

Des duivels prentenboek (DDP). Deel 20

Citation for published version (APA):

Dijk, van, D. M., & Groot, de, J. (1982). Des duivels prentenboek (DDP). Deel 20. *De constructeur*, 21(9), 64-67.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1982

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Des Duivels Prentenboek (DDP) (20)

DDP 67 (voor volledige tekst: Constructeur 7 juli 1979)

Alle in DDP 67 besproken constructies zijn voortgekomen uit het streven om de grote voordelen van veerconstructies (geen speling en geen wrijving) te behouden en het nadeel van veerstijfheid, kracht of koppel en (variabele) energieopslag te omzeilen. De oplossing is gevonden in de overdracht van potentiële energie van de ene veer of het ene veerdeel of veerstelsel naar een andere veer of een ander veerdeel of veerstelsel. Een andere mogelijkheid is de overdracht of omzetting van potentiële veerenergie $\frac{1}{2} cx^2$ in kinetische energie $\frac{1}{2} mv^2$ (de basis van het dynamisch gedrag als behandeld in deel I). Typierend voor deze omzetting is dat hij maar bij één frequentie goed werkt. Dan zijn er ook goede resultaten mee te bereiken (heen- en weergaande massa's waarbij de massacrachten worden gecompenseerd door veren enzovoort). De omzetting $\frac{1}{2} c_1 x_1^2$ in $\frac{1}{2} c_2 x_2^2$ is frequentie-onafhankelijk. Hetzelfde geldt voor de eveneens goed mogelijke omzetting van $\frac{1}{2} m_1 v_1^2$ in $\frac{1}{2} m_2 v_2^2$ zoals in de viercilinder motor/compressor van figuur DDP 67l (voorstel van W. Gijzen, THE, groep WP). Let daar op de extra rechtgeleiding van de 'krukwang' loodrecht op de krukas, die voorkomt dat de constructie overbepaald is (en dat het krukaslager radiaal door massacrachten belast wordt).

De slag van de zuigers is $4r$; de beweging van elk der beide gekoppelde zuigerstangen m is zuiver axiaal; het balanceergewicht compenseert de kruk met buitelstang plus $2mr$. Uiteraard kan men ook andere energievormen in deze beschouwing betrekken.

