

## Case 2

### Krachtenberekeningen

Deze zijn terug te vinden in bijlage B.

### Vernieuwd Sankey diagram

De wagen legt, als hij niet is aangedreven door de motor, een afstand van 12,06 m af volgens de berekeningen in Simulink. In realiteit bereikt de wagen echter maar een afstand van 10,60m. Dit heeft drie oorzaken.

Ten eerste is er getest met de maximale stand van het zonnepaneel, waardoor de loodrechte oppervlakte zal verhogen. Hierdoor gaat ook de luchtweerstand verhogen.

Ten tweede is de tegenwerking van de lagers onderschat. Deze bieden meer weerstand dan eerst gedacht en zullen zo dus ook voor extra verliezen zorgen.

Ten derde zijn er nog overige verliezen. De belangrijkste hiervan zijn de verliezen ten gevolge van de overschakeling naar een ander stuk rail en de voorwielen die nog niet geoptimaliseerd waren bij deze test.

#### Gemiddelde snelheid

Eerst en vooral moet de gemiddelde snelheid berekend zijn. Dit gebeurt a.d.h.v. de wet van behoud van energie.

#### Deel 1: neerwaartse helling

Als wrijvingscoëfficiënt  $\mu$  nemen we 0,8. De hoek van de helling is  $7,181^\circ$ .

$$E_{kin1} + E_{pot1} = E_{kin2} + E_{pot2} + E_{wrijving} \rightarrow 0 + m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2} + 0 + m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot \mu_r \cdot s$$

We kunnen v berekenen als volgt:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h - 2 \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot \mu_r \cdot s} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,5 - 2 \cdot 9,81 \cdot \cos(7,181) \cdot 0,01 \cdot 4} = 3,005 \text{ m/s}$$

Omdat de snelheid lineair toeneemt kan de gemiddelde snelheid berekend worden als het gemiddelde van de begin- en de eindsnelheid. De gemiddelde snelheid in deel 1 wordt dan:

$$v_{gem1} = \frac{3,005 - 0}{2} = 1,5025 \text{ m/s}$$

#### Deel 2: Horizontaal deel

$$E_{kin1} = E_{kin2} + E_{wrijving} \rightarrow \frac{m \cdot v_1}{2} = \frac{m \cdot v_2}{2} + m \cdot g \cdot \mu_r \cdot s$$

$$v_2 = \sqrt{3,005^2 - 2 \cdot 9,81 \cdot 0,01 \cdot 6} = 1,352 \text{ m/s}$$

$$v_{gem2} = 1,352 + \frac{3,005 - 1,352}{2} = 2,1785 \text{ m/s}$$

### Deel 3: Opwaartse helling

We kunnen de hoogte in functie van de afstand schrijven:  $h = s \cdot \sin(\alpha)$

$$E_{kin1} = E_{pot2} + E_{wrijving} \rightarrow \frac{m \cdot v^2}{2} = m \cdot g \cdot s \cdot \sin(\alpha) + m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot \mu_r \cdot s$$
$$s = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot (\sin(\alpha) + \cos(\alpha) \cdot \mu_r)} = \frac{1,352^2}{2 \cdot 9,81 \cdot (\sin(7,181) + \cos(1,181) \cdot 0,01)} = 0,69 \text{ m}$$
$$v_{gem3} = \frac{1,352 - 0}{2} = 0,676 \text{ m/s}$$

### Totale gemiddelde snelheid

$$v_{gem} = \frac{s_1}{s_{tot}} \cdot v_{gem1} + \frac{s_2}{s_{tot}} \cdot v_{gem2} + \frac{s_3}{s_{tot}} \cdot v_{gem3}$$
$$= \frac{4}{10,69} \cdot 1,5025 + \frac{6}{10,69} \cdot 2,1785 + \frac{0,69}{10,69} \cdot 0,676 = 1,829 \text{ m/s}$$

### Luchtweerstand

$\rho$  = dichtheid van lucht:  $1,293 \text{ kg/m}^3$

$v$  = gemiddelde snelheid van voorwerp tegenover de lucht:  $1,829 \text{ m/s}$

$A$  = loodrechte oppervlakte:  $0,055 \text{ m}^2$

$C_w$  = weerstandscoefficiënt :  $0,5$

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_w = 0,0595 \text{ N}$$

### Lagerweerstand

$f_{wl}$  = wrijvingscoëfficiënt:  $0,001$

$v$  = gemiddelde snelheid van voorwerp:  $1,829 \text{ m/s}$

$m$  = de massa van het voorwerp:  $1 \text{ kg}$

$g$  = zwaarteveldsterkte:  $9,81 \text{ N/kg}$

Er zijn 4 lagers

$$F_{wl} = f_{wl} \cdot m \cdot g \cdot v \cdot 4 = 0,0718 \text{ N}$$

### Rolweerstand

$\mu_r = 0,010$

$m = 1 \text{ kg}$

$$F_{rr} = m \cdot g \cdot \mu_r = 0,0981 \text{ N}$$

### Totale mechanische verliezen

De totale mechanische verliezen worden dan:

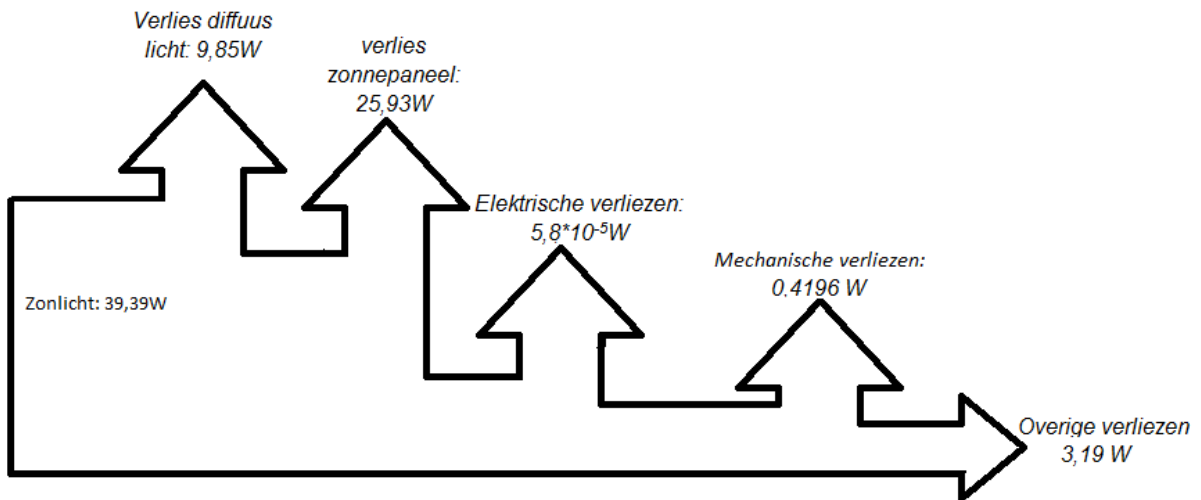
$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} = 0,2294 \cdot 1,829 = 0,4196 \text{ W}$$

### Overige verliezen:

Er zijn nog een aantal oorzaken van energieverlies die moeilijk in berekeningen te gieten zijn. Dit is bijvoorbeeld de baan. Op de plaatsen waar twee stukken van de rails aan elkaar gemaakt worden met duct tape maakt ons wagentje een klein sprongetje met een groot energieverlies tot gevolg. Ook

waren onze voorwielen nog niet optimaal bij de testtrace wat ook een groot energieverlies opleverde. Samen met nog enkele andere kleine verliezen bedraagt dit ongeveer 3,19 W.

**Sankey diagram:**



Figuur 1: Sankey diagram zonder aandrijving.

## Umicar

Uit het bestand Umicaredata.xls zijn de nodige parameters gehaald. De Umicar maakt gebruik van twee verschillende soorten zonnecellen met elk een andere efficiëntie.

280 RWE solar cells – 30% efficiëntie

2578 Emcore solar cells – 24,5% efficiëntie

Uit de datasheets van de zonnecellen vindt men de oppervlakte van één cel.

RWE solar cells: 30,18 cm<sup>2</sup>

Emcore solar cells: 27,56 cm<sup>2</sup>

Totaaloppervlak RWE solar cells:  $280 * 0,003018\text{m}^2 = 0,845\text{m}^2$

Totaaloppervlak Emcore solar cells:  $2578 * 0,002756 = 7,105\text{m}^2$

Samengevat:

	Aantal	Gemiddelde efficiëntie (%)	Oppervlakte van één cel (cm <sup>2</sup> )	Totaaloppervlak cellen (m <sup>2</sup> )
RWE solar cells	280	30	30,18	0,845
Emcore solar cells	2578	24,5	27,56	7,105

Tabel 1

Voor het vermogen van de zonnestrallen nemen we 800 W/m<sup>2</sup>

RWE solar cells:  $800 \text{ W/m}^2 * 0,845\text{m}^2 = 676 \text{ W}$

Emcore solar cells:  $800 \text{ W/m}^2 * 7,105\text{m}^2 = 5684 \text{ W}$

Rekening houdend met de efficiëntie van de zonnecellen:

$676 \text{ W} * 0,30 = 202,8 \text{ W}$

$5684 \text{ W} * 0,245 = 1392,58 \text{ W}$

Totaalvermogen dat het zonnepaneel aan de motor levert: 1595,38 W

Het vermogen stuurt men via de Tritium Gold controller. Deze heeft een efficiëntie van 99%. Dit zorgt ervoor dat er 1579,43 W effectief aan de motor geleverd wordt.

