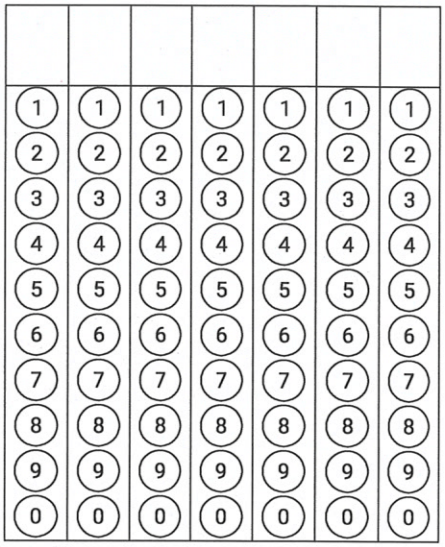
Exercises

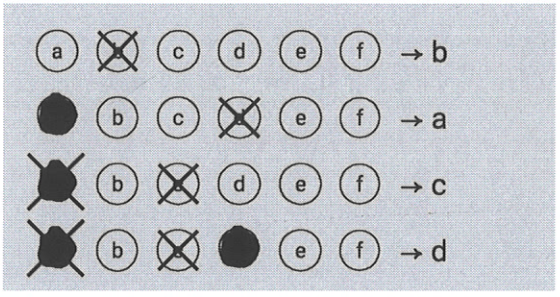
1	2	3	4	5	6	7	8	9

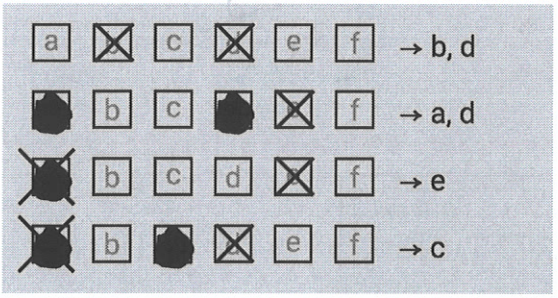
Surname, First name

UITWERKING

Design Engineering Project 2 EXAM (WB1642)
T1 - Projecttentamen







Answer multiple-choice questions as shown in the example. Circular checkboxes have only one correct answer. Square checkboxes may have multiple correct answers.

28-01-2025

Tentamendatum 28-02-2025 van 09:00-12:00 uur.

- Er zijn 8 vragen en daarmee zijn 90 punten te behalen.

Aanbevolen hulpmiddelen:

- Wb-formuleboekje
- (Grafische) rekenmachine
- Geodriehoek/liniaal
- Kladpapier (voor eigen gebruik, wordt niet ingeleverd).

Beantwoording van vragen:

- Laat altijd zien hoe je aan een antwoord komt door middel van de gebruikte formules.
- Waar een getal een eenheid heeft moet die ook gegeven worden.
- Probeer de beantwoording **duidelijk leesbaar binnen het kader** bij het vraagstuk te schrijven. Het is **toegestaan om net buiten het kader te schrijven**.
- Wil je een antwoord aanpassen? Gebruik een gum, Tipp-Ex, een correctieroller of witte sticker (vraag eventueel aan de surveillanten). Voor grote correcties, zie de laatste pagina van dit document.

