

Des Duivels Prentenboek (DDP) (34)

D.D.P. 103

Een star lichaam heeft geen 'interne vrijheidsgraden' en kan dus met de bekende zes externe belemmeringen geheel gedefinieerd 'in de wereld' worden gefixeerd.

Een draad of spriet is op te vatten als een verzameling (bol)scharnieren; over een betrekkelijk kleine lengte 'groeien' uit een vastgelegd draadstuk telkens weer 5 vrijheidsgraden.

Een bladveer of dunne plaat is te zien als een verzameling lijnscharnieren; over een zekere lengte groeien er telkens 3 vrijheidsgraden bij (vergelijk DDP 83a respectievelijk DDP 81a, c en d). Om zo'n draad of band geheel te fixeren heeft men eigenlijk ∞ veel bevestigingen nodig.

Nu is, zeker in realistische constructies (bijna) nooit iets 'helemaal vrij' of 'helemaal vastgelegd', het is in wezen steeds een kwestie van meer of minder slap (in constructies met elastische elementen) of met meer of minder wrijving (in constructies met materiële draaipunten en geleidingen) versus meer of minder stijf of meer of minder slipvrij op elkaar geklemd etcetera.

Zie het bekende probleem van de tafel op 3 of 4 poten; hij is flink buigstijf maar slechts matig torsiestijf en dus is op een redelijk vlakke vloer die vierde poot meestal een verbetering van het 'functioneren als tafel'.

Toch komt het in de techniek veel voor dat een 'lichaam' in bepaalde opzichten als *star* doch in andere opzichten (eventueel ten opzichte van andere belastingsrichtingen of belastingspatronen) als relatief bewegelijk wordt ervaren. Men kan zo'n bewegelijkheid dan interpreteren als een 'interne vrijheidsgraad'. Voor het ruimtelijk fixeren zijn zes steunpunten of 'belemmeringen' dan niet langer voldoende maar is er nog één extra nodig voor elke interne vrijheidsgraad.

Zo heeft het schoendoosdeksel (bodem + opstaande randen) van figuur 103a een grote buigstijfheid voor de x-as en de y-as.

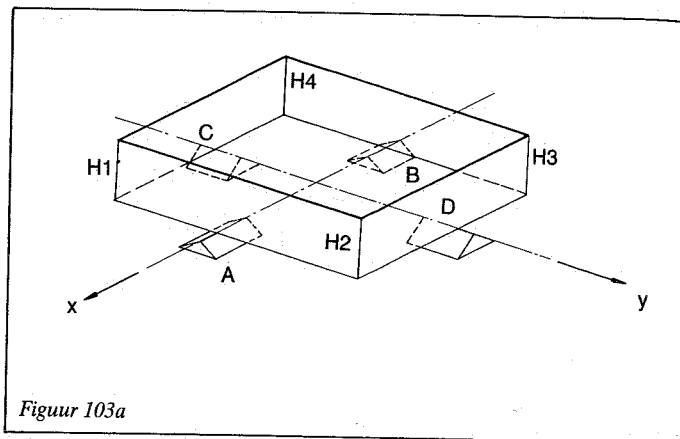
Opgelegd op de dakkanten A en B kan het wippen, een blokkering bij C verhindert ook dat, en een steun bij D maakt het geheel overbepaald; het gewicht rust òf op AB of op CD.

Een verticale belasting in de hoek H_1 laat H_1 zakken, H_2 stijgen, H_3 zakken, H_4 stijgen en dat past weer bij de zakking van H_1 . Derhalve is 'vouwen over de diagonaal' een interne vrijheidsgraad. Er zijn twee diagonalen maar er is toch maar één interne vrijheidsgraad; in feite is het torsie van de bodemplaat (+ of - teken) gepaard met torsie van de opstaande randen met behoud van rechtheid van de ribben.

