

Exercises

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

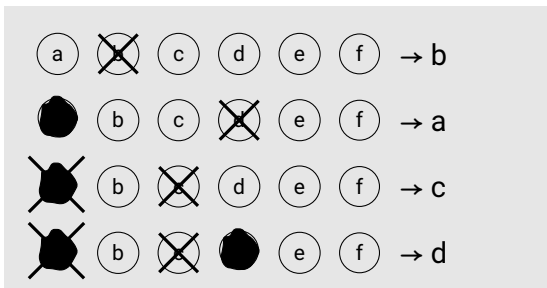
Surname, First name

Nakijkmodel

Design Engineering Project 3A EXAM (WB1643A)

T1 - Projecttentamen-hertentamen

1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9
0	0	0	0	0	0	0



Answer multiple-choice questions as shown in the example.

Tentamendatum 20-06-2025 van 09:00-12:00 uur.

- Er zijn 9 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:

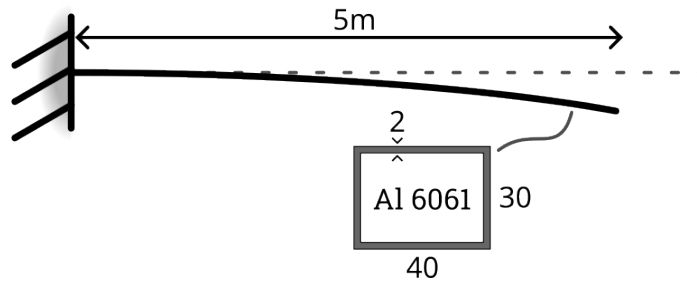
Dr.ir. G. Radaelli, Dr. F.G.J. Broeren, Ir. E.W. Thomassen, Dr.ir. W.W.P.J van de Sande

Dit tentamen is gecontroleerd door:

Dr.ir. R.W. Vroom



Massa-veer systemen



Een vijf meter lang aluminium (6061) kokerprofiel van 30 bij 40 mm met een wanddikte van 2,0 mm is aan een uiteinde ingeklemd, de andere kant is vrij om te bewegen.

Omdat niet de hele balk even ver uitwijkt bij trillingen geldt dat de effectieve massa voor de eerste eigentrilling gelijk is aan $m_{eff} = 0,2357 m_{balk}$.

4p **1a** Toon aan dat de eerste eigentrilling van deze balk plaatsvindt bij $\omega_0 = 1,37 \text{ Hz}$

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{1}{12} (BH^3 - bh^3) = 3,7272 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \\
 A &= BH - bh = 2,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\
 m &= \rho A L = 3,564 \text{ kg} \\
 m_{eff} &= 0,2357 m = 0,840 \text{ kg} \\
 k &= 3 \frac{EI}{L^3} = 62,62 \frac{\text{N}}{\text{m}} \\
 \omega_0 &= \sqrt{\frac{k}{m_{eff}}} = 8,63 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1,37 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

$B = 40 \text{ mm}$
 $H = 30 \text{ mm}$
 $b = 36 \text{ mm}$
 $h = 28 \text{ mm}$
 $L = 5 \text{ m}$
 $\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
 $E = 70 \cdot 10^9 \text{ Pa}$

formuleboekje p. 31 en p. 35

- 3p **1b** Een ninjabrugger met een massa van 2,0 kg wordt op het vrije uiteinde van de balk geplaatst.

Hoeveel verder buigt de balk door als gevolg van de ninjabrugger?

$$k = 62,62 \quad (\text{uit vorige opgave})$$
$$\delta = \frac{F}{k} = \frac{2 \cdot 9,81}{62,62} = 0,313 \text{ m}$$

- 3p **1c** In de ninjabrugger bevindt zich een motor die niet goed gebalanceerd is. Hierdoor trilt de brugger met een frequentie van 1,37 Hz.

Beschrijf de beweging van de balk als gevolg van deze opgelegde trilling.

