

# Des Duivels Prentenboek (DDP) (16)

In mei 1978 startte de Constructeur met de publicatie van een reeks artikelen onder de veelzeggende naam Des Duivels Prentenboek (DDP). We schreven toen: Des Duivels Prentenboek is een verzameling constructieve toepassingen van positioneringsnauwkeurigheid en dynamisch gedrag in mechanismen, overgenomen uit het meer omvattende collegedictaat: 'Het voorspellen van dynamisch gedrag en positioneringsnauwkeurigheid van constructies en mechanismen' van prof. ir. W. van der Hoek van de TH Eindhoven.

In totaal zijn vijftien afleveringen van dit DDP verschenen in de Constructeur. De ervaring heeft inmiddels geleerd dat Des Duivels Prentenboek een bruikbaar middel is tot kennisoverdracht. Het stelt de constructeur in staat niet alleen van zijn eigen ervaringen te leren maar ook van die van voorgangers en collega's. De verzameling groeit overigens nog steeds en is aanleiding geweest om in de nieuwe druk van het collegedictaat een aantal nieuwe DDP's op te nemen, naast een aantal aanvullingen op reeds gepubliceerde DDP's. In de komende maanden zal een en ander in de Constructeur gepubliceerd worden.

Daarbij is iedereen uitgenodigd er niet alleen inspiratie uit te putten, maar er ook eigen bijdragen aan toe te voegen. Door de samenstellers wordt aanbevolen om de tekst niet in een ruk, doch bij stukjes en beetjes door te lezen. Voor het terugvinden van bepaalde oplossingen wordt aan het eind een trefwoordenregister opgenomen. Wat betreft de aanvullingen zal in sommige gevallen waarin het gaat om erg korte stukken tekst, alleen de aanvulling zelf worden gepubliceerd.

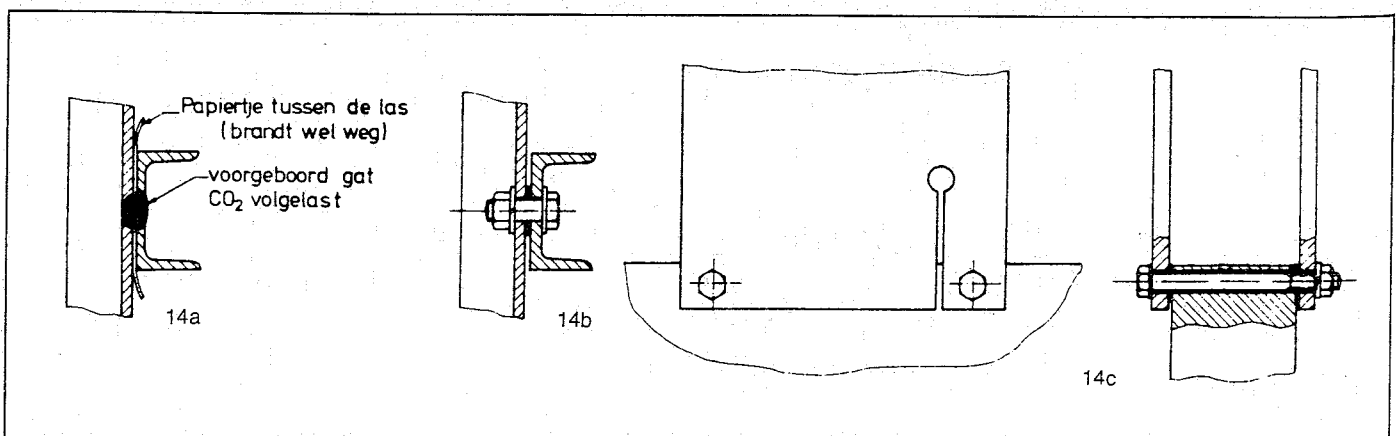
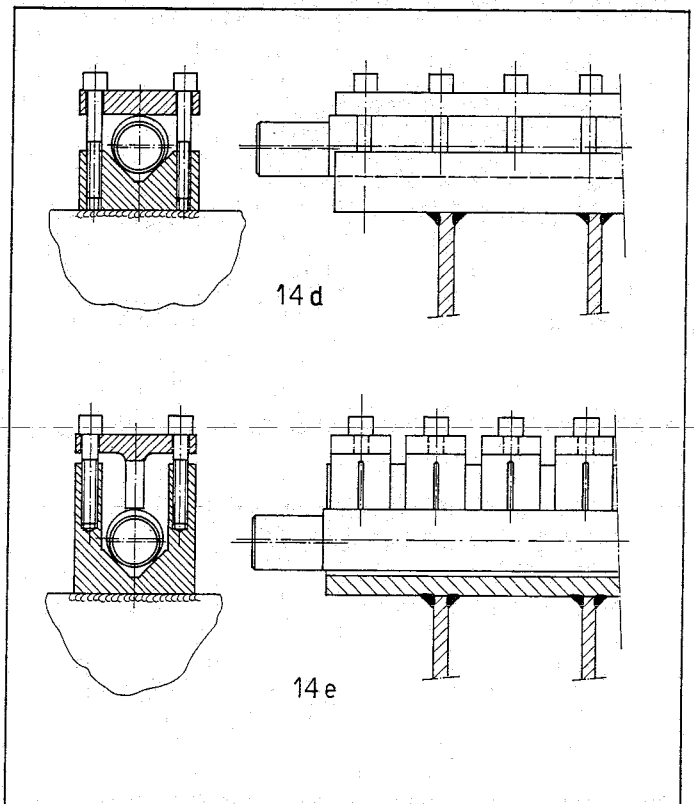
In de overige gevallen zal aanvulling inclusief de bijbehorende eerder gepubliceerde tekst worden geplaatst.

