

Verplaatsingsgestuurde kipproef

Citation for published version (APA):

Kools, R. J. E. (1992). *Verplaatsingsgestuurde kipproef*. (DCT rapporten; Vol. 1992.021). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1992

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.

Verplaatsingsgestuurde kipproef

Ir. R.J.E. Kools
Rapportnr. WFW 92.021
februari 1992

1. Inleiding	2
2. De verplaatsingsvoorschrijver	3
2.1 Ontwerpeisen	3
2.2 Wormvijzel	3
2.3 Onderhoud	3
3. Aandrijving en besturing	4
3.1 Aandrijving	4
3.2 Overbrenging	5
3.3 Besturing	5
4. Het luchtlager	6
4.1 Ontwerpeisen	6
4.2 Principe-ontwerp	6
4.3 Berekening	7
4.4 Eindontwerp	12
5. De ophanging	13
6. Gebruiksaanwijzing	15
Literatuur	17
Bijlage 1. Gegevens van de wormvijzel	18
Bijlage 2. Gegevens van de elektromotor	19
Bijlage 3. Gegevens van de tandriemoverbrenging	20
Bijlage 5. Eindontwerp van het luchtlager	22
Bijlage 6. Spanningsberekening van de hoogte-instelling	23
Bijlage 7. Controleberekening op luchtkamers	24
Bijlage 8. Knikberekening van de ophangplaten	25

1. Inleiding

In de vakgroep WFW van de faculteit Werktuigbouwkunde aan de Technische Universiteit Eindhoven wordt experimenteel onderzoek verricht naar de stabiliteit van prismatische profielen. De beproefde profielen worden belast met een puntkracht in het midden en daardoor zullen twee effecten optreden die onderling interactie kunnen vertonen: kip en lokale knik. Met name bij interactie van deze twee verschijnselen kan er een dalend evenwichtspad optreden boven een bepaalde belasting. Dat houdt in dat het profiel bij toenemende verplaatsing steeds minder kracht kan opnemen; in het kracht-weg diagram is een dalende lijn te zien. Wanneer men bij experimenten de kracht voorschrijft, door een gewicht aan het profiel te hangen, kan dit evenwichtspad principieel niet worden gemeten¹. Dat kan wel indien men de verplaatsing voorschrijft in plaats van de kracht. Het ontwerp van een nieuwe proefopstelling, waarbij de verplaatsing wordt voorgeschreven, wordt behandeld in dit verslag.

Het unieke van dit ontwerp is dat de voorgeschreven verplaatsing verticaal moet zijn, terwijl het proefstuk horizontaal (loodrecht op de verplaatsingsrichting) knikt. Omdat deze horizontale knik niet mag worden geïnvloed, moet de verplaatsingsvoorschrijver in horizontale richting meebewegen met het profiel. Op die manier kan de uitgeoefende kracht zuiver verticaal blijven. Dat probleem is hier opgelost door de verplaatsingsvoorschrijver horizontaal te lageren met een aerostatisch lager. De wrijving van zo'n lager is praktisch nul, zodat het kippen niet wordt verhinderd of beïnvloed.

In dit verslag wordt het hele ontwerp van de nieuwe proefopstelling beschreven. Er zullen hier geen onderbouwingen worden gegeven voor de keuze voor een luchtlager of het type verplaatsingsvoorschrijver, wel worden de ontwerpen en de benodigde berekeningen toegelicht. Hiertoe is het ontwerp functioneel opgesplitst in de volgende componenten: de verplaatsingsvoorschrijver, de aandrijving en de besturing, het luchtlager en de ophanging van het geheel. Iedere component wordt beschreven in een apart hoofdstuk.

¹ Meer informatie over het meten van dalende evenwichtspaden is te vinden in [Thompson en Hunt, 19??, pp. 189,...].

2. De verplaatsingsvoorschrijver

2.1 Ontwerpeisen

Het gevraagde bereik van de verplaatsingsvoorschrijver is gesteld op 2 maal de maximale gemeten verticale uitwijking tot nu toe. Dat komt neer op $2 \cdot 18 = 36 \text{ mm}$. De op te nemen kracht moet ook weer 2 maal de maximale tot nu toe gemeten kracht bedragen. Dat is $2 \cdot 900 = 1800 \text{ N}$. Het wrijvingsverlies moet minimaal zijn, maar een zelfremmende werking is gewenst. Dit laatste punt is belangrijk om tijdens eventueel uitvallen of uitschakelen van de aandrijving de verplaatsing vast te houden, zonder terug te schieten.

2.2 Wormvijzel

Gekozen is voor een wormvijzel van Vector (Code S000, zie bijlage 1; daar zijn twee types met dezelfde code gegeven, die met de grootste reductieverhouding is gekozen). De wormvijzel bestaat uit een worm, een moer en een schroefspindel. De worm drijft de moer aan en de moer zet de roterende beweging om in een translerende beweging van de schroefspindel. De schroefspindel is geborgd tegen rotatie, omdat hij anders zou meedraaien met de moer en dus geen translerende beweging zou maken. De belangrijkste gegevens van deze wormvijzel worden hieronder getoond.

Maximale druk-/trekbelasting: 2500 N.

Rendement: 10%.

Spilsnelheid bij 100 omw/min aan de wormas: 15 mm/min.

Diameter van de spil: 16 mm.

De schroefspindel is aan bovenzijde voorzien van een zogenaamd 'clevis'-eindstuk. Hierin zit een bevestigingsgat, dat als aangrijpingspunt dient voor de trekkracht.

De aandrijving van de wormas wordt beschreven in hoofdstuk 3, waar bovendien de besturing van de aandrijving en de overbrenging onder de aandacht worden gebracht.

2.3 Onderhoud

Vanwege het lage gebruiksniveau behoeft de wormvijzel geen enkel bijzonder onderhoud. Ook smering is onnodig.

3. Aandrijving en besturing

3.1 Aandrijving

De wormas wordt aangedreven door een elektromotor. Het vereiste vermogen van de motor kan worden bepaald door eerst het benodigde vermogen aan de schroefspil van de wormvijzel te berekenen en dat vervolgens te delen door de rendementen van de verschillende tussenliggende componenten.

Het benodigde uitgaande vermogen aan de schroefspil van de wormvijzel is gelijk aan het produkt van de maximaal benodigde kracht en de maximale snelheid. De maximale (trek)kracht is reeds bepaald in hoofdstuk 2 en is gelijk aan 1800 N. De bepaling van de vereiste snelheid is arbitrair. Gekozen wordt voor een snelheid van ongeveer 0,1 mm/s, omdat bij die snelheid de besturing met de hand goed controleerbaar is. Een grotere snelheid is bovendien onnodig en zou het benodigde vermogen alleen maar doen toenemen. Het vermogen aan de schroefspil is dus:

$$P_{\text{uit}} = F \cdot v = 1800 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,18 \text{ W.}$$

We kunnen dus waarschijnlijk volstaan met een erg kleine elektromotor. Het vermogen van de motor hangt nu nog af van de rendementen van de tussenliggende componenten. Het rendement van de wormvijzel is gegeven in hoofdstuk 2: 10%. Omdat echter met een veel lagere snelheid wordt gewerkt dan de normale gebruikssnelheid van een dergelijke wormvijzel wordt voor de veiligheid gerekend met een rendement van 5%.

Dan is er nog de overbrenging tussen wormas en motoras. Daarvoor is gekozen voor een tandriemoverbrenging met een onbekend rendement (zie 3.2). We schatten daarom het rendement laag in op 50%. Het benodigde vermogen van de elektromotor wordt nu:

$$P_{\text{motor}} = 0,18 / 0,05 / 0,5 = 7,2 \text{ W.}$$

Het benodigde vermogen is dus erg laag. We kunnen volstaan met een kleine gelijkstroommotor. Het benodigde toerental kan worden berekend aan de hand van de gevraagde snelheid aan de schroefspindel en van de overbrengingsverhoudingen. Deze berekening is hieronder weergegeven.

$$v_{\text{spindel}} = 0,1 \text{ mm/s}$$

Overbrenging wormvijzel: 100 omwentelingen van de wormas komt overeen met 15 mm translatie van de spindel, dus:

$$n_{\text{wormas}} = 0,1 / 0,15 = 0,67 \text{ omw/s}$$

Overbrenging tandriem: 1 op 1 (zie 3.2).

$$n_{\text{motor}} = 0,67 \text{ omw/s} = 0,67 \cdot 2 \cdot \pi \text{ rad/s} = 4,21 \text{ rad/s} (= 0,67 \cdot 60 = 40 \text{ omw/min})$$

Het te leveren moment van de motor volgt uit het quotiënt van het vereiste vermogen en het toerental in rad/s:

$$M_{\text{motor}} = 7,2 / 4,2 = 1,7 \text{ Nm}$$

Gekozen is voor een Maxon DC motor type 2332966KB (zie bijlage 2). Deze motor heeft een vermogen van 13 W, ongeveer 2 maal het benodigde vermogen.

Het gebruikelijke toerental van een dergelijke motor ligt in de duizenden omwentelingen

per minuut, terwijl het gevraagde toerental ongeveer 40 omwentelingen per minuut bedraagt. Daarom wordt er aan de motor een reductiekast bevestigd met een reductieverhouding van 1:100. Omdat het vermogen van de motor hoger ligt dan het gevraagde vermogen, en bij berekening van het gevraagde vermogen zeer veilig is gerekend, wordt aangenomen dat de motor sterk genoeg is om ook met reductiekast het gewenste vermogen te blijven leveren.

Omdat we een constante, regelbare snelheid wensen, waarmee de verplaatsing wordt opgelegd, is er een tachocontroller op het motortje gemonteerd. De gegevens van de motor, het reductiekastje en de tachocontroller zijn te vinden in bijlage 2. Ze zijn gehaald uit de catalogus van Maxon motor, edition 90.

3.2 Overbrenging

We hebben nu een aandrijving en een wormvijzel, nu moeten beide nog worden gekoppeld. Zoals reeds vermeld in de vorige paragraaf is voor de overbrenging gekozen voor een tandriemoverbrenging met een reductieverhouding van 1. De gegevens van de wielletjes en van de riem zijn te vinden in bijlage 3.

3.3 Besturing

De voorschrijving van de verplaatsing is nu bijna gereed. De elektromotor drijft via een reductiekast en een tandriemoverbrenging de wormvijzel aan, die de roterende beweging omzet in een translerende. Nu moet de motor nog worden bestuurd. Gekozen is voor een besturing "met de hand". De motor wordt met een schakelaar aan- en uitgezet en wanneer de motor is ingeschakeld beweegt de spindel met een bekende snelheid. Op die manier is gedurende gelijke tijdsintervallen dat de motor is ingeschakeld de afgelegde afstand ook gelijk. De snelheid moet in te stellen zijn tot een maximum van 4000 omw/min aan de motoras, wat overeenkomt met 6 mm/min of 0,1 mm/s aan de spindel. Dat maximum is bepaald door de reductiekast die op de motor is gemonteerd (zie bijlage 2). De spindel moet natuurlijk beide richtingen op kunnen bewegen, en de snelheid moet kunnen worden afgelezen. De afgelegde verplaatsing kan op deze manier niet direct worden afgelezen, maar deze wordt gemeten door de reeds aanwezige meetapparatuur.

Er is overwogen om het mogelijk optreden van een "stick-slip"-effect tot een aanvullende ontwerpeis te laten leiden. Dit effect zou namelijk tot gevolg kunnen hebben dat het aandrijfmoment wordt opgebouwd, zonder dat er verplaatsing optreedt en dat de vijzel ineens met een schok losschiet. Het effect daarvan wordt echter door de grote overbrengingsverhouding erg klein geacht.

De besturing is gebouwd door Karel Koekkoek. Een handleiding van de besturing is gegeven in hoofdstuk 5.

4. Het luchtlager

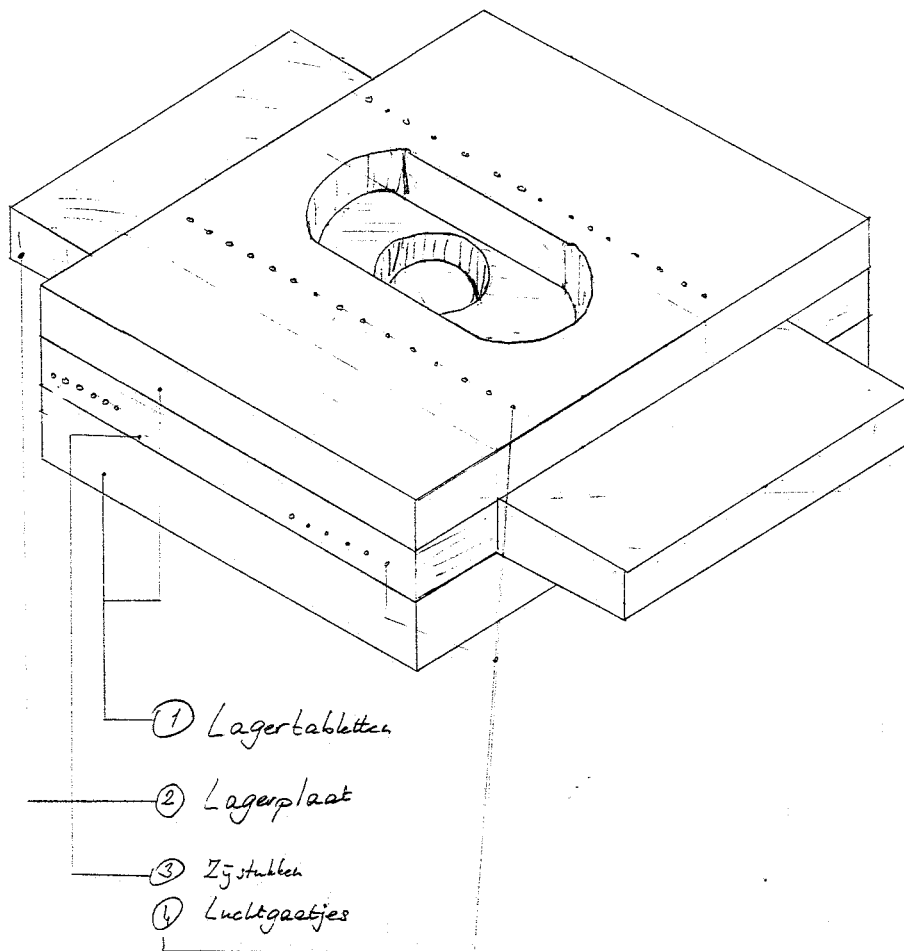
De voorschrijving van de verplaatsing is in zijn geheel beschreven in de vorige twee hoofdstukken. In dit hoofdstuk wordt het luchtlager besproken, dat ervoor zorgt dat de uitgeoefende kracht op het testprofiel verticaal blijft, zelfs als het profiel beweegt in een richting loodrecht op de uitgeoefende kracht. Het luchtlager wordt geheel zelf ontworpen. Daarom zal dit hoofdstuk wat uitgebreider zijn dan de voorafgaande. De nu volgende paragrafen worden achtereenvolgens gewijd aan de ontwerpeisen waaraan het lager moet voldoen, het principe-ontwerp, een gedetailleerde berekening en tenslotte het eindontwerp.

4.1 Ontwerpeisen

De belangrijkste ontwerpeisen die aan het lager kunnen worden gesteld, betreffen de draagkracht en het verplaatsingsbereik. Beide worden bepaald door de tot nu toe maximale gemeten waarden hiervoor te vermenigvuldigen met twee. Dat levert een benodigde draagkracht op van 1800 N en een verplaatsingsbereik van ± 30 mm. Met deze ontwerpeisen kan de berekening worden begonnen. Verder is er nog de eis dat er voldoende ruimte moet zijn voor montage van de verplaatsingsvoorschrijver. Er is echter nog een belangrijke afgeleide eis, die te maken heeft met de aandrijving van de wormvijzel.

