

Exercises

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

Surname, First name

Nahijh model

Design Engineering Project 3A EXAM
(WB1643A)

T1 - Projecttentamen

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

a	☒	c	d	e	f	→ b
☒	b	c	☒	e	f	→ a
☒	b	☒	d	e	f	→ c
☒	b	☒	☒	e	f	→ d

Answer multiple-choice questions as shown in the example.

Tentamendatum 17-04-2025 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.

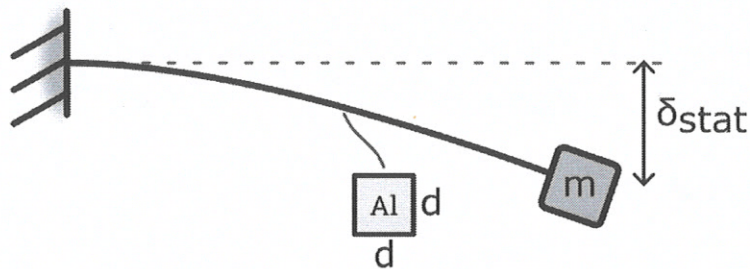
Dit tentamen is gemaakt door:

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



We bekijken een lange dunne balk met een puntmassa $m = 1,0 \text{ kg}$ aan het uiteinde. De balk is gemaakt van aluminium en heeft een lengte $L = 1,0 \text{ m}$. De doorsnede van de balk is massief vierkant en heeft een dikte d . In de volgende vragen gaan we er vanuit dat de massa van de balk zelf verwaarloosbaar is. Onder invloed van de massa buigt het eindpunt van de balk door. De uitwijking van dit eindpunt is $\delta_{\text{stat}} = 5,0 \text{ mm}$.

- 3p **1a** Toon aan dat de effectieve stijfheid aan het uiteinde van de balk $k_{\text{eff}} = 1,96 \frac{\text{kJ}}{\text{m}}$

De stijfheid op die plek is de kracht gedeeld door de verplaatsing in die richting, dus

$$k_{\text{eff}} = \frac{mg}{\delta_{\text{stat}}} = \frac{1,0 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,0050 \text{ m}} = 1,962 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Dat klopt dus.

- 3p **1b** Bereken de eigenfrequentie van de balk in Hz

Als de balk als massaloos wordt beschouwd, hebben we alleen de puntmassa nodig, en de effectieve stijfheid op die plek, dus k_{eff} .

Eigenfrequentie is $\omega_0 = \sqrt{\frac{k_{\text{eff}}}{m}} = 44,3 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 7,05 \text{ Hz}$

4p 1c Bereken de dikte d van de balk. Gebruik hierbij de formules en gegevens uit het formuleboekje

Nodige formules:

$$\text{doorbuiging balk } \delta = \frac{FL^3}{3EI_x} \quad (1)$$

$$\text{waarin } I_x = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}d^4 \quad (\text{als } b=h=d) \quad (2)$$

Neem voor aluminium $E = 70 \text{ GPa}$.

Omgeschreven

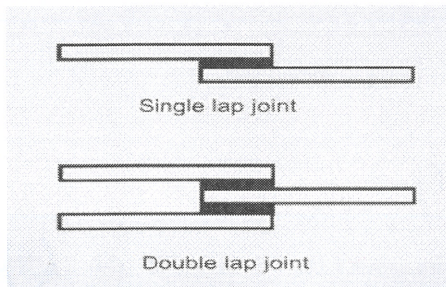
$$d = \sqrt[4]{I_x \cdot 12} \quad (3)$$

Formule (1) omschrijven geeft

$$I_x = \frac{FL^3}{\delta \cdot 3 \cdot E}, \text{ substitueren in (3) geeft:}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{FL^3}{\delta \cdot 3 \cdot E} \cdot 12} = 0,018 \text{ m}$$

MK-lijmen



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

- 4p **2a** Geef kort aan wat het nadeel kan zijn van een enkelvoudige overlapverbinding ten opzichte van een dubbele overlapverbinding bij belasting van de lijmverbinding op afschuiving.

Een enkelvoudige lapnaad geeft een excentrische belasting en daarmee ongunstige pebelastingen op de lijmverbinding. De dubbele lapnaad heeft dat niet.

- 4p **2b** Lijmen zijn beschikbaar in verschillende soorten (polyurethanen, siliconen, etc) en iedere lijmsoort heeft een unieke combinatie van vervormbaarheid en sterkte. Noem twee lijmsoorten die het best geschikt zijn voor het verlijmen van een laagbelaste toepassing waarbij maximale vervorming te voorzien is, zogenaamde afdichtingslijmen?

Siliconenlijm, polyurethaanlijm, MS polymeren (gemodificeerde silaanpolyetheren of gemodificeerde silaan gebaseerd polymeer)

Lasverbindingen en boutverbindingen

Geef aan of onderstaande stellingen waar zijn of niet waar.

