

Questions

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

Student ID

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

Name student

Antwoordmodel G. Radaelli

Werktuigkundig Ontwerpproject 1 WB1641 18/19 (Q1)

T1 - Projecttentamen

9 November 2018 09:00 - 12:00

- Vul hierboven je naam en studentnummer in. Het studentnummer schrijf je uit in de zeven vakjes onder **Student ID**, en je kruist het bijbehorende hokje aan.
- Maximaal 100 punten te behalen.
- Bij de meerkeuzevragen altijd maar 1 antwoord aankruisen.
- Bij de open vragen dient zowel de uitwerking als het antwoord in het daarvoor bestemde ruitjeskader gegeven te worden.
- Werk jouw antwoorden eerst uit op kladpapier, neem het dan pas over op dit antwoordformulier.
- Wil je een antwoord aanpassen? Vraag dan de surveillanten om een sticker die het oude antwoord bedekt. Op de sticker kan je jouw nieuwe antwoord geven.
- De antwoorden moeten met pen ingevuld worden.
- Toegestane hulpmiddelen:
 - Boek en vraagstukkenbundel "Werktuigkundige systemen" van J.C. Cool, onbeschreven
 - Kladpapier
 - (Grafische) rekenmachine
 - Geodriehoek/liniaal

Dit tentamen is gemaakt door:

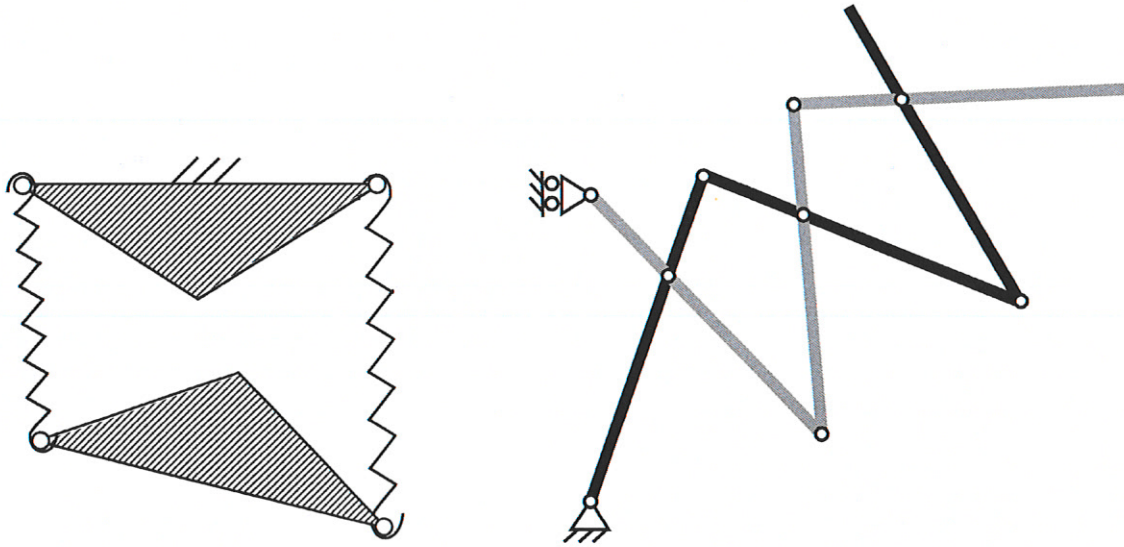
Dr. ir. G. Radaelli, ir. B. van Vliet en dr. ir. M.J.M. Hermans

Dit tentamen is gecontroleerd door

Dr. ir. R.W. Vroom en ir. B. van Vliet

Vrijheidsgraden

Beschouw onderstaande twee systemen in 2D.



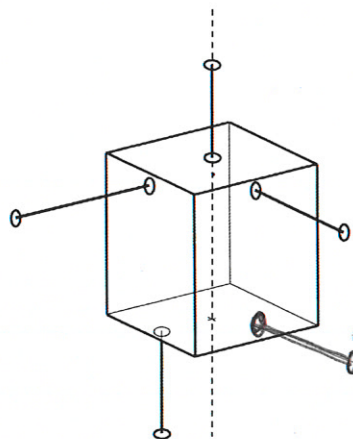
2p **1a** Hoeveel graden van vrijheid heeft het linker systeem?

- ☐ 0
 ☐ 1
 ☐ 2
 ☒ 3
 ☐ 4

2p **1b** Hoeveel graden van vrijheid heeft het rechter systeem?