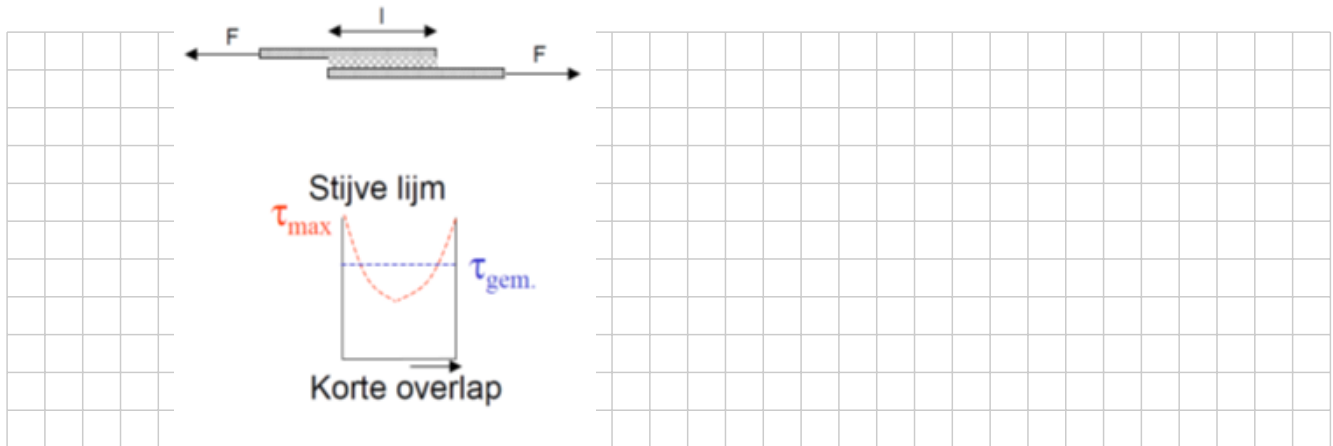
Door de toegevoegde massa van de ninjabrugger neemt de eigenfrequentie van het systeem af. Hierdoor is de aandrijffrequentie van 1,37 Hz nu boven de eigenfrequentie. De balk zal weinig bewegen omdat de aandrijving en de eigentrilling elkaar tegenwerken.

Lijmen

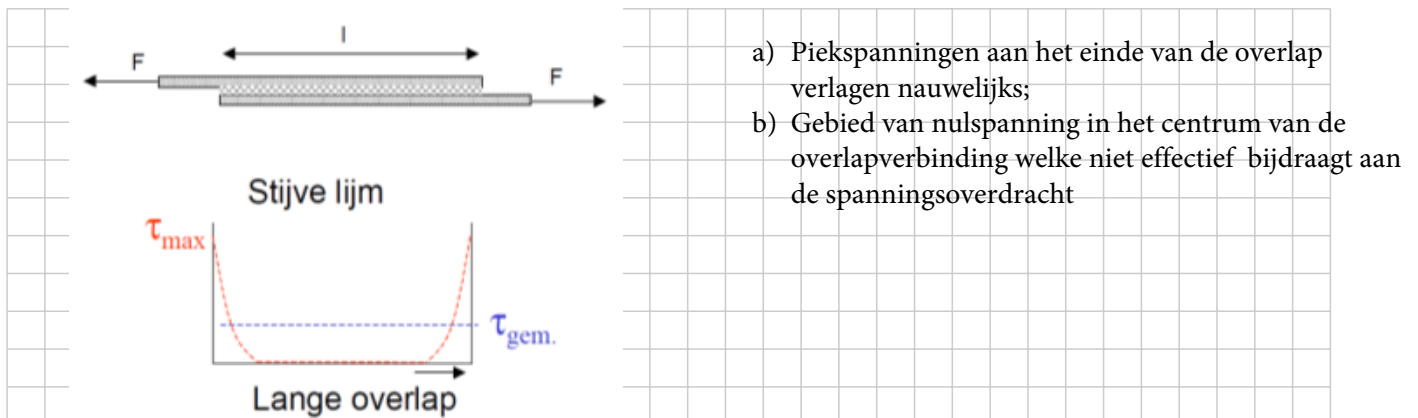
Lijmverbindingen kunnen worden toegepast in constructies om een belastingoverdracht tussen verschillende constructieonderdelen te bewerkstelligen.



- 4p **2a** Teken schematisch de spanningsverdeling over de overlap (van rand tot rand) indien een relatief korte enkele overlapverbinding op afschuiving wordt belast voor een stijve lijm. Ga hierbij ervan uit dat de lijmfilm relatief stijf is ten opzichte van de rekstijfheid van de platen



- 4p **2b** Teken schematisch en bespreek kort het effect van het verlengen van de overlaplengte voor deze stijve lijm. Benoem twee effecten.



Materiaalkunde

Geef aan of onderstaande stellingen waar zijn of niet waar.

2.5p **3a** Bouten met de staalkwaliteit 8.8 hebben een vloeigrens/rekgrens ($R_{p0.2}$) van minimaal 800 MPa.