Geef 2 van bovenstaande antwoorden.

- 2.5p **3a** Bij TIG-lassen wordt een continu toegevoegde draad als elektrode gebruikt.

- ☐ a Waar
☒ b Niet waar

- 2.5p **3b** Bij het weerstand-puntlassen treedt geen smelten op.

- ☐ a Waar
☒ b Niet waar

2.5p **3c** Schroeven met een schroefdraad aangebracht met behulp van een snijplaat zijn gevoeliger voor vermoeiing dan die met een gewalste schroefdraad.

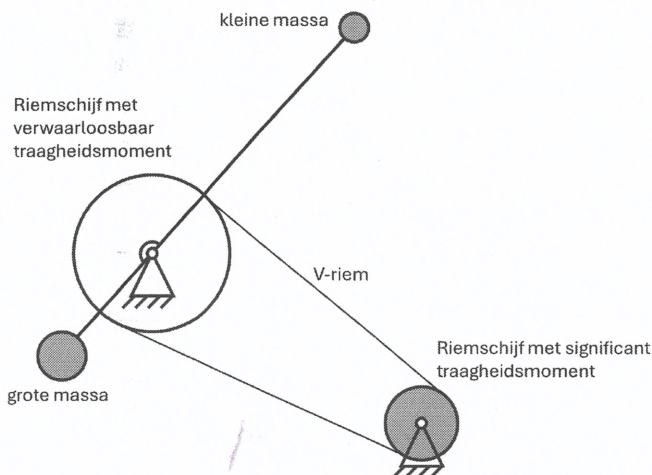
- ☒ a) Waar
- ☐ b) Niet waar

2.5p **3d** Staalsoorten een laag koolstofgehalte moeten sneller worden afgekoeld om gehard te worden in vergelijking tot hooggelegerde staalkwaliteiten.

- ☒ a) Waar
- ☐ b) Niet waar

Dynamisch balanceren

Het onderstaande systeem bestaat uit twee massa's, een kleinere en een grotere, bevestigd aan eenzelfde starre stang. Aan diezelfde stang is ook een tandriem-aandrijving verbonden die dient om een extra schijf met een bepaalde massa traagheid mee te laten draaien.

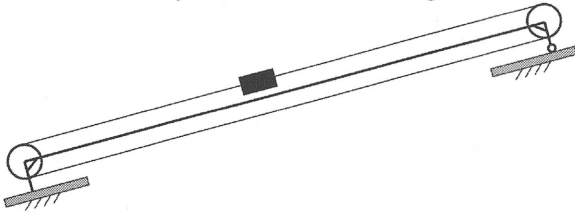


6p **4** Is het mogelijk dat deze opstelling dynamisch gebalanceerd is voor zowel schudkrachten als schudmomenten? Licht je antwoord kort toe.

Nee. Schudkrachten balanceren is mogelijk als de massa's zo gekozen worden dat hun massamiddelpunt samenvalt met het scharnier. Dan staat het massamiddelpunt van het geheel ook stil. Maar schudmomenten balanceren kan niet omdat de stang en de schijf dezelfde kant op roteren.