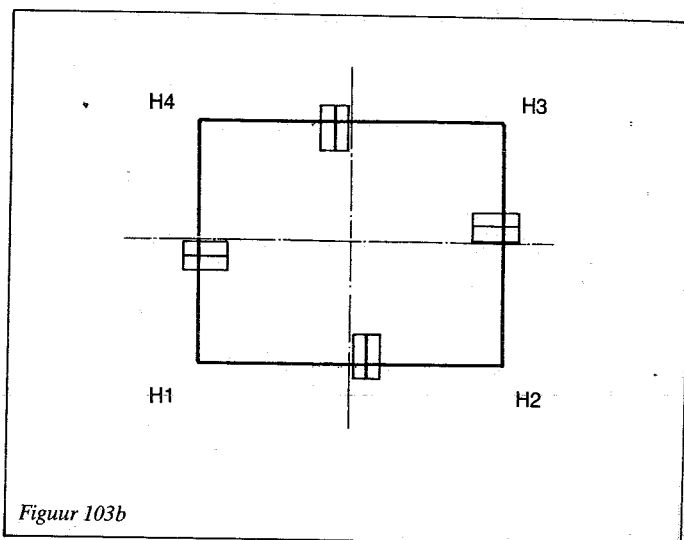
De ondersteuning bij A, B, C en D (die tevens geacht wordt op wrijving de x, y en ϕ vast te leggen) is dus zowel $1 \times$ overbepaald als $1 \times$ onderbepaald. Verplaatsing van de dakkantopleggingen naar de hoekpunten maakt de oplegging statisch bepaald.

Overigens is het niet nodig precies naar de hoek te gaan. Een situatie als in figuur 103b waar elk steunpunt een beetje uit het midden is weggeschoven zodat de verhouding i tussen linker- en rechterdeel van de ondersteunde ribbe niet meer gelijk aan 1 is voldoet.

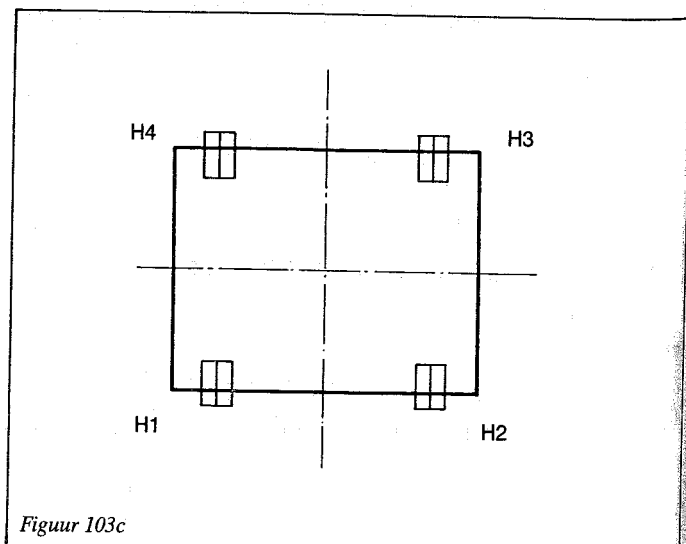
Immers, als H_1 over een afstand z daalt, stijgt H_2 over i.z, daalt H_3 over i^2z , stijgt H_4 over i^3z en moet H_1 weer dalen met i^4z . Als nu i^4 maar voldoende afwijkt van 1 is de constructie al statisch bepaald. Uiteraard voldoet ook een oplegging als in figuur 103c.



Figuur 103a



Figuur 103b



Figuur 103c

Een open zeskante doos (bodem + zeshoekige opstaande rand) heeft 3 interne vrijheidsgraden, een open driekante doos is een star lichaam.

Ook een open driehoekige koker (mits aangepakt bij de ribben) is een star lichaam. Een open vierkante koker heeft echter twee interne vrijheidsgraden: 'plat vouwen' en 'scharnieren om de diagonaal'. DDP 170 tot 173 geven meer inzicht in deze materie.

Een gesloten boloppervlak is verrassend stijf, pas als de kromming naar nul gaat is er overeenkomst met vlakke plaat. Een losgesneden deel van een boloppervlak lijkt al veel meer op een stuk vlakke plaat: beide kunnen buigen om elke lijn die van vrije rand tot vrije rand loopt.

Een halve tennisbal kan men zó samenvouwen (platknijpen) (figuur 103d) dat de ronding in het ene aanzicht een voetbal suggereert en in het andere aanzicht een tafeltennisbal.