4.2 Principe-ontwerp

In figuur 4.1 is het principe-ontwerp van het luchtlager weergegeven. De werking ervan zal hier worden uitgelegd. Het geheel bestaat uit een lagerschijf die heen en weer kan bewegen tussen twee grote metalen tabletten, als een grendel in een grendelkast. Vanaf de boven- en de onderkant wordt lucht op de lagerschijf geblazen, zodat de schijf blijft "zweven" op de lucht. Op deze manier kan de lagerschijf bijna wrijvingsloos heen en weer bewegen. In de lagerschijf zit een gat voor montage van de verplaatsingsvoorschrijver. Behalve aan de bovenkant wordt er ook op de zijkanten van de lagerschijf lucht ingeblazen. De lagerschijf zit nu aan vier kanten ingeklemd door een luchtlag, en kan nu alleen nog maar heen en weer bewegen.



figuur 4.1 Principe-ontwerp van het luchtlager

4.3 Berekening

Bij de berekening van het lager is gebruik gemaakt van het dictaat van prof. Muijderman over luchtlagers [Muijderman, 1981]. Hierin zijn formules gegeven die afgeleid zijn door [Tang en Gross, 1962]. Uitgangspunten van het ontwerp zijn:

- De benodigde draagkracht is 1800 N.
- Er wordt gebruik gemaakt van een dubbelzijdig luchtlager.
- Er worden geen luchtkamers² toegepast, o.a. in verband met instabiliteitsgevaar.
- De voedingsdruk is 5 atm.
- De gaatjesdiameter is minimaal 0,4 mm, in verband met verstoppingsgevaar.
- Er is sprake van een inherente weerstand, hiervoor geldt dat de grootste luchtweerstand niet in het luchtgaatje wordt gevonden, maar in de ruimte tussen de lagervlakken. Hier zal straks op gecontroleerd worden.

²Een luchtkamer is een verwijding van het luchtgaatje, net boven het lageroppervlak.

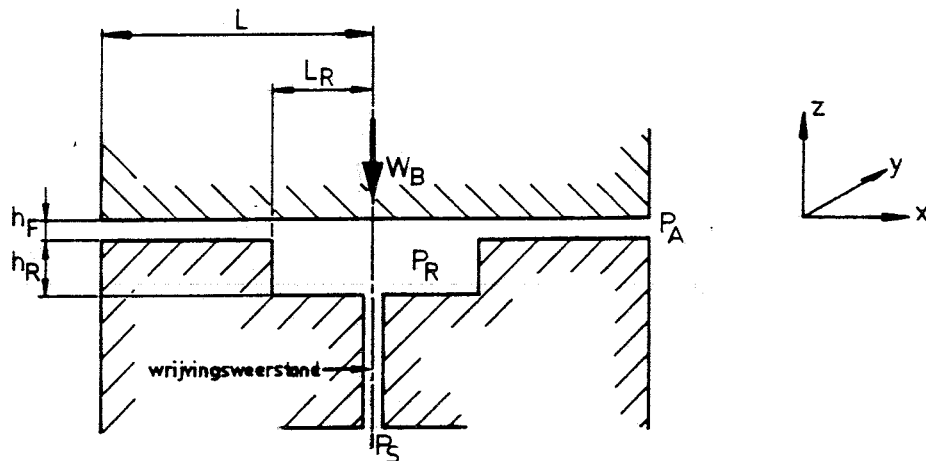
De maximaal op te nemen kracht door het luchtlager wordt bepaald door het quotiënt van stijfheid en spleethoogte. In de nu volgende berekeningen zal echter eerst worden uitgegaan van de benodigde draagkracht. Dat levert voor een enkelzijdig luchtlager het benodigde lageroppervlak en de spleethoogte op. Daarna zal de stijfheid worden bepaald van het lager.

De draagkracht W_i wordt, bij een gegeven gaatjesdiameter, berekend door:

$$W_i = 0,44 \cdot \left(1 + \frac{2L_R}{3L}\right) \cdot (p_s - p_a) \cdot 2BL$$

Hierin is (zie ook figuur 4.2):

- L_R : De lengte van de luchtkamer, hier 0 [m], omdat er geen luchtkamers toegepast zijn.
- L : De afstand van het toevoergaatje ($p=p_s$) tot de uitstroomopening ($p=p_a$), [m].
- B : De breedte van het lager [m].
- $2BL$: Het draagoppervlak van het lager [m²].
- p_s : De voedingsdruk, hier $p_s = 5 \cdot 10^5$ [N/m²].
- p_a : De omgevingsdruk, hier $p_a = 1 \cdot 10^5$ [N/m²].



figuur 4.2 Schematische doorsnede van een langwerpig taatslager met een vaste wrijvingsweerstand. Uit: [Muijderman, 1981, p.105a].

Bij een gewenste draagkracht van 1800 N, volgt daaruit voor het benodigde draagoppervlak:

$$2BL = \frac{W_i}{0,44} \cdot \frac{1}{(p_s - p_a)} = \frac{1800}{0,44} \cdot \frac{1}{4 \cdot 10^5} = 0,0102 \text{ m}^2$$

Zoals uit paragraaf 4.2 al blijkt is er gekozen voor een tweezijdig rechthoekig luchtlager, met op beide zijden twee rechthoekige draagvlakken. Per draagvlak is er dus minimaal een oppervlak van 0,0056 m² vereist.

Er is gekozen voor een oppervlak van 0,165m x 0,03 m (0,165*0,03*2 = 0,0106 m²). De hoogte h_F van de lichtspleet wordt nu gegeven door:

$$h_F^2 = 6,83 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{2(L-L_R)}{B} \cdot \frac{nd}{p_s}$$

met:

h_F : spleethoogte [m].

$6,83 \cdot 10^{-2}$: Komt uit [Muijderman, 1981].

L = 0,015 [m].

B = 0,165 [m].

n : aantal luchtgaatjes, er wordt gekozen voor 14 gaatjes aan beide kanten; aangezien deze formule geldt voor één draagvlak is dus n=14.

d : diameter van de luchtgaatjes, d=0,4 mm = $0,4 \cdot 10^{-3}$ [m].

$p_s = 5 \cdot 10^5$ [N/m²].

Gesubstitueerd levert dat:

$$h_F = \sqrt{6,83 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{2 \cdot 0,015}{0,165} \cdot \frac{14 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^5}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ [m]}$$

De stijfheid S van het luchtlager wordt gegeven door:

$$S = 0,78 \frac{W}{h_F} = 0,78 \cdot \frac{1800}{12 \cdot 10^{-6}} = 12 \cdot 10^7 \text{ [N/m]}$$

De factor 0,78 komt uit [Muijderman, 1981]. S is de stijfheid voor een eenzijdig lager. Een dubbelzijdig lager heeft de dubbele stijfheid. Bij een voorgespannen lager is de draagkracht voor niet te grote excentriciteiten recht evenredig met de uitwijking e uit de onbelaste middenpositie. Wanneer we eisen dat $e/h_F < 0,7$ moet blijven, dan is de maximaal toelaatbare belasting:

$$W_{\max} = 0,7 \cdot S_{\text{tot}} \cdot h_F = 0,7 \cdot 24 \cdot 10^7 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 2016 N$$

Dat voldoet ongeveer aan onze eis van 1800 N.

De luchtstroom M [kg/s] wordt gegeven door:

$$M = 2 \cdot 0,425 \cdot 10^{-2} \cdot nd h_F p_s = 2 \cdot 0,425 \cdot 28 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^5 \\ = 5,71 \cdot 10^{-4} \text{ [kg/s]}$$

Hierbij komt de factor $0,425 \cdot 10^{-3}$ uit [Muijderman, 1981] en de factor 2 verdisconteert de dubbelzijdigheid van het lager. Met een dichtheid van lucht van 1,2 kg/m³ volgt in m³/uur:

$$V = \frac{5,71 \cdot 10^{-4}}{1,2} \cdot 3600 = 1,7 \text{ m}^3 / \text{uur}$$

Hiermee is de berekening in principe afgerond. Nu moet er nog worden gecontroleerd of we inderdaad te maken hebben met een inherente weerstand. Hiervoor moet gelden dat de grootste luchtweerstand wordt gevonden tussen de lageroppervlakken en niet in het toevoergaatje. De formule die deze eis weergeeft is:

$$\pi d h_f < \frac{1}{4} \pi d^2$$

Na wegstrepen volgt de eis:

$$h_f < \frac{1}{4} d$$

Hieraan wordt ruim voldaan, want $h_f=12$ micrometer, $d=400$ micrometer.

Hoewel de resultaten aannemelijk lijken, en er uitsluitend gebruik is gemaakt van betrouwbaar geachte formules uit [Muijderman, 1981] kan er niets worden gezegd over de gevoeligheid van de resultaten op fabricageon nauwkeurigheden. Daarom willen we nu kijken naar hoe de draagkracht verandert wanneer we de hoogte h_f aanpassen.

Daarvoor kijken we naar het zogenaamde lagerkental \underline{B} , waar de draagkracht een functie van is (zie figuur 4.3). \underline{B} wordt gegeven door:

$$\underline{B} = \frac{12\pi C_D \eta}{p_a} \frac{L}{B} \frac{nd}{h_f^2} \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \cdot RT}$$

η : viscositeit van lucht, $\eta=18 \cdot 10^{-6} \text{Ns/m}^2$
 $\kappa = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$

en verder:

C_D : een geometrie-afhankelijke constante, $C_D=0,75$

R : gasconstante, $R=288 \text{ Nm/kgK}$

T : temperatuur, $T=293 \text{ K}$

$n = 14$

$d = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

$L = 0,015 \text{ m}$

$B = 0,165 \text{ m}$

$h_f = 12 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

$p_a = 1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ Hieruit volgt dat $\underline{B}=13,83$.

Volgens figuur 4.3 is de dimensieloze draagkracht dan 1,8. Met een h_f van $13 \cdot 10^{-6}$ zou \underline{B} gelijk zijn aan 11,78, met als dimensieloze draagkracht 1,7, dat wil zeggen ongeveer 5% lager. De gevoeligheid voor onnauwkeurige valt dus mee.

Tenslotte moet het lager nog worden berekend op draagkracht in het horizontale vlak om het reactiemoment van de vijzelmoer op te vangen (zie paragraaf 4.1). Hierbij wordt uitgegaan van de afmetingen zoals ze gegeven zijn in paragraaf 4.2. Het op te vangen

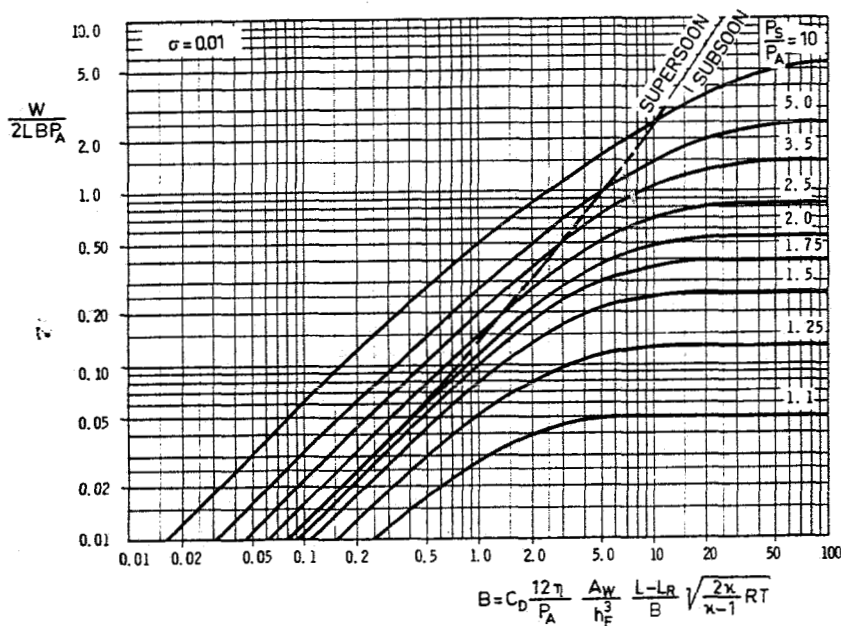
moment wordt gegeven door de volgende formule, die betrekking heeft op de wormvijzel:

$$M = \frac{F \cdot s}{2\pi \eta}$$

η : rendement, geschat op 25 %

en verder:

- M : gevraagde moment aan de moer [Nm]
- F : trekkracht aan spindel, 1800 [N]
- s : spoed van de spindel, 3 [mm].



figuur 4.3 De dimensieloze draagkracht als functie van het lagerkental B , geldig voor langwerpige basiselementen met inherente weerstand. (Naar [Tang, Gross, 1962] uit [Muijderman, 1981].

Hieruit volgt:

$$M = \frac{F s}{2\pi \eta} = \frac{1800 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{2\pi \cdot 0,2} = 3,4 \text{ Nm}$$

De afstand tussen de twee "steunpunten", die het moment moeten opvangen (zie figuur 4.1), bedraagt ongeveer 150 mm. Hieruit volgt voor de benodigde draagkracht:

De lagerplaat heeft een dikte van 20 mm en wordt op vier punten over een lengte van 40

$$W = \frac{3,4}{0,15} = 23 N$$

mm gelagerd. Bij een gegeven gaatjesdiameter van 0,5 mm en een voedingsdruk van 5 atm wordt de draagkracht:

$$W = 0,44 \cdot (p_s - p_a) \cdot 2BL = 0,44 \cdot 4 \cdot 10^5 \cdot 8 \cdot 10^{-4} = 141 N$$

Met 8 gaatjes wordt de spleethoogte:

$$h_F = \sqrt{6,83 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{2L}{B} \cdot \frac{nd}{p_s}} = \sqrt{6,83 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{2 \cdot 2}{4} \cdot \frac{8 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^5}} = 23 \mu m$$

De luchtstroom wordt dan:

$$M = 0,425 \cdot 10^{-2} \cdot ndh_F p_s = 0,425 \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 23 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^5 \\ = 0,78 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s} = 2,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Om te controleren of we ook hier te maken hebben met een inherente weerstand kijken we of de spleethoogte $h_F < 0,25 \cdot d$, hetgeen overduidelijk het geval is. Hiermee is de berekening voor het luchtlager voltooid.

4.4 Eindontwerp

Het eindontwerp is gegeven in bijlage 5. Er is weinig aan toe te voegen, behalve wat betreft misschien de materiaalkeuze. Omdat, hoewel ongewenst, toch metallisch contact kan optreden tussen de lageroppervlakken, wordt ervoor gekozen de slijtage zo gering mogelijk te houden. Daarom is de lagerplaat gemaakt van staal en zijn de lagertabletten gemaakt van lagerbrons.

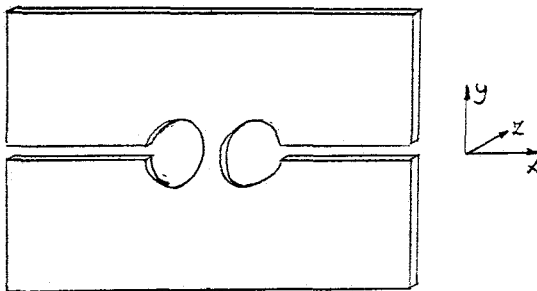
Ook is nog iets te zeggen over de luchttoevoer. Deze vindt plaats met de luchtleiding die in het laboratorium van WFW aanwezig is. De lucht hieruit moet echter worden gezuiverd. Daartoe is er een zuiveringsinstallatie aangekocht, die de lucht in 3 stappen filtert (40 micron - 5 micron - 3 micron) en waarin tevens twee ontvochters zijn opgenomen.

5. De ophanging

In de vorige hoofdstukken zijn de meest essentiële onderdelen van de nieuwe proefopstelling beschreven. Er kan nu een verplaatsing aan het profiel worden opgelegd, en de uitgeoefende kracht op het profiel kan verticaal blijven door de geleiding met het luchtlager. Nu moet het geheel nog worden bevestigd aan iets wat we de vaste wereld kunnen noemen. Als vaste wereld kiezen we het metalen frame, waaraan ook het testprofiel is opgehangen. Aan de ophanging kunnen de volgende eisen worden gesteld:

- Het lager moet instelbaar zijn in het horizontale vlak, omdat bij scheefstand van het lager de uitgeoefende kracht op het profiel niet verticaal is. Hoe nauwkeurig deze instelling moet zijn zal hieronder worden berekend.
- Bij de instelling moet er geen of zo weinig mogelijk spanning op het lager worden geïntroduceerd.
- De ophanging moet te bevestigen zijn aan het frame van de huidige proefopstelling.