- ☐ 0
 ☒ 1
 ☐ 2
 ☐ 3
 ☐ 4

4p **1c** Beperk de bewegingsvrijheid van onderstaand lichaam door één spriet toe te voegen (tekenen) op zo'n manier dat alleen de rotatie om de stippellijn nog mogelijk is.



Eén van de vele opties.

Ontwerpmethoden

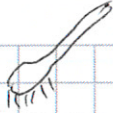
- 2p **2a** Kruis aan welke van de onderstaande criteria zijn geformuleerd als *functionele eisen* en welke als *prestatiecriteria*.

	Functionele eis	Prestatie criterium
Het ontwerp moet meer gewicht kunnen tillen dan de vorige versie	✓	
De energie-omzetting moet zo efficiënt mogelijk zijn		✓
Het mechanisme moet zonder horten en stoten bewegen	✓	
Het product mag maximaal 100 Euro kosten om te produceren	✓	

- 4p **2b** Kruis aan welke van de onderstaande criteria zijn *geoperationaliseerd*, en welke niet.

	Wel	Niet
Het systeem moet zo snel mogelijk uit te klappen zijn	✓	
De lade moet beter heen en weer gaan dan die van de concurrent		✓
De constructie moet uit standaard inkooponderdelen bestaan	✓	
Het exoskelet moet handiger aan te trekken zijn dan bestaande versies		✓
De verbinding met de handvaten moeten stevig zijn		✓
De auto moet zo veel mogelijk sterren scoren in de standaard botsproeven	✓	
Het frame wordt bij voorkeur van PMMA gemaakt	✓	
De assemblage moet minstens zo makkelijk zijn als bij de huidige versie		✓

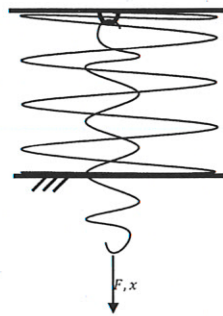
- 4p 2c In een ontwerpproject voor een nieuw schoonmaakhulpmiddel zijn 2 concepten ontwikkeld: de 'Borstel' en de 'Spons'. Deze worden beoordeeld op 3 criteria: 'Effectiviteit' (wegingsfactor 10), 'Kosten' (wegingsfactor 3), en 'Hygiëne' (wegingsfactor 5). Vergelijk deze concepten op deze criteria door een scoretabel te maken zoals voorgeschreven in de relevante stap van de gewogen criteria methode.

Criteria	Factor				
E	10	4	40	5	50
H	5	5	25	2	10
K	3	3	9	5	15
		74		75	

5p **3b** Geef de vervangende veerstijfheid ($k_v = F/x$) in termen van a , k_1 en k_2 .

$$\begin{aligned}
 F &= F_1 + \frac{1}{2} F_2 \\
 &= x k_1 + \frac{1}{2} k_2 \Delta v_2 \\
 &= x k_1 + \frac{1}{2} k_2 \left(\frac{1}{2} x \right) \\
 &= \left(k_1 + \frac{1}{4} k_2 \right) x
 \end{aligned}$$