DDP 77

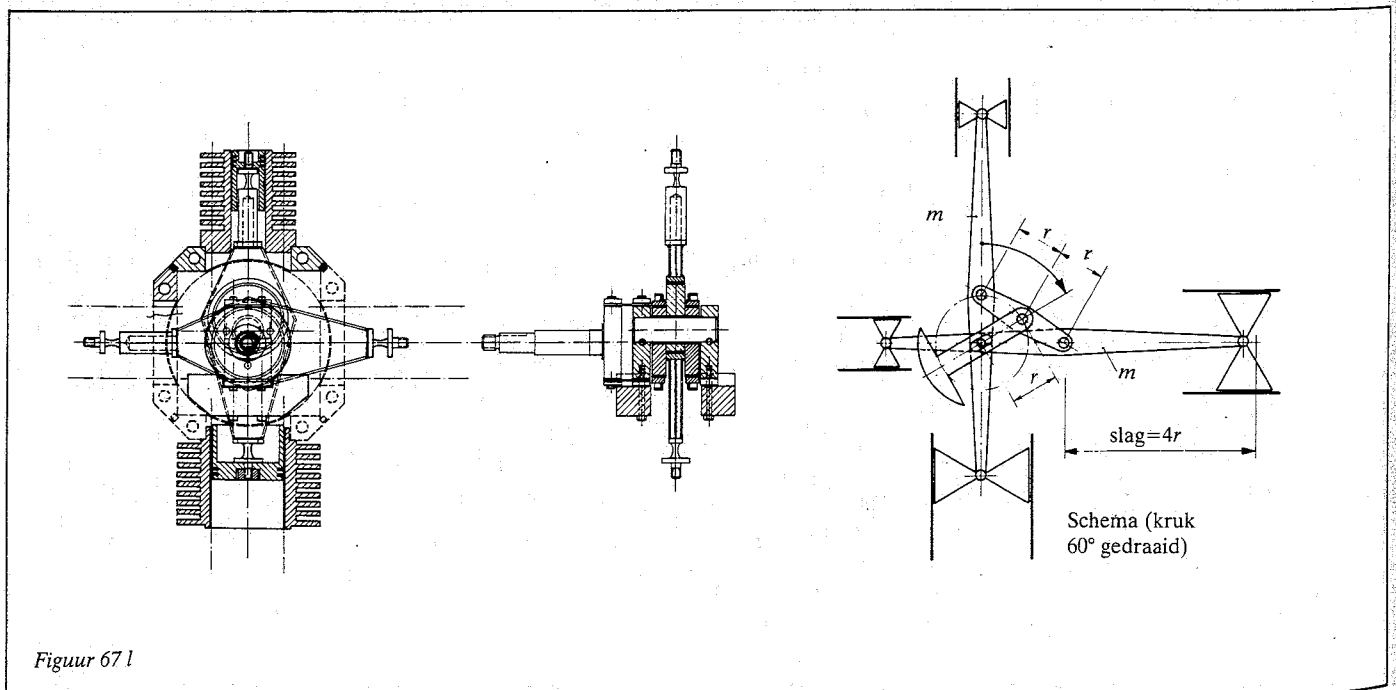
Oplegvlakken moeten vaak aan tegengestelde eisen voldoen: kinematisch bepaald, stijf, sterk (bestand tegen zware statische belasting of tegen stoot) hysteresisvrij en eventueel nastelbaar. In de instrumentenbouw werkt men vaak met kinematisch bepaalde opleggingen, waarbij de zes vrijheidsgraden $x, y, z, \xi, \varphi, \Phi$ eenduidig vastgelegd worden; vaak door middel van kogels (DDP 77a: drie kogels eronder, twee ernaast, een erachter en 77b: lijnoplegging op kogels; rotatie Φ en axiale verplaatsing z zijn nog vrij). Het nadeel is hier dat de opleggingen niet bestand zijn tegen stoten; en niet bijzonder stijf, de Hertze vlaktedruk en daarmee de lokale deformaties in de wel zeer kleine contactvlakjes nemen al gauw hoge waarden aan.

Grotere contactvlakken krijgt men bij grotere kromtestraal, dit leidt tot 'brilleglas' vormige oplegvlakken met kromtestraal van bijvoorbeeld 1 meter. Deze zijn relatief gemakkelijk te maken (zie DDP 77c): Hartlijnen van hoofdspil en van de draaitafel instellen onder een kleine hoek en snijdend op een afstand van R van het gereedschap.

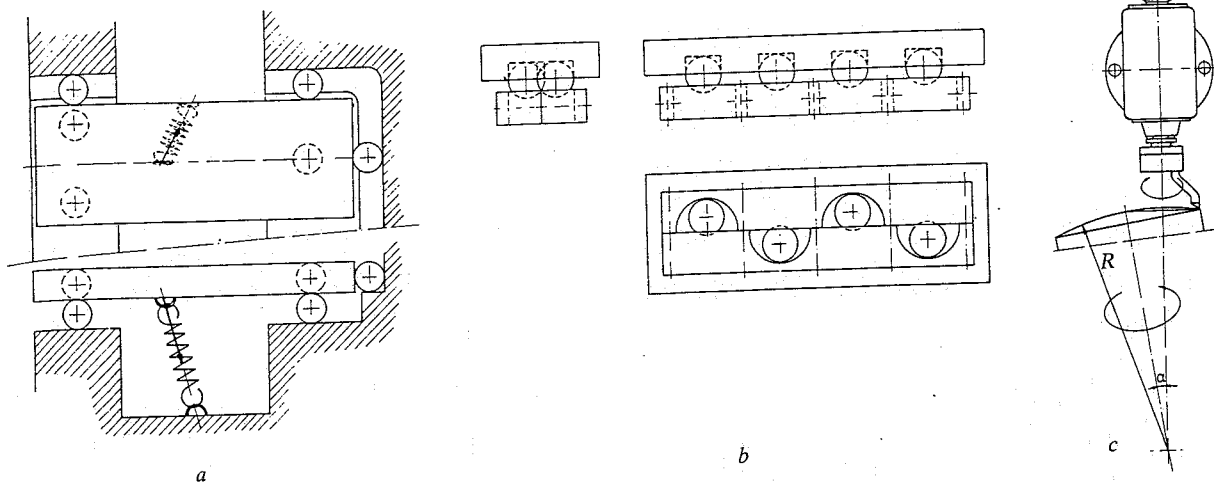
Bij gegeven toelaatbare Hertze contactspanning kan een oplegvlak met een tienmaal grotere straal een honderd maal zo grote belasting opnemen.

