

Een meer efficiënte vorm

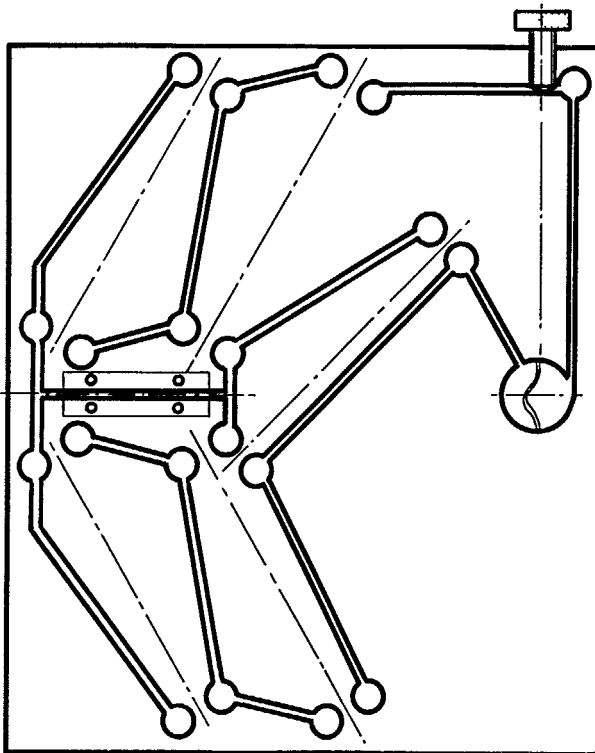
## Gatscharnieren

P.C.J.N. Rosielle

Bij elastische gatscharnieren wordt gebruik gemaakt van geboorde gaten en zaagsneden om de gewenste graden van vrijheid te krijgen. Op die manier kun je ook thuis nauwkeurige instrumenten maken. De evenwijdige spleet van Hein Ruiten werd een klassieker in deze categorie, zie figuur 1. Van het dammetje van een gatscharnier is slechts een beperkt gebied verantwoordelijk voor de verkregen beweeglijkheid.

Met behulp van draadvonken is het mogelijk alleen dit werkzame gebied aan te brengen, zie figuur 2. De Centrale Technische Dienst van de TUE heeft een programmeerbare draadvonkmachine, EXERON, waarmee zowel de gaten als de sleuven aangebracht worden. Dit is mede te danken aan de automatische draadinvoer.

Ir. P. Brinkgreve (TUE-Centrale Technische Dienst) opperde het idee om niet langer ronde gaten te gebruiken. Overtuigd van de waarde van dit idee liet de auteur voor het aanwezige eindi-



Figuur 1. Mechanisme voor het instellen van een evenwijdige spleet (links midden), ontworpen door Hein Ruiten.

Het mechanisme bestaat uit twee parallelogrammen die door een koppelstang verbonden zijn. Aan de uiteinden van de staven die met de streepstijlijn worden aangeduid bevinden zich gatscharnieren. Om de gewenste bewegingsvrijheid te verkrijgen zijn zaagsneden aangebracht. De vorm en de plaats van de zaagsneden is niet van belang. Met de stelschroef kan de gewenste verplaatsing worden ingesteld, terwijl een bladveertje, recht onder de stelschroef, voor enige voorspanning tegen de stelschroef zorgt. Het mechanisme is eenvoudig zelf te maken door het boorpatroon over te nemen en de verbindingssleuven te zagen.

### Gatscharnieren

Draaipunten in nauwkeurige constructies (scharnieren) kunnen worden uitgevoerd met lagers.

Wanneer de gevraagde draaihoek van het scharnier klein is, bijvoorbeeld 0,03 radiaal, zijn lagers en scharnierpennen niet optimaal. Speling en wrijving beperken de positioneer-nauwkeurigheid van de hoekinstelling. Lagers kosten geld, moeten netjes worden ingebouwd en voorgespannen om de speling eruit te halen. Voor kleine rotaties is een gatscharnier, zie figuur 2, een nauwkeurige, kosteneffectieve oplossing. Wat grotere rotaties kunnen door middel van kruisveerscharnieren worden uitgevoerd.

