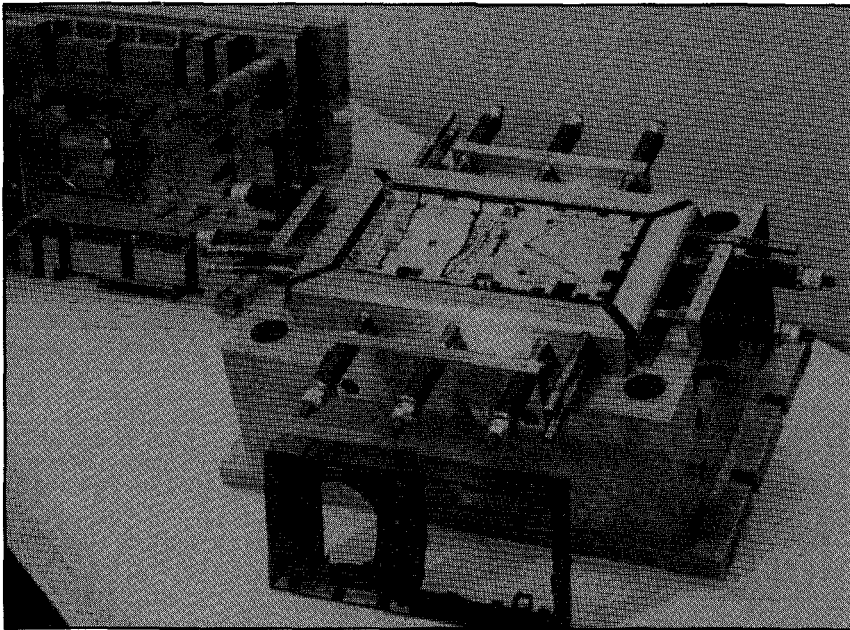
De ontwerper van een product of onderdeel heeft voor het product een aantal specificaties opgesteld bij voorbeeld wat betreft

- mechanische sterkte en stijfheid (hoeveel belasting mag het onderdeel hebben en hoeveel mag het meegeven onder deze belasting),
- kruip (hoeveel mag het materiaal vloeien onder een continue belasting),
- temperatuurgebied,
- vochtgevoeligheid, elektrische isolatie, dielektrische eigenschappen, magnetische eigenschappen,
- kleur,
- resistentie tegen chemicaliën en straling,
- vormstabiliteit (hoe groot zijn de toleranties),
- giftigheid, vlambaarheid,
- hergebruik ("recycle"-baarheid)

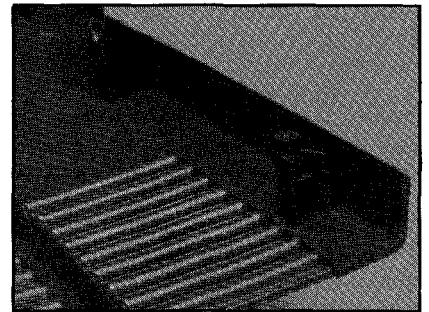
Aan de hand van dergelijke specificaties wordt door de juiste keuze van het materiaal en de vormgeving getracht het product met de gevraagde eigenschappen te realiseren. Dit betekent in de praktijk dat de produktontwerper overleg pleegt met de materiaaldeskundige.

Bij de keuze van het uitgangsmateriaal moet rekening gehouden worden met het feit dat het materiaal niet alleen intrinsieke eigenschappen heeft. Een aantal eigenschappen kunnen veranderen als gevolg van het vormgevingsproces. Dit betekent uiteraard ook dat deze eigenschappen beïnvloedbaar zijn. Hiertoe behoren

- optische eigenschappen (door moleculorientatie en inhomogene afkoeling in bv CD's verandert de dubbele breking),
- mechanische eigenschappen (als gevolg van de moleculorientatie kunnen bv stijfheid, sterkte en slagvastheid anisotroop zijn, door inhomogene afkoeling kunnen inwendige spanningen ontstaan, resulterend in een lagere belastbaarheid),
- thermische eigenschappen (de warmtegeleidingscoëfficiënt en de uitzettingscoëfficiënt kunnen anisotropie gaan vertonen),
- massadichtheid (deze kan binnen



Figuur 6 a) Deling van de matrices om het produkt – hier een deel van een radiokast, op de voorgrond – te kunnen lossen b) In werkelijkheid bestaat elk van de beide delen van de matrices uit talloze onderdelen die samengesteld worden. Op de foto is het onderste gedeelte van de matrices gedemonteerd