Je kunt dat meer of minder intens doen en ook nog om ∞^2 bolcirkelstukken dus er zijn nu minstens drie interne vrijheidsgraden.

Een deel van een boloppervlak met een rechthoekige opstaande rand heeft dan nog één interne vrijheidsgraad; bij voorbeeld het schaduwmasker in een KTV (kleurentelevisie) buis.

Het schaduwmasker van een KTV buis is een zeefplaat met 400.000 gaatjes, die van de elektronenbundels, uitgezonden door elk van de drie elektronenkanonnen (R, G of B) steeds dat deel moet afschermen dat niet precies gericht is op fosfor kleurdotsjes in de corresponderende kleur (rood, groen of blauw). Die drie maal 400.000 fosfordotsjes zijn op de juiste plaatsen op de binnenkant van het scherm aangebracht via fotografische belichting ($3 \times$) van lichtgevoelige fosforemulsielagen via datzelfde schaduwmasker. Bij thermische uitzetting moet die relatie in stand gehouden worden dus mag het masker zich alleen verplaatsen in de richting van 'de plaatselijke elektronenstraal door elk gat'.

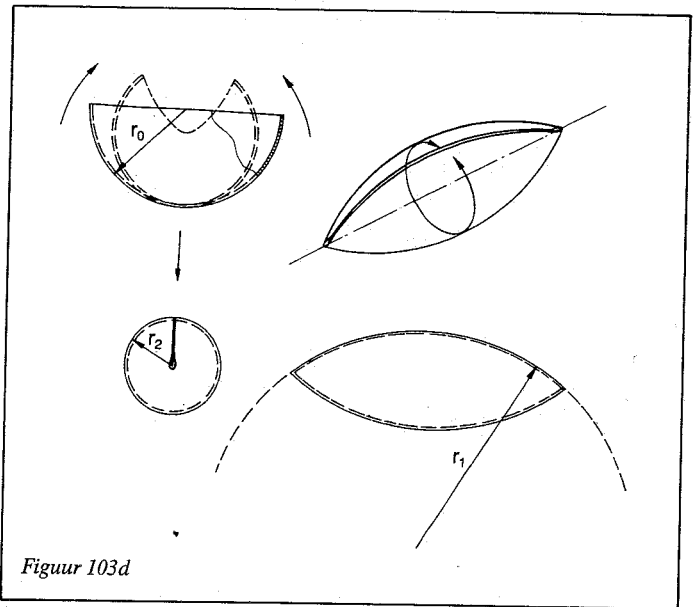
Dat is gerealiseerd door ophanging op vier veren die haaks op de straalrichting staan; zie figuur 103e. Elke veer heeft in principe een doorgedrukt gat conform DDP 78f, dat past op een bolletje aan het einde van elk der vier in de schermwand ingesmolten stalen stiften.

Elke veer legt nu (in zijn vlak) twee vrijheidsgraden vast; het scherm krijgt 8 vrijheidsgraden voorgeschreven in plaats van de gewenste 7; de constructie is dus éénmaal overbepaald. Als men een veer van zijn bolletje aftilt kan men het masker vouwen over de diagonaal: de veer kan een grote slag maken doch langs een heel gedefinieerde baan: er ontbreekt inderdaad nog maar één belemmering om het masker geheel gedefinieerd vast te zetten. Men zou één veer een gatscharnier kunnen geven respectievelijk een sleuf op de bol, maar dat maakt de constructie bij stoot, val of microfonie erg asymmetrisch. Omdat men toch ook de masker-schermafstand wil optimaliseren is gekozen voor losse staalplaatjes met doorgedrukt gat op elke bol, die dan aan de veren van het masker worden vastgepuntd nadat dit in de optimale positie is gebracht. De stijfheid c van veren en masker moet nu enerzijds zo hoog zijn dat de virtuele speling $s_v = 2F_v/c$ beperkt blijft tot 1 à 2 μm doch anderzijds zo laag dat maatafwijking in de overbepaalde (tangentele) richting door nawerken van de lassen, compactie van het glas, vervorming bij vacuüm trekken van de buis en ongelijkmatige uitzetting door bij voorbeeld sterke helderheids(intensiteits)verschillen in het TV-beeld, niet leiden kan tot het tangentiaal uit het gat springen door één van de bollen.