Een gatscharnier wordt uitgevoerd in plaatmateriaal. Dat mag dus ook best de wand van een koker of profiel zijn. In het plaatstuk worden per scharnier twee gaten geboord op een hartafstand iets groter dan de boordiameter, zodat er een 'dammetje' blijft staan. De rest van de plaat wordt losgezaagd, zodat het dammetje de enige verbinding vormt tussen twee delen plaat. Die twee delen scharnieren dan ten opzichte van elkaar in het vlak van de plaat (over een kleine hoek als de spanning in het elastisch gebied moet blijven).

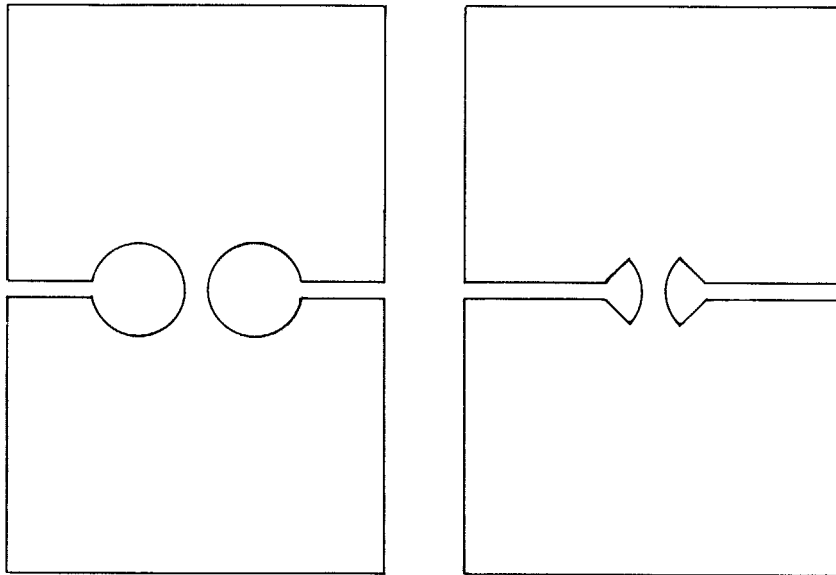
Bewegingen in het vlak kunnen tot het elastisch gebied beperkt worden door middel van aanslagen die ontstaan bij de keuze van de breedte van de zaagsnede.

Het gatscharnier is bedoeld voor belasting in de richting van het dammetje (zie onder "trekstijfheid") en kan niet zo best tegen belasting loodrecht op het dammetje in het vlak van de plaat (zie onder "afschuifstijfheid"). Als de belastingrichting niet samenvallend met de trekrichting te krijgen is, bijvoorbeeld omdat die tijdens bedrijf verschillende kanten op kan staan, dan is het nodig de dwarskracht op het dammetje met een ander dammetje op te nemen. Bijvoorbeeld door een tweede plaat met gatscharnier boven op de eerste te plaatsen, maar zodanig dat het dammetje van dat tweede scharnier loodrecht staat op het dammetje van het eerste.

Wanneer de plaatdelen aan elkaar gebouwd worden moet men tussen de platen dunne, kleine onderleggingetjes plaatsen, zodat alleen op die bevestigingspunten contact ontstaat. Het geheel wordt een kruisveergatscharnier genoemd.

Gatscharnieren kunnen als losse delen in verstaal of andere hoogbelastbare veermaterialen worden uitgevoerd. Heel vaak echter zijn de vervormingen klein, zodat het mogelijk is het scharnier als één geheel met de rest van de constructie uit te voeren. Dat scheelt weer in de kosten van bevestigen, uitrusten, etc. en tevens is de hysteresis van een boutverbinding vermeden. Complete mechanismen uit één plaat zijn dus mogelijk, zie figuur 1.

Met de vuistregels uit dit artikel kan men de trial and error fase overslaan en in een keer het scharnier maken, dat soepel genoeg (torsiëstijfheid) en toch sterk en stijf genoeg is.