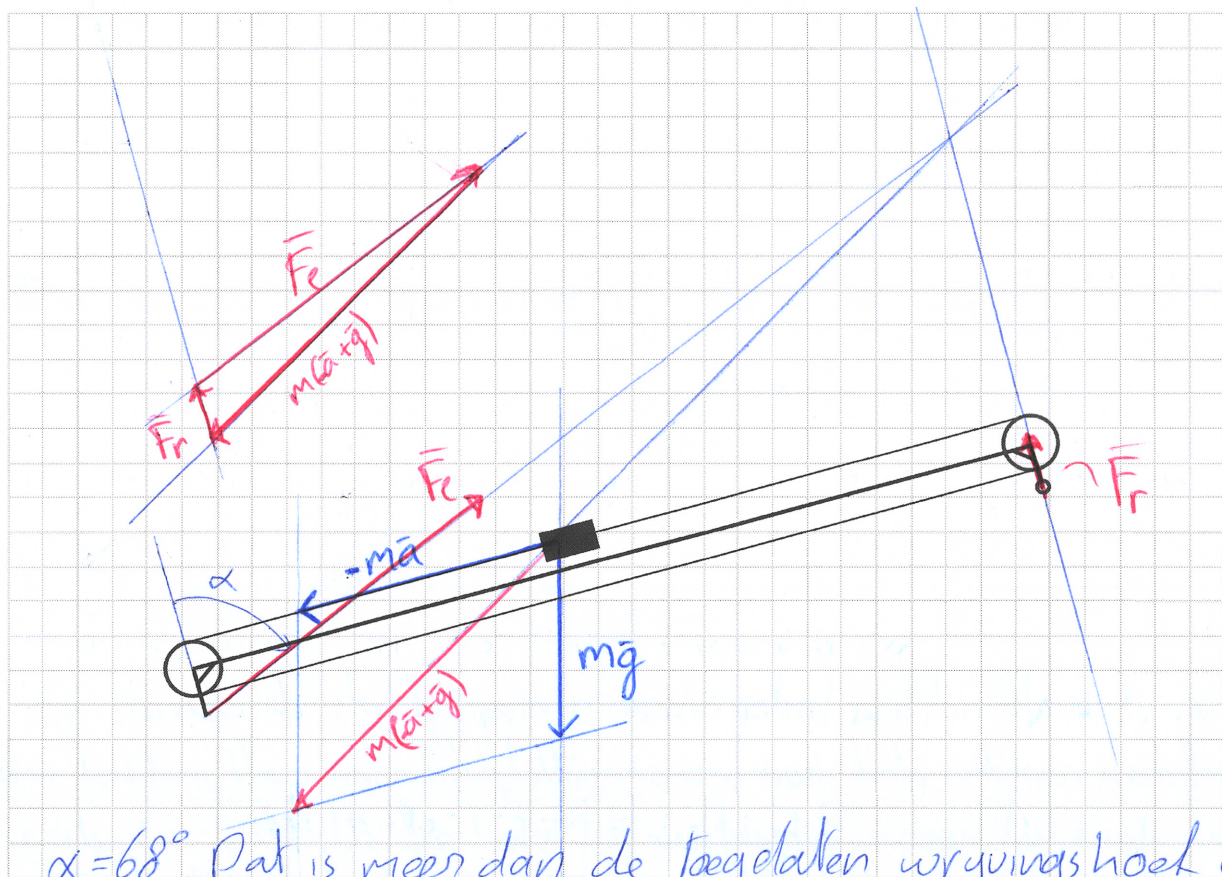
Grafisch evenwicht voor dynamische problemen

Het systeem dat hieronder schematisch is weergegeven, waarvan ook een vrijlichaamsdiagram in het antwoordvak gegeven staat, wordt voorgesteld als ontwerp voor een apparaat dat een afstand tussen twee plateaus moet overbruggen. De plateaus staan stil ten opzichte van de omgeving. Een massa wordt door middel van een riemoverbrenging naar voren (naar rechts in de figuur) verplaatst om zo het massamiddelpunt vooruit te brengen.



De massa van de rest van de brug beschouwen we voorlopig als verwaarloosbaar. In de momentopname van de afbeelding wordt een versnelling van de beweegbare massa gerealiseerd van $14m/s^2$ in de voorwaartse bewegingsrichting. De poot aan de rechterkant steunt op het plateau met een wrijvingsloos wiel. Tussen de eerste poot en het plateau heerst een statische wrijvingshoek van 50° .

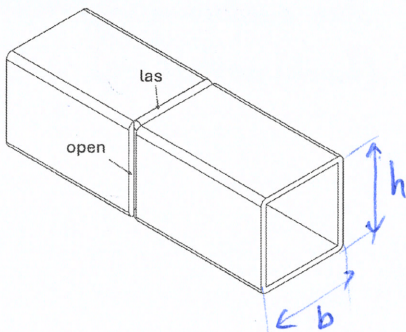
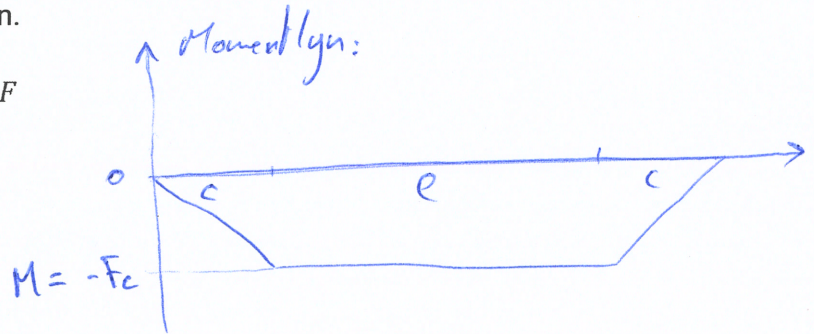
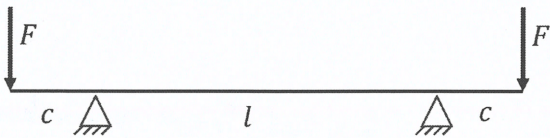
- 10p 5 Voer een grafische evenwichtsanalyse uit en bepaal daarmee of de brug ten opzichte van de plateaus blijft staan, schuift of kantelt.



$\alpha = 68^\circ$ Dat is meer dan de toegelaten wrijvingshoek van 50° , dus het platstelsel schuift/slipt op het plateau. Kantelen gebeurt niet want $\vec{F}_r$ en $\vec{F}_e$ zijn de juiste kant op gericht, het zijn geen trekkrachten.