☐ a Waar

☒ b Niet waar

2.5p **3b** Bij het hardingsproces van staal met een koolstofgehalte van 0,4 gew.% C mag het staal niet verhit worden tot boven de 700 °C.

☐ a Waar

☒ b Niet waar

2.5p **3c** Hooggelegeerde ferritische roestvaststalen bouten hebben een sterkte ongeveer vergelijkbaar met die van ongelegeerd constructiestaal.

☒ a Waar

☐ b Niet waar

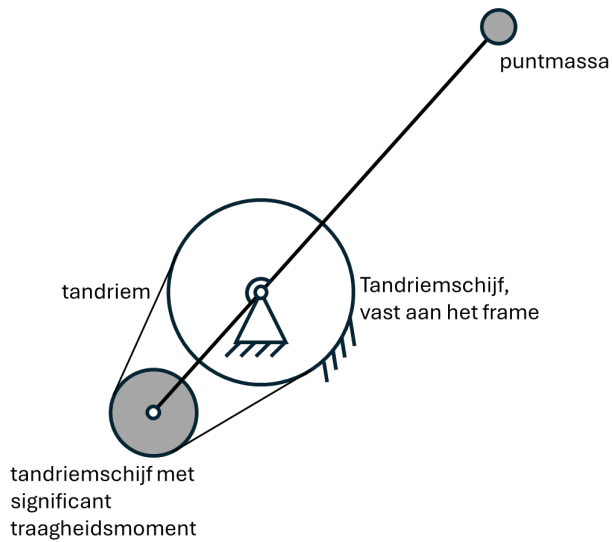
2.5p **3d** Bij het weerstand-puntlassen van aluminium wordt een inert beschermgas gebruikt.

☐ a Waar

☒ b Niet waar

Dynamisch balanceren

In de figuur hieronder staat een schematische weergave van een systeem met één vrijheidsgraad: een starre stang scharnierend om een punt op het frame. Aan de ene kant van de stang zit een puntmassa. Aan de andere kant van de stang zit een roterende tandriemschijf met een significant gewicht en massastraagheid. De tandriemschijf roteert door middel van een tandriem die ook over een stilstaande tandriemschijf wordt gespannen.



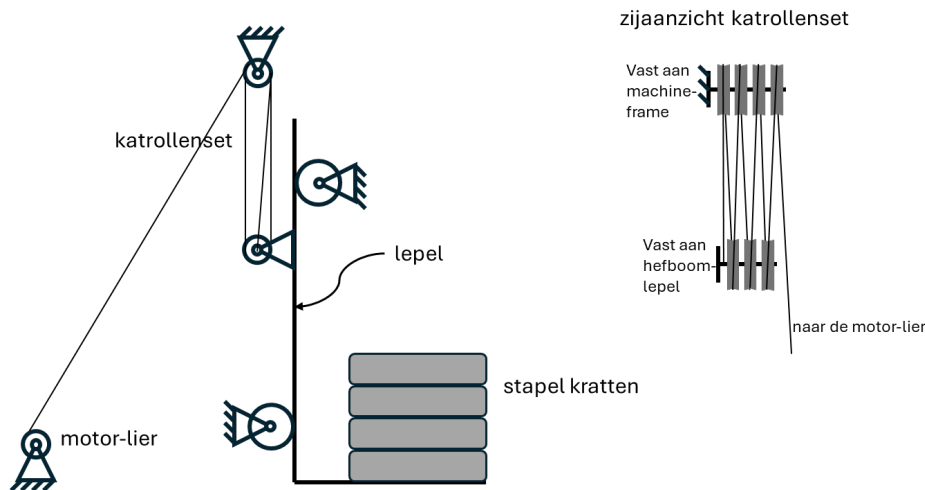
- 6p **4** Is het mogelijk dat deze opstelling, bij correct gekozen massa's, traagheidsmomenten en lengtes, *dynamisch gebalanceerd* is voor schudkrachten? En voor schudmomenten? Licht je antwoord kort toe.

Krachten: Dat kan als het massamiddelpunt van de bewegende massa's (puntmassa+roterende tandriemschijf) samenvallen met het scharnierpunt.

Momenten: Dan kan ook, bij correct gekozen traagheidsmomenten, aangezien de roterende tandriemschijf in tegenovergestelde richting draait ten opzichte van de stang.