$$k_v = \frac{F}{x} = k_1 + \frac{1}{4} k_2$$

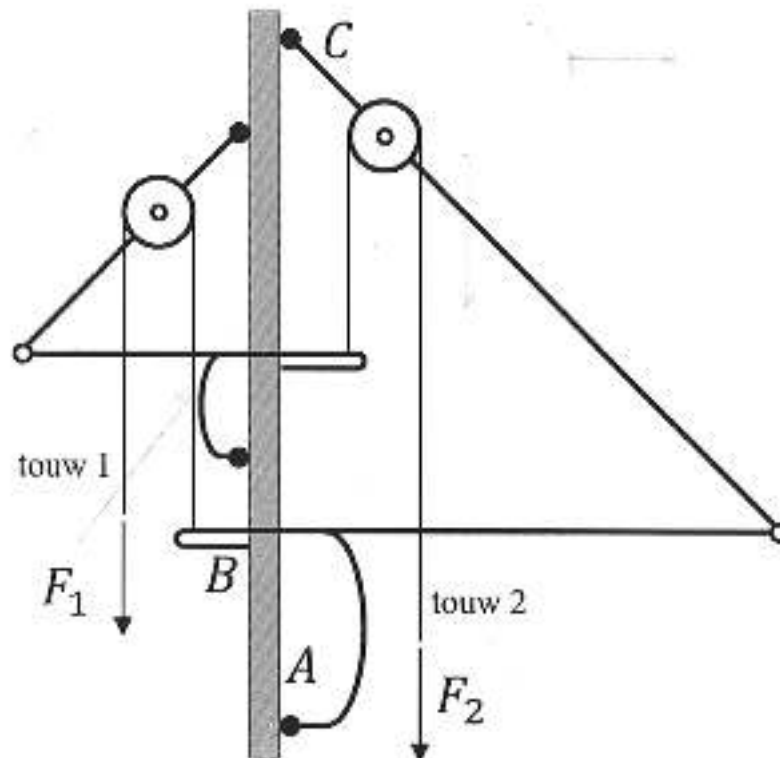


2p **3c** Een smalle trekveer wordt in een bredere drukveer geplaatst en gekoppeld zoals hierboven weergegeven. Is deze combinatie een serie of parallelle schakeling?

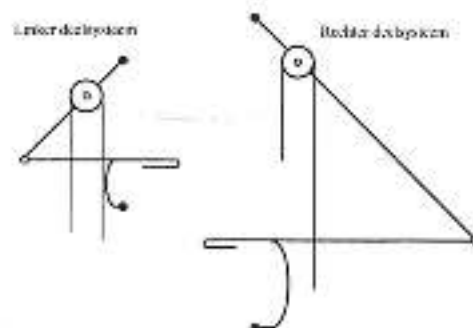
- ☒ Serie
☐ Parallel

Trekkend klimmen

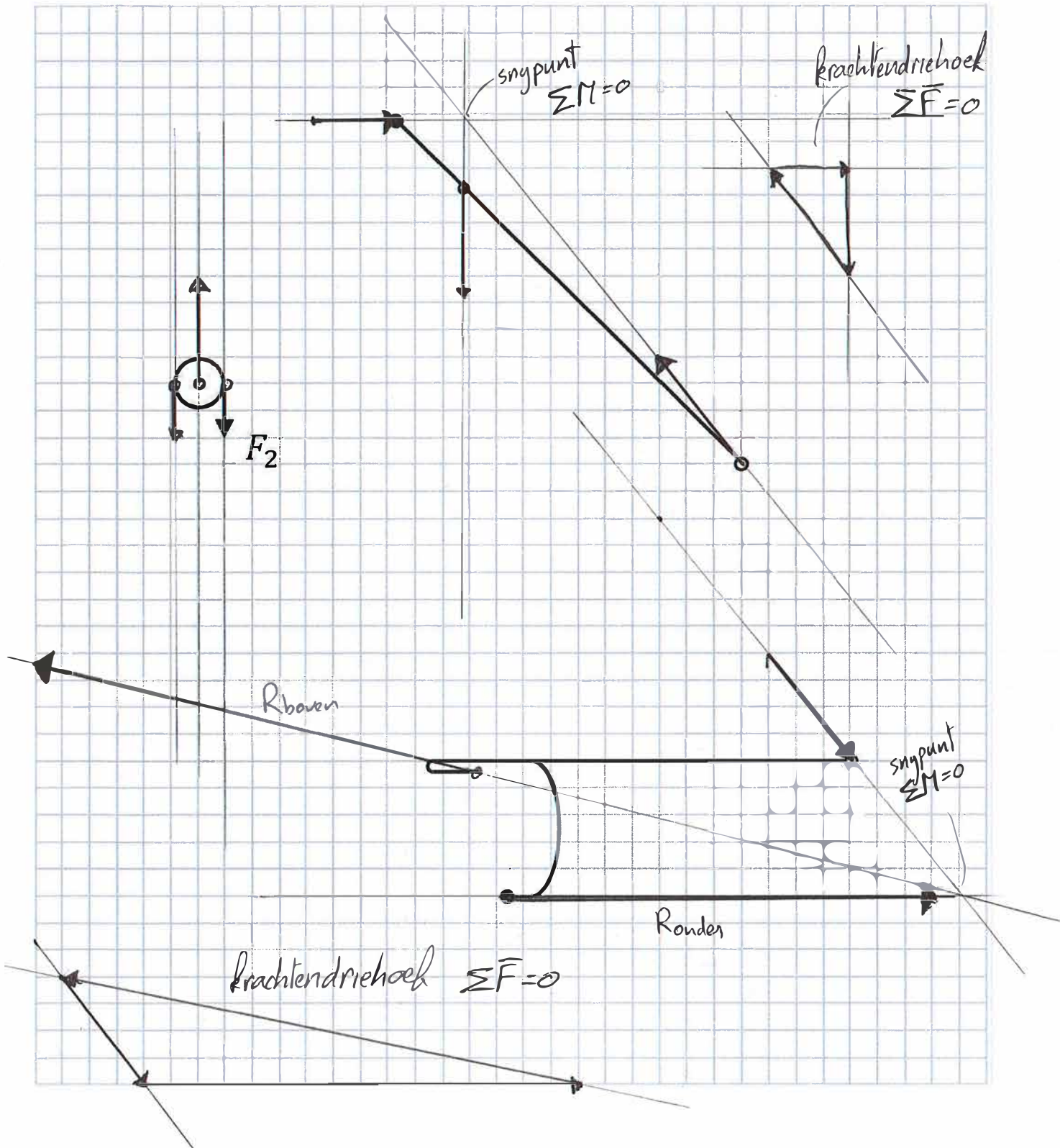
Een student van een prestigieuze universiteit kreeg als opdracht om een apparaat te ontwikkelen dat door het trekken aan touwen zich in de tegenovergestelde richting zou voortbewegen over een balk. Hieronder staat een schematische weergave van wat de student heeft bedacht. Het systeem bestaat uit twee soortgelijke deelsystemen die om en om moeten klemmen terwijl het andere deelsysteem vooruit schuift. De projectdocent vertrouwt het niet helemaal en wil graag onderbouwing zien.