## D.D.P. 14

Constructies die nauwkeurig moeten zijn en blijven, mogen geen hysteresis vertonen, dat wil zeggen geen geheugen voor voorafgaande belastingen. Vlakken (platen) die door bouten of lasverbindingen op elkaar getrokken zijn, zullen in het algemeen contactzones vertonen met naar nul aflopende aanleg-

druk. Optredende verschuifneiging ('schuifspanning') zal het eerst in gebieden met lage vlaktedruk aanleiding geven tot lokale microslip.

Bij lasverbindingen die geen hysteresis of geheugen mogen vertonen, moet men dus vermijden dat materiaaloppervlakken buiten de las door nakrimpen op elkaar worden getrokken. (zie D.D.P. 14a).



Metingen in het Laboratorium voor Ruimteonderzoek van het Sterrenkundig Instituut van de R.U. toonden aan dat bij puntlassen de materiaaloppervlakken rond de las ten gevolge van krimp net iets los van elkaar komen, zodat bij belastingscycli geen hysteresis te meten was, behalve natuurlijk de eerste keer als de lasspanningen vrijkomen. Bij boutverbindingen moet men de oplegvlakken zo dimensioneren dat de aanlegdruk in principe overal aanwezig is. D.D.P. 14b geeft hiervan een voorbeeld: smalle tussenlegringen brengen de trekkracht van de bout als drukkracht over een gedefinieerd oppervlak over op de plaat, de druk  $\sigma_d$  is egaal verdeeld en hoog: een schuifspanning  $\tau < \delta \mu_d$  kan zonder microslip worden opgenomen. Als niet alleen de krachten maar ook koppels moeten worden overgebracht, ontstaat er behoefte aan minstens twee van zulke verbindingsplaatsen, liefst op zo groot mogelijke onderlinge afstand. Dan dreigt echter overbepaaldheid en ten gevolge van uitzettingsverschillen kan dan zelfs in een sterk aangehaalde boutverbinding nog verschuiving optreden. Dit is te voorkomen door een elastisch element in te voeren, bij voorbeeld met behulp van een zaagsnede. (zie D.D.P. 14c).

Wanneer onderdelen die in eerste instantie hysteresisvrij zijn samengeklemd gezamenlijk op buiging worden belast, zullen de verlengingen ter plaatse van de contactpunten meestal in beide onderdelen niet gelijk zijn, zodat plaatselijk slip kan optreden. (Vergelijk D.D.P. 12 Constructeur 9 (1978), voor torsie en voor trek)