Aandrijving met DC motor

Voor het ontwerp van een krattenstapelaar wordt het volgende concept-ontwerp overwogen. Een DC motor (no-load speed 1200 rad/s, stall-torque 0,035Nm) drijft een lier aan met een straal van 15mm, die via een katrollenset een lepel optilt waar een stapel van vier kratten op ligt, elk met een massa van 200 gram. De katrollenset bestaat uit vier katrollen op een as die vast zit aan het frame van de machine, en drie katrollen vast aan de lepel, volgens de gegeven schematische weergave. Er is één enkele kabel die vanaf de lier, via de katrollen naar de lepel gaat. Het hele systeem beschouwen we vrij van mechanische verliezen. Ook verwaarlozen we alle massa's, behalve die van de kratten.



- 2p **5a** De motor heeft, wanneer het maximaal mechanisch vermogen wordt geleverd, een rendement van 64%. Wat is dan het opgenomen elektrisch vermogen?

Maximaal mechanisch vermogen:

$$P_{max} := \frac{T_m}{2} \cdot \frac{\omega_m}{2} = 10.5 \text{ W}$$

Opgenomen elektrisch vermogen

$$\eta := 64\%$$

$$P_e := \frac{P_{max}}{\eta} = 16.406 \text{ W}$$

- 3p **5b** Bepaal de totale overbrengingsverhouding $i = \frac{F_l}{T_m}$ van dit systeem. Dat is de verhouding tussen de hefkracht en het motormoment, met eenheid m^{-1} .

De overbrenging j tussen het motormoment T_m en de kracht in het touw F_t naar de katrollen toe is

$$j := \frac{1}{r_{lier}} = 1 \frac{1}{0.015 \text{ m}}$$

De overbrenging k tussen de kracht in het touw naar de katrollen F_t en de kracht van de kratten (last) F_l is

$$k := 7$$

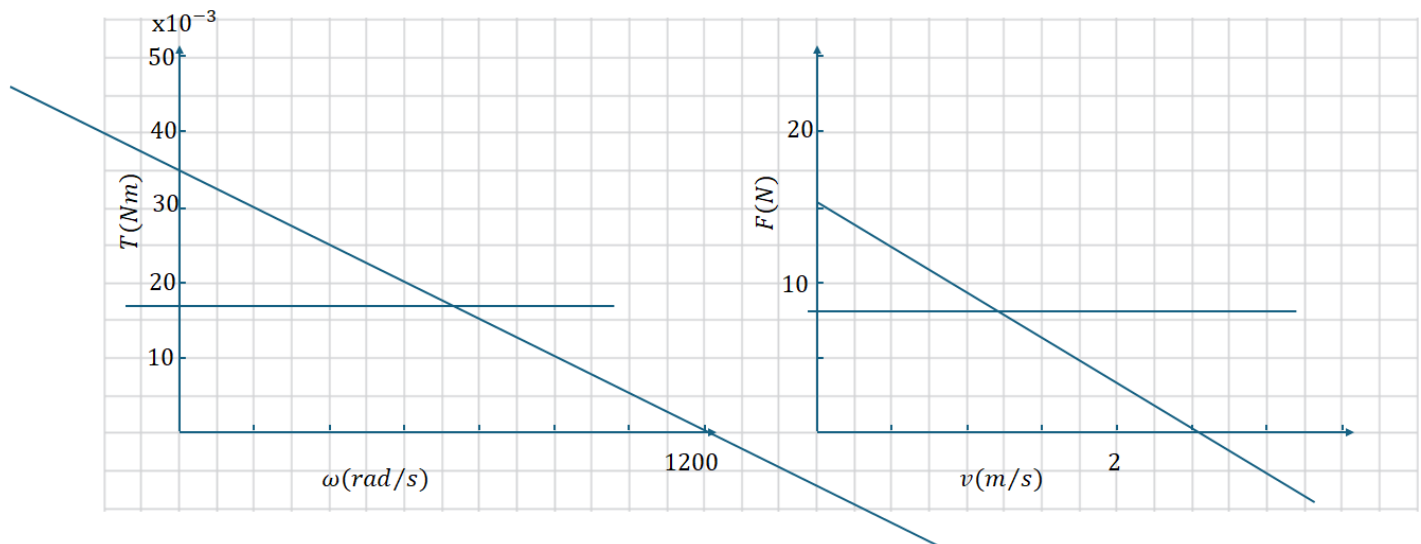
De totale overbrengingsverhouding $i := \frac{F_l}{T_m}$ is

$$i := j \cdot k = 466.667 \frac{1}{m}$$

- 6p **5c** Teken in elk van de onderstaande assenstelsels de motor- en de lastkarakteristiek, getransformeerd naar ofwel het moment en hoeksnelheid op de as van de motor, ofwel de kracht en snelheid van het heffen van de lepel. Voorzie de assen van enkele waarden zodat de schaling eenduidig is. Maak een inschatting van de hoeksnelheid van de motor en van de snelheid van de lepel in stationaire toestand.