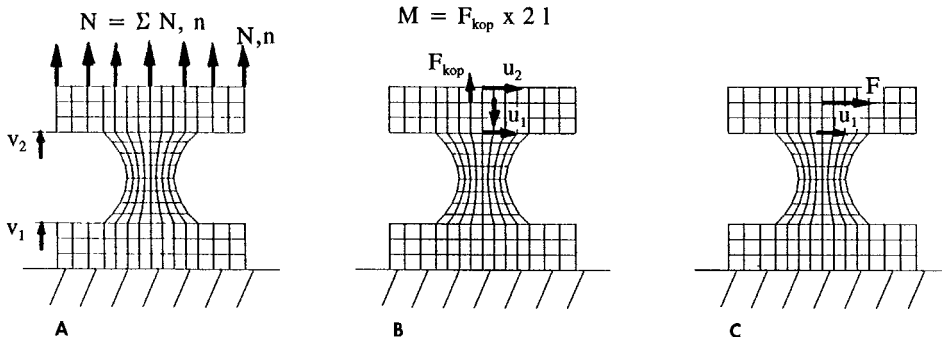


**Figuur 2.**  
**a** Klassiek gatscharnier.  
**b** Nieuw gatscharnier gemaakt met draadvonken.  
 Het nieuwe scharnier vergt minder dan een kwart van de ruimte die nodig is voor het klassieke scharnier.

ge elementen pakket ALGOR een macro (programma) schrijven door T. Renette.

In een afbeelding van een gatscharnier op het scherm van de computer kunnen een aantal keuzewaarden met het toetsbord worden ingegeven, waarna de gekozen vorm inclusief de elementenverdeling in beeld komt. Een berekening van spanningen en vervormingen onder belasting kan dan in enkele minuten worden uitgevoerd. De heren A. Bron en C. Gielen hebben met deze macro een scala van vormen en belastingen onderzocht, zodat zij konden aangeven hoe een gatscharnier moet worden geconstrueerd.

Voor de bepaling van de (genormeerde) stijfheden zijn definities gemaakt waarbij rekening is gehouden met de reeds bestaande definities.



**Figuur 3.** Grootheden die de afmetingen van het gatscharnier bepalen.

Van de rekenresultaten zijn grafieken gemaakt en zijn met behulp van regressietechnieken vuistregels opgesteld

Overzicht van de variabelen, zie figuur 3:

- R: straal
- D: diameter
- $\alpha$ : hoek waarover straal R is aangebracht

- h : damhoogte
- t : plaatdikte
- E : elasticiteitsmodulus
- $c_{xx}$  : trekstijfheid
- $c_{zz}$  : afschuifstijfheid
- $k_{\phi\phi}$  : torsiestijfheid
- $\sigma_{bb}$  : maximale buigspanning

**Werkgebied voor parameters**

Voor de geometrie van een gatscharnier zijn de verhouding tussen damhoogte en diameter  $h/D$  en de hoek  $\alpha$  van belang. Bij waarden voor  $h/D$  waarbij de damhoogte ongeveer gelijk is aan de diameter van het gat is er geen nuttig gebruik meer mogelijk. Bij zeer kleine waarden ontstaat een lange smalle overgang die ook niet toepasbaar is. De hier beschouwde verhouding  $h/D$  voor praktische toepassing ligt tussen 0,01 en 0,36. Voor de hoek  $\alpha$  worden waarden genomen tussen  $60^\circ$  en  $150^\circ$ . Bij waarden kleiner dan  $60^\circ$  is er nauwelijks nog sprake van een gatscharnier. De snede zal dan bijna recht zijn en hierdoor relatief goed te benaderen door een recht balkje. Waarden groter dan  $150^\circ$  zijn al te berekenen met DDP64 [1].

**Eindige elementen model met randvoorwaarden**

Het eindige elementen model is gemaakt met behulp van een macro waarbij de geometrie en de verdeling van de ele-

**Figuur 4.** Eindige elementen modellen die voor de berekeningen gebruikt zijn. In de figuren is de elementverdeling en de wijze waarop de belasting is aangebracht zichtbaar. Tevens is de richting van de verplaatsing onder belasting aangegeven.

- De volgende gevallen zijn te onderscheiden:
- a Trekbelasting,
  - b Moment door het aanbrengen van twee tegengestelde dwarskrachten op een afstand van  $2l$  (tweemaal de gekozen rastermaat),
  - c Dwarskrachtbelasting.
  - d Spanningsverloop in een elastisch scharnier met  $2\alpha = 60^\circ$ . Opvallend is dat er geen spanningsconcentraties zijn bij de overgang van radius naar recht. De geringe asymmetrie ontstaat door éénzijdige inklemming en belasting met een dwarskracht.