Beschouw het rechter deelsysteem. Het systeem bestaat uit twee met elkaar scharnierende stangen, en een katrol waar het touw voor de aandrijving aan trekt. De horizontale stang heeft twee contactpunten met de balk. Het bovenste contactpunt kan ook wrijving genereren maar het onderste contactpunt is wrijvingsloos. De schuine stang heeft ook een wrijvingsloos contactpunt met de balk. Verder zijn de scharnieren en de katrol wrijvingsloos. In de hele opgave wordt zwaartekracht buiten beschouwing gelaten.

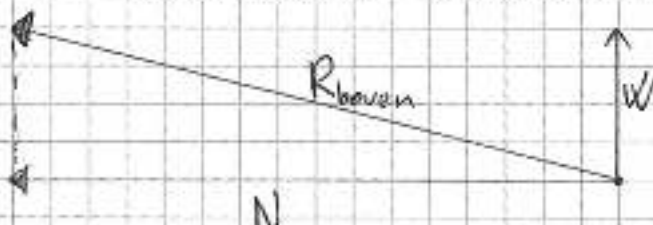


- 10p **4a** Touw 1 hangt slap ($F_1 = 0$) en er wordt getrokken aan touw 2 met een kracht F_2 . Teken alle krachten die aangrijpen op de getekende vrijlichaamsdiagrammen van de katrol, de schuine stang en de horizontale stang. Neem hierbij aan dat er evenwicht heerst. Teken voor elke kracht het aangrijpingspunt, de werklijn en de lengtes van de krachten in een juiste onderlinge verhouding.



- 5p 4b In de contactpunten met wrijving is de statische wrijvingscoëfficiënt gelijk aan $f_0 = 0,3$. Toon aan of door het trekken aan touw 2 het rechter deelsysteem in beweging komt.

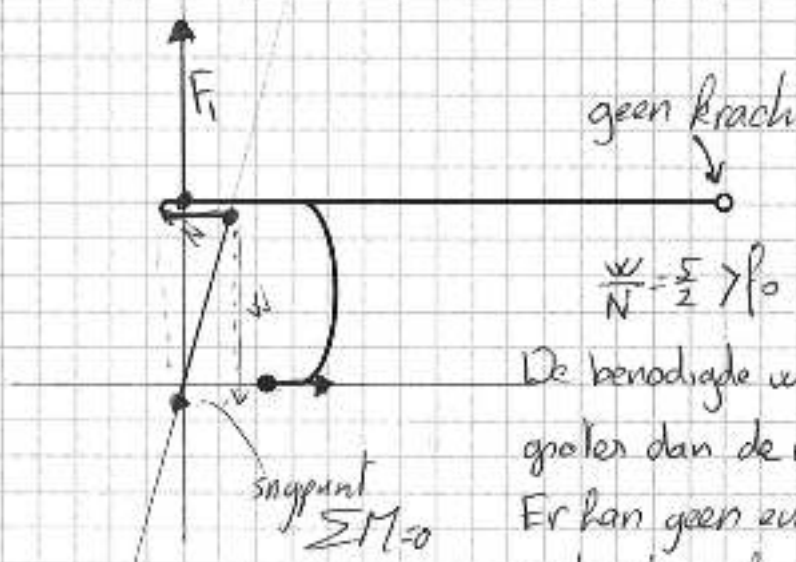
Reactiekracht bovenste contactpunt:



$$\frac{W}{N} \approx \frac{4}{16} = 0,25 < f_0$$

De wrijvingskracht die ontstaat is kleiner dan de maximale wrijving bij deze normaalkracht. Het systeem komt dus niet in beweging.