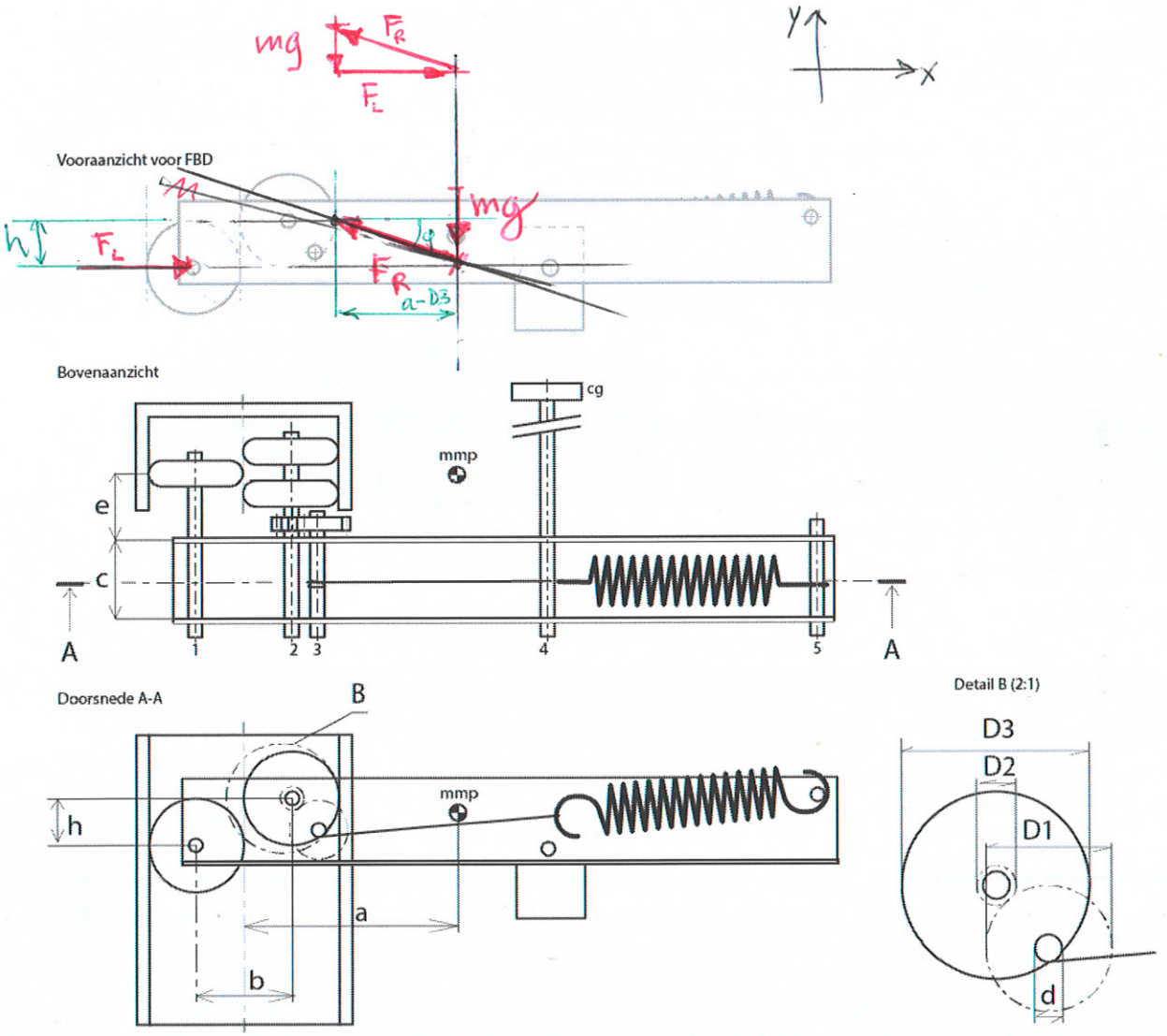
Dit tentamen is gemaakt door:
Ir. E.W. Thomassen, Dr.ir. G. Radaelli, Dr. F.G.J. Broeren, Dr.ir. W.W.P.J van de Sande

Dit tentamen is gecontroleerd door:
Dr.ir. R.W. Vroom

Ontwerpberekening aandrijflijn en draag- en aandrijfassen

Een "klauteraar" (verticaal klimmend object) zet zich af aan de binnenkant van het profiel waarin het omhoogklimt. De daarvoor benodigde aandrukkracht op twee rechter aangedreven wielen op as 2 (samen F_N) wordt verkregen door asymmetrie van het eigen gewicht $(m \cdot g)$ in het vooraanzicht. De positie van het massamiddelpunt (mmp) is daarbij gegeven. (Een contragewicht (cg) zorgt voor juiste balans.)

3p **1a** Geef in het vooraanzicht de uitwendige belastingen op de klauteraar grafisch weer voor de situatie waarin de klauteraar tot rust is gekomen ergens op het profiel (niet steunend op de onderkant dus). Beperk je tot de krachtensituatie in het vlak van dit vooraanzicht.



3p **1b** De klim-energie wordt geleverd door een trekveer via een koord, dat afrolt om as 3 met diameter d. De rotatie van deze as wordt via een tandwielpaar ($D1$, $D2$) op het aandrijfwiel $D3$ overgebracht. De wrijvingscoëfficiënt tussen wiel en profiel wordt uitgedrukt als μ_s (statisch) of μ_d (dynamisch). Druk de omhoog gerichte afzetkracht die het profiel maximaal levert op de klauteraar uit in de gegeven parameters.

$F_{R_y} \leq \mu_s \cdot F_{R_x}$ Uit $\Sigma M, \Sigma F_x, \Sigma F_y = 0$ volgt: (of uit grafische analyse)

$F_{R_x} = \frac{a - D3}{h} \cdot mg$ hiermee

$F_{R_y} \leq \mu_s \cdot \frac{a - D3}{h} \cdot mg$

3p **1c** Bepaal de maximale veerkracht F_{veer} waarbij nog net geen slip optreedt, wanneer verliezen in de aandrijflijn mogen worden verwaarloosd en wanneer de volgende waardes zijn gegeven.
$a = 140\,\text{mm}$, $b = 70\,\text{mm}$, $h = 28\,\text{mm}$, $d = 8\,\text{mm}$, $D1 = 40\,\text{mm}$, $D2 = 14\,\text{mm}$, $D3 = 70\,\text{mm}$, $mg = 15\,\text{N}$, $\mu_s = 0.4$, $\mu_d = 0.3$.