$$m_{tot} := n \cdot m_{krat} = 0.8 \text{ kg}$$

$$F_l := m_{tot} \cdot g = 7.848 \text{ N}$$



Hieronder de exacte waarden voor de stationaire snelheden. Deze mogen geschat worden door ze af te lezen in de grafieken.

$$\omega_{stat} = 617.143 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad v_{stat} = 1.322 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

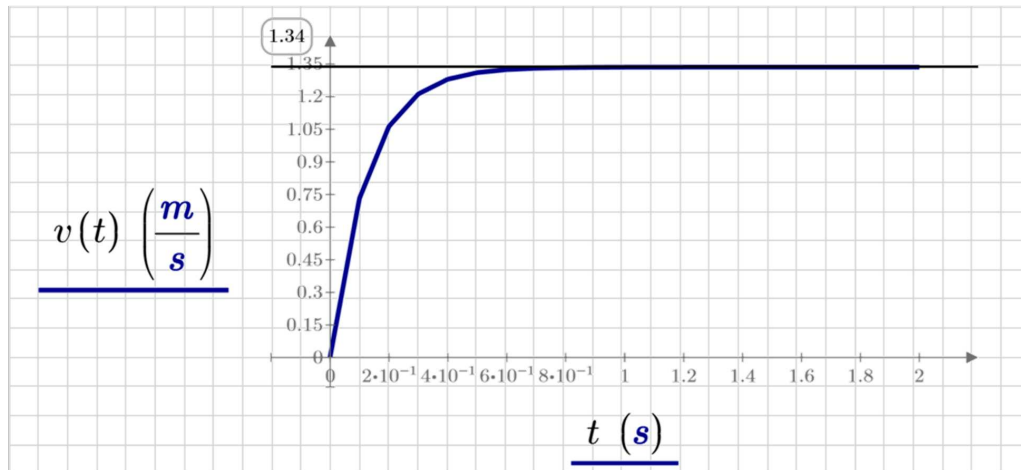
Check: de verhouding tussen hoeksnelheid en lineaire snelheid is gelijk aan de overbrengingsverhouding:

$$\frac{\omega_{stat}}{v_{stat}} = 466.667 \frac{1}{\text{m}}$$

In de volgende situatie zijn er vijf kratten op de stapel. De dynamica van het hele aandrijfsysteem is analytisch opgelost en kan worden beschreven met de volgende formule voor de hefsnelheid v als functie van de tijd t , ook weergegeven in onderstaande grafiek:

$$v(t) = \frac{A}{B} - \frac{A}{B} e^{-\frac{B}{m_{tot}} t},$$

waarin A in N het krachtoverschot bij $v = 0$ is, B in $\frac{\text{N}}{\text{m/s}}$ de negatieve helling is van de motorkarakteristiek met de hele transmissie inbegrepen, en m_{tot} in kg de totale massa van de kratten samen is.



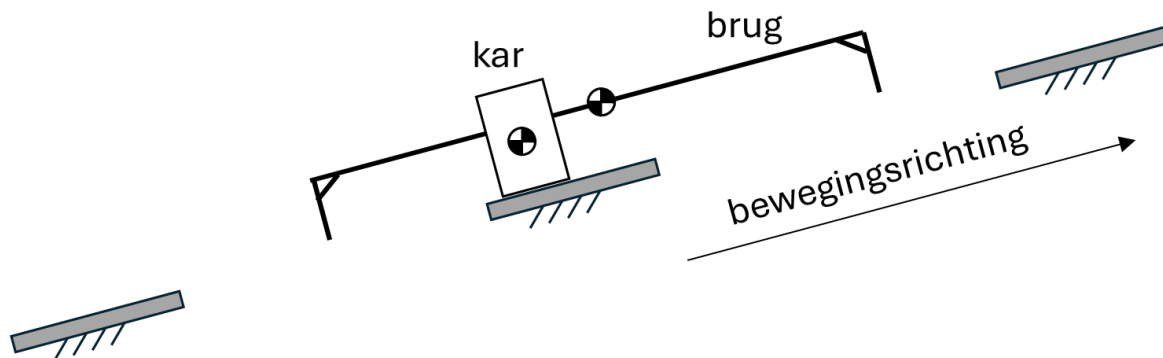
- 4p **5d** Als we ervan uitgaan dat de stationaire situatie na 1s is bereikt, hoe groot is de verticale verplaatsing op dat moment bij benadering geweest? Licht toe.