Lasberekening

Een lange stalen balk (vierkante buis) wordt opgebouwd uit twee helften die in het midden aan elkaar zijn gelast. De balk wordt symmetrisch op twee punten ondersteund en op de twee uiteinden belast met een verticale kracht $F = 500\text{N}$, zie het schema hieronder. De afstand tussen de ondersteuningspunten is $l = 4\text{m}$ en de afstand tussen ondersteuningspunten en opgelegde kracht is aan beide kanten gelijk aan $c = 0,5\text{m}$. De dwarsdoorsnede van de balk is een vierkant met breedte en hoogte gelijk aan 30mm en dikte $t = 3\text{mm}$. Het gebruikte materiaal is ongelegeerd constructiestaal met materiaalnummer 1.0143. De lasnaden zijn doorgelaste stompe lassen, en zijn alleen angebracht aan de bovenste en onderste rand van het profiel, zoals hieronder aangegeven.



das we checken met de R_{m} waarde

- 6p 6 Bereken of er bij deze belasting breuk zal optreden in de lasnaad en/of de balkdelen.

Het buigmoment is tussen de opleggingen constant en gelijk aan $M = -F \cdot c$.

Om dit ten hoogte van de lasverbinding op te vangen ontstaat de kracht $F_{\text{las}} = \frac{M}{h} = -F \cdot \frac{c}{h}$. Deze treedt op als trekkracht in de bovenste lasnaad en als drukkracht in de onderste.

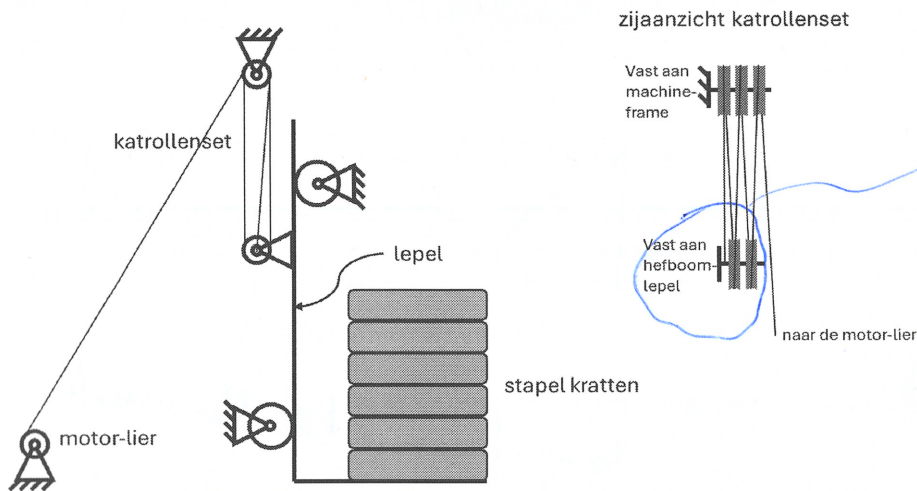
De effectieve dwarsdoorsnede van elke las (doorgelast en stomp) is $b \cdot t$, in het formuleboekje aangeduid met a_L .

De spanning is dus $\sigma = \frac{F_{\text{las}}}{b \cdot t} = \frac{F \cdot c}{h \cdot b \cdot t} = 92,6\text{MPa}$

Dit is ruim onder de 0,2% rekgrens $R_{p0,2}$ en de treksterkte R_m . De spanning in de balk zelf is lager omdat ook de zijwanden van de buis meedoen. Het geheel zal niet falen.

Aandrijving met DC motor

Voor het ontwerp van een krattenstapelaar wordt het volgende concept-ontwerp overwogen. Een DC motor (no-load speed 4500rpm, stall-torque 0,07Nm) drijft een lier aan met diameter 0,05m, die via een katrollenset een lepel optilt waar een stapel kratten op ligt. De katrollenset bestaat uit drie katrollen op een as die vast zit aan het frame van de machine, en twee 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.



zij aanzicht katrollenset

Vast aan machine-frame

Vast aan hefboom-lepel

naar de motor-lier

5 x het touw gesneden, dus overbrengingsverhouding (krachtversterking) is 5.

- 2p **7a** De motor heeft, wanneer het maximaal mechanisch vermogen wordt geleverd, een rendement van 60%. Wat is dan het opgenomen elektrisch vermogen? *Begin met rpm naar rad om te zetten*

Maximaal mechanisch vermogen is halverwege de motor karakteristiek, dus $P_{\text{max}} = \frac{T_{\text{max}}}{2} \cdot \frac{\omega_{\text{max}}}{2} = 8,247 \text{ W}$

Het opgenomen elektrisch vermogen is $P_e = \frac{P_{\text{max}}}{0,6} = 13,744 \text{ W}$

- 3p **7b** Als zes kratten van elk 0,2kg op de lepel liggen, en de hefsnelheid moet $\frac{1}{3} \text{ m/s}$ zijn. Wat is dan het benodigd vermogen voor deze taak? Kan de motor dit vermogen in principe wel of niet leveren?