Gatscharnieren

menten met een aantal parameters is bepaald. Van dit model wordt de gehele onderrand volledig ingeklemd, zie figuur 4.

De belasting op trek wordt aangebracht door op elk knooppunt van de bovenrand een kracht te zetten. Hiermee wordt een continu verdeelde spanningsinleiding gesimuleerd.

Het moment wordt verzorgd door middel van een koppel dat iets onder de bovenrand is aangebracht. Daar de rekenmethode geen zuivere momenten kan verwerken, is dit de enig mogelijke manier. De dwarskracht wordt iets onder de bovenrand aangebracht om te voorkomen dat randeffecten een rol gaan spelen bij de berekening.

De axiale verlenging  $\delta v$  is gedefinieerd als  $v_2 - v_1$ , zie figuur 4. De rotatie  $\varphi$  wordt na linearisering ( $\tan(\varphi) = \varphi$ , bij  $\varphi \ll 1$ ) bepaald door  $\varphi = (u_2 - u_1)/\delta l$ , met  $\delta l$  als de lengte tussen de knooppunten. Voor de afschuiving wordt als maat genomen  $\delta u = u_{1d} - u_{1m}$ , zijnde de verplaatsing veroorzaakt door de dwarskracht minus de verplaatsing veroorzaakt door zuivere rotatie zoals berekend bij het aanbrengen van een moment.

Definities van de stijfheden

Trekstijfheid

De trekstijfheid is gedefinieerd als de verhouding tussen de kracht  $N$  en de verlenging  $\delta v$  van het versmalde deel van het gatscharnier. De normering hiervan vindt plaats door deling door de elasticiteitsmodulus  $E$  en de dikte  $t$ .

$$c_{xx} = \frac{N}{\delta v}$$

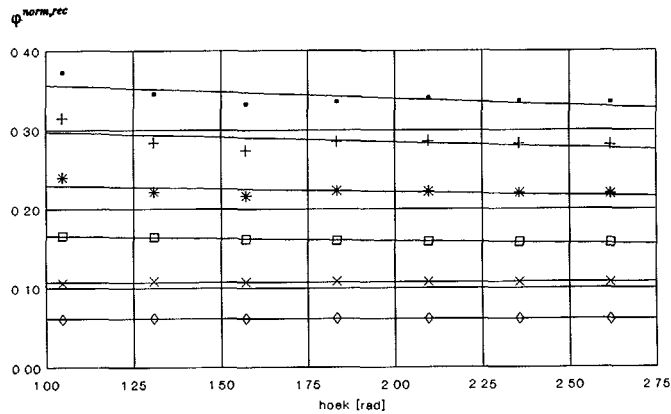
$$c_{xx}^{norm} = \frac{c_{xx}}{E \cdot t}$$

Rotatiestijfheid

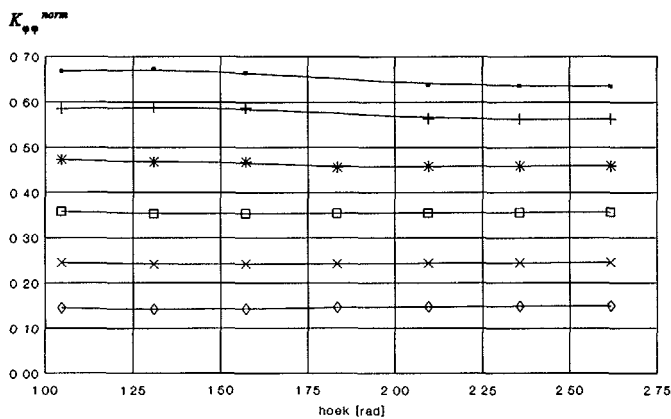
De rotatiestijfheid is gedefinieerd als de verhouding tussen het in de vorm van een koppel aangebrachte moment  $M$  en de hierdoor optredende rotatie  $\varphi$  van het 'vrije' deel. Genormeerd wordt door vermenigvuldiging met  $12$  en deling door de elasticiteitsmodulus  $E$ , de dikte  $t$  en het kwadraat van de damhoogte  $h$ .