Voor een stalen bol-op-een-stalen vlak geldt:

$$\sigma_{Hz, \max} = 295 \left(\frac{Q}{R^2} \right)^{1/3} \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \text{ met oplegkracht } Q \text{ in kgf en bolstraal } R \text{ in mm.}$$



Figuur 67l



Figuur 77

Als voor geharde stalen kogels op gehard stalen vlak een σ_{Hz} van 295 kgf/mm² toelaatbaar is (voorzichtig neerzetten: bij een valhoogte van slechts 4 cm in deze σ_{Hz} al bereikt) dan geldt:

$$\frac{Q_{\max}}{R^2} = \frac{1 \text{ kgf}}{\text{mm}^2}$$

Geeft men steeds de maximale belasting Q_{\max} dan ontstaat voor elke kogelafmeting (uiteraard) een gelijkvormig deformatiebeeld. Het Hertz contact voldoet dan weer aan de voor alle belastingsgevallen geldende regel dat bij gelijkvormig spannings- en deformatiepatroon de energie-inhoud evenredig is met de derde macht van de schaalfactor (hier bij voorbeeld met R^3), de belasting evenredig met het kwadraat (R^2) en de zakking lineair (hier dus evenredig met R). De straal van het contactvlak is dan $a = 0,04 R$ en de 'inlevering' (toenadering van het kogelmiddelpunt tot het oorspronkelijke ongedeformeerde vlak) $\delta = 1,6 \cdot 10^{-3} R$.

In tabelvorm:

Straal R	1	10	100	1000 mm
Belasting Q_{\max}	1	100	10 ⁴	10 ⁶ kgf
Bij Q_{\max}	straal a	40 · 10 ⁻³	400 · 10 ⁻³	40 mm
	inlevering δ	1,6 · 10 ⁻³	16 · 10 ⁻³	0,16 1,6 mm

De inlevering wordt kleiner als men bij een gegeven (relatief lage) belasting een grotere bolstraal kiest, want $\delta = 1,6 \cdot 10^{-3} \left(\frac{Q^2}{R}\right)^{1/3}$

(voor stalen bol op stalen vlak).

Met $Q = 1$ kgf en $R = 1000$ mm is $\delta = 0,16 \mu\text{m}$.

Een dergelijke oplegging kan reproduceerbaar zijn met een plaatsnauwkeurigheid in de orde van één tiende micrometer wanneer de oppervlaktegesteldheid dat toelaat. Grote radii met lage vlaktedruk hebben daarom alleen zin als de beide contactoppervlakken voldoende 'glad' zijn (ruwheidshoogte zeker kleiner dan de indrukking). Eventueel kan men dat bereiken door de oplegging eenmaal (veel) hoger te belasten.

Het verband tussen belasting en inlevering is niet lineair. Men kan niet spreken van 'de stijfheid' van de oplegging maar hoogstens van een

'lokale stijfheid' $\frac{dQ}{d\delta}$.

Uit $\delta = 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot R^{-1/3} Q^{2/3}$ (voor stalen bol op stalen vlak) volgt

$$\frac{dQ}{d\delta} = 940 R^{1/3} Q^{1/3} \text{ kgf/mm.}$$

Bij $R = 1000$ mm en $Q = 1$ kgf was $\delta = 0,16 \mu\text{m}$

en is $\frac{dQ}{d\delta} = 9400$ kgf/mm ('lokale stijfheid', steeds 1,5 × de 'gemiddelde stijfheid', is $0,94 \cdot 10^8$ N/m).

Bij $R = 1000$ mm en $Q = 1000$ kgf is $\delta = 16 \mu\text{m}$

en is $\frac{dQ}{d\delta} = 9400$ kgf/mm, dus 10 maal zo groot.

In gereedschapswerktuigen en dergelijke worden kogellagers 'voorgespannen'; niet alleen om de speling te elimineren maar ook om 'de stijfheid' op te voeren.