Figuur 7 Een bij uitstek dunwandig produkt is de bovenkap van een stofzuiger (Links, niet zichtbaar, moet men zich het handvat voorstellen) De nok aan de rechterrand, die dient om de onderkap eraan vast te schroeven, is hol uitgevoerd om ook hier dunwandigheid te bereiken Anders zouden er bij het afkoelen vervelende krimpprocessen kunnen optreden

lijke warmte, compressibiliteit, thermische uitzettingscoëfficiënt. Vooralsnog is dit programma alleen toepasbaar voor amorfe thermoplastische kunststoffen. Bij semikristallijne materialen spelen zaken als latente warmte, kristallisatie-kinetiek en de invloed van de door de stroming ingebrachte oriëntatie een bijkomende rol^[6]

Voor het vullen van de matrices spelen de thermische en mechanische eigenschappen van de matrices geen rol. Het vullen gaat snel, de warmte uit de kunststof penetreert slechts enkele millimeters in de wand. De minuscule extra beweging van het vulmateriaal als gevolg van thermische uitzetting en mechanische belasting van de matrices is te verwaarlozen ten opzichte van de hoofdstroming van de gesmolten kunststof.

De matricesontwerper is echter wel degelijk geïnteresseerd in de thermische en mechanische eigenschappen van de matrices, als hij het koelen van het produkt wil volgen en inzicht wil verkrijgen in de uiteindelijke realisering van de maat van het produkt. Vanuit de stollende vloeistof gezien zijn de drukafhankelijkheid van de glasovergangstemperatuur (voor amorfe thermoplastische materialen), van de viscositeit, van de visco-elastisiteit en van de thermische uitzettingscoëfficiënt van belang. Vanuit de matrices gezien zijn de stijfheid, de sterkte en de thermomechanische aspecten ervan en de lay-out van de koelkanalen van belang. Voor de stollende vloeistof komt programmatuur beschikbaar die op het Philips Natuurkundig Laboratorium ontwikkeld wordt (voorspelling nadruk en koeling). Voor de matrices kunnen we gebruik maken van standaardpakketten voor de eindige-elementen-methode als MARC, ANSYS en ASKA.

Zodra het produkt is bevrijd uit het keurslijf van de matris, springt het naar een vorm die wordt bepaald door het evenwicht van de interne spanningen. Dit resulteert in krimp en eventueel kromtrekken. Vormafwijkingen als gevolg van verder gaande koeling worden berekenbaar met programmatuur die eveneens op het Natuurkundig Laboratorium in ontwikkeling is (voorspelling vorm- en maatafwijkingen^{[3][7]}).

Fysische oudering, het langzaam herstellen van het thermodynamisch evenwicht in het afgeschrokken produkt, wordt beschreven door een theorie die elders ontwikkeld is^[8]. Voor het bepalen van de visco-elastische karakteristieken van het produkt kan gebruik gemaakt worden van het correspondentieprincipe^[9] tussen lineaire elasticiteit en lineaire visco-elastici-

teit. Daarom zijn standaardpakketten ook hier te gebruiken.

Literatuur

- [1] H van Wijngaarden, Constitutive equations for metals with an application to the extrusion of lead, proefschrift, Eindhoven 1988
- [2] A A M Flaman en B Veltman, Injection moulding experiments, a challenge to numerical simulation programs, suppl bij Rheol Acta **26** (Proc 2nd Conf of Eur Rheologists, Progress and Trends in Rheology II, Prague 1986), 129-131, 1988
- [3] F P T Baaijens, Compressible solidifying flow of a molten polymer, in: A W Bush, B A Lewis en M.D. Warren (red.), Flow modelling in industrial processes, Ellis Horwood, verschijnt binnenkort
- [4] C W M Sitters, Numerical simula-

tion of injection moulding, proefschrift, Eindhoven 1988

- [5] A H.M. Boshouwers en J J van der Werf, INJECT-3, simulation code for the filling stage of the injection moulding process of thermoplastics, proefschrift, Eindhoven 1988
- [6] G Eder en H Janeschitz-Kriegl, Theory of shear induced crystallization of polymer melts, wordt in 1989 gepubliceerd in Colloid and Polymer Science
- [7] A.A.M Flaman, Het voorspellen van de eigenschappen van gespuite kunststofprodukten, Materialen, nr 2 (februari), 40-47, 1988
- [8] L.C.E. Struik, Physical aging in amorphous polymers and other materials, Elsevier, Amsterdam 1978
- [9] F J Lockett, Nonlinear viscoelastic solids, Academic Press Londen 1972, blz 32-33