Net Geen slip, dus $F_{R_y} = \mu_s \cdot \frac{a - D3}{h} \cdot mg$ $\Rightarrow F_{VEER} = \frac{D_1}{d} \cdot \frac{D_2}{D_2} \cdot \mu_s \cdot \frac{a - D3}{h} mg$

$\Sigma M_{as2} \rightarrow F_{tand} \cdot D2 = F_{R_y} \cdot D3$

$\Sigma M_{as3} \rightarrow F_{tand} \cdot D_1 = F_{veer} \cdot d$

Invullen i

$F_{VEER} = 5 \cdot 5 \cdot 0{,}4 \cdot \frac{70}{28} \cdot 15$

$= F_{VEER} = 375\,N$

3p **1d** Is het ontwerp a) geschikt voor zijn klimfunctie of b) moet het aangepast worden? Indien b, waarom en hoe?

b) Nee: omdat $F_{R_y} < mg$ kan hij niet omhoog versnellen zonder slip. Dus h moet kleiner of a-D3 moet groter of μ_s groter.

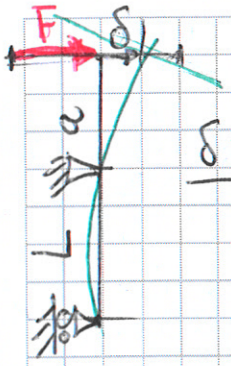
2p **1e** De assen zijn voorzien van glijlagers. Als één van de assen een kogellager mag krijgen om de klimprestatie te verbeteren, welke is dat dan?

De as die de meeste verliezen veroorzaakt. Dus lagerkracht maal hoekverdraaing. Dat is in as 2.

2p **1f** Gegeven: de assen 1 t/m 5 zijn of draagas of aandrijfas. Selecteer hieronder alle aandrijfassen.

☐ 1 ☒ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5

4p **1g** We gaan rekenen aan as 1, die een kleinere diameter heeft (niet op tekening zichtbaar). We nemen aan dat as 2 niet doorbuigt. Als de doorbuiging van as 1 te groot is, dan zal de klauteraar met de klok mee kantelen voorbij het punt waarin de wielen horizontaal staan ten opzichte van elkaar. Hoe groot is de normaalkracht op het linkerwiel als dat gebeurt? De volgende waardes zijn gegeven. $d = 5\,\text{mm}, c = 56\,\text{mm}, e = 42\,\text{mm}$ en de elasticiteitsmodulus is $E = 210\,\text{GPa}$. Geef in je antwoord ook een schets van de elastische lijn van de doorgebogen as.



$\delta = \frac{Fa^2(L+a)}{3EI}$ (1)

Vergeet minteken

Invullen: $a = e = 42$ mm
$L = c = 56$ mm
$E = 210.000$ MPa
$I = \pi \frac{5^4}{64}$ ($d = 5$ mm)

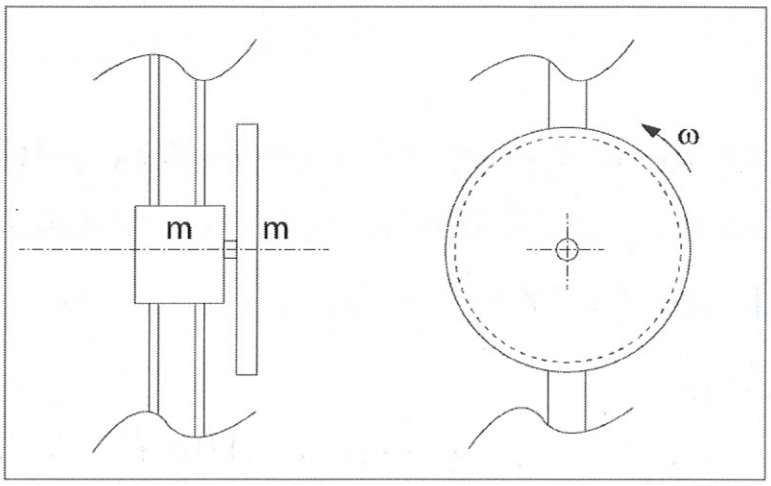
δ is de verplaatsing, met Pythagoras te berekenen,