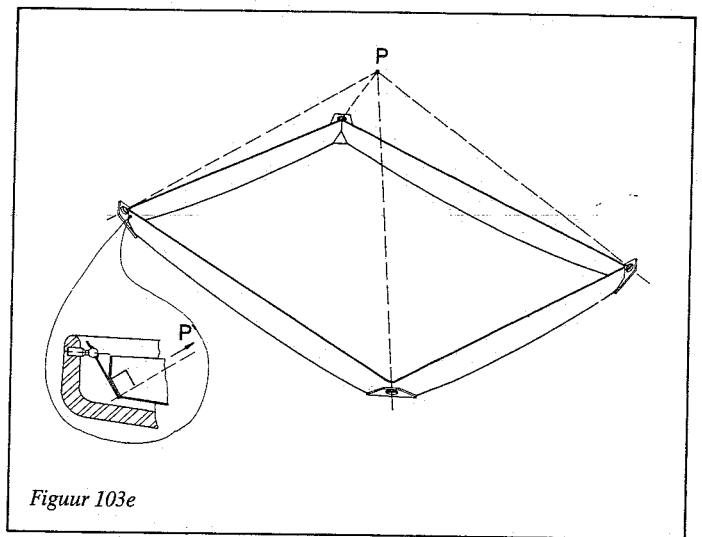
Een mooi voorbeeld van het introduceren van een interne vrijheidsgraad om nadelige gevolgen van thermische uitzetting te voorkomen geeft de bronzen glijlagerbus van figuur 103f (ing. M. van der Pas, BM Philips Oss).

Bronzen bussen verzorgden de stempelgeleiding van een viervoudig volgstampel voor het braamvrij trafoblik-stampen uit ontvette siliciumhoudende staalplaat met 1200 slagen per minuut. De speling was 3 tot 5 μm en de warmteontwikkeling veroorzaakte aanzienlijke temperatuurstijging van vooral pen en bus. De bronzen bus wil uitzetten (uitzettingscoëfficiënt $18 \cdot 10^{-6}$) maar wordt

daarin belemmerd door het stalen huis. Dit resulteerde in een relatieve binnendiameter verkleining ten opzichte van de stalen pen van 3 tot 5 μm , zodat het stampel uiteindelijk vast liep. In de constructiewijziging conform figuur 103f is de bus opgesplitst in een binnenbus die met tangentele strippen is verbonden met een buitenbus. In feite is eerst een ruw vóórbewerkte binnenbus op een NB-draadvonkensnijmachine in één doorgaande snede langs de buitenomtrek bewerkt conform het advies uit DDP 105, daarna is er een buitenbus omheen gesoldeerd en dat geheel is tenslotte nauwkeurig bewerkt op buiten- en binnenomtrek. De plaatsdefinitie van de boring blijft hier onverkort gehandhaafd; de 'toegevoegde interne vrijheidsgraad' is de concentrische expansie tussen binnen- en buitenbus en het gevoel dat er sprake is van verende ondersteuning op bladveren verdwijnt vanzelf als men even beter