Om het lager volledig en statisch bepaald te fixeren, moet het op drie punten zijn bevestigd aan de vaste wereld. Twee van deze punten dienen in hoogte instelbaar te zijn, zodat het lager in het horizontale vlak gebracht kan worden. Ter voorkoming van spanningen in het lager wordt gebruik gemaakt van tussenstukken tussen de afstelling en het luchtlager, gebaseerd op het principe van een elastisch scharnier (zie figuur 5.1). De constructie is stijf in x- en y-richting, maar slap in z-richting en in torsie om de drie assen. Wanneer deze tussenstukken op drie punten aan het lager worden bevestigd, is het lager spanningsloos opgehangen en kan het spanningsloos worden ingesteld.



figuur 5.1 Tussenstuk tussen lager en steunpunt.

De dikte van het tussenstuk is bepaald op 2 mm. De berekening hiervoor is te vinden in bijlage 8.

De instelling in het horizontale vlak van het lager vindt plaats op 2 van de drie ophangpunten. Bij instelling van ophangpunt 1 draait het lager om een denkbeeldige as door de ophangpunten 2 en 3, omdat deze gefixeerd zijn in y-richting. De vereiste instelnauwkeurigheid is te bepalen uit de maximaal toegestane laterale (=horizontale) kracht op het profiel. Uit berekeningen is gebleken dat reeds bij een horizontale kracht van 1 N de verplaatsing van het profiel onaanvaardbaar wordt beïnvloed. Aangezien de verticale kracht op het profiel maximaal 1800 N bedraagt, mag de scheefstand niet meer zijn dan

6. Gebruiksaanwijzing

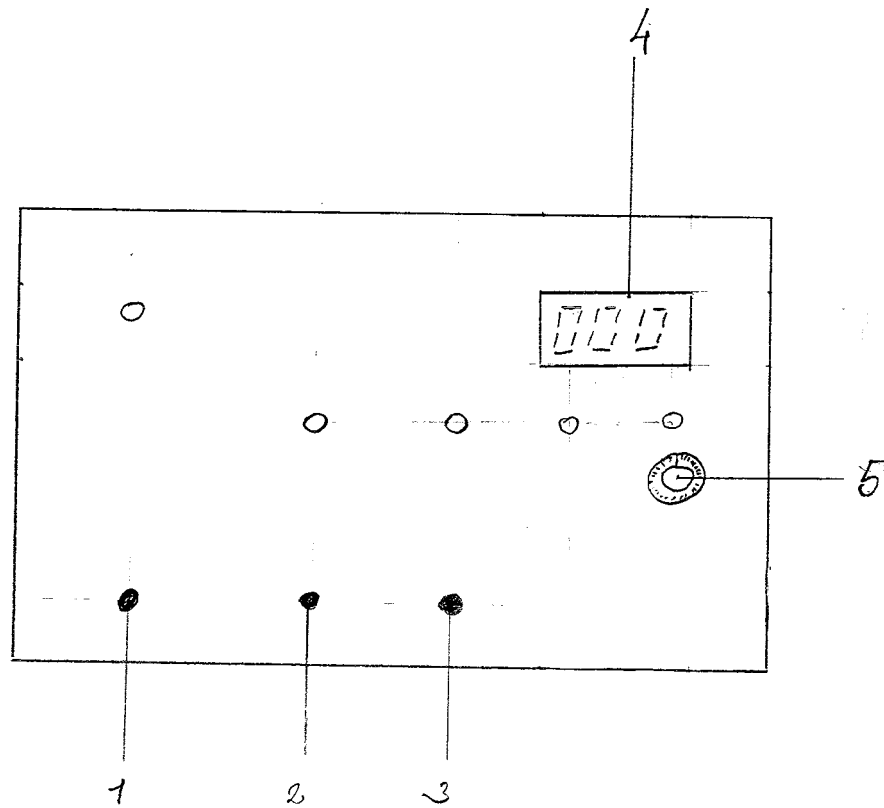
Het meest kwetsbare deel van de opstelling is het luchtlager. Dit is gemaakt met uiterse precisie (loopvlakken met een nauwkeurigheid van 1 micrometer), en elke beschadiging kan funest zijn voor het verdere functioneren. Daarom moet er ernstig rekening gehouden worden met de volgende veiligheidsvoorschriften:

- Er moet worden opgelet dat het luchtlager nooit loopt met lucht die niet volledig schoon is. Let er op dat de leidingen van de luchtfilters naar het lager toe schoon zijn.
- De filters moeten worden vervangen, wanneer ze vuil zijn. (Is er iets bekend van de looptijd van die filters?).
- Er moet **continu luchtdruk** staan op het lager, zodat vuile deeltjes onmiddellijk worden weggeblazen, en er nooit metallisch contact kan optreden.
- Wanneer om noodredenen toch de luchtdruk wordt uitgeschakeld, mag het lager **NOOIT worden bewogen**.
- **Maximale belasting: 1600 N.** (Gemeten). De besturing van het apparaat (zie hieronder) is beveiligd voor overbelasting van het lager. Bij contact tussen de twee lageroppervlakken kan er niet meer worden verplaatst. **De betreffende electriciteitsdraden moeten altijd aan het lager bevestigd blijven.**

De besturing van het apparaat is gebouwd door Karel Koekkoek. Problemen met betrekking tot de besturing moeten met hem worden behandeld. De werking van de besturing is uitgelegd in figuur 6.1.

Bij het inschakelen van de besturing zijn beide richtingslampjes uit, de verplaatsingsvoorschrijver staat stil. Verplaatsing kan worden gestart door op een van de richtingsknopjes te drukken. De verplaatsingssnelheid is in te stellen met knop 5. Wanneer het rode lampje brandt maken de lageroppervlakken contact en kan er niet verder verplaatst worden. Ook niet terug trouwens. Om weer te ontlasten moeten de electriciteitsdraden even worden losgemaakt, zodat er geen stroom meer optreedt.

De vlakke-instelling van het lager is beschreven in hoofdstuk 5. De juiste instelling is bereikt zodra de lagerschijf niet meer naar één kant beweegt en de waterpas in beide richtingen horizontaal aangeeft.



figuur 6.1 Werking van de besturing. Schakelaars zitten beneden, LEDs boven.

1. STOP
2. Richting: omhoog
3. Richting: omlaag
4. Display snelheid
5. Snelheidsregeling

Literatuur

Koster, M.P., *Constructieprincipes, voor het nauwkeurig bewegen en positioneren*. Dictaat Universiteit Twente, faculteit der werktuigbouwkunde, diktaatnr. WA-163, 1990

Maxon motor, *Maxon motor, catalogus, edition 90*. Te verkrijgen bij: Sanders-Birnie BV, Postbus 716, 7500 AS Enschede, tel: 053-320566.

Muijderman, E.A., *Inleiding Tribotechniek (w75), deel II - uitwendig van druk voorzien olie- en gaslagers*. Dictaat TH Delft, afdeling der Werktuigbouwkunde, 1981.

Tang, I.C., Gross, W.A., *Analysis and Design of Externally Pressurized Gas Bearings*. ASLE Trans., No. 5, 261-284, 1962.

Bijlage 1. Gegevens van de wormvijzel

FORTUNE wormvijzels bestaan uit een schroefspil en een wormwielmoer, samengebouwd in een huis.

De schroefspil is vervaardigd uit smeedstaal, de wormwielmoer uit een aluminium en brons legering.

Schroefspil en moer zijn met een minimale speling gepaard. De wormwielmoer is in druklagers gevat.

In standaarduitvoering S worden de wormvijzels geleverd in de uitvoeringen:

- UPRIGHT: de schroefspil steekt aan de bovenzijde van het huis uit en drukt de last naar boven.
- INVERTED: de schroefspil steekt aan de onderzijde van het huis uit en trekt de last naar boven.

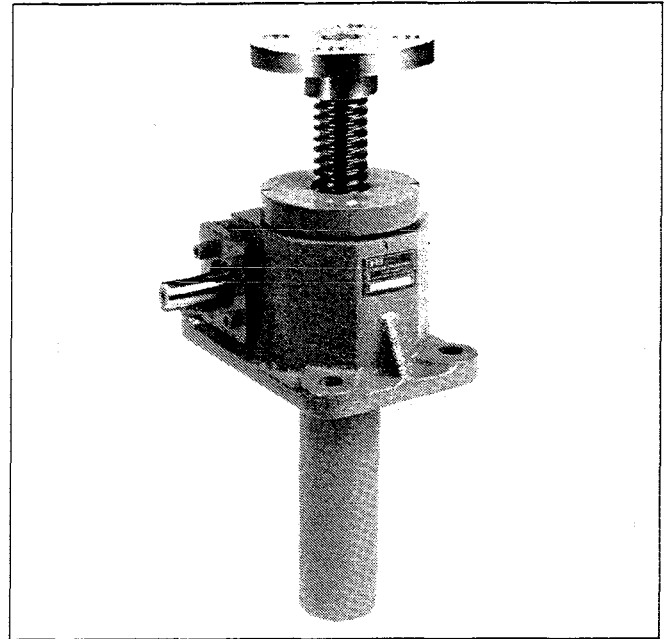
Bij de standaarduitvoeringen moet de schroefspil met de last verbonden zijn en door de last tegen eigen rotatie worden geborgd. Wanneer dat niet mogelijk is, dan moet worden toegepast het:

- KEYED MODEL, waarbij de schroefspil is uitgevoerd met een spiebaan, die samenwerkt met een in het huis gemonteerde spie, die de schroefspil tegen eigen rotatie borgt.

Attentie: de hefkapaciteit van het KEYED MODEL is 50% van die van de standaarduitvoering.

Indien de voorkeur wordt gegeven aan een spil, die niet lineair wordt verplaatst, dan wordt toegepast de:

- ROTATING SCREW uitvoering, waarbij de spil roteert en een plateau langs de spil wordt verplaatst.



Grootte	Max. druk/trek belasting N	Rendement %	Aandrijf-koppel T in N.m bij F = 100%	Spilsnelheid (ca.) bij 100 r/min aan de wormas mm/min	Diameter van de spil mm	Reduktie-verhouding	Max. ingaand toerental bij 40% ID			
							F 100%	F 80%	F 60%	F 40%
S 000	5.000	19	2,5	60,24	16	5 : 1	500	500	500	500
S 001	10.000	23	6,7	100	20	5 : 1	500	500	500	500
S 002	25.000	20	19,4	100	30	6 : 1	367	460	500	500
S 005	50.000	21	54,6	151,5	40	6 : 1	261	376	436	500
S 010	100.000	20	113,5	151,5	55	8 : 1	188	335	314	471
S 020	200.000	18	257,5	151,5	65	8 : 1	138	173	230	346
S 030	300.000	15	470	151,5	95	10 1/2 : 1	121	151	207	303
S 050	500.000	14	846	151,5	112	10 1/2 : 1	126	158	210	316
S 100	1.000.000	13	1806	151,5	150	12 : 1	98	123	164	246

S 000	5.000	10,5	1,1	15	16	20 : 1	500	500	500	500
S 001	10.000	13	3	25	20	20 : 1	500	500	500	500
S 002	25.000	11,5	8,45	25	30	24 : 1	421	500	500	500
S 005	50.000	11,5	25	37,6	40	24 : 1	214	267	356	500
S 010	100.000	13	59	50	55	24 : 1	181	226	302	453
S 020	200.000	11,5	135	50	65	24 : 1	79	99	132	198
S 030	300.000	8,5	280	50	95	33 : 1	62	79	106	159
S 050	500.000	8,5	474	50	112	33 : 1	90	113	150	225
S 100	1.000.000	8,0	971	50	150	36 : 1	81	101	134	202

De in de tabellen gegeven toerentallen gelden wanneer de spil zelf lineair wordt verplaatst. Bij draaiende spiluitvoering gelieve u ons te raadplegen.

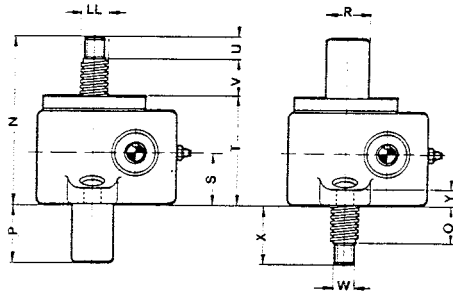
De inschakelduur wordt gerekend over 10 minuten. In principe moeten dwarskrachten op de spil vermeden worden. Wanneer dit niet mogelijk is gelieve u ons te raadplegen.

Bij de keuze van een wormvijzel moet rekening worden gehouden met:

- de toelaatbare belasting van de vijzel;
- de toelaatbare belasting op de schroefspil i.v.m. knik;
- het aantal bedrijfsuren per jaar;
- de toelaatbare lastsnelheid in verband met warmteontwikkeling.

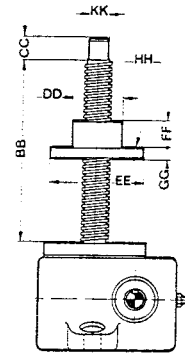
Omdat deze vier factoren nauw verband met elkaar houden verzoecken wij u de definitieve keuze van een wormvijzel door ons te laten doen.