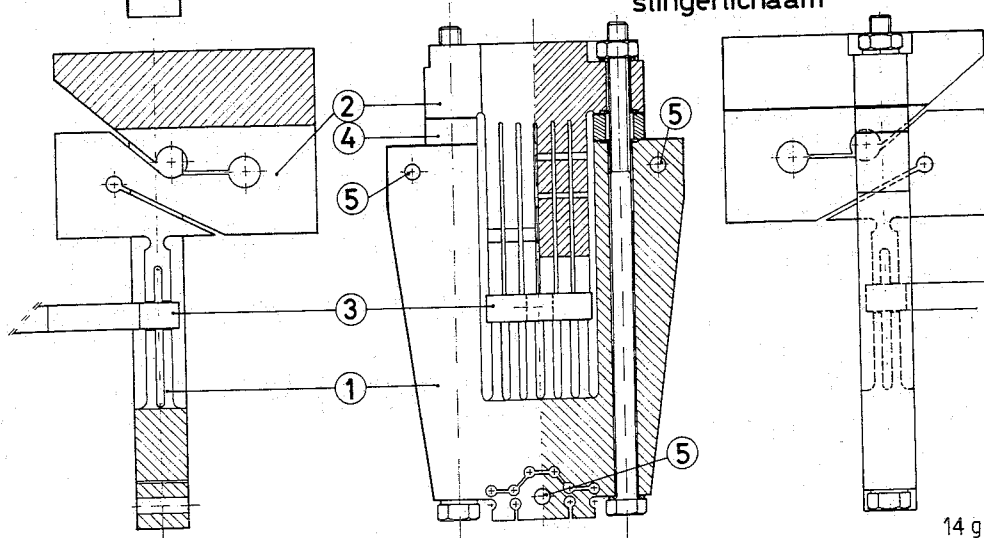
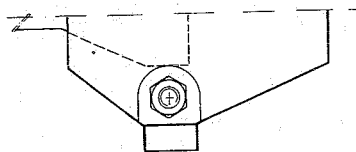
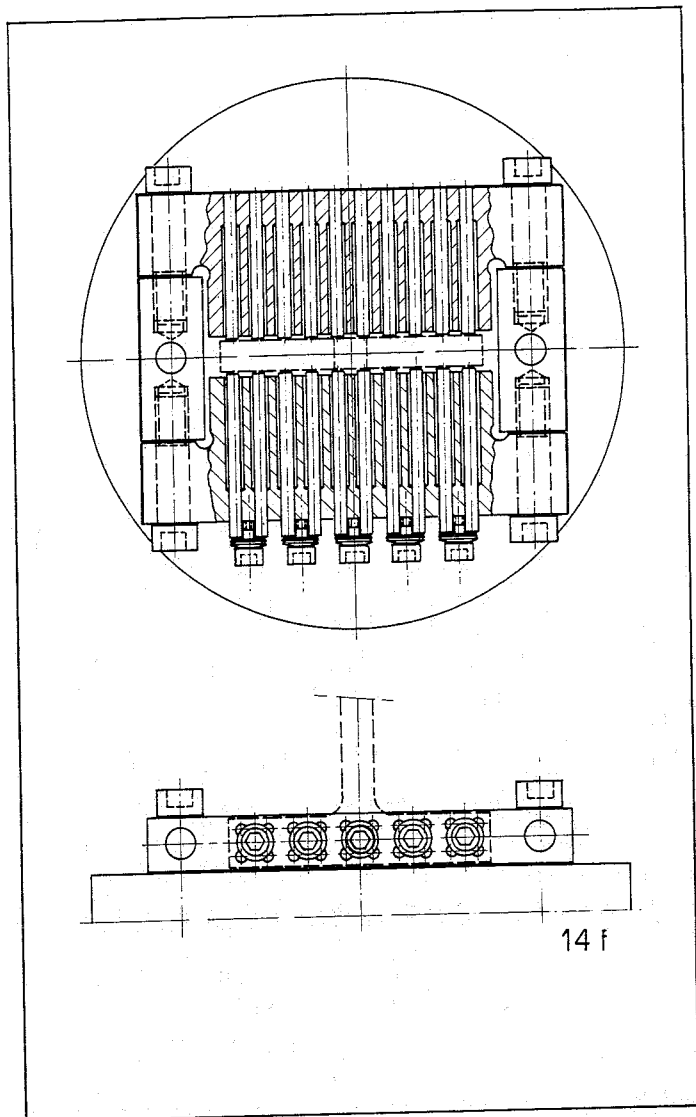
Wil men de rekken in beide onderdelen wel gelijk houden dan moet de neutrale lijn voor beide laten samenvallen.

Ir. C. Roset elimineerde zo bij een overhangende excentrische astap een hysteresis van circa 40  $\mu\text{m}$  door over te gaan van de constructie volgens D.D.P. 14d naar die volgens D.D.P. 14e.