Figuur 103d

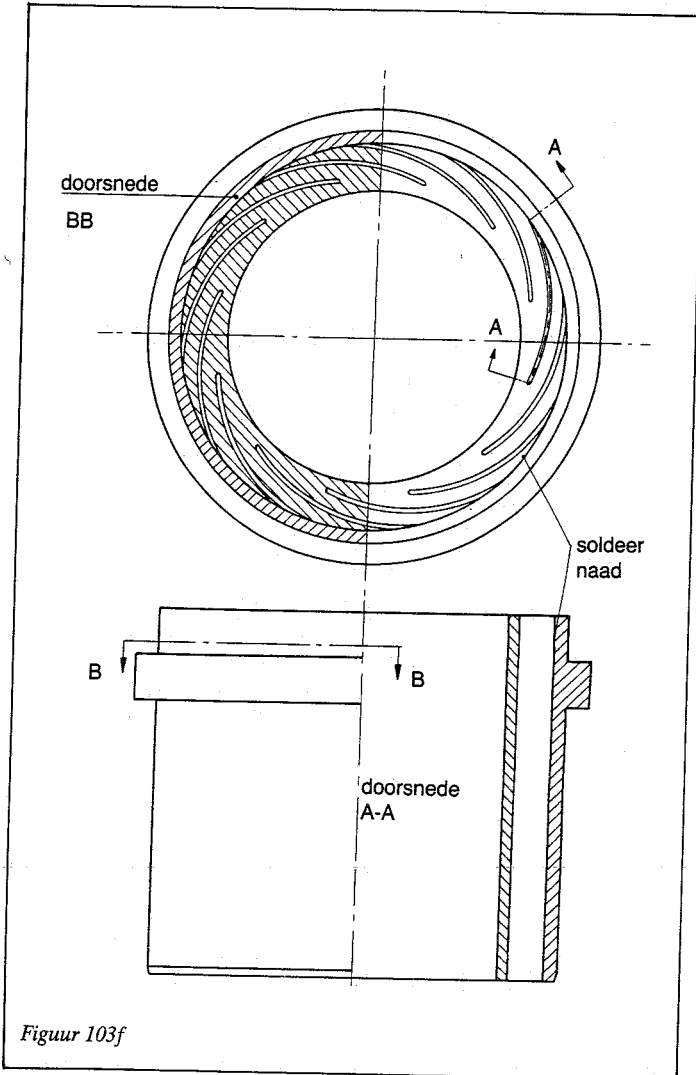


Figuur 103e

nadenkt. De buitenbus komt bij temperatuurstijging onder radiale druk van het huis en dus ook onder tangentele druk en expandeert minder dan de binnenbus wil doen. Op het expansieverschil reageren de bladveren met radiale druk op de binnenbus.

De verhoudingen zijn grof berekend respectievelijk geschat en daarna via een paar proeven zó vastgesteld dat de resterende uitzetting van de binnenbus tot op ca $\frac{2}{3}$ beperkt wordt, dus tot die van een stalen bus, met andere woorden de speling is temperatuur-onafhankelijk geworden!

Nauw verwant hiermee is de constructie van figuur 126k voor thermische expansievrijheid van draadkogellagers.