Afmetingen

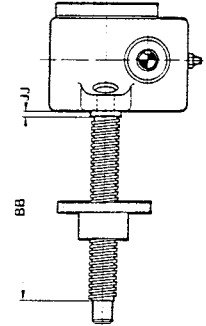


Upright
en
Keyed model

Inverted
en
Keyed model

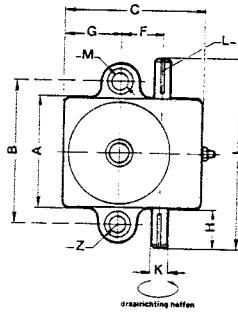


Upright
Draaiende spil

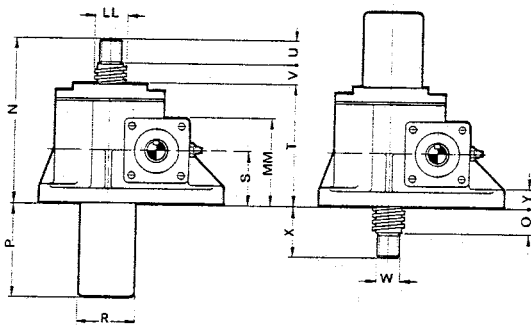


Inverted
Draaiende spil

Grootten S 000 en S 001

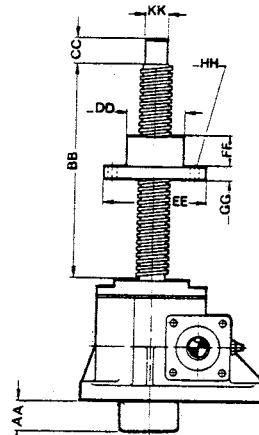


Grootten S 002 ... S 100

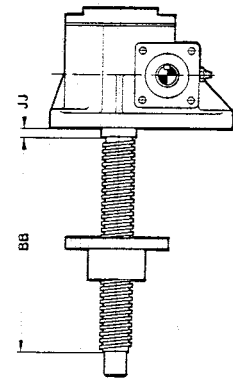


Upright
en
Keyed model

Inverted
en
Keyed model

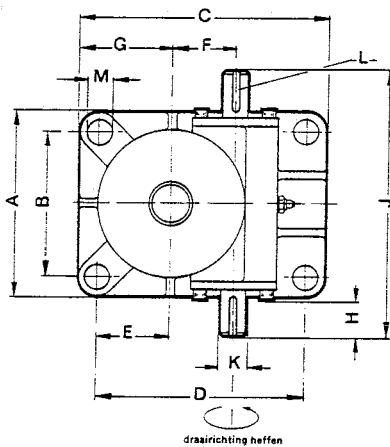


Upright
draaiende spil

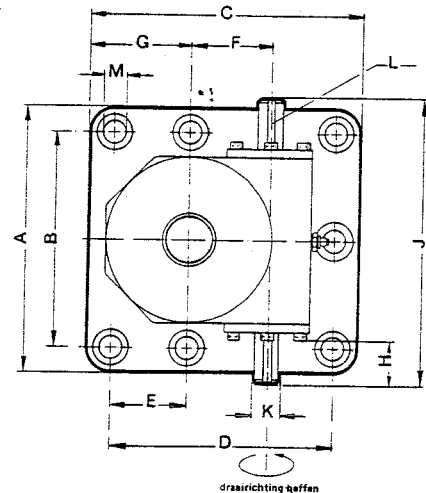


Inverted
draaiende spil

Grootten S 002 ... S 050



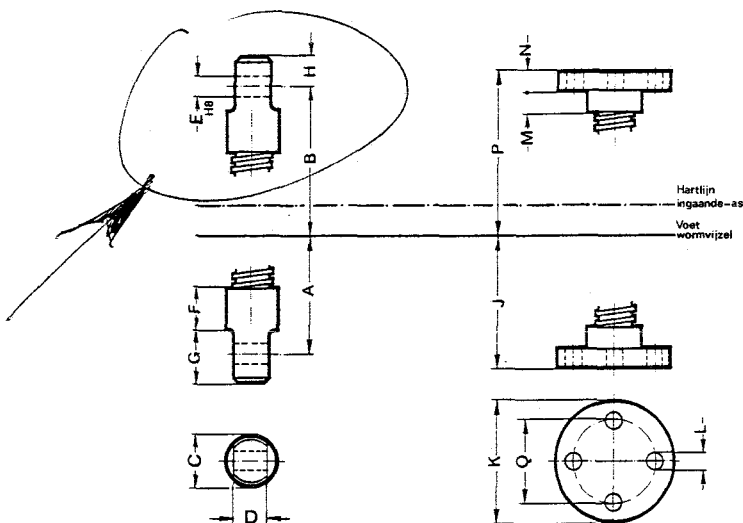
Grootte S 100



Afmetingen

Grootte	S 000	S 001	S 002	S 005	S 010	S 020	S 030	S 050	S 100
A	66	78	110	150	190	210	260	380	670
B	85	100	80	115	145	150	190	280	570
C	76	95	168	205	225	275	365	510	635
D	—	—	135	170	180	215	295	410	535
E	—	—	50	57,5	52,5	75	150	150	200
F	23,896 23,820	31,82 31,75	43,28 43,24	55,62 55,57	66,06 66,00	66,06 66,00	95,38 95,25	135,10 135,00	190,60 190,50
G	30	38	65	75	75	105	140	200	250
H	27	36	30,5	37	44	44	56	100	100
J	120	150	180	230	280	300	380	560	740
K	10 j6	14 j6	16 j6	19 j6	25 j6	28 j6	35 k6	35 k6	43 k6
L	3×1,8×18	5×3×25	5×3×25	6×3,5×32	8×4×40	8×4×45	10×5×50	10×5×90	12×5×110
M	9	11	13,5	18	22	26	39	48	48
N	95	125	145	185	200	265	325	430	600
P*	+9	+9	+5	-5	+3	-1	+15	+45	+10
Q	20	21	25	30	40	40	50	60	100
R	27	35	49	61	77	90	115	141	203
S	26	40	45	60	60	85	105	140	190
T	64	90	103,5	138	146,5	195	235	315	431
U	20	24	30	35	40	55	65	90	120
V	11	11	11,5	12	13,5	15	25	25	49
W	M10×1,5	M12×1,75	M20×2,5	M24×3	M36×4	M48×5	M72×4	M80×6	M100×6
X	40	45	55	65	80	95	115	150	220
Y	10	9	14	17	15	25	35	35	45
Z	12,5	15	—	—	—	—	—	—	—
AA	—	—	—	—	—	—	40	40	100
BB*	40	44	60	80	100	100	180	230	380
CC	16	16	25	30	50	65	85	90	120
DD	25	35	40	50	80	90	125	140	190
EE	60	80	90	115	160	185	230	260	390
FF	15	23	25	45	50	50	105	110	160
GG	10	12	15	20	25	25	35	40	60
HH1)	4×9×42	4×11×57	4×13,5×65	4×18×85	4×22×120	4×26×135	6×26×175	6×26×210	6×48×290
JJ*	11,5	10	11	18	26	25	25	35	50
KK	10,00 9,95	12,00 11,95	20,00 19,95	25,00 24,95	35,00 34,95	45,00 44,95	75,00 74,95	80,00 79,95	100,00 99,95
LL	16×3	20×5	30×6	40×9	55×12	65×12	95×16	112×16	150×20
MM	—	—	75	100	104	140	175	249	345

* te verhogen met de slaglengte. 1) aantal × gatdiameter × steekcirkeldiameter

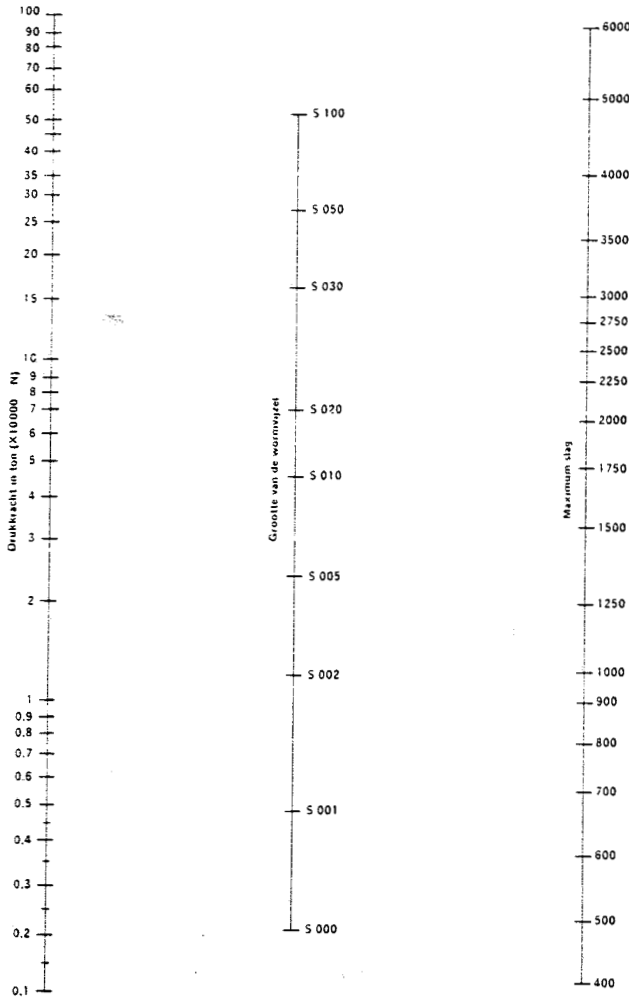


Overige spilkopuitvoeringen

Getekend in gesloten positie van de vijzel. Wanneer de vijzel als Keyed model wordt geleverd hebben het Clevis eindstuk of het plateau de getekende stand t.o.v. de hartlijn van de ingaande as.

Grootte	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
S 000	60	115	25	15	10	25	30	15	40	65	4×9	13	8	95	45
S 001	65	145	30	20	12	27	36	18	45	80	4×11	15	10	125	55
S 002	80	170	40	30	16	33	45	23	55	100	4×13,5	18	12	145	70
S 005	90	210	50	35	20	30	60	30	65	120	4×18	20	16	185	85
S 010	125	245	65	40	22	52	66	33	80	150	4×22	20	20	200	110
S 020	140	310	75	50	30	60	80	40	95	170	4×26	30	25	265	120
S 030	155	365	110	80	45	45	120	60	115	240	4×33	35	30	325	170
S 050	240	520	120	80	50	100	160	80	150	260	6×26	50	40	430	210
S 100	320	700	180	125	65	120	180	80	220	370	6×48	60	60	600	280

De keuze



Nomogram

De belasting mag de maximum toelaatbare belasting van de wormvrijzel niet overschrijden.

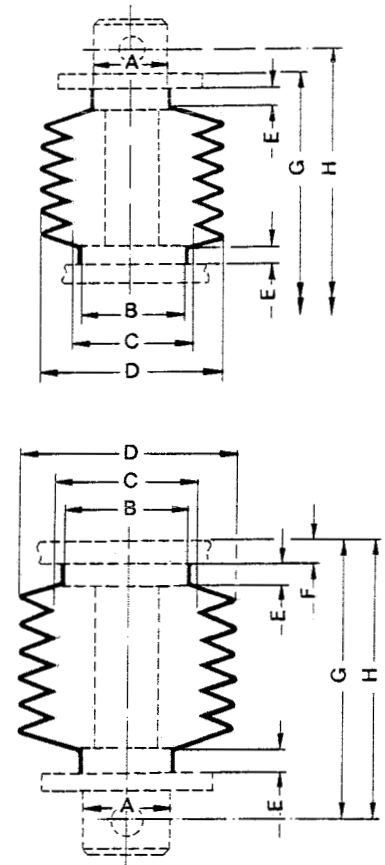
Het nomogram heeft betrekking op:

- zuivere drukkrachten;
- lasten, die zijdeling worden ondersteund.

Balg

Het kan gewenst zijn de spil tegen stof of vocht in de omgeving te beschermen. Een balg is hiertoe een geëigend middel. Wanneer een wormvrijzel van een balg wordt voorzien, zal de gesloten lengte van de wormvrijzel niet gelijk zijn aan die, welke wordt gevonden bij de standaarduitvoering.

De stalen ring, waaraan de balg bij de INVERTED uitvoering moet worden bevestigd aan de vrijzelzijde, behoort niet tot de levering.

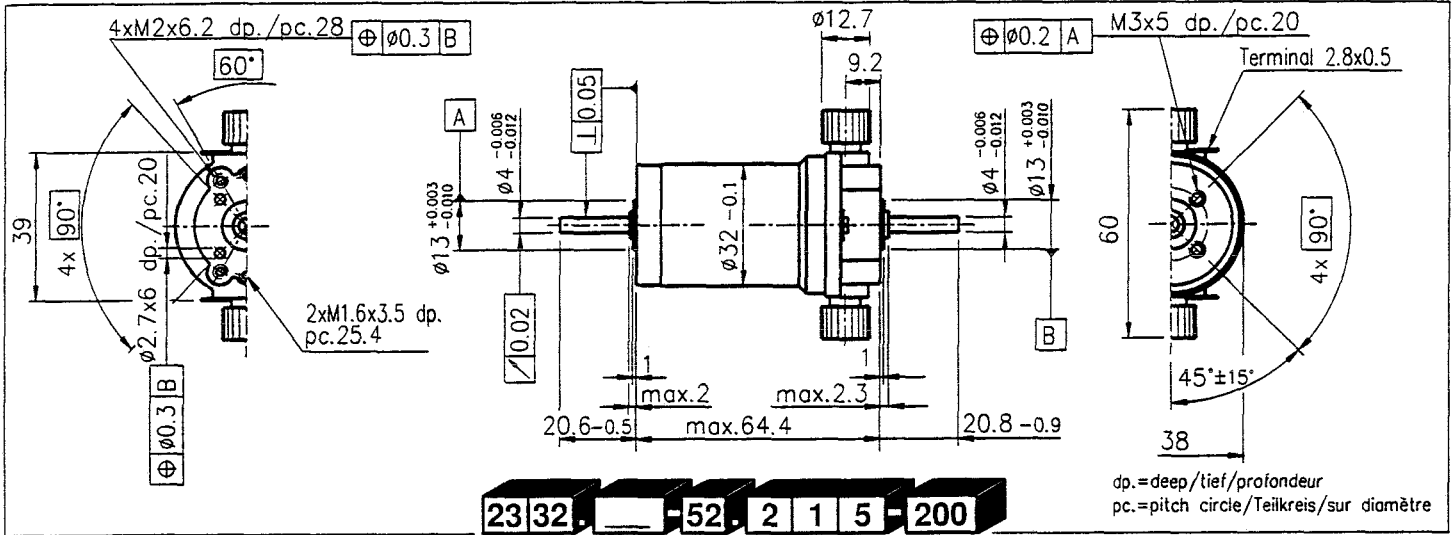


Grootte	Slag	Upright uitvoering gesloten		Inverted uitvoering gesloten		A	B	C	D	E	F
		G	H	G	H						
S 000	0- 600	120	140	92	112	25	60	25	100	10	12
S 001	0- 600	125	145	97	117	30	75	45	125	10	12
S 002	0- 300	145	170	82	107	40	90	100	180	12	15
	300-1000	170	195	107	130						
	1000-1500	195	220	130	157						
S 005	0- 600	185	210	92	107	50	115	120	200	15	15
	600-1000	210	235	117	142						
	1000-1500	235	260	142	165						
S 010	0- 600	200	245	105	150	65	136	150	230	15	20
	600-1000	225	270	130	178						
	1000-1500	250	295	157	200						
S 020	0- 600	265	310	122	161	75	165	170	250	20	20
	600-1000	290	335	148	190						
	1000-1500	315	360	170	216						
S 030	0- 600	325	365	141	182	110	220	225	300	20	30
	600-1000	350	390	165	206						
	1000-1500	375	415	191	232						
S 050	0- 600	430	520	177	267	120	310	295	370	30	30
	600-1000	455	545	302	292						
	1000-1500	480	570	327	317						
S 100	0- 600	600	700	247	347	180	450	460	535	30	30
	600-1000	625	725	272	372						
	1000-1500	650	750	297	397						

Bijlage 2. Gegevens van de elektromotor

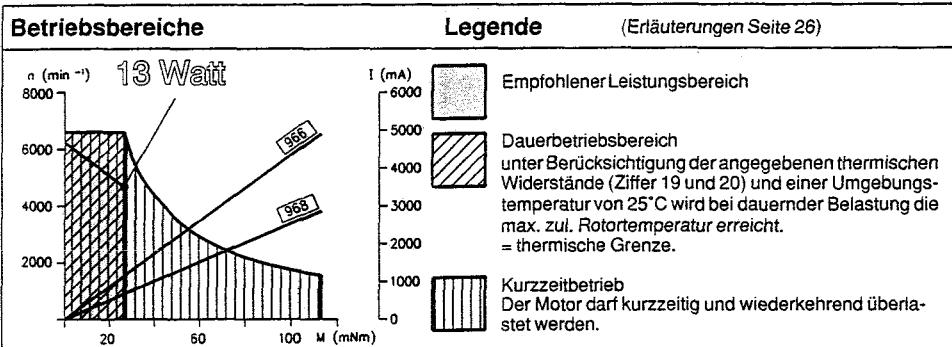
S-Motor 23 32
Graphitbürsten

13 Watt



dp.=deep/tief/profondeur
pc.=pitch circle/Teilkreis/sur diamètre

Motordaten	Wicklungsnummer (Bestellnummer)	Wicklungsnummer (Bestellnummer)																		
		960	963	964	967	970	972	973												
1 Typenleistung	W	13	13	13	13	13	13	13	13	13										
2 Nennspannung	Volt	6,00	12,00	12,00	15,00	18,00	24,00	36,00	48,00	48,00										
3 Leerlaufdrehzahl	min ⁻¹	4690	6460	6030	5660	5050	5480	5510	4710	3810										
4 Anhaltmoment	mNm	80,7	120	110	103	104	115	115	95,8	77,2										
5 Kennliniensteigung	min ⁻¹ mNm ⁻¹	75,3	60,8	61,9	60,4	52,4	50,6	50,1	51,3	51,8										
6 Leerlaufstrom	mA	278	178	164	118	84,3	68,7	45,4	28,1	22,0										
7 Anlaufstrom	mA	8560	7610	6510	4480	3310	2930	1930	1030	673										
8 Anschlusswiderstand	Ohm	0,701	1,58	1,84	3,35	5,44	8,20	18,6	46,8	71,3										
9 Grenzdrehzahl	min ⁻¹	6600	6600	6600	6600	6600	6600	6600	6600	6600										
10 Max. Dauerbelastungsstrom	mA	2170	1540	1450	1130	905	745	504	322	262										
11 Max. Dauerdrehmoment	mNm	20,46	24,18	24,51	25,99	28,51	29,35	30,04	30,04	30,13										
12 Max. Abgabeleistung, bei Nennspannung	mW	8000	18300	15700	14200	12900	15700	16000	11400	7430										
13 Max. Wirkungsgrad	%	48,7	62,6	62,1	63,9	65,8	68,3	69,8	68,6	66,2										
14 Drehmomentkonstante	mNm A ⁻¹	9,43	15,7	16,9	23,0	31,5	39,4	59,6	93,3	115										
15 Drehzahlkonstante	min ⁻¹ V ⁻¹	1010	607	566	415	303	243	160	102	83,3										
16 Mechanische Anlaufzeitkonstante	ms	25,4	17,0	16,8	15,6	14,8	14,2	13,7	13,4	13,4										
17 Rotorträgheitsmoment	gcm ²	32,2	26,7	25,9	24,7	26,9	26,8	26,1	25,0	24,7										
18 Anschlussinduktivität	mH	0,09	0,25	0,28	0,53	0,99	1,54	3,53	8,65	13,1										
19 Therm. Widerstand Gehäuse-Luft	K W ⁻¹	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50										
20 Therm. Widerstand Rotor-Gehäuse	K W ⁻¹	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90										