$\delta = \sqrt{70^2 + 28^2} - 70 = 5.39$ mm

Oplossen (1) geeft: $F = 603$ N

Massatraagheid

Een andere klauteraar met een totale massa $2m$ werkt op basis van een vliegwiel. Het vliegwiel heeft een massa m die zich bevindt op een traagheidsstraal $i = 0.15\,\text{m}$. Voordat geklommen kan worden wordt het vliegwiel met een externe energiebron op toeren gebracht. Alle optredende verliezen worden samengenomen in een rendement van $\eta = 0.5$. Raadpleeg indien nodig het formuleboekje.



impressie vliegwielklauteraar (zijaanzicht, vooraanzicht)

10p **2** Welke hoeksnelheid moet het vliegwiel bij de start ten minste hebben, zodat de klauteraar met die energie $2.5\,\text{m}$ kan klimmen?

Energievgl: $E_k \cdot \eta = E_{mgh} \Rightarrow \frac{1}{2}\omega^2 I \cdot \frac{1}{2} = 2mgh$

met $I = i^2 m$ (blz 21 formuleboekje) wordt dit:

$\frac{1}{2}\omega^2(i^2 m)\cdot\frac{1}{2} = 2mgh \Rightarrow \omega^2 = \frac{4}{i^2}(2gh)$

$\Rightarrow \omega = \frac{2}{i}\cdot\sqrt{2gh}$ invullen $\begin{cases} i = 0{,}15\,\text{m} \\ g = 9{,}81\,\text{m/s}^2 \\ h = 2{,}5\,\text{m} \end{cases}$

$\Rightarrow \omega = 93{,}4\ \text{rad/s}$

Comparologie

Nog een andere klauteraar kan met de opgeslagen veerenergie precies 3.0 meter klimmen. We willen dit model graag aanpassen, zodat het een nog grotere hoogte kan bereiken. We stellen voor om de totale massa van het ontwerp gelijk te houden*), maar de veer wel geometrisch te schalen met een factor S.
*) Neem aan dat op de massa van het frame nog wat te besparen is en dat deze massa dus evenveel afneemt als toename van de massa van de veer.

10p **3** Bepaal aan de hand van de formules in het formuleboekje bij welke factor S de klauteraar een hoogte van 15 meter bereikt. Verwaarloos hierbij de wrijving.

Wanneer we de wrijving verwaarlozen geldt: $E_{veer} = mgh$ (1)
Uit het formuleboekje (p.8) halen we de volgende formules voor een trekveer (voor een andere veerkeuze leggen we de zelfde schaling).

$F = \frac{\pi}{16}\frac{d^3}{r}\cdot\tau \propto S^2$ (geometrie schaalt met $\frac{(Sd)^3}{Sr} = \frac{d^3}{r}\cdot S^2$)

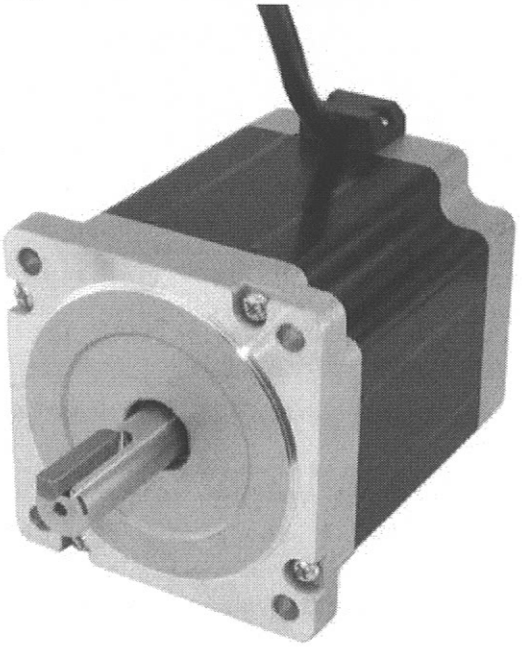
$f = \frac{64 n r^3}{d^4 G} \propto S^1$ (" " $\frac{(Sr)^3}{(Sd)^4} = \frac{r^3}{d^4}\cdot S^1$

$E_{veer} = \frac{1}{2} F \cdot f \propto S^3$ Massa en gravitatie schalen niet dus krijgen we

$E_{veer} \cdot S^3 = m \cdot g \cdot (15)$ $\Rightarrow$ $S^3 = \frac{15}{3} = 5$ $\Rightarrow$ $S = \sqrt[3]{5}$

($h = 3$) ($S \approx 1.71$)