- 6p 4c Nu wordt er juist aan touw 1 getrokken met kracht F_1 en hangt touw 2 slap $F_2 = 0$. Teken de externe belastingen op het vrijlichaamsdiagram van de horizontale stang. Teken voor elke kracht het aangrijpingspunt, de werklijn en de lengtes van de krachten in een juiste onderlinge verhouding. Komt het systeem in beweging?



geen kracht!

$$\frac{W}{N} = \frac{5}{2} > f_0$$

De benodigde wrijving is groter dan de maximale wrijving. Er kan geen evenwicht heersen. Het systeem komt in beweging.

$\sum \vec{F} = 0$

$\sum M = 0$

snijpunt

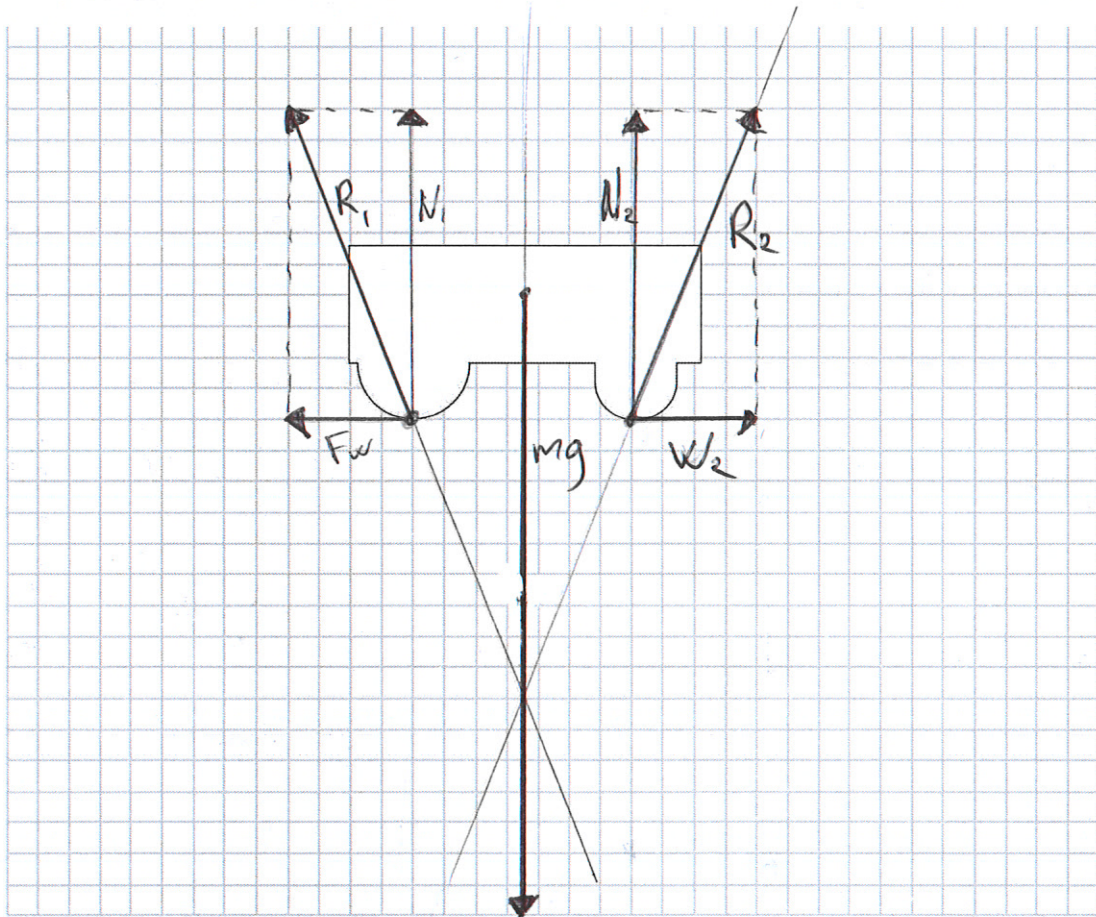
Aandrijving

Een karretje dat zich met een constante snelheid voortbeweegt, wordt aangedreven door een electromotor die zich in het voorste wiel bevindt. De motor drijft het wiel direct aan. Het karretje heeft een massa van 5 kg , en steunt behalve op het voorwiel ook op een achterpoot. Het gewicht grijpt halverwege de twee steunpunten aan. Tussen de achterpoot en de weg heerst een dynamische wrijvingscoëfficiënt van $f = 0,4$ die snelheidsonafhankelijk is. Aangenomen wordt dat andere vormen van weerstand klein zijn en dus verwaarloosbaar.