- Lagerprogramm**
- Standardprogramm
 - Sonderprogramm
- Axialspiel 0,05-0,15 mm
 - Vorgespannte Kugellager (erhöhter Leerlaufstrom!) für Motorkombinationen mit Encoder
Vorspannkraft min. 2,4 - 3,3 N
 - Max. Belastung der Kugellager axial (dynamisch) nicht vorgespannt 5,6 N
vorgespannt 2,4 N
radial (5 mm ab Flansch) 28 N
Aufpressdruck (statisch) 113 N
(statisch, Welle abgestützt) 1200 N
 - Radialspiel bei Kugellager 0,025 mm
 - Umgebungstemperatur -20/+100°C
 - Max. Rotortemperatur +125°C
 - Anzahl Kollektorsegmente 13
 - Motorgewicht 257g
 - Motordaten gemäss Tabelle sind Nenn-daten. Toleranzdarstellung Seite 25. Detailliertere Angaben entnehmen Sie unseren Computerblättern.

maxon-Baukastensystem

Planetengetriebe 29 32 . 70. Detail Seite 72

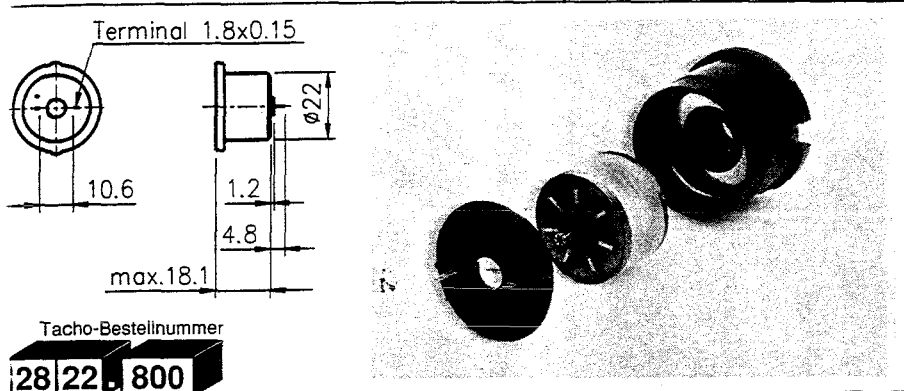
Gleichstromtacho 28 22 . 800 Detail Seite 80

Digital-Encoder HP HEDS 5500 34 09 Detail Seite 87

DC-Tacho/Encoder 36 03 Detail Seite 89

Leistungstacho

28 22 . 800



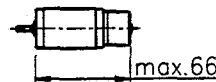
Tacho-Bestellnummer
28 22 . 800

Wichtige Hinweise

- Tacho mit eisenlosem Rotor, System maxon.
- Tacho mit Edelmetallkommutierung.
- Rotorträgheitsmoment der Einheit = Trägheitsmoment-Motor + Tacho (Rotor).
- Dreht die Welle im Uhrzeigersinn (auf die Stirnfläche des Motors gesehen); so liegt der Pluspol des Ausgangssignals an der mit + bezeichneten Anschlussfahne.
- Empfohlen wird ein hochohmiger Anschluss des Regelverstärkers.
- Tacho vorzugsweise bei niedrigem Strom belasten.
- Die angegebene Resonanzfrequenz bezieht sich auf die Rotorsysteme Motor-Tacho.

+ Motor-Bestellnummer

23 26 - 52 . 23 6 - 2 0 0
Basis-Motor 2326.....-52.236-200
siehe Seite 32



23 26 - 75 . 23 6 - 2 0 0
Basis-Motor 2326.....-52.236-200
siehe Seite 32



+ Getriebe

Planetengetriebe 29 26 . 71.
Detail siehe Seite 68

23 26 - 74 . 23 6 - 2 0 0
Basis-Motor 2326.....-52.236-200
siehe Seite 32



Stirnradgetriebe 29 38 . 80.
Detail siehe Seite 74

23 32 - 51 . 2 7 6 - 2 0 0
Basis-Motor 2332.....-55.276-200
siehe Seite 33

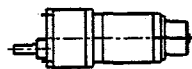


23 32 - 71 . 2 7 6 - 2 0 0
Basis-Motor 2332.....-55.276-200
siehe Seite 33



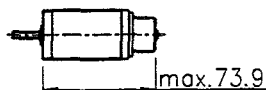
Planetengetriebe 29 32 . 70.
Detail siehe Seite 71

23 32 - 72 . 2 7 6 - 2 0 0
Basis-Motor 2332.....-55.276-200
siehe Seite 33



Stirnradgetriebe 29 38 . 80.
Detail siehe Seite 74

23 32 - 52 . 23 6 - 2 0 0
Basis-Motor 2332.....-51.236-200
siehe Seite 34

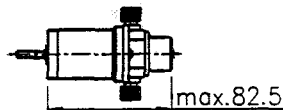


23 32 - 71 . 23 6 - 2 0 0
Basis-Motor 2332.....-51.236-200
siehe Seite 34

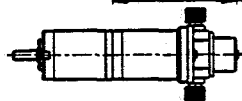


Planetengetriebe 29 32 . 70.
Detail siehe Seite 71

23 32 - 53 . 2 6 5 - 2 0 0
Basis-Motor 2332.....-52.215-200
siehe Seite 35



23 32 - 71 . 2 7 5 - 2 0 0
Basis-Motor 2332.....-52.215-200
siehe Seite 35



Planetengetriebe 29 32 . 70.
Detail siehe Seite 72

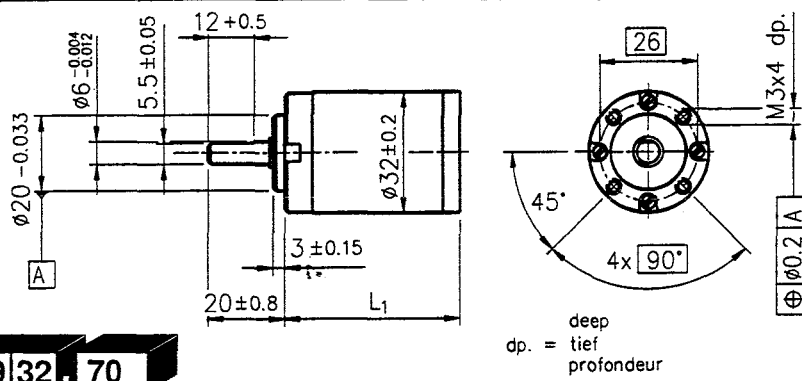
Fortsetzung Seite 81

Technische Daten

Ausgangsspannung	0,52 V/1000 min ⁻¹	Reversierfehler	± 0,1%	Resonanzfrequenz mit Motor von Seite 49, 50	>2 kHz
Rotorwiderstand Tacho	57 Ohm	Temperaturkoeffizient der EMK (Magnet)	-0,02%/°C	mit Motor von Seite 32, 33	>3 kHz
Tatsächliche mittlere Welligkeit Spitze-Spitze	6%	Temperaturkoeffizient des Innenwiderstandes	+0,4%/°C	mit Motor von Seite 34, 35, 51	>4,5 kHz
Frequenz der Welligkeit pro Umdrehung	14	Max. empfohlener Strom	10 mA		
Linearität zw. 500 und 5000 min ⁻¹ unbelastet	± 0,2%	Toleranz der Ausgangsspannung	± 15%		
Linearität bei Lastwiderstand von 10 kOhm	± 0,7%	Rotorträgheitsmoment (nur Tacho)	<3 gcm ²	Temperaturbereich	-20/+65°C

Planetengetriebe

29 32 . 70_



Technische Daten

Planetengetriebe	geradeverzahnt		
Abtriebswellenlagerung	Kugellager		
Radialspiel, 5 mm ab Flansch	max. 0,08 mm		
Axialspiel	max. 0,7 mm		
Max. zulässige Axiallast	120 N		
Max. zulässiger Aufpressdruck	120 N		
Mittleres Getriebespiel unbelastet pro Stufe	<math><0,9^\circ</math>		
Empfohlene Motordrehzahl	<math><4000 \text{ min}^{-1}</math>		
Empfohlener Temperaturbereich	$-20/+80^\circ\text{C}$		
	1 Stufe	2 Stufen	3 Stufen
Max. zul. Radiallast, 12 mm ab Flansch	70 N	140 N	210 N
Wirkungsgrad	80%	75%	70%

29 32 . 70_

Getriebe-Bestellnummer	Untersetzung	Stufenzahl	max. Drehmoment		Drehstimm	Gewicht	L ₁ max. mm	L ₂ max. mm	L ₃ max. mm	L ₄ max. mm	L ₅ max. mm	L ₆ max. mm	L ₇ max. mm	L ₈ max. mm	L ₉ max. mm
			dauer Nm	kurz Nm											
2932.701-0005.0-000	5,2 : 1	1	0,75	1,12	=	130	26,6	91,0	109,10	116,50	114,10	81,10	103,50	93,6	101,85
2932.702-0019.0-000	19,2 : 1	2	2,25	3,37	=	170	36,1	100,5	118,60	126,00	123,60	90,60	113,00	103,10	111,35
2932.702-0027.0-000	27 : 1	2	2,25	3,37	=	170	36,1	100,5	118,60	126,00	123,60	90,60	113,00	103,10	111,35
2932.702-0035.0-000	35 : 1	2	2,25	3,37	=	170	36,1	100,5	118,60	126,00	123,60	90,60	113,00	103,10	111,35
2932.703-0100.0-000	100 : 1	3	4,50	6,75	=	215	45,6	110,0	128,10	135,50	133,10	100,10	122,50	112,60	120,85
2932.703-0181.0-000	181 : 1	3	4,50	6,75	=	215	45,6	110,0	128,10	135,50	133,10	100,10	122,50	112,60	120,85
2932.703-0236.0-000	236 : 1	3	4,50	6,75	=	215	45,6	110,0	128,10	135,50	133,10	100,10	122,50	112,60	120,85

Fortsetzung von Seite 71

+ Motor-Bestellnummer

23 32 - 73 . 2 2 5 - 2 0 0

Basis-Motor 2332....-52.215-200
siehe Seite 35

23 32 - 71 . 2 7 5 - 2 0 0

Basis-Motor 2332....-52.215-200
siehe Seite 35

23 32 - 74 . 2 2 5 - 2 0 0

Basis-Motor 2332....-52.215-200
siehe Seite 35

23 32 - 72 . 2 9 5 - 2 0 0

Basis-Motor 2332....-52.215-200
siehe Seite 35

RE 025 - 055 - _ _ E A A 2 0 0 A A

Basis-Motor RE 025-055.. EAA200A
siehe Seite 49

RE 025 - 055 - _ _ E A A 2 0 0 A A

Basis-Motor RE 025-055.. EAA200A
siehe Seite 49

RE 025 - 055 - _ _ E A B 2 0 0 A A

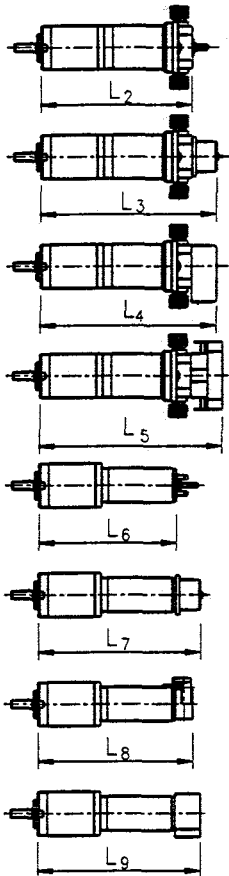
Basis-Motor RE 025-055.. EAA200A
siehe Seite 49

RE 025 - 055 - _ _ E A A 2 0 0 A A

Basis-Motor RE 025.055.. EAA200A
siehe Seite 49

Fortsetzung Seite 73

+ Tacho



Gleichstromtacho 28 22 . 800

Detail siehe Seite 80

Digital-Encoder HP HEDS 5500 34 09

Detail siehe Seite 87

DC-Tacho/Encoder 36 03

Detail siehe Seite 89

Gleichstromtacho 28 22 . 800

Detail siehe Seite 81

Digital-Encoder 34 16

Detail siehe Seite 84

Digital-Encoder HP HEDS 5010 34 07

Detail siehe Seite 86

Bijlage 3. Gegevens van de tandriemoverbrenging

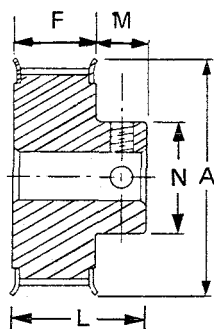
Standard - Achsabstände: XL Teilung

Über- setzung	Treibende Scheibe		Getriebene Scheibe		Achsabstand in mm											
	Zahnscheiben Code Nr.	Wirkdurchmesser (mm)	Zahnscheiben Code Nr.	Wirkdurchmesser (mm)	Wirk- länge (mm)	Wirk- länge (mm)	Wirk- länge (mm)	Wirk- länge (mm)	Wirk- länge (mm)	Wirk- länge (mm)	Wirk- länge (mm)	Wirk- länge (mm)	Wirk- länge (mm)	Wirk- länge (mm)	Wirk- länge (mm)	
					152,40	177,80	203,20	228,60	254,00	279,40	304,80	330,20	355,60	381,00	406,40	
					30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	
					Zähne	Zähne	Zähne	Zähne	Zähne	Zähne	Zähne	Zähne	Zähne	Zähne	Zähne	
					Code:	Code:	Code:	Code:	Code:	Code:	Code:	Code:	Code:	Code:	Code:	
					60 XL	70 XL	80 XL	90 XL	100 XL	110 XL	120 XL	130 XL	140 XL	150 XL	160 XL	
1.00	30 XL	48.51	30 XL	48.51	-	-	-	-	-	63	76	89	102	114	127	
	28 XL	45.28	28 XL	45.28	-	-	-	-	56	69	81	94	107	119	132	
	24 XL	38.81	24 XL	38.81	-	-	-	53	66	79	91	104	117	130	142	
	22 XL	35.57	22 XL	35.57	-	-	46	58	71	84	97	109	122	135	147	
	21 XL	33.96	21 XL	33.96	-	-	48	61	74	86	99	112	124	137	150	
	20 XL	32.34	20 XL	32.34	-	-	51	63	76	89	102	114	127	140	152	
	18 XL	29.11	18 XL	29.11	-	43	56	69	81	94	107	119	132	145	157	
	16 XL	25.87	16 XL	25.87	36	48	61	74	86	99	112	124	137	150	163	
	15 XL	24.26	15 XL	24.26	38	51	63	76	89	102	114	127	140	152	165	
	14 XL	22.64	14 XL	22.64	41	53	66	79	91	104	117	130	142	155	168	
1.05	12 XL	19.40	12 XL	19.40	46	58	71	84	97	109	122	135	147	160	173	
	11 XL	17.79	11 XL	17.79	48 ^s	61 ^s	74 ^s	86 ^s	99 ^s	112 ^s	124 ^s	137 ^s	150 ^s	163 ^s	175 ^s	
	10 XL	16.17	10 XL	16.17	51 ^s	63 ^s	76 ^s	89 ^s	102 ^s	114 ^s	127 ^s	140 ^s	152 ^s	165 ^s	178 ^s	
	21 XL	33.96	22 XL	35.57	-	-	47	60	72	85	98	110	123	136	149	
	20 XL	32.34	21 XL	33.96	-	-	50	62	75	88	100	113	126	138	151	
	1.07	30 XL	48.51	32 XL	51.74	-	-	-	-	-	61	73	86	99	112	124
		28 XL	45.28	30 XL	48.51	-	-	-	-	53	66	78	91	104	117	130
		15 XL	24.26	16 XL	25.87	37	50	62	75	88	100	113	126	138	151	164
	1.09	14 XL	22.64	15 XL	24.26	39	52	65	77	90	103	116	128	141	154	166
		22 XL	35.57	24 XL	38.81	-	-	-	56	68	81	94	107	119	132	145
1.10	11 XL	17.79	12 XL	19.40	47 ^s	60 ^s	72 ^s	85 ^s	98 ^s	110 ^s	123 ^s	136 ^s	149 ^s	161 ^s	174 ^s	
	20 XL	32.34	22 XL	35.57	-	-	48	61	73	86	99	112	124	137	150	
1.11	10 XL	16.17	11 XL	17.79	50 ^d	62 ^d	75 ^d	88 ^d	100 ^d	113 ^d	126 ^d	138 ^d	151 ^d	164 ^d	177 ^d	
	18 XL	29.11	20 XL	32.34	-	40	53	66	78	91	104	117	130	142	155	
1.13	16 XL	25.87	18 XL	29.11	-	45	58	71	84	96	109	122	135	147	160	
	28 XL	45.28	32 XL	51.74	-	-	-	-	-	63	76	89	101	114	127	
	21 XL	33.96	24 XL	38.81	-	-	44	57	70	82	95	108	120	133	146	
1.14	14 XL	22.64	16 XL	25.87	38	51	63	76	89	102	114	127	140	152	165	
	24 XL	38.81	28 XL	45.28	-	-	-	-	-	61	73	86	99	112	124	
	18 XL	29.11	21 XL	33.96	-	39	52	65	77	90	103	115	128	141	153	
1.17	12 XL	19.40	14 XL	22.64	43 ^s	56 ^s	68 ^s	81 ^s	94 ^s	107 ^s	119 ^s	132 ^s	145 ^s	157 ^s	170 ^s	
	30 XL	48.51	36 XL	58.21	-	-	-	-	-	68	81	94	106	119		
	20 XL	32.34	24 XL	38.81	-	-	45	58	71	84	96	109	122	134	147	
1.20	15 XL	24.26	18 XL	29.11	34	47	59	72	85	98	110	123	136	148	161	
	10 XL	16.17	12 XL	19.40	48 ^d	61 ^d	73 ^d	86 ^d	99 ^d	112 ^d	124 ^d	137 ^d	150 ^d	163 ^d	175 ^d	
	18 XL	29.11	22 XL	35.57	-	-	51	63	76	89	101	114	127	139	152	
1.22	24 XL	38.81	30 XL	48.51	-	-	-	-	58	71	84	96	109	122	134	
	16 XL	25.87	20 XL	32.34	-	43	56	68	81	94	106	119	132	145	157	
	12 XL	19.40	15 XL	24.26	42 ^s	54 ^s	67 ^s	80 ^s	92 ^s	105 ^s	118 ^s	131 ^s	143 ^s	155 ^s	169 ^s	
1.27	22 XL	35.57	28 XL	45.28	-	-	-	51	63	76	89	101	114	127	139	
	11 XL	17.79	14 XL	22.64	44 ^s	57 ^s	70 ^s	82 ^s	95 ^s	108 ^s	120 ^s	133 ^s	146 ^s	158 ^s	171 ^s	
1.29	28 XL	45.28	36 XL	58.21	-	-	-	-	58	71	84	96	109	122		
	14 XL	22.64	18 XL	29.11	35	48	61	73	86	99	112	124	137	150	162	
1.31	16 XL	25.87	21 XL	33.96	-	42	54	67	80	92	105	118	131	143	156	
	30 XL	48.51	40 XL	64.68	-	-	-	-	-	63	76	88	101	114		
	24 XL	38.81	32 XL	51.74	-	-	-	-	55	68	81	94	106	119	132	
	21 XL	33.96	28 XL	45.28	-	-	-	52	65	77	90	103	115	128	141	
	18 XL	29.11	24 XL	38.81	-	-	48	61	73	86	99	112	124	137	150	
	15 XL	24.26	20 XL	32.34	-	44	57	70	82	95	108	120	133	146	158	
1.33	12 XL	19.40	16 XL	25.87	40 ^s	53 ^s	66 ^s	78 ^s	91 ^s	104 ^s	117 ^s	129 ^s	142 ^s	155 ^s	167 ^s	