De verticale verplaatsing is dan 1.16m geweest. Deze waarde mag worden benaderd door het oppervlak onder de grafiek hierboven te schatten (bijv. hokjes tellen).



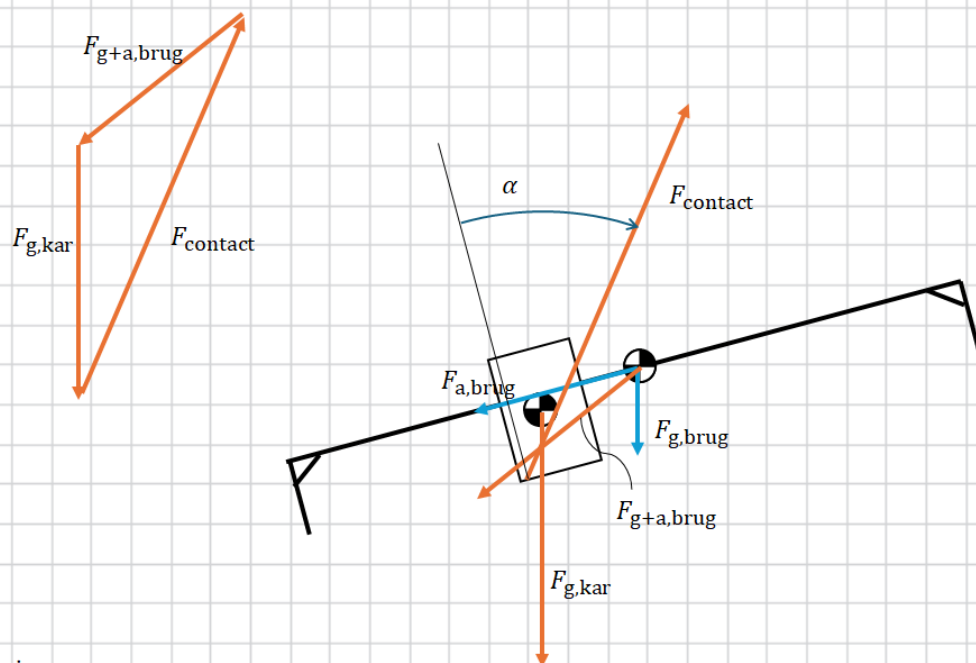
Grafisch evenwicht voor dynamische problemen

Het systeem dat hieronder schematisch is weergegeven, waarvan ook een vrijlichaamsdiagram in het antwoordvak gegeven staat, wordt voorgesteld als ontwerp voor een apparaat dat over een aantal plateaus op afstand moet stappen. De plateaus staan stil ten opzichte van de omgeving.



Op de getoonde momentopname wordt de "brug" (1kg) naar voren geschoven, en staat de "kar" (3kg) stil op een plateau. De brug is naar voren aan het versnellen met 20m/s^2 . Tussen de kar en het plateau heerst een statische wrijvingshoek van 50° . Op dit contactoppervlak heerst een verdeelde reactiekracht met normaal- en wrijvingscomponenten, die we hier behandelen als één netto reactiekracht. De massamiddelpunten van de kar en de brug zijn in de figuur aangegeven met een zwart-witte bol.

- 10p **6** Voer een grafische evenwichtsanalyse uit en bepaal daarmee of de constructie ten opzichte van het plateau waarop het staat a) blijft staan, b) schuift of c) kantelt. Laat van de reactiekracht tussen het plateau en de kar, het aangrijpingspunt, de grootte en de richting zien voor zover deze te bepalen zijn. Als deze niet te bepalen zijn, geef daar de rede voor aan.

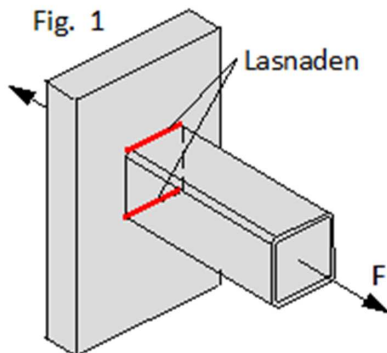


Conclusie:

- De werklijn van de reactiekracht $F_{contact}$ gaat door het contactoppervlak dus het system kantelt niet.
 - $F_{contact}$ is een drukkracht, geen trekkracht, dus het contact blijft behouden.
 - Bovendien is $\alpha < 50^\circ$ (de hoek van de contactkracht is kleiner dan de wrijvingshoek, dus het system schuift niet).
- Het system blijft dus staan!