Actueel

Cursus-aankondigingen

Bedrijfsmechanisatie in de moderne fabriek

Een vierdaagse cursus op 6, 13, 20 en 27 oktober 1989 in Eindhoven

Doelstelling: deelnemers op de hoogte brengen van nieuwe ontwikkelingen in het vakgebied

Bestemd voor: leidinggevende functionarissen en ontwerpers op werktuigkundige (advies)bureau's en ontwerpafdelingen, die zich bezig houden met mechaniseren en automatiseren van de fabricage van industriële produkten

Cursusleider: prof ir J M van Bragt (TU Eindhoven)

Data/plaats: de vier vrijdagen 6, 13, 20 en 27 oktober 1989, van ca 09.00 tot 17.00 uur, Gebouw voor Werktuigbouwkunde van de TU Eindhoven

Deelnamekosten: f 1 645,— per persoon (geen BTW; incl cursusmateriaal, lunches, koffie/thee)

Artificial Intelligence en Engineering and Manufacturing

Een intensieve engelstalige cursus op 3, 4, 5 oktober 1989 in Putten (Gld)

Doelstelling: inzicht geven in de basisprincipes en mogelijkheden van de toepassing van Artificial Intelligence in ontwerp en produktie

Bestemd voor: ingenieurs (TU, HTO) die betrokken (zullen) zijn bij de introductie van AI in ontwerp, produktontwikkeling, procesplanning en produktie, dan wel bij de toepassing van AI in CAD, CAM en CIM

Cursusleider: prof G Rzevski, Lucas Professor of Engineering Design, Open University, Groot Brittannie, en information systems consultant, Londen.

Data/plaats: 3, 4, 5 oktober 1989, hotel/conferentiecentrum kasteel Vanenburg, Putten

Deelnamekosten: f 2 210,— per persoon (geen BTW; incl cursusmateriaal, lunches, twee diners, koffie/thee).

Basic and Advanced Control of Unit Operations

Een intensieve driedaagse cursus op 4, 5, 6 oktober 1989 in Delft

Doelstelling: De cursus beoogt de deelnemers inzicht te verschaffen in mogelijkheden en beperkingen van de regeling van veel voorkomende installaties in de proces-industrie zoals distillatie kolommen, compressoren, reactoren en warmtewisselaars.

Bestemd voor: Personen uit diverse disciplines, die (hernieuwd) willen kennismaken met de praktijk van de regeling van veel voorkomende installaties in de procesindustrie, met de theoretische achtergronden daarvan en met de nieuwste ontwikkelingen van geavanceerde regelingen, nu dan wel in de toekomst toegepast in de procesindustrie.

Cursusleiding: prof.ir. H.B Verbruggen (Technische Universiteit Delft, Faculteit der Elektrotechniek, Vakgroep Regeltechniek) Bij de cursus worden enkele gerenommeerde buitenlandse gastdocenten ingeschakeld

Data/plaats: 4, 5, 6 oktober 1989 van ca. 09.00 tot 22.00 uur (6 oktober tot 18.00 uur), Gebouw voor Elektrotechniek, TU Delft

Deelnamekosten: f 1 895,— per persoon (geen BTW verschuldigd, inclu-

sief cursusmateriaal, lunches, twee gezamenlijke diners, koffie/thee)

Materiaalbewerking met Lasers

Een intensieve vijfdaagse cursus op 26, 27 oktober en 30, 31 oktober, 1 november 1989 in Enschede

Doelstelling: het aandragen van kennis en gegevens voor degenen, die betrokken (zullen) zijn bij de toepassing van lasers in de materiaalbewerking

Bestemd voor: ingenieurs (TU, HTO) werktuigbouwkunde of natuurkunde, die te maken hebben dan wel krijgen met materiaalbewerking, alsmede docenten van het HTO Ervaring met lasers wordt niet verondersteld.

Cursusleider: prof dr L H J F Beckmann (Universiteit Twente, Faculteit der Werktuigbouwkunde, Leerstoel Werktuigbouwkundige Automatisering)

Data/plaats: 26, 27 oktober en 30, 31 oktober, 1 november 1989 aan de Universiteit Twente in Enschede

Deelnamekosten: f 2 205,— per persoon (geen BTW; incl cursusmateriaal, vijf lunches, drie diners, koffie/thee)

Nadere informatie over deze cursussen kan worden opgevraagd bij het bureau van het Orgaan voor PATO, Postbus 30424, 2500 GK DEN HAAG, tel 070-644957