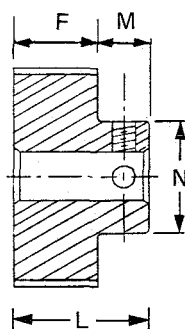
Antriebe, die weniger als 6 Zähne im Eingriff am kleinen Zahnrad haben, sind neben den einzelnen Achsabständen

Standard Zahnscheiben (XL)

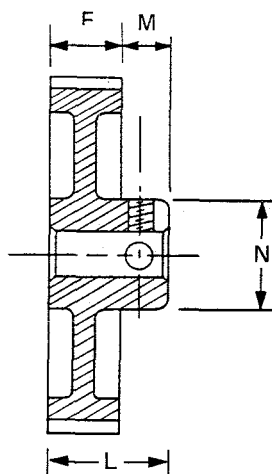
TYPE 6F



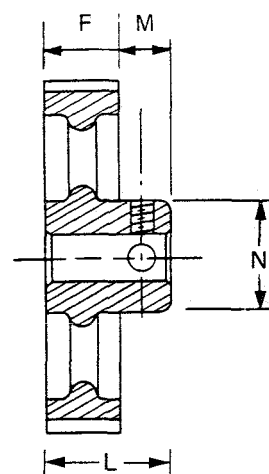
TYPE 6



TYPE 6W



TYPE 6A

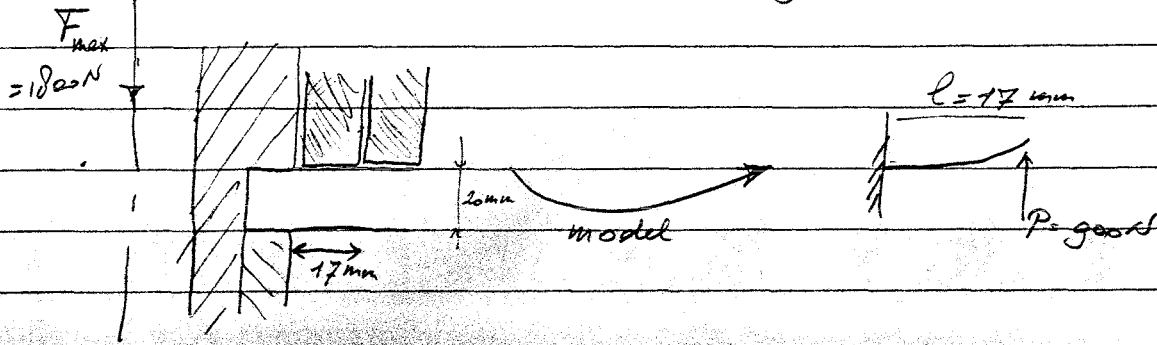


Für Zahnriemenbreite (9.5 mm) XL037

Zahnscheiben Code	Wirkdurchmesser	Zähnezahl	max. Bohrung	Ausführung	Außendurchmesser der Bordflansche A	F	J	L	M	N
10XL037	16.17	10	6.4	6F	23.6	14.3	—	19.8	5.5	9.5
11XL037	17.79	11	6.4	6F	23.6	14.3	—	19.8	5.5	11.1
12XL037	19.40	12	7.9	6F	25.2	14.3	—	19.8	5.5	12.7
14XL037	22.64	14	9.5	6F	28.4	14.3	—	19.8	5.5	14.3
15XL037	24.26	15	11.1	6F	30.1	14.3	—	18.8	5.5	15.9
16XL037	25.87	16	12.7	6F	31.7	14.3	—	19.8	5.5	17.5
→ 18XL037	29.11	18	14.3	6F	34.9	14.3	—	19.8	5.5	20.6
20XL037	32.34	20	17.5	6F	38.2	14.3	—	22.2	7.9	23.8
21XL037	33.96	21	17.5	6F	39.8	14.3	—	22.2	7.9	23.8
22XL037	35.57	22	19.1	6F	41.4	14.3	—	22.2	7.9	25.4
24XL037	38.81	24	20.6	6F	44.6	14.3	—	22.2	7.9	27.0
26XL037	42.04	26	18.0	6F	48.0	14.3	—	22.2	7.9	30.0
28XL037	45.28	28	23.8	6F	51.1	14.3	—	22.2	7.9	30.2
30XL037	48.51	30	27.0	6F	54.3	14.3	—	22.2	7.9	34.9
32XL037	51.74	32	23.0	6	—	14.3	—	25.0	11.1	38.0
36XL037	58.21	36	23.0	6	—	14.3	—	25.4	11.1	38.0
40XL037	64.68	40	23.0	6	—	14.3	—	25.4	11.1	38.0
42XL037	67.91	42	23.0	6W	—	14.3	—	25.4	11.1	38.0
44XL037	71.15	44	23.0	6W	—	14.3	—	25.4	11.1	38.0
48XL037	77.62	48	23.0	6W	—	14.3	—	25.4	11.1	38.0
60XL037	97.02	60	23.0	6A	—	14.3	—	25.4	11.1	38.0
72XL037	116.43	72	23.0	6A	—	14.3	—	25.4	11.1	38.0

Bijlage 4. Doorbuigingsberekening van het luchtlager

Bijlage 4 Doorbuiging van de lagerschijf



$$\text{Er geldt } w(l) = \frac{Pl^3}{3EI}$$

$$\text{Met: } E = 21 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{en: } I = \frac{1}{12} bh^3$$

$$h = 20 \text{ mm}$$

$$b = 30 \text{ mm (onderschatting)}$$

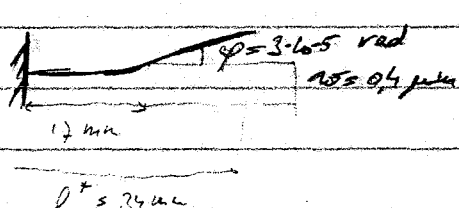
$$\Rightarrow I = 2 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

Opn. In feite is b gelijk aan de totale lagerlengte (= 165 mm), maar omdat de kracht zich ook niet op deze lagerlengte verspreid wordt voor b de lage schatting van 30 mm gekozen.

$$\Rightarrow w(l) = 0,35 \text{ } \mu\text{m}$$

$$\varphi(l) = \frac{Pl^2}{2EI} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ rad}$$

Deze resultaten leveren het volgende beeld op:



$$w(l^*) = w(l) + \varphi(l) \cdot (l^* - l)$$

$$= 0,4 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 10^{-5} \cdot 17 = 0,9 \text{ } \mu\text{m}$$

Conclusie: doorbuiging lagerschijf is acceptabel

Bijlage 5. Eindontwerp van het luchtlager

De ontwerptekening (1:1) is aanwezig bij C.M. Menken.

Bijlage 6. Spanningsberekening van de hoogte-instelling

1. Probleemstelling

Ten behoeve van een fijnafstelling is gebruik gemaakt van een constructie zoals in figuur 1. De vereiste nauwkeurigheid van de fijnafstelling is 0,05 mm. In de figuur zijn ook de afmetingen aangegeven. Het gebruikte materiaal is staal ($E=2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, vloeispanning = 240 N/mm²) of messing ($E=1,0 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, vloeispanning = 200 N/mm²). De werking van het mechanisme is schematisch weergegeven in figuur 2. De verticale slag van het mechanisme moet 0,3 mm bedragen. Bovendien grijpt er een kracht aan op de linkerbovenhoek van maximaal 1000 N. Kritieke punten zijn de spanning in de elastische scharnieren en - in verband met de instelnauwkeurigheid - de stijfheid van de constructie. Gevraagd wordt het probleem (semi-)analytisch te benaderen en het daarna met GIFTS na te rekenen.

2. Semi-analytische benadering

De complete berekening is gegeven in bijlage 6.1.

De maximaal berekende optredende spanning in de messing constructie is 147 N/mm², 75% van de vloeispanning. De maximaal berekende optredende spanning in de stalen constructie is 268 N/mm², 112% van de vloeispanning. De stalen constructie wordt dus plastisch vervormd, volgens deze berekening, terwijl bij de messing constructie de vervorming elastisch blijft.

3. Modellerings

Ter verkorting van de rekentijd zal slechts een deel van de constructie worden beschouwd, zie figuur 3. Daarbij zullen de juiste randvoorwaarden moeten worden opgegeven. Er zal gebruik worden gemaakt van de 4-knoops vlakspanningselementen QM4. Hierbij wordt opgemerkt dat dit een te mooie weergave van de werkelijkheid is, omdat vooral in de omgeving van de elastische scharnieren de materiaaldikte veel groter is dan de breedte. In het midden van het materiaal kan er daardoor een supplementaire spanning ontstaan doordat het materiaal wil samentrekken terwijl dat wordt verhinderd door omliggend materiaal. Er wordt dus aangenomen dat dit effect verwaarloosbaar is. Wanneer blijkt dat de spanning erg dicht in de buurt van de vloeispanning ligt zal deze aanname wellicht moeten worden herzien.

Voor het maken van de elementverdeling wordt het te beschouwen gebied opgesplitst in 5 deelgebieden, zie figuur 3. Het voor ons interessante gebied met betrekking tot spanningen bevindt zich in gebieden II en IV. Daar is de elementverdeling dan ook het fijnst. Om met name in het elastische scharnier een mooie verdeling te krijgen is bias toegepast op de gatranden.

De randvoorwaarden in het model zijn in figuur 4 aangegeven. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen kinematische en dynamische randvoorwaarden. Als dynamische randvoorwaarden is behalve een kracht van 1000 N op punt 1 ook een verdeelde belasting aan de linkeronderkant opgegeven. Deze laatste representeert de snedekracht. Hierbij is aangenomen dat de verticale kracht aan de rechterkant van de constructie uniform over de bevestiging wordt opgenomen. De snedekracht heeft dan een grootte van $60/85 \cdot 1000 = 700$ N. Over een lengte van ongeveer 20 mm wordt dat een verdeelde belasting van 35 N/mm. Een nog betere representatie van de werkelijkheid zou zijn om het weggesneden materiaal te representeren door een aantal elementen met de geschatte stijfheid ervan. Omdat deze stijfheid moeilijk te schatten is, wordt hier gekozen voor de eerst genoemde modellering.

Als kinematische randvoorwaarden zijn de volgende opgegeven:

- Een voorgeschreven verplaatsing van ± 0.12 mm op punt 11. Deze is verrekend met de gevraagde slag van $\pm 0,3$ mm.
- Een inklemming aan de rechterzijde. Deze komt overeen met de werkelijkheid.
- Een verticale geleiding van de punten 16 en 17. Dat heeft te maken met het feit dat de verplaatsing van het middenstuk wordt opgelegd ten opzichte van het linkerstuk.
- Een vastlegging van de rotatie om de z-as van de lijn 17-18. Aan deze lijn zit namelijk in werkelijkheid nog materiaal vast die de betreffende hoekverdraaiing verhindert. Overigens is gebleken dat deze randvoorwaarde wordt geëlimineerd door BULKF. Dat heeft er waarschijnlijk mee te maken dat er slechts een 2-dimensionale spanningstoestand wordt bekeken.

Deze gegevens zijn ook in de bijlagen te vinden in de invoerfiles. In bijlage 2 is een overzicht gegeven van de verschillende invoerfiles, die op bijgeleverde floppy staan.

4. Berekening met GIFTS

De berekening is zowel voor staal als voor messing gemaakt. Allereerst wordt begonnen met alleen de voorgeschreven verplaatsing. Zo kan er al een eerste modelcontrole uitgevoerd worden. Diverse randvoorwaarden bleken te moeten worden aangepast tot die welke genoemd zijn in paragraaf 2.

Hierna zijn berekeningen uitgevoerd met zowel de kinematische als de dynamische randvoorwaarden. Hierbij bleek dat een voorgeschreven verplaatsing naar rechts het meest kritisch was. Bij beide materialen kwam de spanning boven de vloeigrens uit. Een mogelijke verklaring hiervan is dat de elementverdeling in het interessante gebied wat aan de grove kant is. Bovendien is op die plek de "aspect ratio" van de elementen nogal groot. De elementen zijn lang en smal. Ook is er een vrij grote spanningsgradiënt over sommige elementen nl. ongeveer 150 N/mm^2 .