$$k_{\varphi\varphi} = \frac{M}{\delta\varphi}$$

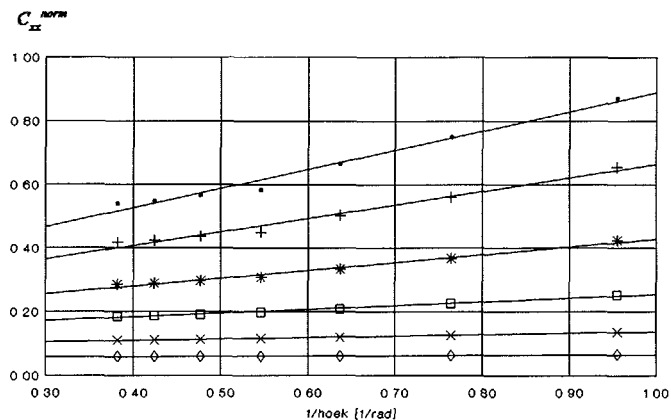
$$k_{\varphi\varphi}^{norm} = \frac{12 \cdot k_{\varphi\varphi}}{E \cdot t \cdot h^2}$$



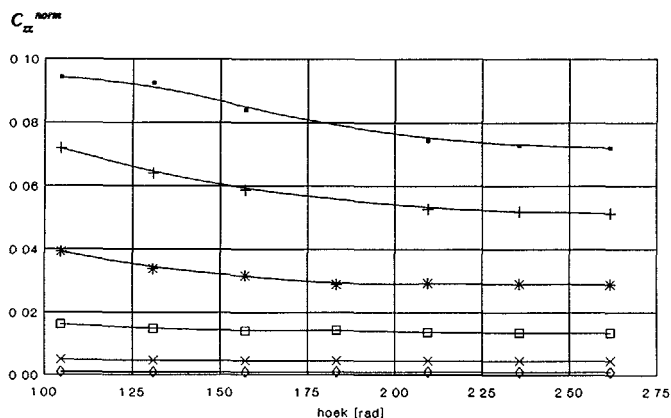
Figuur 5. Rotatie in relatie tot  $\alpha$ :  $\sigma_{bb}^{norm}$  is nagenoeg onafhankelijk van de grootte van de hoek  $\alpha$ , wanneer  $\alpha > 1$  radiaal.



Figuur 6. Rotatiestijfheid in relatie tot  $\alpha$ :  $K_{\varphi\varphi}^{norm}$  is onafhankelijk van de hoek  $\alpha$ , wanneer  $\alpha > 1$  radiaal.



Figuur 7. Trekstijfheid in relatie tot  $\alpha$ :  $c_{xx}^{norm}$  is evenredig met  $1/\alpha$ , voor  $\alpha > 1$  radiaal.



Figuur 8. Afschuifstijfheid in relatie tot  $\alpha$ :  $c_{zz}^{norm}$  is zwak evenredig met  $\alpha$ , voor  $\alpha > 1$  radiaal.

h/D  
 —●— 0.333 —+— 0.25 —\*— 0.16 —□— 0.089 —x— 0.04 —◇— 0.013

**Afschuifstijfheid**

De afschuifstijfheid is gedefinieerd als de verhouding tussen de dwarskracht  $F$  en de verplaatsing ten gevolge van afschuiving  $\delta u$  (hierbij moet de verplaatsing ten gevolge van de rotatie worden geëlimineerd).

Normering vindt plaats door deling door de elasticiteitsmodulus  $E$  en de dikte  $t$ .

$$c_{zz} = \frac{F}{\delta u}$$

$$c_{zz}^{norm} = \frac{c_{zz}}{E \cdot t}$$

**Rotatie**

De rotatie wordt gedefinieerd als de verdraaiing van het deel boven het gatscharnier (vrije deel). Daar vrijwel alle rotatie een gevolg zal zijn van de plaatselijke vernauwing mag de rotatie in het vrije deel constant worden verondersteld. Genormeerd wordt door vermenigvuldiging met de elasticiteitsmodulus  $E$  en deling door de optredende maximale buigspanning. Terwille van de afleesbaarheid wordt de genormeerde waarde reciprook weergegeven.