Lasberekening

Een vierkante stalen (S235) buis is met een hoeklas verbonden aan een dikke stalen (S235) plaat en wordt belast met trekkraft F . De buis heeft een doorsnede van 40x40x3mm. De lashoogte van de hoeklas bedraagt $a = 4\text{mm}$, de 0,2 % rekgrens $R_{p0.2} = 235\text{MPa}$. Neem een partiële veiligheidsfactor van 1.25.



- 6p **6** Bereken de belasting F waarbij de lasverbinding plastisch zal gaan vervormen.

Zal plastisch vervormen als

$$\sigma_{eq} = R_{p0.2}$$

Voor een hoeklas geldt dat:

$$\sigma_{eq} = \frac{F_{las}\sqrt{2}}{aL}$$

Waarbij in deze opgave geldt dat $F = 2F_{las}$ want de trekkraft wordt over twee lasnaden verdeeld.

Gegeven zijn de waarden $L = 40\text{mm}$ voor de laslengte en $a = 4\text{mm}$ voor de “keeldoorsnede”.

Omgeschreven om op te lossen voor F en ingevuld, geeft:

$$F = 2F_{las} = 2 \frac{R_{p0.2} a L}{\sqrt{2}} = 2 \frac{235\text{MPa} \cdot 4\text{mm} \cdot 40\text{mm}}{\sqrt{2}} = 53,170\text{kN}$$

OPMERKING:

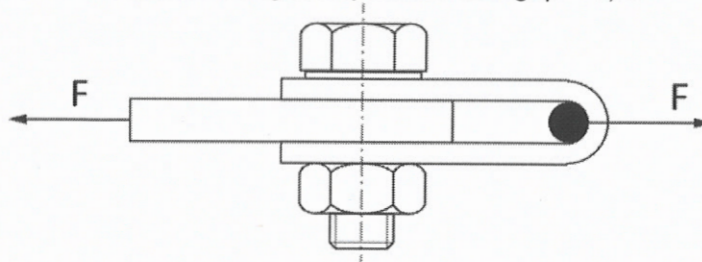
De partiële veiligheidsfactor $\gamma_{M2} = 1.25$ en de correlatiefactor $\beta_W = 0.8$ heffen elkaar in principe op,

volgens de formule $\sigma_{eq} = \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}}$. Als men hier deze andere

formule in het formuleboekje heeft gebruikt $\left(\sigma_{\perp} = \frac{0.9f_u}{\gamma_{M2}}\right)$, zal dit soepel beoordeeld worden, aangezien het boekje hier niet heel helder over is.

Schroefdraad

Een kabel (weergegeven als een zwarte cirkel) is via een beugel met een boutverbinding aan een plaat verbonden. De verbinding wordt belast met een kracht F die een maximale waarde kan bereiken van $F = 10,0 \text{ kN}$. De wrijvingscoëfficiënt tussen beugel en plaat bedraagt $\mu = 0,2$.



- 3p **8a** Bereken de minimaal vereiste klemkracht tussen de platen waarbij geen verschuiving optreedt en de verbinding dus niet losloopt.

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_w = \frac{1}{2} F = \mu \cdot F_{klem} \Rightarrow F_{klem} = \frac{1}{2} \cdot 10^4 \text{ N} \cdot 5 = 25 \text{ kN}$$

Gesteld wordt dat de bout de kwaliteit (=sterkteklasse) 8.8 heeft en dat deze aangehaald wordt tot aan de vloeigrens.

NB. De extra torsiespanning tijdens aanhalen verdwijnt na losnemen van de sleutel en hoeft niet meegenomen te worden.

- 8p **8b** Kies uit de schroefdraadtabel de kleinste nominale diameter voor deze bout-moerverbinding die aan de eis voldoet.

Vloeigrens gelijkstellen aan elasticiteitsgrens $R_{p0.2}$
 Voor bout 8.8 is dat $800 \text{ MPa} \cdot 0,8 = 640 \text{ MPa} = \sigma_{el}$
 Met alleen normaalspanning geldt dan:
 $F_{klem} / A_s = \sigma_{el} \Rightarrow A_s = \frac{F_{klem}}{\sigma_{el}} = \frac{25000}{640} = 39,1 \text{ mm}^2$
 uit schroefdraadtabel (bk 37)
 eerstvolgende spanningsdoorsnede kiezen:
 $A_s = 48,1 \text{ mm}^2 \Rightarrow M9$