Daarom zijn er supplementaire berekeningen gemaakt van het belangrijke gedeelte met betrekking tot de spanning. Hiertoe is het interessante gedeelte losgesneden van de rest van de constructie en zijn er voorgeschreven verplaatsingen opgelegd die overeenkomen met resultaten uit de globalere berekening. Hieruit bleek dat de spanning bij beide materialen onder de vloeigrens bleef. Bij messing is er een ruime marge (maximale Von-Mises-spanning = 70%), bij staal was er een erg kleine marge (maximale VM-spanning 96%). De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. Rekenresultaten.

materiaal	soort model	verpl.richting	VM _{max}	TRES _{max}	vert.verpl. (mm)
Staal	globaal	links	119%	134%	0,468
		rechts	147%	168%	-0,386
	lokaal	links	89%	89%	-
		rechts	95%	96%	-
Messing	globaal	links	96%	108%	0,514
		rechts	107%	122%	-0,341
	lokaal	links	68%	68%	-
		rechts	70%	70%	-

In de meest rechtse kolom van deze tabel is de verticale verplaatsing van punt 1 gegeven voor de diverse belastingstoestanden. De nominale verplaatsing van dit punt (dus zonder verticale belasting) is berekend op $\pm 0,427$ mm. Dat is dus meer dan de gevraagde $\pm 0,3$ mm, waaruit blijkt dat het "mechanismemodel" niet helemaal correct is. De introductie van de trekkracht geeft bij staal een afwijking van ongeveer 0,04 mm, bij messing een afwijking van 0,08 à 0,09 mm. Aangezien de vereiste instelnauwkeurigheid ongeveer 0,05 mm is, voldoet de stijfheid van de messing constructie niet.

Op grond hiervan wordt gekozen voor staal. Daarvan is echter de spanning aan de hoge kant. Bovendien is de aanname van vlakspanningstoestand in deze situatie kritiek. Hoewel de constructie enigszins mag vloeien - er treedt namelijk versterking op hierdoor - wordt er uit veiligheidsoogpunt voor gekozen de dikte van de constructie met 10 mm te verhogen.

5. Conclusies

De constructie is zowel semi-analytisch als met GIFTS berekend. Zowel voor staal als voor messing zijn diverse berekeningen uitgevoerd. De resultaten van de spanningstoestanden geven weinig verschil tussen de semi-analytische en de numerieke benadering. Bij de stalen constructie is het kleine verschil echter wel significant: volgens de semi-analytische berekening treedt er vloeien op, volgens de numerieke berekening niet. Deze onzekerheid zou een reden kunnen zijn om voor messing te kiezen. Op grond van stijfheid wordt er echter wel voor staal gekozen. Wegens de kritieke spanning is ervoor gekozen de dikte van de constructie te verhogen met 10 mm.

Bg/2ex 6.1

Semi-analytische berekening

De spanning in de elastische scharnierer bestaat uit 2 delen: een buigspanning t.g.v. het draaien van de scharnierer en een trekspanning t.g.v. de uitgeoefende kracht F op het hoekpunt van het mechanisme. Deze beide spanningen zullen eerst afzonderlijk worden berekend; daarna zullen ze worden gesuperponeerd op elkaar.

Buigspanning

In het ditbare Constructieprincipes op p. 121 staat de volgende formule gegeven voor buigspanning in een elastisch scharnier:

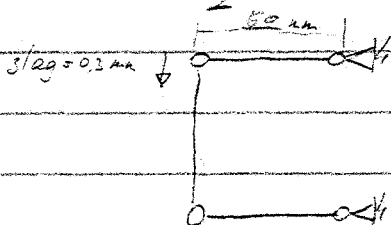
$$\sigma_{pp} \approx 0,5D \cdot \psi \cdot E \sqrt{h/D}$$

met ψ : hoekverdraaiing van het scharnier
 E : elasticiteitsmodulus $\begin{cases} E = 1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \text{ (massief)} \\ E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \text{ (staal)} \end{cases}$

h : hoogte van de den tussen de twee gaten v/h scharnier, hier: $h = 1 \text{ m}$

D : diameter van de gaten, hier: $D = 10 \text{ mm}$

De hoekverdraaiing ψ volgt uit medane berekening van de equivalente stangenveringde:



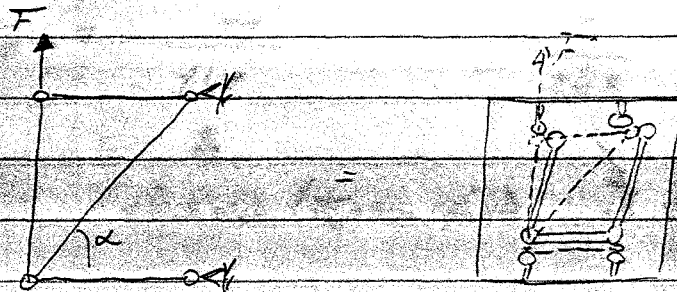
$$\Rightarrow \psi = \frac{0,3}{50} = 0,006 \text{ rad}$$

$$\Rightarrow \sigma_{pp} \approx 0,5D \cdot \frac{0,006}{2 \cdot 10} \cdot 10^5 = \sqrt{10} = 225 \text{ N/mm}^2$$

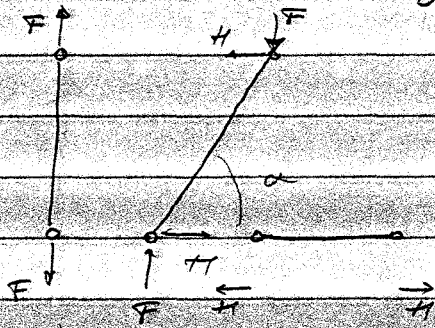
$$0,5D \cdot \frac{0,3}{2 \cdot 10} \cdot 10^5 \cdot \sqrt{10} = 188 \text{ N/mm}^2$$

Trekspanning

Ook hier is het handig om te kijken naar ~~de~~ de equivalente stangen vier zijden. ~~En hier wordt benadrukt~~ ??
 en stang toegevoegd, zodat er een schaarwerk ontstaat.



Isoleren van de stangen geeft:



De ~~extra~~ kracht op het scharnier rechtsboven is dus

$$\sqrt{F^2 + H^2}, \text{ met } H = \frac{F}{\tan \alpha} \text{ en } \tan \alpha = \frac{30}{60} = 0.5$$

$$\tan \alpha = \frac{60}{30} = 2 \rightarrow H = \frac{F}{2}$$

→ De kracht op het scharnier bedraagt dus

$$F \sqrt{1,25} = 1,12 \cdot F = 1120 \text{ N}$$

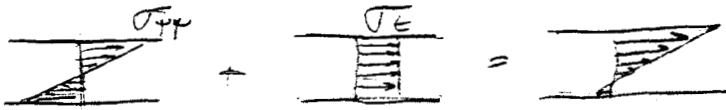
Het oppervlak dat door ~~de~~ kracht moet worden leiden is

$$A = 130 \times 30 \text{ mm}^2$$

De spanning is dus

$$\frac{1120}{30} = 37,3 \text{ N/mm}^2$$

Superposition von zwei Spannungen



$$\sigma_{Tp} = \frac{110}{231}$$

$$\sigma_E = \frac{37}{147}$$

$$231$$

$$\frac{37}{268}$$



steht nicht ($\sigma_{T,200}$ nicht)



steht: ($\sigma_{T,240}$ nicht)

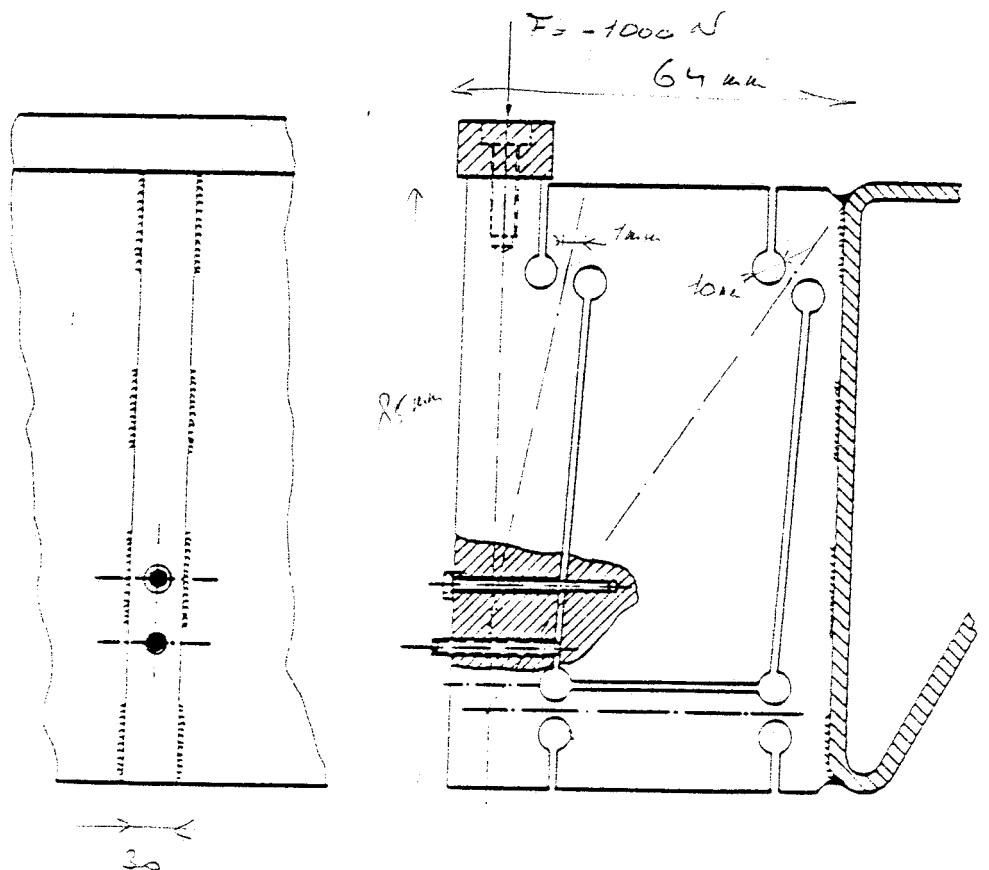
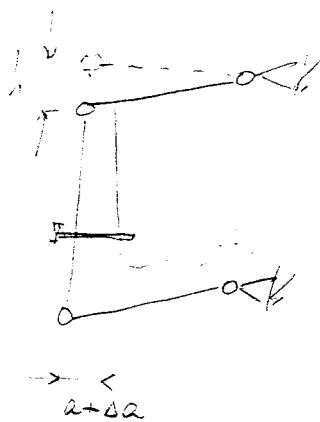
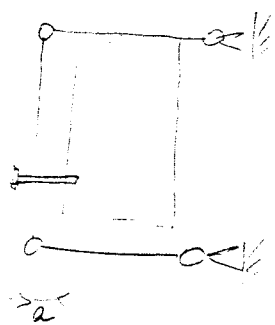


Fig.4*** Instelmogelijkheid met
gatscharnieren

(V3.6)



Door a in \pm
 5% verandering
 in Δa veroorzaakt

Figure 2 Working w/h mechanism.

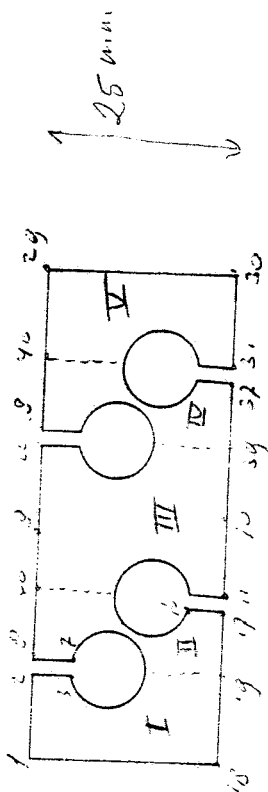


Figure 3 Knijpschakel en gebroeders

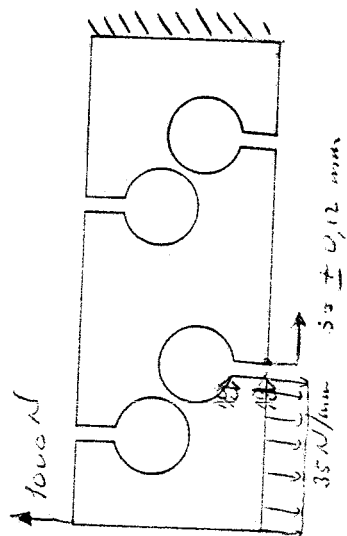
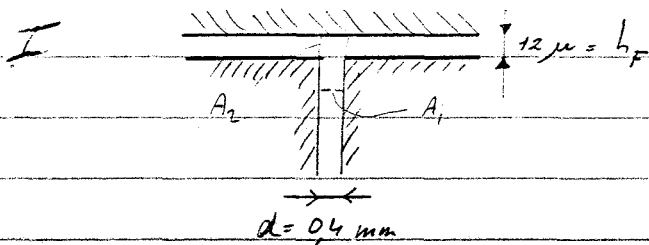


Figure 4 Kinematisch en dynamisch zwak

Bijlage 7. Controleberekening op luchtkamers

R. Kools, 2-10-91

* Invloed van een luchtkamer op de stijfheid en de draagkracht van het luchtlager.



De lucht ondervindt op twee plaatsen een weerstand:

1. Door het luchtgaatje
2. Bij de overgang van gaasje naar lager oppervlak

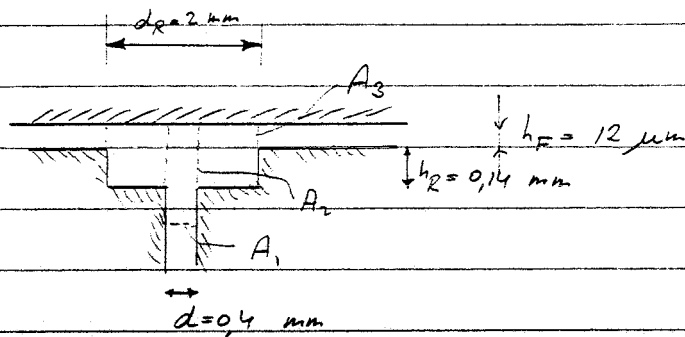
De bijbehorende weerstandsoppervlakken zijn:

$$1. A_1 = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot (0.4)^2 = 0.04 \cdot \pi = 0.126 \text{ mm}^2$$

$$2. A_2 = \pi \cdot d \cdot h_F = \pi \cdot 0.4 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0.005 \cdot \pi = 0.015 \text{ mm}^2$$

Het kleinste oppervlak is A_2 ; dat levert dus de grootste weerstand.

II



De lucht ondervindt nu op 3 plaatsen een weerstand:

- 1 In het gaatje
- 2 Bij de overgang van gaatje naar kamer
- 3 Bij de overgang van kamer naar lageroppervlak

De bijbehorende oppervlakken zijn:

$$1. A_1 = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi (0,4)^2 = 0,04 \pi = 0,126 \text{ mm}^2$$

$$2. A_2 = \pi \cdot d \cdot (h_2 + h_F) = \pi \cdot 0,4 \cdot 0,152 = 0,06 \pi = 0,191 \text{ mm}^2$$

$$3. A_3 = \pi \cdot d_R \cdot h_F = \pi \cdot 2 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0,024 \pi = 0,075 \text{ mm}^2$$

A_3 is dus het weerstandsoppervlak. A_3 is echter 5 maal zo groot als het weerstandsoppervlak A_2 zonder luchtkamer.

Het lagerkental \underline{B} wordt dan ook 5 maal zo groot, want \underline{B} wordt gegeven door:

$$\underline{B} = \left[C_0 \frac{2\eta}{\rho_2} \frac{1}{h_F^2} \cdot \frac{L}{3} \sqrt{\frac{2\pi}{\rho_2} \frac{2\sigma}{R_0}} \right] \times A_{\text{weerstand}}$$

De dimensionale stijfheid was 2,1 (bij $\underline{B} = 13,9$) en wordt nu 0,3 (bij $\underline{B} = 69$). Dat schiet dus een factor 7!

Aangezien het maximale draagvermogen evenredig is met de stijfheid, zakt ook het draagvermogen met een factor 7.

De stijfheid was berekend op $250 \text{ N}/\mu\text{m}$,

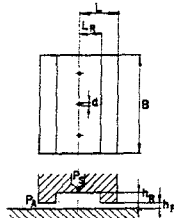
De stijfheid voor het gerealiseerde legert wordt berekend op: $\frac{250}{7} = 36 \text{ N}/\mu\text{m}$.