De neutrale lijn van het V-blok is nu in de hartlijn van de as gebracht. Het aandrukstuk is door een aantal zaagsneden redelijk in staat gesteld zich bij de uitzetting van de uiterste vezel van de as aan te passen.

Dit laatste principe heeft een algemene geldigheid.

Met een reeks sleuven in één richting kan een oplegvlak zich aanpassen aan 'uitzetting' van het opgespannen lichaam in de richting loodrecht op de sleuven. Met twee reeksen sleuven



- 1 Vast klemblok
- 2 Verend klemblok
- 3 Proefstuk
- 4 Vuilstuk samengeslepen met 3
- 5 Gat en voor bevestiging aan slingerlichaam

(onderling loodrecht) is elke aanpassing in het vlak ( $x$ ,  $y$  en  $\phi$ ) mogelijk.

In plaats van ingefraise sleuven kan men ook een 'spijkerbed' nemen van op een grondvlak opgelaste of opgesoldeerde pennen of in een veld van geboorde gaten ingelaten pennen, die dan gezamenlijk kops vlak geslepen worden om zo het eigenlijke 'oppervlak' te vormen. Hiermee kan men uitzettingen opvangen ten gevolge van ongelijke temperatuur of ongelijke uitzettingscoëfficiënt, of ongelijke rek door buiging, trek of torsie of door ongelijke dwarscontractie  $\epsilon_{dwars} = -\nu \frac{T d}{E}$  waarin de dwarscontractiecoëfficiënt van Poisson is).

Zo geeft D.D.P. 14f een eerste voorstel voor een op dit 'borstelprincipe' gebaseerde hysteresisvrije inklemming voor een H-vormig proefstuk (uit gelaste plaat) voor lasnaad onderzoek. Door middel van torsietrillingen (J. v. Ginneken, THE WM/WP).

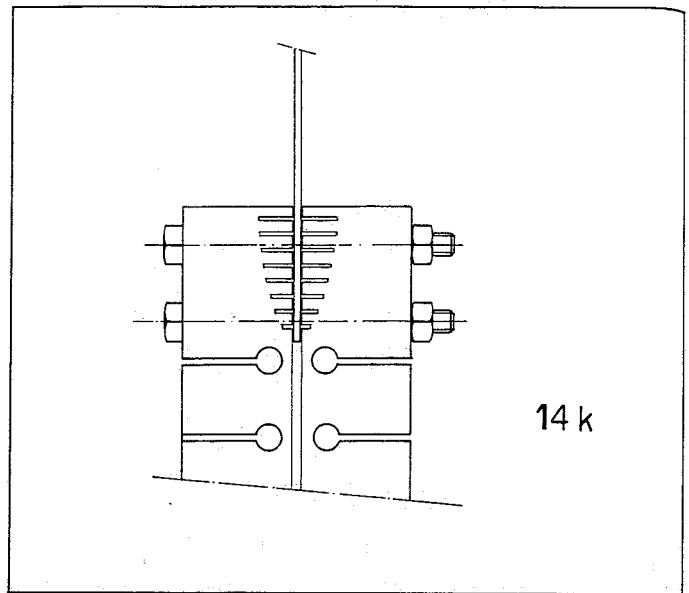
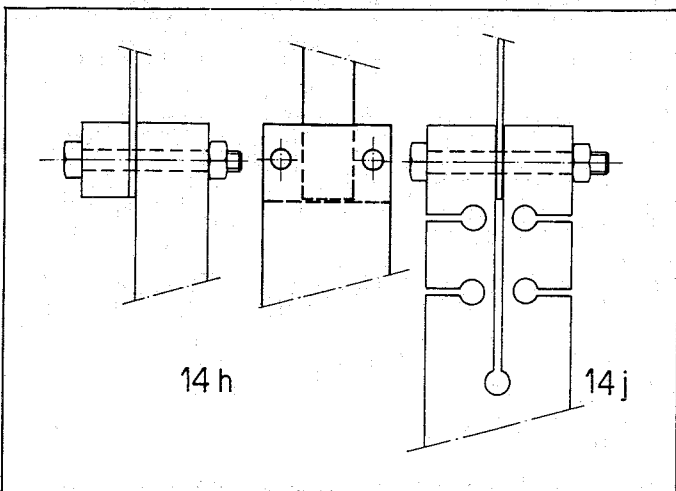
Het 'borstelbed' bestaat hier uit twintig pennen  $\phi 4$ , vrije lengte 35 mm. De gezamenlijke dwarsstijfheid is groter dan  $10^7$  N/m.