$$\varphi = \varphi_{top}$$

$$\varphi^{norm,rec} = \frac{\sigma_{bb}}{E} \varphi$$

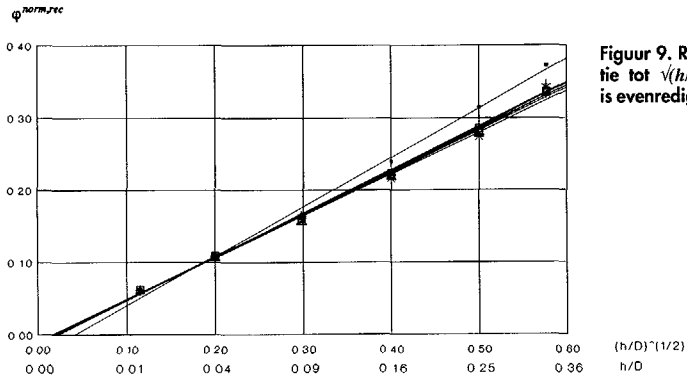
**Conclusies van de relaties**

Voor zowel rotatie als rotatiestijfheid kan worden opgemerkt dat er nauwelijks afhankelijkheid van de hoek  $\alpha$  is, zie de figuren 5 en 6. De trekstijfheid vertoont bij benadering een lineair verband met de reciproke waarde van de werkingshoek, zie figuur 7. De afschuifstijfheid is bij grote  $\alpha$  bij benadering lineair met de hoek  $\alpha$ , zie figuur 8.

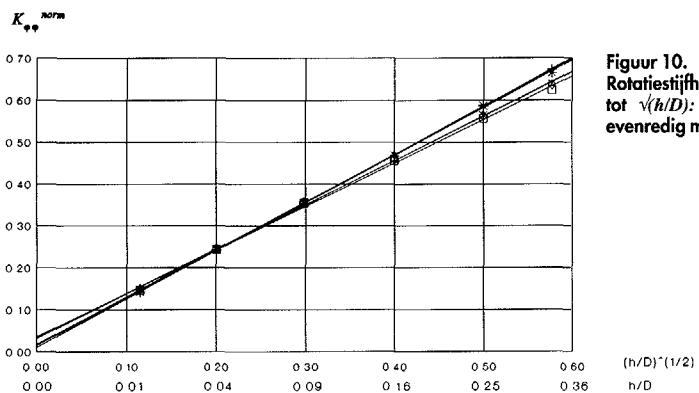
Voor de afhankelijkheid van de stijfden met de verhouding  $h/D$  is in eerste instantie uitgegaan van het voor klassieke gatscharnieren eerder bepaalde lineaire verband met  $\sqrt{h/D}$ . Voor de rotatie en de rotatiestijfheid bleek dit verband goed te voldoen, zie figuur 9 en 10. Bij de trek- en afschuifstijfheid zou hierbij echter de relatieve fout te groot worden. Een lineair verband met respectievelijk  $h/D$ , zie figuur 11, en  $(h/D)^{5/4}$ , zie figuur 12, geeft hierbij veel betere resultaten.

**Regressieberekeningen**

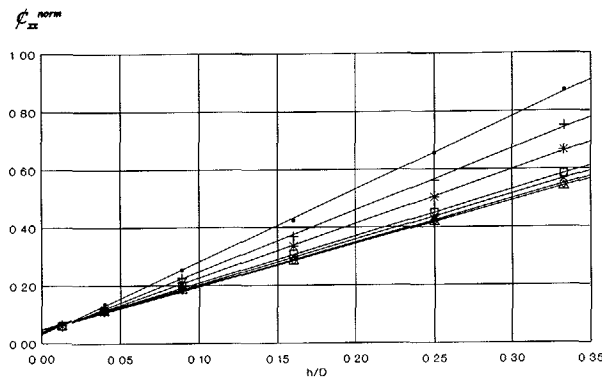
Voor het vaststellen van de vuistregels is op de berekende waarden lineaire regressie toegepast, waarvoor het spreadsheet LOTUS is gebruikt. In eerste in-