As - Naafverbindingen / ISO Passingsstelsel

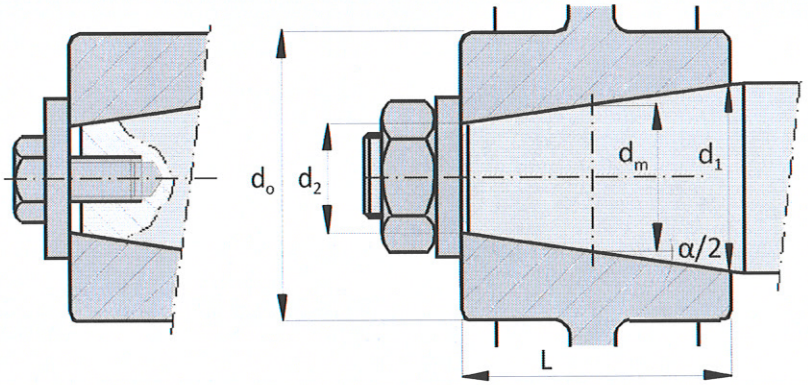


1p **4a** Deze motoras is uitgevoerd met een spiebaan, waarin een inlegspie geplaatst kan worden. Welke soort as-naafverbinding is dit?

(a) Krachtgesloten verbinding

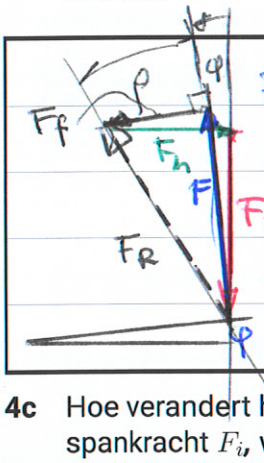
(b) Vormgesloten verbinding

(c) Materiaalgesloten verbinding



Een kegelpersverbinding, met kegelvormig aseinde in het midden en de naaf (gearceerd) aan de buitenkant.

5p **4b** In de bovenstaande figuur staat een uitvoering van een kegelpersverbinding, met een wrijvingscoefficient van $\mu = 0.3$, een coniciteit van $C = \frac{1}{10}$, een gemiddelde diameter van $d_m = 30$ mm en de opperskracht van de moer $F_h = 300$ N,
Bereken bij welk koppel T er slip zal optreden. De ruwheid van de oppervlakken mag verwaarloosd worden.



$F_h = 300N$, $F_i = F_h \cdot \frac{1}{\tan(\varphi+\rho)}$, $\varphi = \text{atan}\left(\frac{1}{20}\right)$, $\rho = \text{atan}\left(\frac{3}{10}\right)$ ← μ

$F_R = \sqrt{F_h^2 + F_i^2}$, $F = F_R \cdot \cos(\rho)$

$F_W = F \cdot \mu$

$T = F_W \cdot \frac{d_m}{2}$ $T = 3863\,Nmm$

→ $T = 3.86\,Nm$

2p **4c** Hoe verandert het koppel T als de coniciteit C toeneemt? Verklaar je antwoord. (Hint, gebruik de spankracht F_i, waarmee de naaf radiaal wordt opgerekt, formuleboekje blz.17).

Het koppel neemt af. Want als φ toeneemt wordt de wigversterking kleiner.

2p **4d** Een starre askoppeling met buitendiameter 12 en gatmaat 8H6 wordt met een vaste passing op een as n5 geperst. Tussen welke uiterste waarden ligt de oppersmaat (= negatieve speling) in het ISO-passingstelsel?