De pennen slippen niet zolang de op te nemen dwarsverplaatsing in micrometers kleiner blijft dan circa één kwart van de per pen overgedragen normaalkracht in Newtons. Deze moet in verband met knik wel onder de 1400 N blijven.

Een nadeel van deze klem is de hysteresis in de inklemming van de individuele pennen zelf. De demping moet namelijk zo gering zijn dat het proefstuk  $10^6$  trillingen uitvoert eer de amplitude met een factor  $e (= 2,78)$  is afgenomen. In de definitieve uitvoering volgens D.D.P. 14g is dit bezwaar ondervangen.

De 'pennen' zijn gevormd door inzagen van een massief blok hysteresisarm roestvast staal. Het bovenzvlak veert bij inspannen 300  $\mu$ m in en garandeert zo een vaste klemkracht. De onderpennen veren daarbij 9  $\mu$ m in: voldoende om vlakslipjopteranties op te vangen.

In het bijzonder de inklemming van op wisselende trek belaste bladveren of stalen strippen is moeilijk hysteresisvrij te krijgen.



De normaalspanning  $\sigma_d$  in het klemvlak is meestal aanzienlijk lager dan de hoogste trekspanning in de veer (bij voorbeeld een factor 5. Reden: je kan de klembouten, nodig om op een hogere  $\sigma_d$  te komen vaak niet onderbrengen, je wilt trouwens vaak niet hoger omdat het materiaal van het klemblok minder sterk is dan dat van de veer en omdat je een op trek reeds zwaar belaste veer niet extra wil belasten met nog eens een even hoge drukspanning daar loodrecht op).

Via wrijving roept de  $\sigma_d$  een schuifspanning  $\tau = \mu \sigma_d$  op die de trek moet opnemen.

(Overwegend enkelzijdig als de veer met een blokje op het eigenlijke klemvlak is getrokken (volgens D.D.P. 14h), tweezijdig als het klemblok op trek exact symmetrisch is uitgevoerd bij voorbeeld volgens D.D.P. 14j. Vergelijk in dit verband ook D.D.P. 12 en D.D.P. 55, Constructeur 5 (1979)!)

De schuifspanning is gauw een factor 20 tot 50 lager dan de trekspanning. De laatste werkt op de stripdoorsnede  $b \times \delta$ ; de schuifspanning moet dus kunnen werken op een lengte  $l > 10$  tot 50  $\delta$ .

We moeten dus streven naar symmetrische inklemming over circa 25  $\delta$ . De schuifspanning is alleen dáár operationeel waar relatieve verplaatsing van de strip langs de klem optrad of dreigt op te treden; bij eerste belasting slijpt hij er dus uit over een lengte  $\Delta l$  (bij het ingeklemde deel lineair oplopende trekkracht in de strip) groot  $\Delta l = \frac{\sigma l}{2E} = \frac{\sigma_{25} l}{2E}$  (dus makkelijk iets in

de orde van 60  $\mu$ m per mm stripdikte). De hysteresisarbeid in de klemmen komt dan in dezelfde orde als de elastisch in de strip opgeslagen arbeid. Voor bij voorbeeld rekmetingen of voor preciese positionering is een dergelijke inklemming verre van ideaal.

Met een 'borstelbed' door zaagsneden aangebracht in de klemvlakken is een hysteresisarme inklemming te realiseren volgens D.D.P. 14k.

De klemkracht kan in het midden van het borstelbed staan, zodat de druk gelijkmatig verdeeld is of iets verschoven zodat de klemdruk op de strip afneemt naarmate de reeds overgedragen trekkracht groter is.

Wel moet de resterende aanlegdruk op de laatste (langste) 'vingers' nog groot genoeg zijn om de dwarskracht op te kunnen brengen die minstens nodig is om de vinger op buiging de rek van de strip zonder slip te laten volgen.

Een op dwarskracht en buiging belaste ingeklemde bladveer raakt in principe zijn buigspanning (dus zijn trek- respectievelijk drukspanning in de uiterste vezels) in de inklemming kwijt, doordat de klemkrachten de kromtestraal naar oneindig drukken. Toch zou ook daar inzagen van het klemvlak tot een borstelbed zeker vlak bij de inklemming zinvol kunnen zijn.