Voor lijncontact met belasting Q (kgf) per lijnlengthe 1 (mm), stalen rol, straal R , op stalen vlak, geldt:

$$\sigma_{Hz} = 60,6 \sqrt{\frac{Q}{1R}} \text{ (kgf/mm) de halve contactzónebreëdte}$$

$$b = 0,0105 \sqrt{\frac{QR}{1}} \text{ (mm)}$$

en de toenadering van rolmiddelpunt tot vlak

$$\delta = \frac{0,335 Q^{0,925}}{10^3 \cdot 1^{0,85}} \text{ (mm)}$$

(Kunert, Schweinfurt),

respectievelijk

$$\delta = \frac{0,3 Q^{0,9}}{10^3 \cdot 1^{0,8}}$$

(Palmgren SKF).

Ook hier is voldaan aan de schaalregels: bij gelijkvormig spannings- en deformatiepatroon is de zakking evenredig met de schaalfactor, de kracht evenredig met het kwadraat en de energie-inhoud met de derde macht.

Bij $\sigma_{Hz} = 303$ kgf/mm² geldt $\frac{Q_{\max}}{l \cdot R} = 25$ kgf/mm².

In tabelvorm voor het geval dat $l = 2R$:

Des Duivels Prentenboek (DDP) (20)

vlakheid van de oplegvlakken en de ruwheid ook met de schaalfactor s verbeteren anders wordt de belasting niet gelijkmatig over de rollen verdeeld. Naaldlagers hebben blijkbaar bestaansrecht naast rollagers, qua stijfheid zijn ze zelfs voordeliger, doch ze werden pas mogelijk toen de bewerkingsnauwkeurigheid daarvoor voldoende ver ontwikkeld was.

Voor kogels loopt het verhaal volledig analoog (een kogel draagt bij zelfde σ_{Hz} evenveel als s^2 kogels met s maal kleinere straal en s maal kleinere inverting). Wel geldt ruwweg: rollen 50 maal zo hoog belastbaar en dan nog 10 maal zo stijf als kogels van vergelijkbare afmetingen.

Het in de praktijk zeer veel toegepaste alternatief voor de hier besproken kinematisch bepaalde kogel- of 'brilleglas'-opleggingen is: het aanbieden van (bewerkte) vlakken. Dit geeft hoog belastbare opleggingen, maar niet kinematisch zuiver bepaald. Aero- en hydrodynamische en -statische lageringen kunnen hier de nadelen van overbepaaldheid (en wrijving) in belangrijke mate verminderen, maar vormen voor gewone opleggingen geen economische propositie.

Het vlaklijpen van oplegvlakken zelf is nog uitvoerbaar, het beperken van relatieve scheefstand van de oplegvlakken onderling maakt de zaak duur. Elastische zelfinstellende vlakke 'voetjes' kunnen een goed alternatief bieden (DDP 77d).

Rolstraal $R (=1/2)$	1	10	100	1000 mm	
Belasting Q_{max}	50	5000	$50 \cdot 10^4$	$50 \cdot 10^6$ kgf	
Bij Q_{max}	halve lijnbreedte b	$52 \cdot 10^{-3}$	$525 \cdot 10^{-3}$	5,25	52,5 mm
	(Palmgren) inlevering δ	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$58 \cdot 10^{-3}$	0,58	5,8 mm

Vergelijking met de eerder opgenomen tabel voor puntcontact illustreert vooral dat een rol aanzienlijk (bij voorbeeld 50 maal) hoger belast kan worden dan een kogel van overeenkomstige afmetingen. De inzakking is daarbij circa $3\frac{1}{2}$ maal zo groot, terwijl de rol nog \pm een factor 10 stijver is dan de overeenkomstige kogel bij zijn maximale belasting (dus grootste stijfheid). Men realiseert zich dat, zeker bij het lijncontact, een groot deel van de toenadering voor rekening komt van de 'kuil in het vlak'. De formules zijn namelijk, afgeleid voor een oneindig dikke ondergrond.

In praktijksituaties gaat het om eindige afmetingen (bijvoorbeeld de vering van as ten opzichte van lagerstoel bij rollagers), dus kan de inverting belangrijk minder en de stijfheid groter zijn.