$V = \text{constant}$



- 4p **5a** Teken de externe belastingen (krachten en momenten) bij het gegeven vrijlichaamsdiagram.

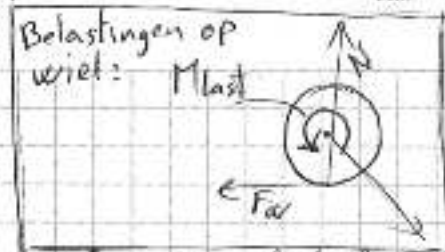


- 4p 5b De straal van het voorwiel is $r_{\text{wiel}} = 0,12 \text{ m}$. Bepaal de lastkarakteristiek M_{last} als functie van de rotatiesnelheid van het wiel ω_{wiel} in rad/s .

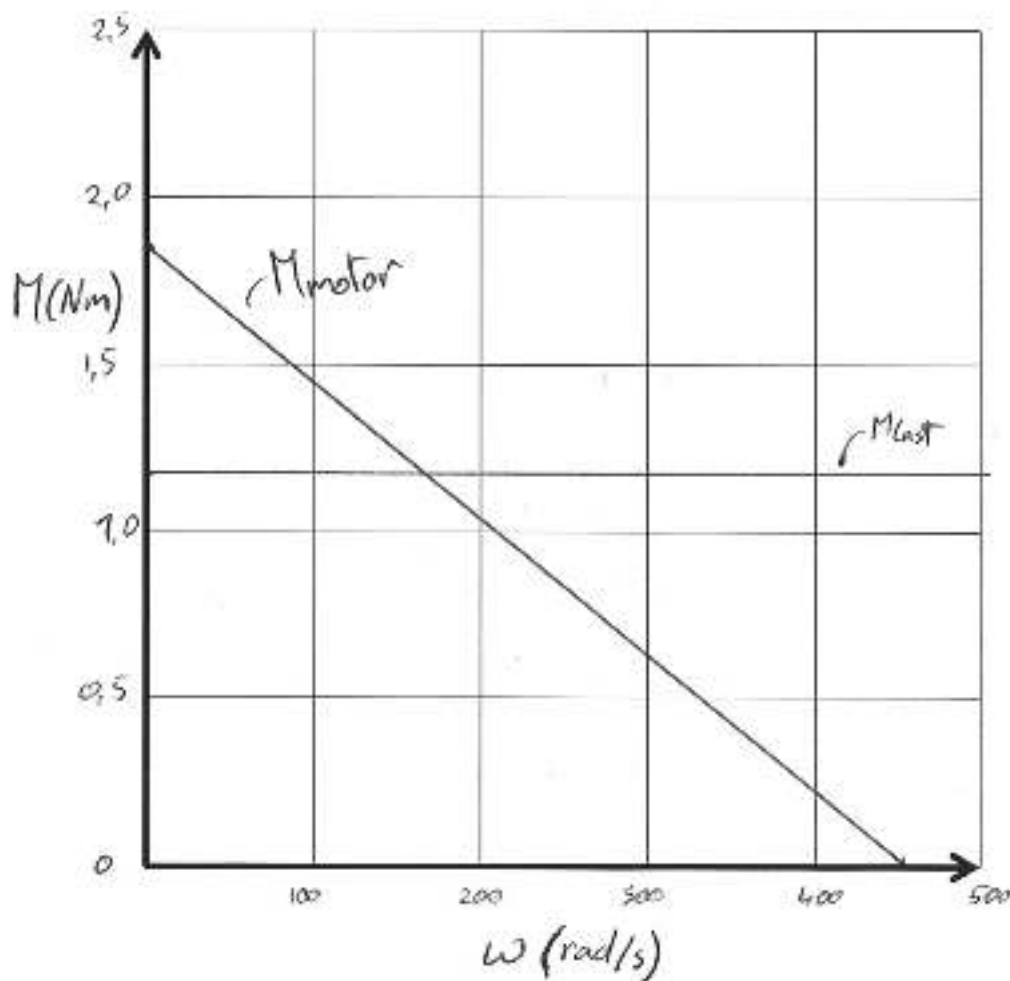
$$F_w = f \cdot \frac{mg}{2}$$

$$M_{\text{last}}(\omega_{\text{wiel}}) = F_w \cdot r_{\text{wiel}} \quad (\text{onafhankelijk van } \omega_{\text{wiel}})$$

$$= 0,4 \frac{5 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} \cdot 0,12 \text{ m} = 1,18 \text{ Nm}$$