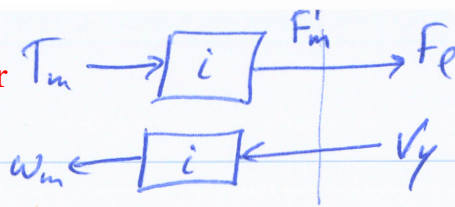
De te tillen last is $F_{\text{last}} = 6 \cdot m_{\text{krat}} \cdot g$

Het benodigd vermogen is dus $P = 6 \cdot m_{\text{krat}} \cdot g \cdot v = 3,924 \text{ W}$

Dat kan de motor leveren (mits de overbrenging goed is ontworpen)

Op de volgende bladzijde staat een uitgebreidere uitwerking, voor een beter begrip van de stappen in deze opgave.

0548.pdf



0376389909

- 6p **7c** Bepaal de stationaire hefsnelheid die verkregen wordt met de overbrenging (lier, katrollen) zoals voorgesteld in het concept-ontwerp.

De katrollenset geeft een krachtversterking van 5.

De totale overbrengingsverhouding $i = 5 \cdot \frac{1}{r_{\text{lier}}} = 200 \frac{1}{\text{m}}$

De motor karakteristiek getransformeerd naar de last is

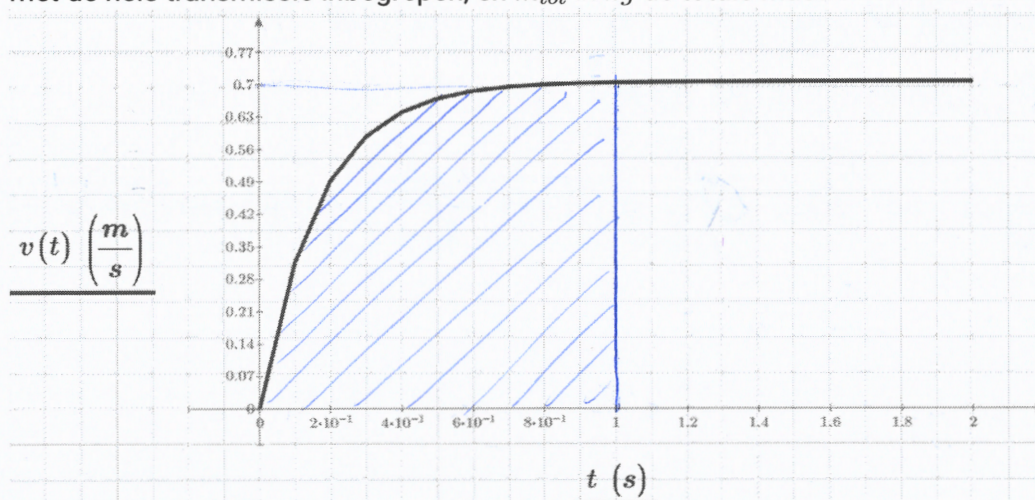
$$F_m'(v_y) = i \cdot T_{m,\text{max}} - \frac{i \cdot T_{m,\text{max}}}{\omega_{m,\text{max}}} \cdot v_y. \text{ Deze functie snydt de}$$

constante last $F_e = m_{\text{krat}} \cdot 6 \cdot g$ als $v_y = \frac{i \cdot T_{m,\text{max}} - m_{\text{krat}} \cdot 6 \cdot g}{\frac{i \cdot T_{m,\text{max}}}{\omega_{m,\text{max}}/i}} = 0,375 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

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:

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

waarin A in N het krachtoverschot bij $v = 0$ is, B in $\frac{N}{\text{m/s}}$ 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 **7d** 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.

Het gearceerde oppervlak onder de grafiek moet benaderd worden (mag met hokjes tellen bijvoorbeeld):

$$85\% \cdot 0,7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1 \text{ s} = 0,6 \text{ m}$$

De katrollenset geeft een krachtversterking van 5

De totale overbrengingsverhouding, inclusief de lier, is

$$i = \frac{5}{r_{lier}} = 200 \text{m}^{-1}$$

De motorkarakteristiek wordt gegeven door de formule:

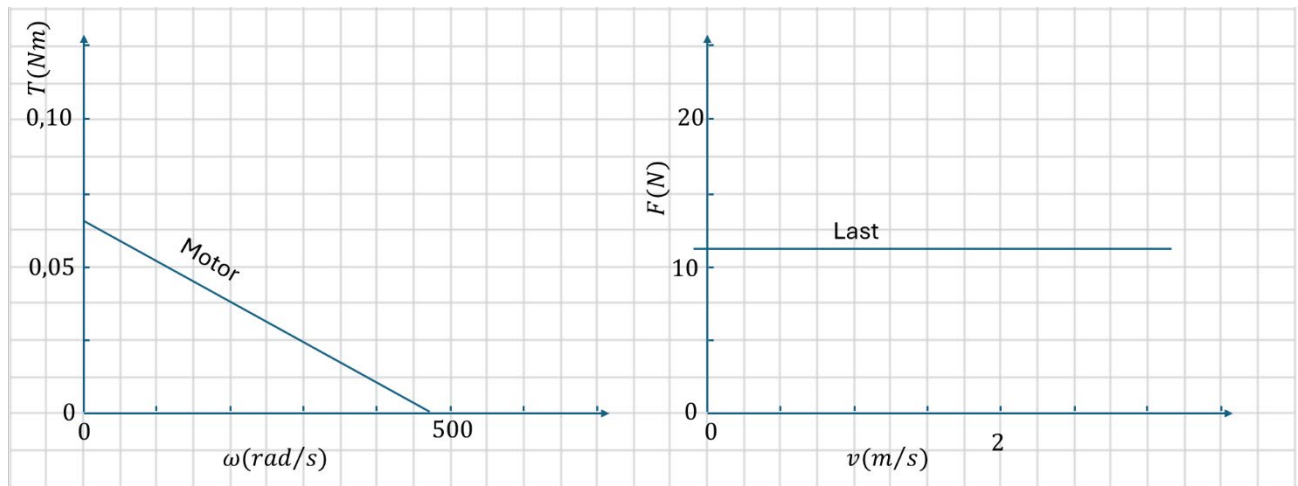
$$T_m(\omega_m) = T_{m,max} - \frac{T_{m,max}}{\omega_{max}} \omega_m = 0,07 \text{Nm} - \frac{0,07 \text{Nm}}{4500 \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{s}}} \omega_m$$

Hierin staat het onderschrijft m voor motor, dus het koppel en de hoeksnelheid op de motor-as, en max zijn de maximale waarden, genomen uit de motorspecificaties. $T_{m,max}$ en ω_{max} zijn dus constanten.

De lastkarakteristiek is gegeven door de formule (constant t.o.v. de snelheid)

$$F_l(v) = 6 \cdot m_{krat} \cdot g = 11,8 \text{N}$$

En de bijbehorende grafieken:



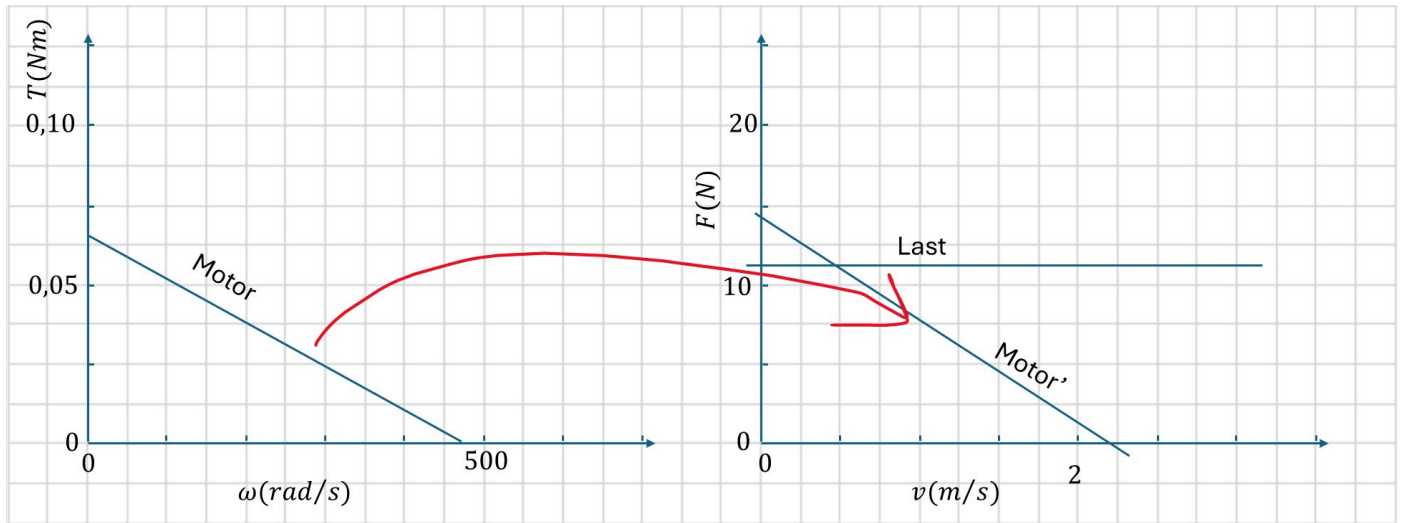
Omdat deze grafieken een ongelijke assenstelsel hebben, moeten we, om het werkpunt te vinden de ene transformeren naar het assenstelsel van de andere. De keuze is vrij. Hier wordt de motorkarakteristiek getransformeerd naar de last. We maken gebruik van de volgende relaties:

$$F'_{m,max} = T_{m,max} i \quad \text{en} \quad v_{max} = \frac{\omega_{m,max}}{i} = 2,36 \text{ m/s}$$