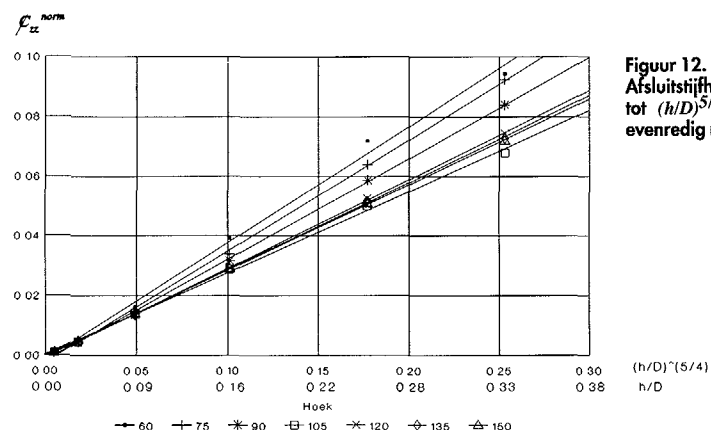
Figuur 9. Rotatie in relatie tot  $\sqrt{h/D}$ :  $\sigma_{bb}^{norm}$  is evenredig met  $\sqrt{h/D}$ .



Figuur 10. Rotatiestijfheid in relatie tot  $\sqrt{h/D}$ :  $K_{\varphi\varphi}^{norm}$  is evenredig met  $\sqrt{h/D}$ .



Figuur 11. Trekstijfheid in relatie tot  $(h/D)^{5/4}$ :  $c_{xx}^{norm}$  is evenredig met  $(h/D)^{5/4}$ .



Figuur 12. Afsluitstijfheid in relatie tot  $(h/D)^{5/4}$ :  $\sigma_{bb}^{norm}$  is evenredig met  $(h/D)^{5/4}$ .

— 60 — + 75 — \* 90 — □ 105 — x 120 — ◊ 135 — ▽ 150

## Gatscharnieren

stantie is dit voor iedere hoek gedaan. Om de eenvoud te vergroten is het snijpunt met de y-as door de oorsprong gelegd, zodat alleen rechten van de formulevorm  $y = a \cdot x$  ontstaan. Alleen bij de trekstijfheid zou dit te grote fouten tot gevolg hebben, en werd dit niet gedaan. Wanneer de op deze manier verkregen constanten per hoek niet binnen redelijke grenzen gelijk bleken, zijn ze opnieuw onderworpen aan een regressieberekening. Voor zowel rotatie als torsiestijfheid was dit niet nodig omdat deze onafhankelijk van de hoek  $\alpha$  zijn. Voor trekstijfheid is lineaire regressie ten opzichte van  $1/\alpha$  toegepast, terwijl voor de afschuifstijfheid regressie ten opzichte van  $\alpha$  de beste resultaten gaf.

## Vuistregels

## Trekstijfheid

Uitgaande van de gevonden afhankelijkheid van  $h/D$  en  $1/\alpha$  en de uit de regressie bepaalde constanten levert dit.

$$c_{xx} = [0.039 + a \cdot (\frac{h}{D})] \cdot E \cdot t,$$

$$\text{met } a = 1862 \cdot (\frac{1}{\alpha}) + 0,700.$$

## Afschuifstijfheid

Bij de afschuifstijfheid treedt afhankelijkheid op ten opzichte van  $(h/D)^{5/4}$  en  $\alpha$ , waardoor met de regressieresultaten de formule ontstaat:

$$c_{zz} = f_z \cdot (\frac{h}{D})^{5/4} \cdot E \cdot t,$$

$$\text{met } f_z = -0.069 \cdot \alpha + 0.452.$$

## Torsiestijfheid en rotatie

Bij beide geldt een lineair verband met  $\sqrt{h/D}$  en een onafhankelijkheid van de hoek  $\alpha$ .

De vuistregels worden hiermee

$$k_{\varphi\varphi} = 0.099 \cdot \sqrt{\frac{h}{D}} \cdot E \cdot t \cdot h^2,$$

onafhankelijk van  $\alpha$

$$\sigma_{bb} = 0.57 \cdot \sqrt{\frac{h}{D}} \cdot E \cdot \varphi,$$

onafhankelijk van  $\alpha$

## Conclusie

De ten opzichte van de geometrie relatief kleine verplaatsingen samen met het binnen het elastische gebied blijven van de vervormingen, rechtvaardigen het gebruik van een lineair elementen model.