Wanneer men ervan uitgaat dat metallisch contact optreedt bij een uitwijking van $3 \mu\text{m}$ (de spleet is $12 \mu\text{m}$), dan vindt er in de gevallen I en II metallisch contact plaats bij:

$$\text{I: } 250 \cdot 3 = 2000 \text{ N}$$

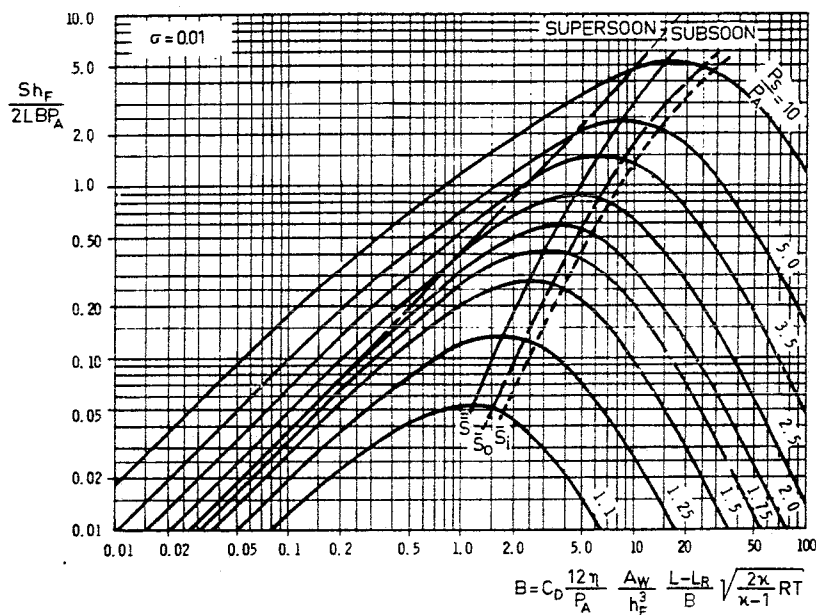
$$\text{II: } 36 \cdot 3 = 238 \text{ N}$$

NB. De berekening gaat ook op indien we het langwerpige basis element vervangen door een cirkelvormig basis element, met lucht kamer. De stijfheid zakt dan met een factor 5,5.

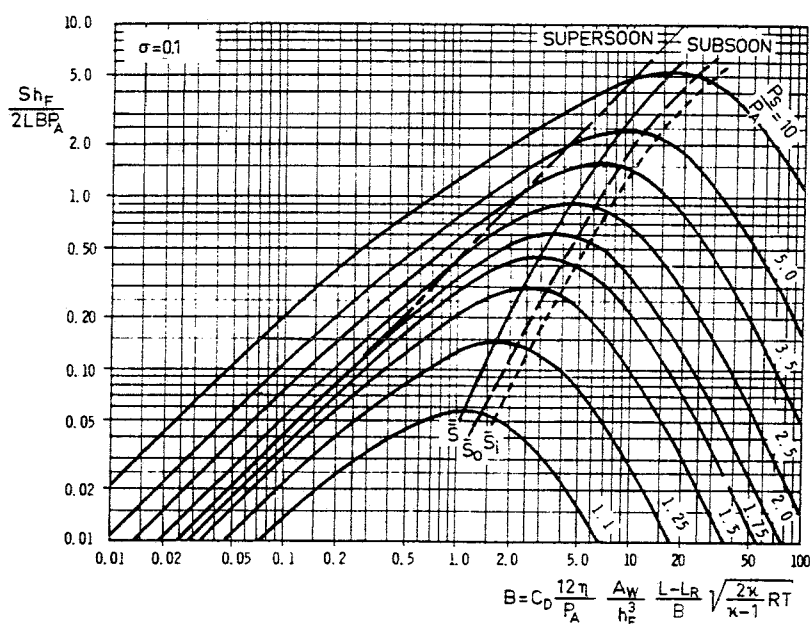


		INHERENTE WEERSTAND	GAATJES WEERSTAND
Voorwaarde Lagerkental		mits; $h_P < d/10$ als $h_R = 0$ $B_i = \frac{12\pi C_D \eta}{P_A} \frac{L-L_R}{B} \frac{nd}{h_F^2} \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1}} RT$	mits; $(h_R + h_P) > d/1,2$ $B_o = \frac{3\pi C_D \eta}{P_A} \frac{L-L_R}{B} \frac{nd}{h_F^2} \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1}} RT$
FILMDIKTE GEGEVEN	Optimaal lagerkental	$\bar{B}_i = 1,79 \frac{P_S}{P_A}$	$\bar{B}_o = 1,79 \frac{P_S}{P_A}$
	Optimale gaatjes diameter (voor lucht van 20 °C)	$nd = 9,12 \frac{B}{2(L-L_R)} h_F^2 P_S$	$nd^2 = 36,5 \frac{B}{2(L-L_R)} h_F^3 P_S$
	Draagkracht	$\bar{W}_i = 0,35 \left(1 + \frac{2L_R}{3L}\right) (P_S - P_A) 2BL$	$\bar{W}_o = 0,35 \left(1 + \frac{2L_R}{3L}\right) (P_S - P_A) 2BL$
	Optimale stijfheid	$\bar{S}_i = 1,08 \frac{W}{h_F}$	$\bar{S}_o = 1,62 \frac{W}{h_F}$
	Luchtverbruik	$\bar{M}_i = 0,38 \left(1 + \frac{2L_R}{3L}\right) \frac{(P_S - P_A) 2BL}{h_F}$ $\bar{M}_i = 0,50 \cdot 10^{-2} nd h_F P_S$	$\bar{M}_o = 0,57 \left(1 + \frac{2L_R}{3L}\right) \frac{(P_S - P_A) 2BL}{h_F}$ $\bar{M}_o = 0,125 \cdot 10^{-2} nd^2 P_S$
GAATJES- DIAMETER GEGEVEN	Optimaal lagerkental	$\bar{B}_i = 2,87 \frac{P_S}{P_A}$	$\bar{B}_o = 2,43 \frac{P_S}{P_A}$
	Optimale filmdikte (voor lucht van 20 °C)	$h_F^2 = 6,83 \cdot 10^{-2} \frac{2(L-L_R)}{B} \frac{nd}{P_S}$	$h_F^3 = 2,02 \cdot 10^{-2} \frac{2(L-L_R)}{B} \frac{nd^2}{P_S}$
	Draagkracht	$\bar{W}_i = 0,44 \left(1 + \frac{2L_R}{3L}\right) (P_S - P_A) 2BL$	$\bar{W}_o = 0,405 \left(1 + \frac{2L_R}{3L}\right) (P_S - P_A) 2BL$
	Optimale stijfheid	$\bar{S}_i = 0,78 \frac{W}{h_F}$	$\bar{S}_o = 1,32 \frac{W}{h_F}$
	Luchtverbruik	$\bar{S}_i = 0,34 \left(1 + \frac{2L_R}{3L}\right) \frac{(P_S - P_A) 2BL}{h_F}$ $\bar{M}_i = 0,425 \cdot 10^{-2} nd h_F P_S$	$\bar{S}_o = 0,54 \left(1 + \frac{2L_R}{3L}\right) \frac{(P_S - P_A) 2BL}{h_F}$ $\bar{M}_o = 0,115 \cdot 10^{-2} nd^2 P_S$

Tabel 4.4.2 Benaderingsformules voor een langwerpig basiselement met optimale stijfheid gesmeerd met lucht (naar Holster (1967)). In de tabel is verwerkt dat $C_D = 0,75$ en dat er voor lucht geldt; $\eta = 18 \cdot 10^{-6} \text{ N s/m}^2$, $\kappa = 1,4$, $R = 288 \text{ Nm/kg } ^\circ\text{K}$ en $T = 20 \text{ } ^\circ\text{C} = 293 \text{ } ^\circ\text{K}$. De drukken P_S en P_A zijn absolute drukken. De formules zijn geldig voor $2 \leq P_S/P_A \leq 10$ en $0,01 \leq L_R/L \leq 0,8$. Kies als richtlijn dat de steek van de toevoergaatjes kleiner is dan de afstand van het gaatje tot de rand van het lager. (n is het aantal toevoergaatjes.)



Figuur 4.4.13a; voor $\sigma = \frac{L}{L_R} = 0,01$.



Figuur 4.4.13b; voor $\sigma = \frac{L}{L_R} = 0,1$.

Figuur 4.4.13a,b De dimensieloze stijfheid S als functie van het langwerpig basiselement met gaatjesweerstand (bij een inherente weerstand is de stijfheid $2/3 \times$ zo klein)(naar Tang & Gross (1962)). Zie voor de definitie van de optimale stijfheden \bar{S}_1 , \bar{S}_0 en \bar{S} paragraaf 4.4.4c.

Bijlage 8. Knikberekening van de ophangplaten

* Knikberekening van de ophangplaten.

Er wordt gebruik gemaakt van een ondersteuning als in figuur 1.

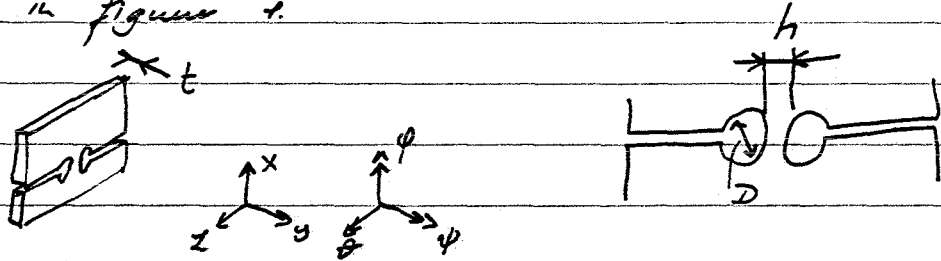


fig. 1.

We kiezen als startwaarden $t = 2 \text{ mm}$, $h = 4,5 \text{ mm}$, $D = t_0 \text{ mm}$.
 Het materiaal is staal, dus: $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$, $G = 8,1 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$
 $\tau_v = 250 \text{ N/mm}^2$.

De kracht waarbij slijp optreedt is $\sigma_v \cdot t \cdot h = 250 \cdot 2 \cdot 4,5 = 2250 \text{ N}$.
 Dit is ruimschoots hoger dan de verwachte maximale knaakt (1800 N).

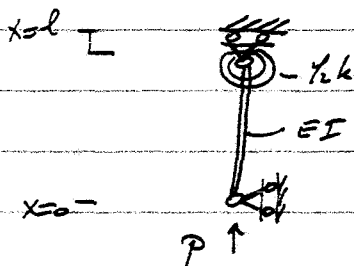
De stijfheid van het scharnier wordt gegeven door de volgende formules (zie ditboek "Constructieprincipes", p. 121)

$$C_{xx} = 0,40 \sqrt{h/D} \cdot E t = 0,40 \cdot \sqrt{0,45} \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1,4 \cdot 10^8 \text{ N/m}$$

$$k_{\phi\phi} = C_{xx} t^2 \cdot \frac{1}{12} = 1,4 \cdot 10^8 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \frac{1}{12} = 47 \text{ Nm/rad.}$$

↳ kritisch voor knik

Voor de knikberekening kijken we uit z-richting tegen de ophangplaat en voor de onderste heeft knaakt we dan het volgende model opzetten,



De potentiële-energie toon hiervoor is:

$$U_2 = \frac{1}{2} \int_0^l (EI w''^2 - P w'^2) dx + \frac{1}{2} k w'(l)^2$$

$$\delta' U_2 = \int_0^l (EI w'' \delta w'' - P w' \delta w') dx + \frac{1}{2} k w'(l) \delta w'(l) = 0$$

$$\Leftrightarrow EI w'' \delta w' \Big|_0^l - EI w'' \delta w \Big|_0^l + \int_0^l EI w'''' \delta w dx + \dots$$

$$\dots - P w' \delta w \Big|_0^l + \int_0^l P w'' \delta w dx + \frac{1}{2} k w'(l) \delta w'(l) = 0$$

Daaruit volgt voor de DV en de RVD's:

$$DV: EI w'''' + P w'' = 0$$

$$\text{lin. RVD: } w(0) = 0$$

$$\text{dyn. RVD: } w''(0) = 0$$

$$EI w''(l) + \frac{1}{2} k w'(l) = 0$$

$$EI w'''(l) + P w'(l) = 0$$

$$\text{Stel: } w = a + bx + c \sin \alpha x + d \cos \alpha x \quad ; \quad \alpha^2 = \frac{P}{EI}$$

$w(0) = 0$	1	0	0	1
$w''(0) = 0$	0	0	0	1
$w'(l) + \frac{1}{2} \frac{k}{EI} w(l) = 0$	0	$\frac{1}{2} k l^{-1}$	$-\alpha^2 \sin \alpha l + \frac{1}{2} k \frac{1}{EI} \cos \alpha l$	$-\frac{k}{2EI} \sin \alpha l - \alpha^2 \cos \alpha l$
$w'''(l) + \alpha^2 w'(l) = 0$	0	α^2	$-\alpha^3 \cos \alpha l + \alpha^3 \cos \alpha l$	$\alpha^3 \sin \alpha l - \alpha^3 \sin \alpha l$

$$\det = 0$$

$$\frac{k}{2EI} \cos \alpha l - \alpha^2 \sin \alpha l = 0$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{k}{2EI} \cdot \frac{1}{\tan \alpha l}$$

Controle: $k=0 \rightarrow \alpha=0 \rightarrow P=0$, g.e.d.

$$k=10 \rightarrow \alpha l = \frac{\pi}{2} \rightarrow \alpha^2 = \frac{\pi^2}{4l^2} = \frac{P}{EI} \Rightarrow P = \frac{\pi^2 EI}{4l^2}, \text{ g.e.d.}$$

$$\Rightarrow \alpha l \tan \alpha l = \frac{k l}{2EI}$$

\Rightarrow Met $\alpha l = \tan \alpha l$ volgt:

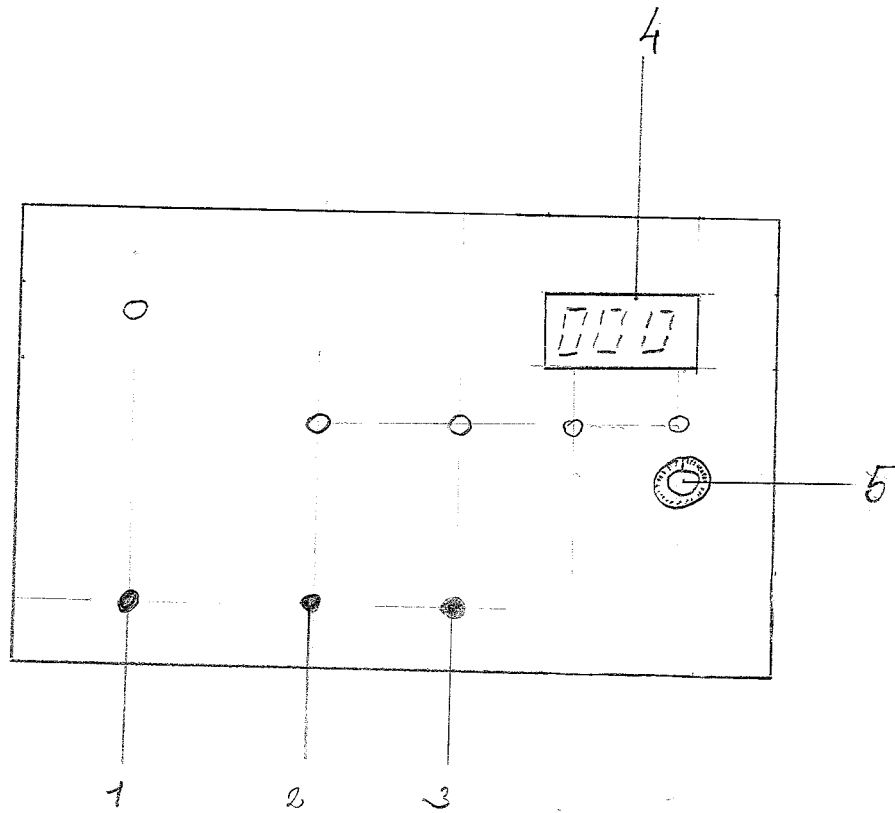
$$\alpha^2 l^2 = \frac{k l}{2EI}$$

$$\frac{P l^2}{EI} = \frac{k l}{2EI} \Rightarrow P_c = \frac{k}{2l} \quad (= \text{stare stae})$$

$$\text{Met } k = 47 \text{ Nm/rad} \\ l = 0,04 \text{ m}$$

$$P_c = \underline{\underline{590 \text{ N}}} \text{ drukkracht.}$$

Dit is kleiner dan het totale gewicht v/h. lager, dus de aangenomen dimensies voldoen.



figuur 6.1 Werking van de besturing. Schakelaars zitten beneden, LEDs boven.

1. STOP
2. *Richting: omhoog*
3. *Richting: omlaag*
4. *Display snelheid*
5. *Snelheidsregeling*