Dit geeft ons de motorkarakteristiek getransformeerd naar de last:

$$F'_m(v) = F'_{m,max} - \frac{F'_{m,max}}{v_{max}} v = T_{m,max} i - \frac{T_{m,max} i}{\frac{\omega_{m,max}}{i}} v = T_{m,max} i - \frac{T_{m,max}}{\omega_{m,max}} v \cdot i^2$$

De bijbehorende grafiek wordt:



Het snijpunt van de getransformeerde motorkarakteristiek en de lastkarakteristiek kan uit de grafiek afgelezen worden en/of algebraïsch opgelost worden:

$$F'_m(v) = F_l(v)$$

Ingevuld:

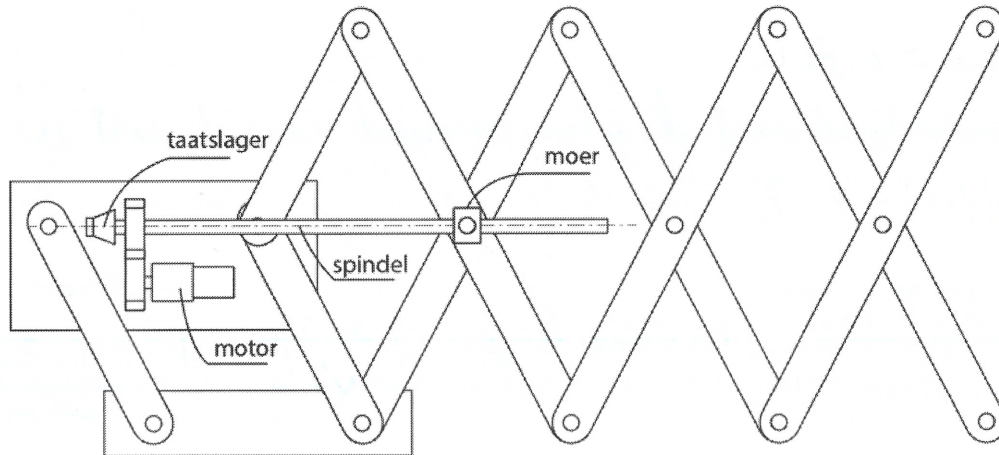
$$T_{m,max}i - \frac{T_{m,max}}{\omega_{m,max}} v \cdot i^2 = 6 \cdot m_{krat} \cdot g$$

Dit is het geval wanneer

$$v = \frac{\omega_{m,max}}{T_{m,max}i^2} (T_{m,max}i - 6 \cdot m_{krat} \cdot g) = 0,38 \text{ m/s}$$

Schroefdraad

Een apparaat dat afstanden kan overbruggen maakt in de aandrijflijn gebruik van een spindel, bestaande uit M8-schroefdraad (formuleboekje blz. 37). In een bepaald deel van de slag wordt vastgesteld dat de spindel ronddraait met 60rpm terwijl een axiale last van 30N drukkracht via de moer op de spindel wordt geleverd. Een gedeelte van het apparaat is hieronder schematisch weergegeven.



- 5p **8a** Welk vermogen levert de motor om dit te realiseren wanneer er geen wrijving zou optreden?

Transportsnelheid v , gegeven de draaisnelheid n is
 $v = \frac{n}{60} \cdot P$, waarin P de speed is.

Het vermogen is dan $Q = v \cdot F = \frac{60 \text{ rpm}}{60} \cdot 1,25 \text{ mm} \cdot 30 \text{ N} = 37,5 \text{ mW}$

De dynamische wrijving tussen de spindel en deze moer wordt gekenmerkt door een waarde van $\mu = 0,25$. Het andere eind van de spindel steunt af op een taatslager (axiaallager) waarvan de wrijving verwaarloosd mag worden.

- 10p **8b** Welke waarde heeft de effectieve wrijvingscoëfficiënt tussen schroefdraad en moer? En welk extra vermogen levert de motor om de schroefdraadwrijving te overwinnen?