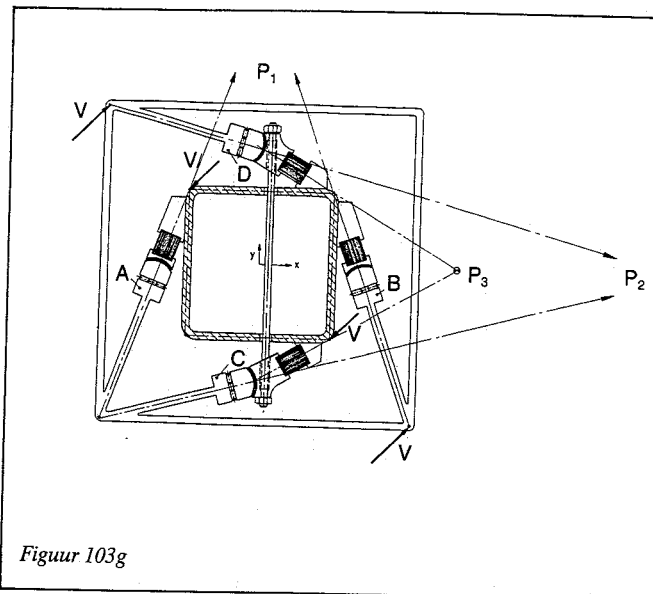


Figuur 103f

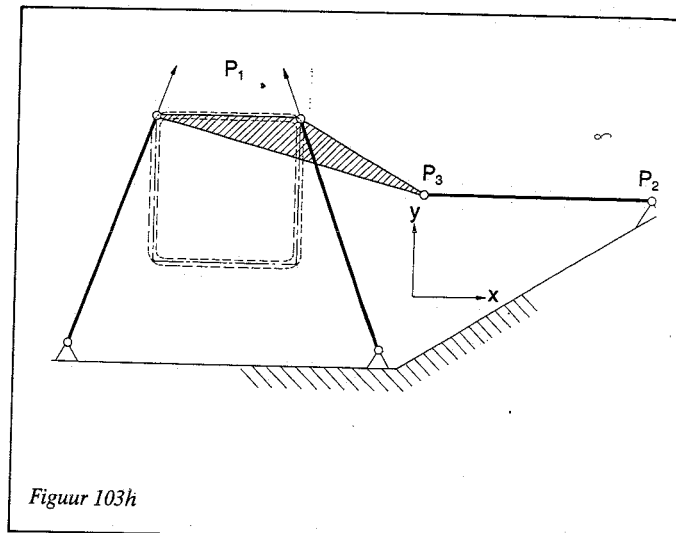
Ook DDP 100 geeft voorbeelden van plaatsdefinitie onafhankelijk van thermisch uitzetting.

Het introduceren van interne vrijheidsgraden is een middel om externe overbepaaldheid op te heffen. In DDP 40-a2 werd al gewezen op de mogelijkheid om constructies met rechtgeleidingen, bij voorbeeld persen, symmetrischer te bouwen en zeker bij rolgeleidingen ook stijver door niet alleen af te steunen op het minimaal noodzakelijke aantal opleggingen (bij voorbeeld 5) maar ook de contactstijfheid van de voorspanrollen te benutten. Wil men zo 8 lageringen optimaal gebruiken dan moeten er drie interne vrijheidsgraden worden ingebouwd.

H.C. de Willigen en P. van Rens bereikten dit bij de geleiding van een vierkante koker (voor een 100 tons pers met gewenste zijdelingse stijfheid van 10^9 N/m) en een frame dat eveneens uit een



Figuur 103g



Figuur 103h

vierkante koker bestond. Voor diagonaalschotten was geen ruimte maar ze maakten gebruik van DDP 170h: diagonalen zijn niet nodig als de voorspankrachten V netjes in de ribben worden ingeleid evenwijdig aan de diagonaal.

In de doorsnede op het benedenniveau (figuur 103g) ziet men 4 axiale railbanen A, B, C en D, gelast op zware staalplaten die in de ribbe van de buitenkoker uitkomen.

Daarop lopen 'rollentankjes', elk gesteund op een zwaar pakket bladveren dat zijdelingse verplaatsing van het tankje (zonder hoekverdraaiing) mogelijk maakt zodat afrollen onder een (kleine) schrankhoek niet funest is. De coördinaten y en φ (eigenlijk de coördinaten y en x van een verpoolpunt P_1 van koker en frame) worden vastgelegd door A en B. Bij de geleidingen C en D staan de bladveren niet in het verlengde van de staalplaten maar onder een zekere hoek, en de dwarskracht op de tankjes wordt opgenomen door een trekstaaf. Hiermee is ten opzichte van het poolpunt P_2 van het frame de x -coördinaat vastgelegd van het poolpunt P_3 van de koker. We zitten nu in principe op het kinematische model van figuur 103h. Hier is dus één interne vrijheidsgraad gecreëerd.

In het bovenniveau is de constructie als met CD nog tweemaal toegepast, zodat in totaal 3 interne vrijheidsgraden zijn toegevoegd en 5 vrijheidsgraden zijn vastgelegd. Een kom/bol-zitting onder elk tankje, met middelpunt in het loopvlak, maakt eenmalige aanpassing mogelijk van de stand van elk tankje aan de bijbehorende railbaan.

Mechanismen berustend op elastische deformatie probeert men vaak uit één stuk materiaal te maken. Met name de 'starre delen' daarin zal men in de ontwerpfase dan ook als één stevig ongedeelde stuk materiaal concipiëren, hoewel dat strikt genomen niet noodzakelijk is. Juist een 'star stuk' dat bij voorbeeld op 'de vaste wereld' wordt vastgeschroefd, -geklemd, -gelijmd of -gelast, had best een deelnaad mogen hebben, mits bij het vastzetten aan de vaste wereld nu beide delen maar goed gepositioneerd en gefixeerd werden. In enkele gevallen is het heel gewenst of zelfs noodzakelijk om van deze mogelijkheid gebruik te maken.