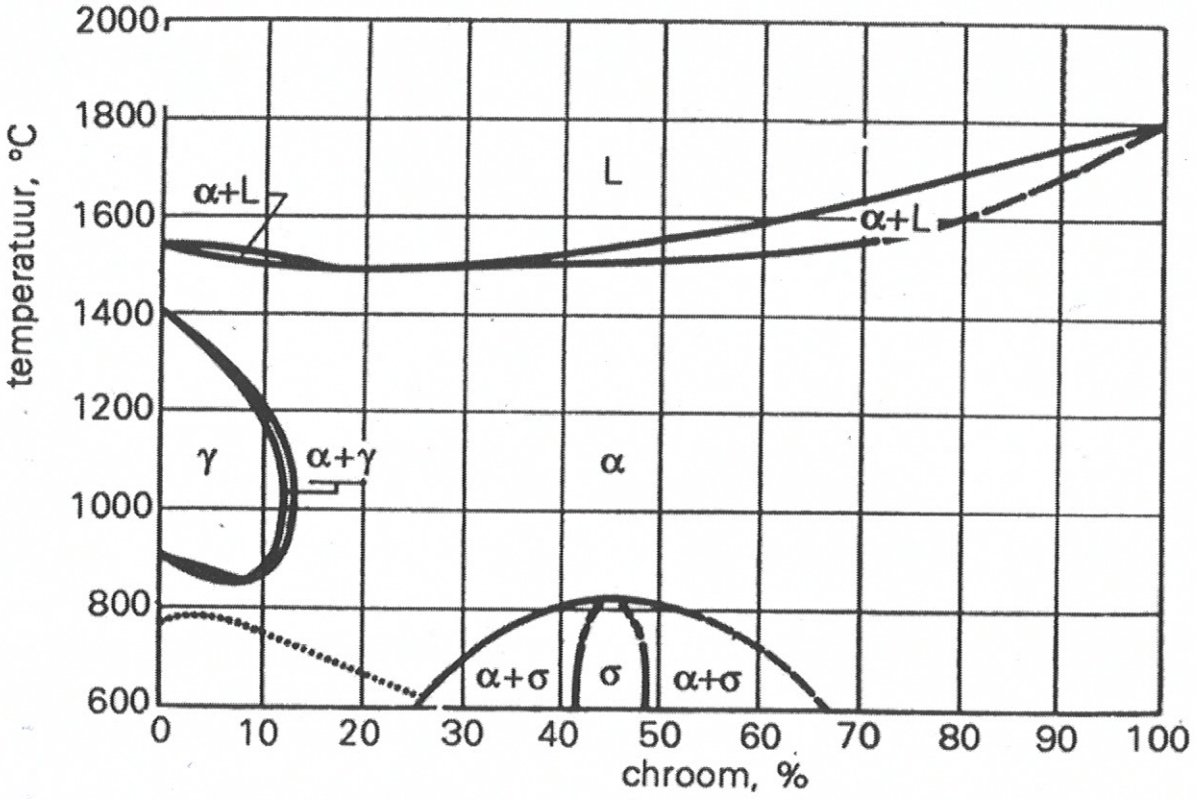
		min	max	speling	oppersmaat
as	8 n 5	+10	+16	min 0 − 16 = −16	1 − 16 µm micrometer
GAT	8 H 6	+0	+9	max 9 − 10 = −1	

Materiaalkunde - Fasediagram

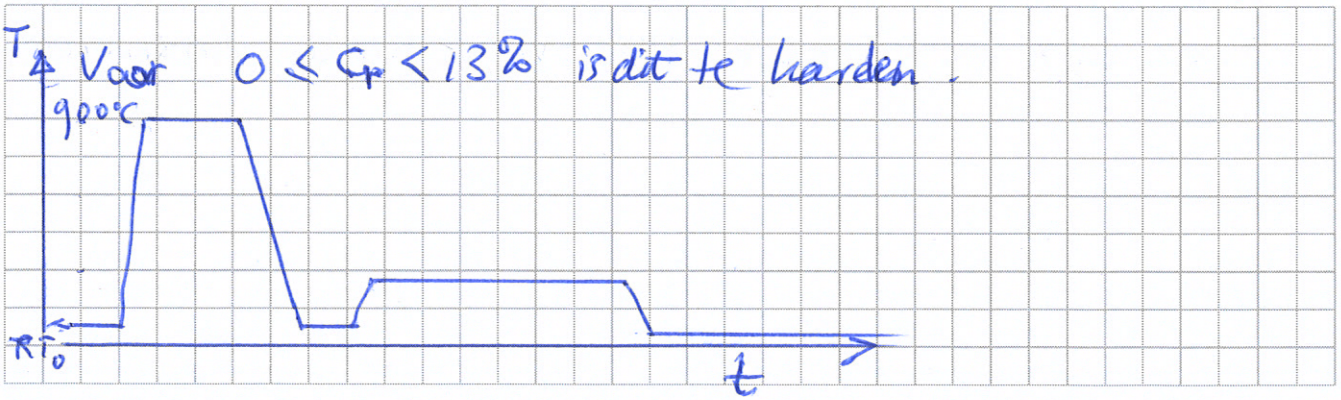
Hieronder is het evenwichtsfasediagram van ijzer en chroom weergegeven. Chroom is een legeringselement in roestvaste staalsoorten en heeft een belangrijke rol in de corrosievastheid van staal. Deze staalsoorten hebben in het algemeen een koolstofgehalte van $0.2 - 0.4$ gew%. De gestippelde lijn in de figuur is gerelateerd aan de Curie temperatuur, waaronder het materiaal ferro-magnetisch is, en kan buiten beschouwing worden gelaten.

Legenda bij de figuur: α is ferritisch, γ is austenitisch.

10p **5**



Voor welk samenstellingsbereik kan het materiaal gehard worden? Schets indien het mogelijk is het temperatuur-tijd diagram voor het harden van het staal.