4p

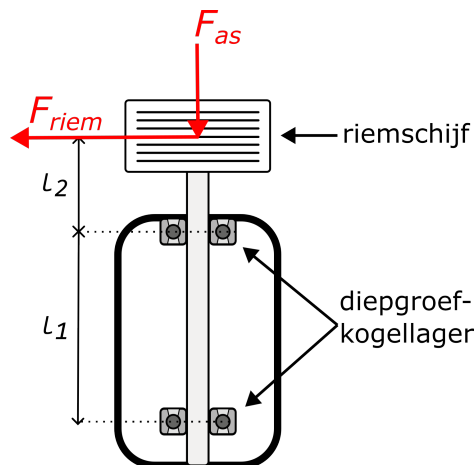
8c Gegeven: een veiligheidsfactor (sf) wordt bepaald uit enerzijds de optredende belasting en anderzijds de maximaal toelaatbare belasting. Bepaal deze veiligheidsfactor voor de maximale waarde van de kracht F bij de gekozen dimensionering uit ⁷/₈.

Neem aan dat $sf = \frac{\sigma_{opvrekend}}{\sigma_{toelaatbaar}}$, dan

$$sf = \frac{\sigma_{VL}}{\sigma_{VL} \cdot \left(\frac{A_s \cdot M_g}{A_s \text{ berekend}} \right)} = \frac{48.1}{39.1} = 1.23$$

Lagers

Een motor wordt gebruikt om een riem aan te drijven. Hierdoor werken er de volgende lasten op de riemschijf: Een axiale kracht $F_{as} = 22\text{N}$ en een radiale kracht $F_{riem} = 100\text{N}$. De motor bevat 2 lagers van het type 628. De afstand tussen de lagers is l_1 en de afstand tussen het bovenste lager en de last op de riemschijf is $l_2 = \frac{l_1}{2}$.



- 2p **9a** Welke passing is nodig tussen de as en de binnenring van de lagers, en tussen de buitenring van de lagers en de motor? Selecteer het juiste antwoord

- ☒ a) De binnenring met een vaste passing en de buitenring met losse passing.
- ☐ b) De binnenring met een losse passing en de buitenring met vaste passing.
- ☐ c) Zowel de binnenring als de buitenring met een vaste passing.
- ☐ d) Zowel de binnenring als de buitenring met een losse passing.

- 2p **9b** Bereken de radiale last (horizontaal in de figuur) voor beide lagers. Ga ervan uit dat het bovenste lager locating is en dus alle axiale last opvangt. Maak hierbij gebruik van statisch evenwicht.

axiale richting:

$$-F_a + R_{y1} = 0$$

radiaal in het vlak:

$$-F_r + R_{x1} + R_{x2} = 0$$

moment in het vlak om onderste punt :

$$F_r * 3l_2 - R_{x1} 2l_2 = 0$$

Opgelost:

$$R_{x1} = -\frac{3}{2} F_r = 150\text{N}$$

$$R_{x2} = \frac{1}{2} F_r = -50\text{N}$$

Niet gevraagd, wel straks nodig:

$$R_{y1} = F_a = 22\text{N}$$

3p **9c** Bepaal de dynamische equivalente lagerbelasting, P , voor het bovenste lager.

We vervangen in de vergelijkingen van het formuleboekje de radiale en axiale krachten F_r en F_a met R_{x1} en R_{x1} , want het gaat om de krachten op het bovenste lager.

Eerst checken we of

$$\frac{R_{y1}}{R_{x1}} = \frac{22N}{150N} = 0.147 \leq e$$

Met

$$f_0 \frac{R_{y1}}{C_0} = 13 \frac{22N}{1.66kN} = 0.172 \text{ (} f_0 \text{ en } C_0 \text{ halen we uit de table op p.38)}$$

vinden we in de tabel op p.19 een waarde van $e = 0.19$. Deze waarde is groter dan 0.147, daarom kunnen we voor de dynamische equivalente lagerbelasting de versimpelde formule gebruiken:

$$P = R_{x1}.$$

Dus:

$$P = 150N$$

3p **9d** Bepaal de nominale levensduur, L_{10} , in omwentelingen van het bovenste lager.

We gebruiken de formule

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p 10^6 (\text{omw})$$

Waarin $p = 3$ en $C = 3.9 \text{ kN}$ (uit de tabel).

Dat geeft:

$$L_{10} = \left(\frac{3.9 \text{ kN}}{150 \text{ N}}\right)^3 10^6 = 1.758 \cdot 10^{10}$$

Omwentelingen.



Lead

- 10**

This page is left blank intentionally