- 4p 5c De gebruikte motor heeft een karakteristiek die beschreven wordt door de formule $M_{\text{motor}}(\omega) = 1,80 \text{ Nm} - 0,004 \frac{\text{Nm}}{\text{rad/s}} \cdot \omega$. Teken zowel de lastkarakteristiek als de motorkarakteristiek in het assenstelsel hieronder. Voorzie de assen van grootte, schaal en eenheid.



4p 5d Bepaal de voorwaartse snelheid van het karretje.

$$M_{\text{last}}(\omega_{\text{wiel}}) = M_{\text{motor}}(\omega_{\text{wiel}})$$

$$f \frac{mg}{2} r_{\text{wiel}} = M_{\text{motor}}(\omega_{\text{wiel}})$$

$$1,17 \text{ Nm} = 1,8 \text{ Nm} - 0,004 \frac{\text{Nm}}{\text{rad/s}} \cdot \omega_{\text{wiel}} \Rightarrow \omega_{\text{wiel}} = 155,7 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$v_{\text{kar}} = \omega_{\text{wiel}} \cdot r_{\text{wiel}} = 18,68 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

6p 5e In het gegeven ontwerp wordt het maximale motorvermogen niet benut. Bepaal bij welke straal van het wiel wel het maximale motorvermogen benut zou worden. Wat is nu de voorwaartse snelheid van het karretje?

Definitie motorvermogen:

$$P_{\text{motor}}(\omega_{\text{wiel}}) = M_{\text{motor}}(\omega_{\text{wiel}}) \cdot \omega_{\text{wiel}}$$

Maximaal vermogen als:

$$\frac{dP_{\text{motor}}}{d\omega_{\text{wiel}}} = 0$$

$$= 1,8 - 0,008 \omega = 0$$

$$\Rightarrow \omega_{\text{pmax}} = 225 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Nieuwe r_{wiel} bepalen zodat $M_{\text{last}}(\omega_{\text{pmax}}) = M_{\text{motor}}(\omega_{\text{pmax}})$

$$F_{\text{w}} \cdot r_{\text{wiel}} = 1,80 - 0,004 \omega$$

$$\Rightarrow r_{\text{wiel}} = \frac{1,80 \text{ Nm} - 0,004 \frac{\text{Nm}}{\text{rad/s}} \cdot 225 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{9,8 \text{ N}}$$

De nieuwe snelheid wordt: $= 0,092 \text{ m}$

$$v = \omega_{\text{pmax}} \cdot r_{\text{wiel}} = 225 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 0,092 \text{ m} = 20,64 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- 4p 5f De luchtweerstandscoefficiënt van het karretje is $C_w = 0,5$, het frontale oppervlak is $A = 0,20 \text{ m} \cdot 0,20 \text{ m}$ en de luchtdichtheid is $1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Ga na of de gemaakte aanname dat de luchtweerstand verwaarloosd kan worden een geldige aanname is. Ga uit van de berekende snelheid van opgave 5e.