Het vermoeden dat slechts een beperkt gebied van het originele gatscharnier bepalend is voor de grote vrijheid met betrekking tot roteren, wordt bevestigd doordat de torsiestijfheid en buigspanning onafhankelijk zijn van de werkingshoek.

Daar zowel trek als afschuiving in verband staan met de lengte van de versmalling, is de afhankelijkheid van de hoek  $\alpha$  hierbij niet verwonderlijk.

De voordelen van de voorgestelde scharniervorm zijn:

- 1 Gunstige verhouding van trekstijfheid/torsiestijfheid of trekstijfheid/toelaatbare hoekverdraaiing – tot 1,6 maal stijver bij zelfde toelaatbare hoekverdraaiing dan het conventionele gatscharnier.
- 2 Minder inbouwruimte nodig: bij  $\alpha = 120$  graden gebruikt men minder dan een vierde van de ruimte die nodig is voor een gewoon gatscharnier. Vaak

kunnen  $\alpha$ -waarden nog kleiner gekozen worden.

De bovenstaande voordelen gelden ten opzichte van de bekende gatscharnieren volgens DDP 64 die al als voordeel hadden dat men er spelingvrij en wrijvingsloos (hysteresisvrij) mee kon instellen en positioneren.

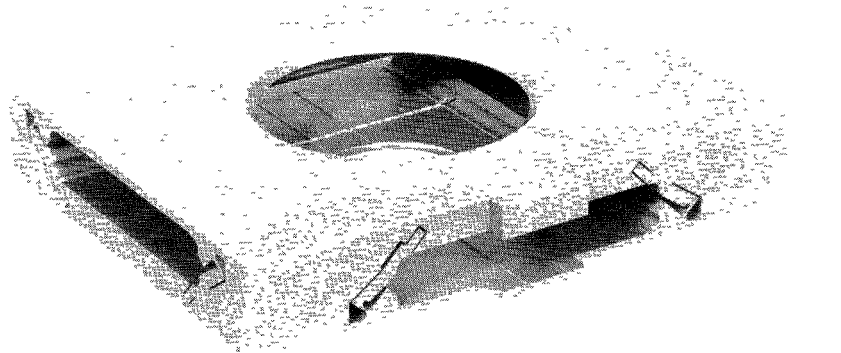
## Nawoord

Degenen die al langer gatscharnieren toepassen doen dat vaak met de grafiek uit DDP 64. Sinds enkele jaren is de eendige elementen software op de PC dusdanig gebruiksvriendelijk en snel dat een compleet mechanisme in zijn definitieve vorm berekend kan worden. Constructeurs moeten echter vaak vlot kunnen kiezen uit principes. In het eerste stadium van een ontwerp zijn vuistregels en grafieken sneller en daarom is hier voor die presentatie gekozen.

## Literatuur

1 DDP64 komt uit het vroegere TJE dictaat 4007 van Prof. ir. W. van der Hoek en is thans te vinden in het dictaat Constructie Principes van Prof. dr. ir. M.P. Koster, TUT dictaatnr. 113136.

Ir. P.C.J.N. Rosielle is universitair docent aan de faculteit Werktuigbouwkunde, sectie Constructies en Mechanismen van de TU-Eindhoven.



Figuur 13. Uit één 20 mm dik blok RVS (AISI 316) gedraadvonkte kruisslede voor goniometerkop. Afgebeeld is het huis dat – na montage – op keramische ( $Al_2O_3$ ) kogels, met een doorsnede van 4mm, rolt over een balk die eruit gesneden is met een slag van 15 mm. Door het huis rolt een tweede balk loodrecht op de eerste, die een slag van 10 mm heeft.

De banen waarin de kogels rollen liggen zeer nauwkeurig tegenover elkaar doordat alles uit één stuk gevonkt is. Voor één translatie zijn acht kogels gebruikt. Drie van de acht zijn verend ondersteund door de loopbaan elastisch scharnierend te maken (zie detail). De loopbaan wordt met aparte veren aangedrukt, zodat de 5 kogels op starre banen in contact blijven tijdens transleren (zorgenaamde statisch bepaalde rechtgeleiding).