Metingen in de kogellagerindustrie hebben dan ook relaties opgeleverd als $\delta = \frac{0,3660}{10^3/R^{1/3}}$, uiteraard slechts geldig binnen het onderzochte gebied, die bij grotere waarden van R leiden tot belangrijk lagere waarden; bij groter Q gaat de invloed van het niet beschouwde gebied uit de oneindig dikke onderlaag zwaarder wegen.

Bij lijncontact is de inverting praktisch evenredig met de belasting (de exponent van Q ligt tussen 0,9 en 1) en is de stijfheid dus in eerste benadering constant, dat wil zeggen belastingsonafhankelijk.

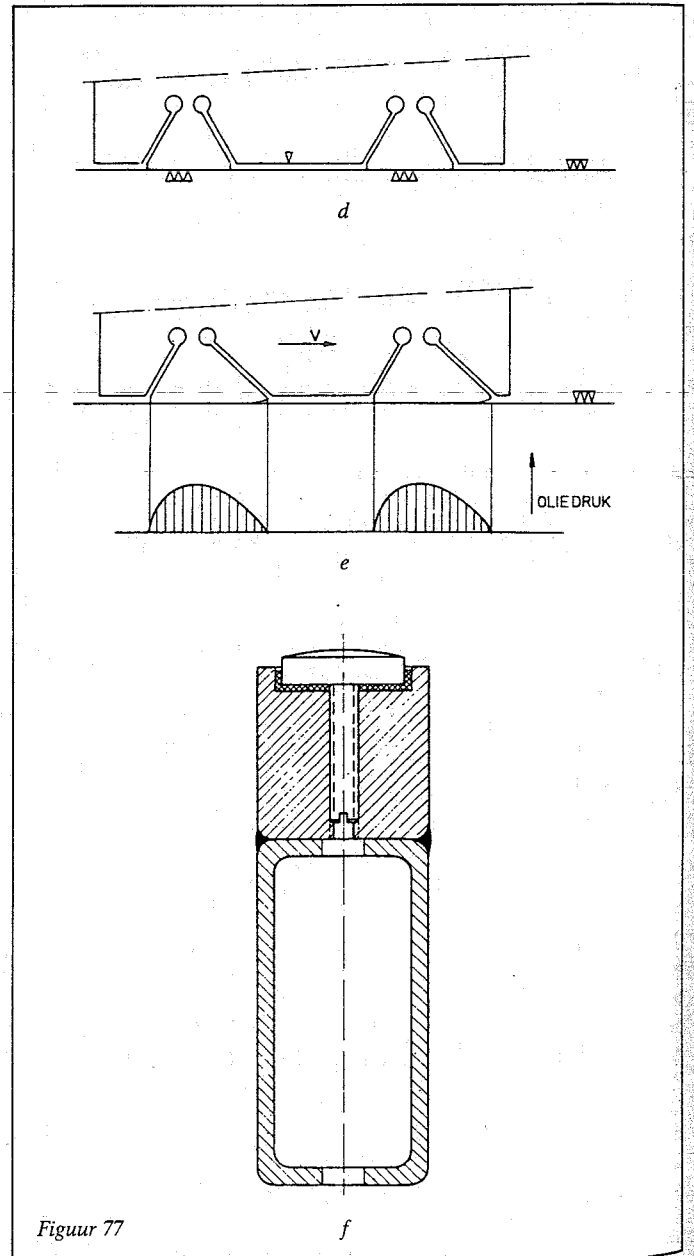
Waar meer rollen parallel werken, bij voorbeeld in een rollager, geldt dit vanaf het moment dat alle rollen volledig aanliggen.

Bij rollagers dient voorspanning dus primair om toleranties op te vangen en overall de speling te elimineren. Men moet om in bedrijf steeds de volle lagerstijfheid c te waarborgen dan zover voorspannen, dat bij maximale lagerbelasting F de voorspanning ook op de daarbij ontlaste rollen nog juist positief is. Het lager moet dus een negatieve lagerspeling hebben, die onder bedrijfsomstandigheden (temperatuur) ongeveer gelijk is aan $\Delta R = \frac{-F}{c}$.