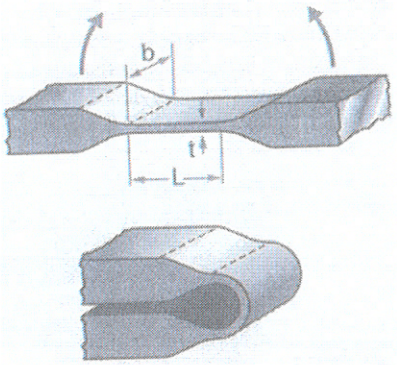


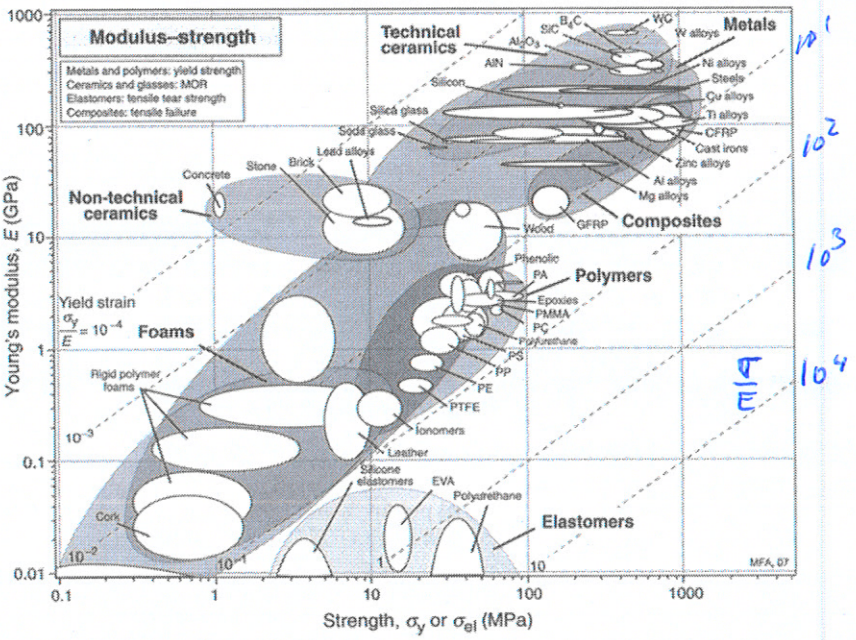
Materiaalkunde - Materiaalindex

10p **6**

Voor een elastisch scharnier, zie onderstaand figuur, moet een materiaal gekozen worden. Het scharnier heeft een dikte t en er werken geen significante axiale krachten op.

Men wil dat de radius R van buiging zo klein mogelijk kan zijn, zonder dat de rekgrens aan het oppervlak overschreden wordt. De rek aan het oppervlak is:
$\epsilon = \frac{t}{2R}$
Bedenk dat in dat geval de wet van Hooke geldt.



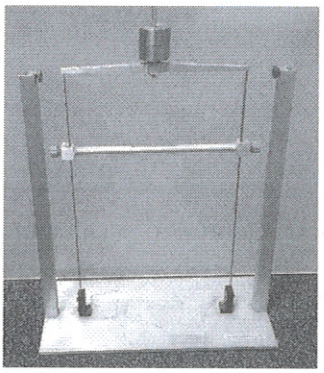


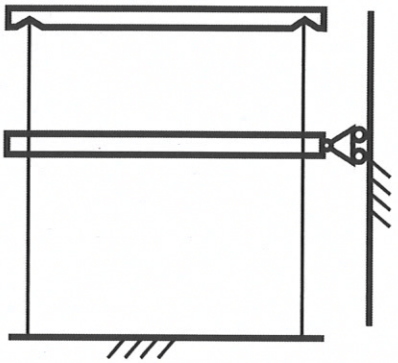
Bepaal voor dit elastische scharnier de materiaalindex. Selecteer op basis hiervan een drietal geschikte materialen.

Een kleine R betekent, bij gegeven dikte t, zo groot mogelijke ε. Hooke: $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$ zo groot mogelijk dus rechts onder moeten we zijn. Het best scoren PU, EVA, silicone elastomeren.

Knik

In een proefopstelling worden twee dunne stalen strippen op druk belast. De maten van de strippen zijn: breedte $b = 0.010$ m; dikte $h = 0.001$ m; lengte $l = 0.50$ m, en verder is gegeven dat de elasticiteitsmodulus gelijk is aan $E = 210$ GPa.
Twee horizontale, starre balken worden gebruikt om de verschillende inklemmingsmogelijkheden te demonstreren. De bovenste balk rust met 2 v-vormige inkepingen op de strippen. In de andere horizontale balk worden de strippen ingeklemd over een lengte van 20 mm. Ook onderin zijn de strippen over een lengte van 20 mm ingeklemd. Het gewicht van de balken mag verwaarloosd worden.
De onderste balk wordt geklemd zodat het bovenste vrije deel van de strip een lengte heeft van $l/4$.
Verder wordt de onderste balk verhinderd om horizontaal te bewegen, hieronder schematisch aangeduid met het symbool voor een roloplegging (let op: dit is er niet op de foto).