Bij het spuiten van elastische scharnieren in kunststof zal bij voorbeeld de koppelstaaf uit DDP 83d (polypropyleen) met 4 lijnscharnieren in serie, geen moeilijkheden opleveren. De scharnieren staan in serie: als vanuit de ene aanspuiting (wáár die ook zit!) elke holte gevuld is dan zijn alle scharnieren 'doorgespoten' en hebben de lintmoleculen zich georiënteerd haaks op de scharnierlijnen; zij geven een blijvende taai koppeling van de scharnierende delen.

Men realiseert zich dat bij voorbeeld de bekende keukenkastscharnietjes volgens figuur 105a persé 'doorgespoten' moeten zijn; de veel goedkopere fabricage door middel van axiaal afhakken uit geëxtrudeerd lint levert onbruikbare produkten op.

Ook het (voortreffelijke!) kunststof kruisveerscharnier van H.M. Ruyten (Ph. recorderontwikkeling, Wenen) volgens figuur 105b laat zich in de praktijk nog goed spuiten, hoewel hier de vier scharnieren ten opzichte van de kunststofstroming niet in serie maar parallel staan.

Bij de stationschaalindicatie volgens figuur 105c ging het aanvankelijk echter mis.

Het betrof hier een polypropyleen stangenmechanisme dat de slag van de afstemtoetsen overbracht op de spoelkernen van de afstemcircuits en op een aanwijsnaald die zich, rechtgeleid door het mechanisme, langs de volle lengte van de stationschaal kon bewegen (ing. L.P. Weenink, Philips, ontw. Audio). Bij het spuiten via één of meer aanspuitingen liep er altijd wel ergens kunststof tegen een scharnierspleet aan op het moment dat de betrokken holte nog niet geheel gevuld was. De kunststof stolt dan in dat scharnier, de hoofdstroom richt zich op het tweede scharnier; dat wordt door de nog vloeibare en meteen op persdruk komende kunststof doorspoten en zo vult het hele produkt zich tot in het eerste scharnier de inmiddels gestolde 'afstopplug' wordt ontmoet. Dit scharnier is dan niet 'doorspoten' en dus waardeloos; bovendien is er meestal nog sprake van een 'plaklas'.

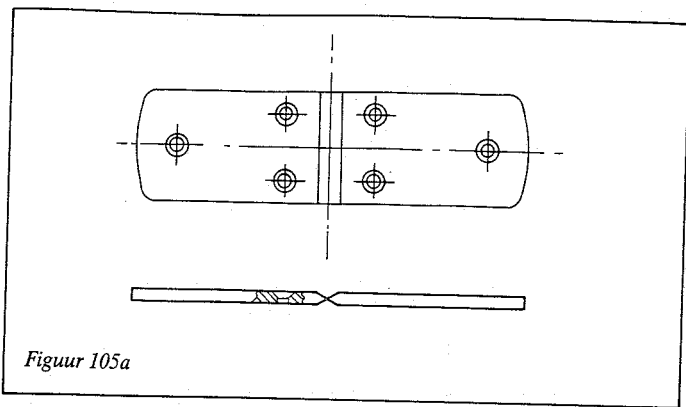
De oplossing is duidelijk: delen op een plaats die toch moet worden ingeklemd bij voorbeeld volgens de stippellijn in figuur 105c!

Ook bij de fabricage van elastische mechanismen uit plaat kan het delen van bij voorbeeld de 'vaste wereld' zinvol zijn, in het bijzonder als ze gemaakt worden op een numeriek bestuurd draadvonkmachine.