Soms zit men met het probleem om op een gegeven beschikbaar oppervlak een belasting of te steunen met kogels of rollen. Uit de schaalwetten volgt dat het voor de belastbaarheid (de Hertzspanning) niets uitmaakt of men een grote rol neemt met een langdoorsnede gelijk aan dat oppervlak, of s^2 rollen met een s maal kleinere straal en lengte.

De inverting neemt echter met een factor s af dus de oplegging met kleine rollen is s maal zo stijf. Dit zou men gevoelsmatig wellicht niet verwachten.

Voorwaarde is wel dat de diametertolerantie van de rollen, de



Figuur 77

Druk- en buigspanningen in het scharnier zijn hoog; in het contactvlak is de drukspanning echter veel lager; relatieve beweging (glijden) zonder veel slijtage is te realiseren. Onder hydrodynamische smeringscondities zijn er fraaie Mitchelblokjes van te maken (DDP 77e).

Evenwijdige nastelbaarheid in hoogte van dergelijke oplegstukken is goed realiseerbaar.

Voor 'brilleglasopleggingen' lijkt het instellen nog gemakkelijker omdat in principe geen evenwijdigheid van de verstelling gevraagd wordt. Dat valt echter tegen: bij een geringe hoekverdraaiing van bijvoorbeeld 1° verloopt het op bijvoorbeeld 1 meter afstand gelegen kromtemiddelpunt al circa 17 mm, dus is er goede kans dat de contactzone de rand van de beschikbare bolschijf bereikt en de oplegging niet meer voldoet. DDP 77f geeft een steunbalk met brilleglas oplegging die door middel van schroefdraad redelijk verticaal wordt afgesteld ten opzichte van een referentievlak en dan aangegoten met een niet krimpemde kunsthar.

Ook DDP 76 geeft de mogelijkheid van een zuiver verticale verstelling.

Overigens zij hier nog eens verwezen naar DDP 38b en DDP 38c: het is altijd mogelijk om met behoud van kinematische bepaaldheid van puntcontact over te gaan op lijncontact via drie lijncontacten in serie (dus met een hulplichaam) of zelfs naar vlakoplegging. Dit laatste kan bij voorbeeld met drie contactvlakken in serie (dus met twee hulplichamen) en bij 'bol op vlak' kan het zelfs met één hulplichaam met een plat vlak en een boloppervlak in serie (DDP 77g).

Om verlies van statische bepaaldheid in de oplegging van de bol in zijn komvormige zitting te voorkomen, moet de kom nauwkeurig de kogeldiameter hebben. Dit kan men onder andere bereiken door een evengrote kogel (uit dezelfde door de fabrikant binnen nauwe grenzen uitgesorteerde partij) te gebruiken bij de bewerking van de kom, bij voorbeeld door inslijpen, naruimen of plastisch vervormen. Verder heeft het zin om delen van het komvlak weg te fraisen zodat alleen drie draagvlakken van de juiste kromming en voldoende groot oppervlak overblijven, gemiddeld gericht onder ruimtehoeken van bijvoorbeeld 90° .