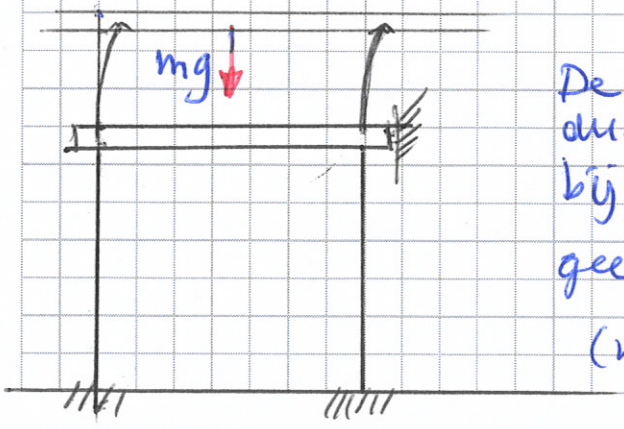
10p **7** Er worden gewichten gelegd in het midden van de bovenste balk. Vanaf welk gewicht treedt knik op? Maak een schets van de geknikte stand van het systeem.

Er zijn 2 mogelijke knik-modi: modus II voor bovenste deel en modus III voor het onderste. Per strip geldt:

modus II $\frac{FL^2}{EI} = \frac{\pi^2}{4}$, waarin $L = \frac{l}{4}$, dus $F = \frac{\pi^2 EI \cdot 4}{l^2}$ (1)

modus III $\frac{FL^2}{EI} = 4\pi^2$; waarin $L = \frac{3}{4}l - 2.20\,\text{mm}$, of bij benadering $L = \frac{2}{3}l$ dus

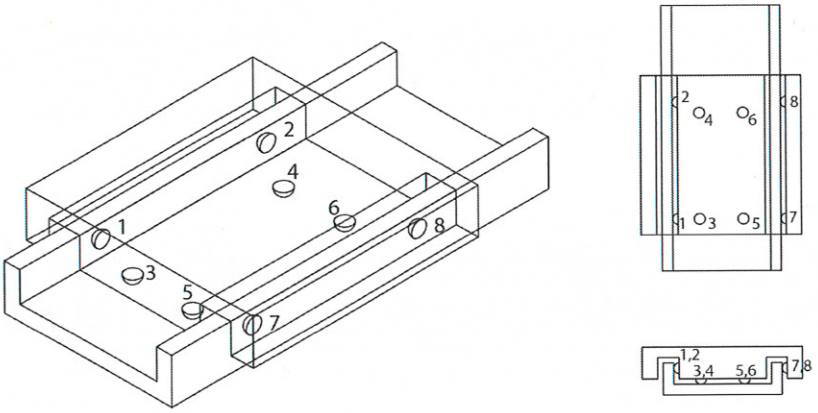
$$F = \frac{4\pi^2 EI}{\left(\frac{2}{3}l\right)^2} = 9.\frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad (2)$$



De eerste kniklast is lager en zal dus eerst optreden. Dat gebeurt bij $m \cdot g = F$. (1) Met $I = \frac{bh^3}{12}$ geeft dat een gewicht van 5,52 N (massa m is 5.63 kg).

Vrijheidsgraden

In de afbeelding hiernaast wordt een slede afgebeeld die over een rail moet schuiven. De enige gewenste vrijheidsgraad is de translatie in de lengterichting van de rail. De contactpunten worden weergegeven als halve bollen. Het contact wordt in deze punten te allen tijde bewaard, bijvoorbeeld doordat ze magnetisch zijn. Kies uit onderstaande opties degene die het doel bereikt zonder overconstraints. De getallen geven aan welke contactpunten er aanwezig zijn, de andere contactpunten zijn afwezig.



10p **8**

(a) 1,2,5,6,7,8

(b) 1,4,5,7,8

(c) 2,4,5,6,8

(d) 1,2,3,4,5

(e) 1,3,5,6

Star lichaam in de ruimte:
6 vrijheden - 1 vrijheid overhouden
→ 5 beperkingen opleggen
Dus (b), (c) of (d)
Maar (1) en (7) doen het zelfde (overconstrained). Dus niet (b.)
Idem (2) en (8) dus niet (c)
→ (d).