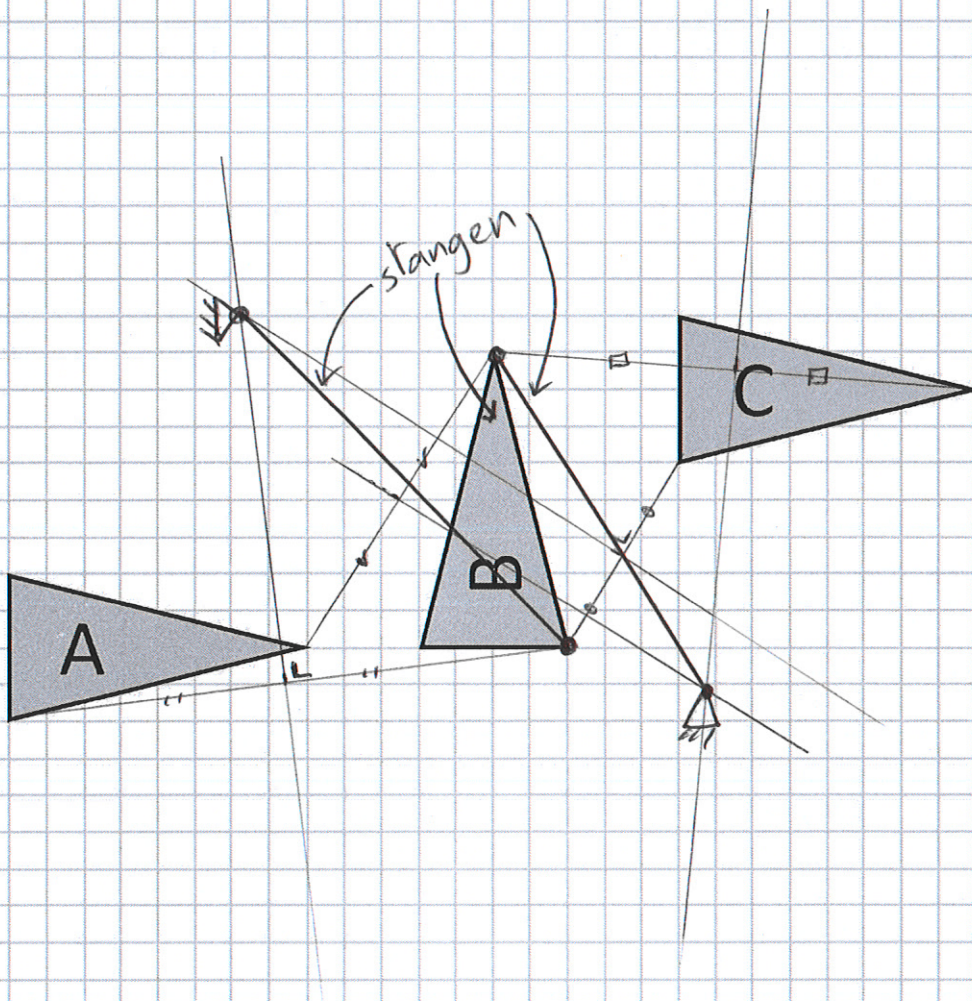
De luchtweerstand bij de gevonden snelheid is

$$F_{\text{lucht}} = \frac{1}{2} C_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(20,64 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$
$$= 5,54 \text{ N}$$

Dit is, ten opzichte van de wrijvingskracht ($F_w = 98,1 \text{ N}$), een substantieel deel, dus niet te verwaarlozen.

Synthese vierstangenmechanisme

- 10p 6 Een vierstangenmechanisme wordt toegepast om een object te verplaatsen van stand A naar B en dan naar C. Construeer het stangenmechanisme dat deze beweging realiseert aan de hand van de *instantaneous center method*. Teken de stangen van het gevonden mechanisme in stand B en laat de gebruikte hulplijnen zien.



Materiaalkunde

Een trekstang met een diameter van 10 mm wordt belast met een kracht van 15 kN. De stang mag maximaal 0,1% rekken.

	σ_y (MPa) *1	σ_{TS} (MPa) *2	E (GPa) *3
Aluminium 1100	35	90	70
Aluminium 7075	505	572	70
Laag gelegeerd staal	300	420	210
Titanium legering	600	700	110
Epoxy met koolstofvezels in de richting van de belasting	-	760	220

*1 yield strength, vloeigrens, rekgrens

*2 ultimate tensile strength, treksterkte

*3 Young's modulus, Elasticiteitsmodulus

- 8p 7 Welke van bovenstaande materialen komen hiervoor in aanmerking? Geef aan hoe je tot de keuze gekomen bent, eventueel met een berekening.

Oppervlakte dwarsdoorsnede $A = \pi r^2$

Trekspanning $\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi r^2} = 190,9 \text{ MPa}$
 $\rightarrow$ Alu 1100 valt af.

Minimale Elasticiteitsmodulus (by gegeven maximale rek $\epsilon_{\max}$)

$$E_{\min} = \frac{\sigma}{\epsilon_{\max}} = \frac{\frac{F}{\pi r^2}}{\epsilon_{\max}} = 190,9 \text{ GPa.}$$

$$\epsilon_{\max} = 0,1\% = 0,001$$

Materialen die in aanmerking komen:

- laag gelegeerd staal
- Epoxy-koolstof.

This page is left blank intentionally