Gegeven: $P = 1,25 \text{ mm}$ $d_z = 7,188 \text{ mm}$ $\beta = 60^\circ = \frac{\pi}{3} \text{ rad}$ $F = 30 \text{ N}$

$$\omega = 60 \cdot \frac{2\pi}{60} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Formules uit het formuleboekje:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{P}{\pi d_z}\right) = 0,055 \text{ rad}$$

$$\mu' = \mu / \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) = 0,289$$

$$\rho' = \arctan(\mu') = 0,281$$

De schroefdraadwrijving is

$$M_G = F \cdot \frac{d_z}{2} \tan(\varphi + \rho') = 0,038 \text{ Nm}$$

(wanneer de axiale kracht F de beweging tegenwerkt)

Het totale benodigde vermogen is:

$$Q_{\text{Tot}} = Q + Q_{\text{extra}} = M_G \cdot \omega = 236,85 \text{ mW}$$

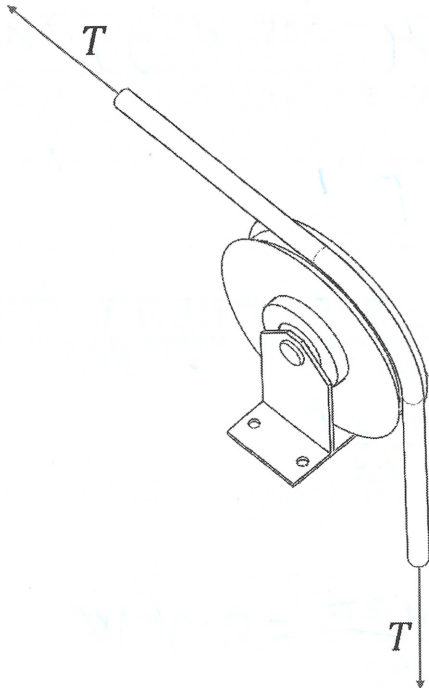
↑
uit antwoord
op 8a

Dus het extra vermogen nodig om de wrijving te overwinnen is

$$Q_{\text{extra}} = Q_{\text{Tot}} - Q = 199 \text{ mW}$$

Lagers

Een kabelschijf (katrol) wordt ingezet om een kracht T van richting te laten veranderen, in dit geval over een hoek van 90° . In de kabelschijf zijn twee diepgroefkogellagers (type 6206) met standaard speling en geen afdichting gemonteerd, symmetrisch om het midden. We gaan er van uit dat de lagers in axiale richting correct geborgd zijn, de ene "locating" en de andere "non-locating".



3p **9a** Welke passing is nodig tussen de as en de binnenring van de lagers, en tussen de buitenring van het lager en de kabelschijf? 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.

- 7p **9b** Men wil de werking van de kabelschijf kunnen garanderen voor een levensduur van 5000 uren bij een gemiddeld toerental van 3 omwentelingen per seconde, met een betrouwbaarheid van 90%. Wat is de maximale kracht die is toegestaan om dit niveau van betrouwbaarheid te kunnen waarmaken, uitgaande van een constante kracht?

Gegeven: $C = 20,3 \text{ kN}$, $p = 3$, $n = 3 \cdot 60 \text{ rpm}$, $R_{\text{stroom}} = 0,9$

Omdat er twee lagers zijn is de gewenste betrouwbaarheid per lager:

$$R = \sqrt{R_{\text{stroom}}} = \sqrt{0,9} \approx 0,95, \text{ daarmee is } a_1 \text{ uit de tabel } a_1 = 0,62.$$

Van uren naar omwentelingen: $L_5 = L_{sh} \cdot 60 \cdot n$, met $L_{sh} = 5000 \text{ hr}$.

Correctie voor de afwijkende faalkans: $L_{10} = \frac{L_5}{a_1} = \frac{L_{sh} \cdot 60 \cdot n}{a_1}$

Ook geldt dat $L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot 10^6$, dus $P = \sqrt[3]{\frac{C}{\frac{L_{10}}{10^6}}} = \sqrt[3]{\frac{C}{\frac{L_{sh} \cdot 60 \cdot n}{a_1 \cdot 10^6}}}$

Er zijn geen axiale krachten dus $P = F_r$

Verder geldt dat de relatie tussen de labelkracht T en F_r als volgt is:

$$F_r = \frac{T \cdot \sqrt{2}}{2} \quad \begin{array}{l} \text{--- Twee loodrechte componenten} \\ \text{--- Twee lagers} \end{array}$$



Samengenomen en omgeschreven:

$$T = \frac{2C}{\sqrt[3]{\frac{L_{sh} \cdot 60 \cdot n}{a_1 \cdot 10^6}} \cdot \sqrt{2}} = 6,48 \text{ kN}$$

Leeg vel voor CORRECTIES

- 10** Gebruik dit antwoordkader voor eventuele grote correcties. Geef op de plek van de originele vraag aan dat jouw uitwerking van die vraag hier staat.

A large grid of small squares, intended for corrections. The grid is composed of many small squares, approximately 30 columns wide and 40 rows high, providing a structured space for writing corrections.