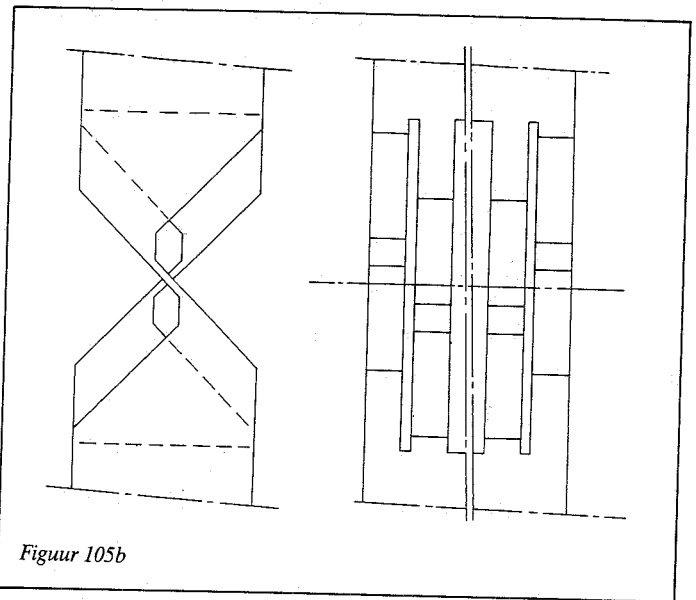
Er zijn NB-draadvonkmachines met automatische draadinvoer: Als een snede voltooid is wordt de draad onder en boven het werkstuk geklemd en doorgesneden, de x-y tafel verplaatst het werkstuk conform de coördinaten van een voorgeboord gat, de draad wordt doorgestoken en gelast en de nieuwe snede kan beginnen. Zulke machines kunnen zonder toezicht (in het bijzonder 's avonds en 's nachts) dóórwerken. De meeste NB-machines hebben deze faciliteit echter niet; voorzover ze niet in meerploegendienst bediend worden, vallen ze 's avonds stil als de laatste (lieft ook de langste) snede voltooid is.

Via 'sneden door de vaste wereld' is het nu vaak mogelijk om zo'n mechanisme geheel of vrijwel geheel in één snede te maken terwijl de maatregelen om het geval toch in de juiste stand te kunnen monteren vaak niet zo ingrijpend of duur hoeven te zijn.

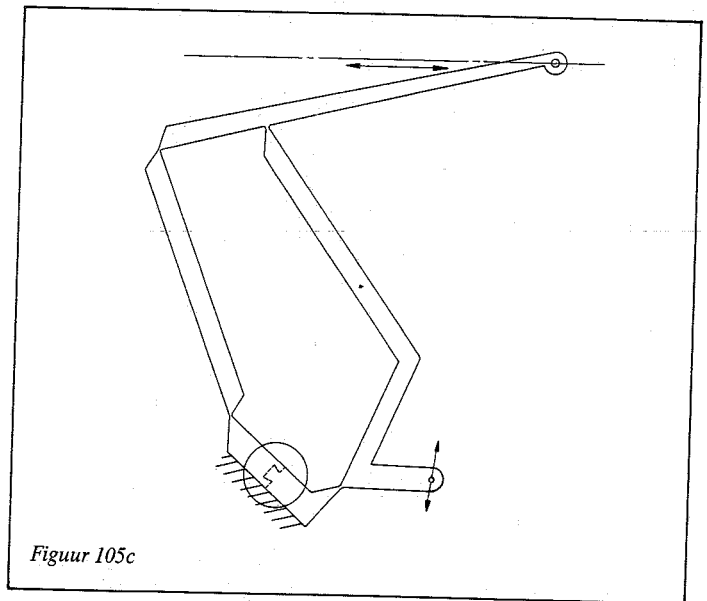
Voorkom ook overbelasting bij vervoer; maak de snede bij



Figuur 105a



Figuur 105b



Figuur 105c

voorbeeld in zwaluwstaartvorm zodat de delen als in een legpuzzel ten opzichte van elkaar altijd redelijk gepositioneerd moeten blijven en zet de zaak zijdelings vast door middel van een boutje met onderleggingen door een voorgeboord gat alvorens het product van de machine te nemen.

De bus uit figuur 103f is zo door middel van NB-draadvonken gemaakt in één snede.

Pas daarna is door middel van een opgesoldeerde buitenbus de doorgaande snede onderverdeeld in de krans van individuele spleten. Uiteraard zijn pas daarna de binnen en buitenpassing gerealiseerd.