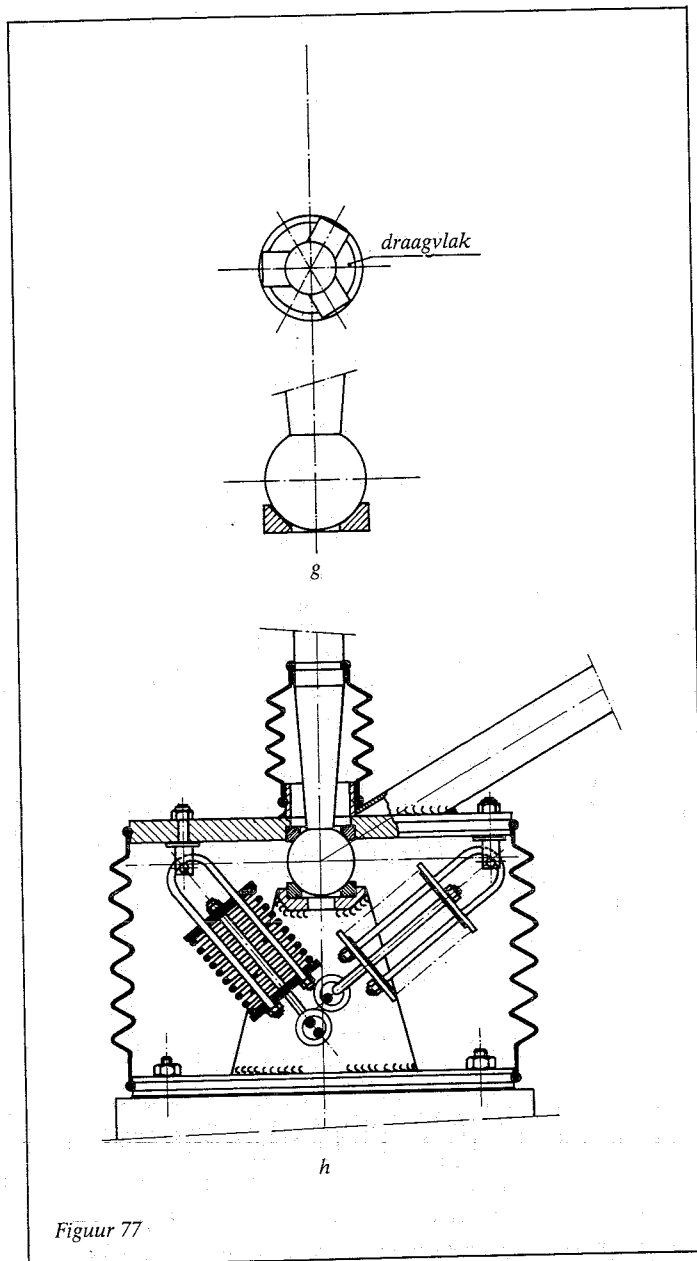
J. Oostvogels THE, groep WP maakte zo bolscharnieren waarin drie onafhankelijke elementen (bij voorbeeld een aardpunt en twee framestangen) in één punt samenkwamen (DDP 77h).

Hij ontwierp en installeerde een frame met dergelijke scharnierpunten voor een $\Phi 3$ m paraboolantenne voor het sturen van geostationaire satellieten. De antenne was stormvast doordat in elk scharnier de beide kommen (buig- en koppelvrij) waren voorgespannen met 3000 N door veersystemen volgens DDP 67g. De hoeknauwkeurigheid van de antenne was

$$\frac{1^\circ}{2000} = 10^{-5}$$

De boloplegging zelf (zonder verlenging en verkorting van de $\Phi 2''$ framepijpen door ΔT of windkracht) waren een orde nauwkeuriger: circa 10^{-6} . Een zeer aantrekkelijk alternatief ligt voor de hand als het gaat om relatief kleine verplaatsingen (en vaak gaat het er alleen maar om 'overbepaaldheid' te voorkomen door het opvangen van minieme plaatsafwijkingen ten gevolge van temperatuuruitzettingsverschillen of fabricagetoleranties). Als we dan het begrip 'oplegging' zien als het vastleggen van één coördinaat met vrijheid in alle andere richtingen dan is een kinematisch bepaalde oplegging te vervangen door een tweezijdig ingeklemde staaf of spriet of draad (DDP 68, DDP 69, DDP 83, DDP 101 en 102).

Met zes van zulke draden kunnen lichamen kinematisch geheel bepaald zijn (DDP 100). De wrijving die we bij kogel, brilleglas en vlakopleggingen nog hadden, is nu vervallen. In plaats daarvan krijgen we nu te maken met een 'zijdelingse stijfheid' die een kracht geeft evenredig met de uitwijking. DDP 67 gaf wegen om die weer te elimineren.



Figuur 77

In onderstaand staatje zijn de in de tekst genoemde DDP's vermeld met verwijzing naar de betreffende nummers van de Constructeur.

- DDP 38 – Constructeur nr. 2, februari 1979
- DDP 43 – Constructeur nr. 3, maart 1979, nr. 1, januari 1982
- DDP 49 – Constructeur nr. 4, april 1979
- DDP 57 – Constructeur nr. 3, maart 1982
- DDP 64 – Constructeur nr. 7, juli 1979, nr. 5, mei 1982
- DDP 68, 69 en 76 – Constructeur nr. 8, augustus 1979
- DDP 83 – Constructeur nr. 9, september 1979
- DDP 100; 101 en 102 – nog te publiceren
- DDP 122 – Constructeur nr. 10, oktober 1979

©