Volgens de datasheet heeft de motor een efficiëntie van 95%, dit wil zeggen dat de motor in totaal een vermogen van 1500,45 W levert.

## Topsnelheid

Op topsnelheid is het vermogen aan de motor geleverd gelijk aan de weerstanden die de Umicar beletten van een 'oneindige' snelheid. Deze zijn de aerodynamische weerstand, de rolweerstand en de wrijving in de lagers.

$$P_{\text{lager}} = m \cdot g \cdot v \cdot C_{wl}$$

$$P_{\text{roll}} = m \cdot g \cdot C_{rr} \cdot v$$

$$P_{\text{lucht}} = 0,5 \cdot A_f \cdot C_w \cdot v^3 \cdot \rho$$

$A_f$  = frontale oppervlak =  $0,81\text{m}^2$

$v$  = snelheid

$\rho$  = luchtdichtheid =  $1,29\text{ kg/m}^3$

$m$  = massa zonnwagen + bestuurder =  $225\text{kg} + 75\text{kg} = 300\text{kg}$

$g$  = gravitatiekracht =  $9,81\text{ N/kg}$

$C_{rr}$  = rolweerstand coëfficiënt =  $0,0056$

$C_w$  = weerstand coëfficiënt =  $0,15$

$C_{wl}$  = lagerweerstand coëfficiënt =  $0.0015$

$$P_{\text{lager}} + P_{\text{roll}} + P_{\text{lucht}} = 1500,4\text{ W}$$

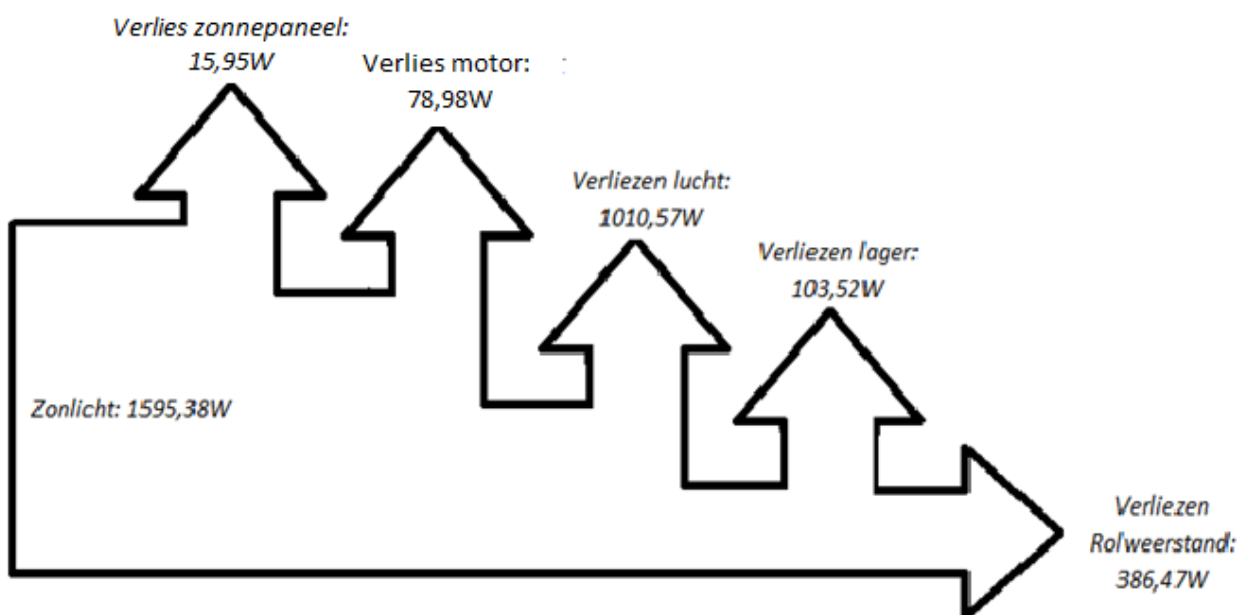
$$4,4145v + 16,48v + 0,07836v^3 = 1500,4\text{ W}$$

$$20,89v + 0,07836v^3 = 1500,4$$

Maple rekt deze vergelijking uit en geeft een maximale snelheid van  $23,45\text{m/s}$  oftewel  $84,42\text{km/h}$ .

	$P_{\text{lucht}}$ (W)	$P_{\text{lager}}$ (W)	$P_{\text{roll}}$ (W)
Maximale snelheid	1010,57	103,52	386,47

Tabel 2



Figuur 2: Sankey Umicar op topsnelheid.



## Halve topsnelheid

$$v = 23,45\text{m/s} / 2 = 11,725\text{m/s}$$

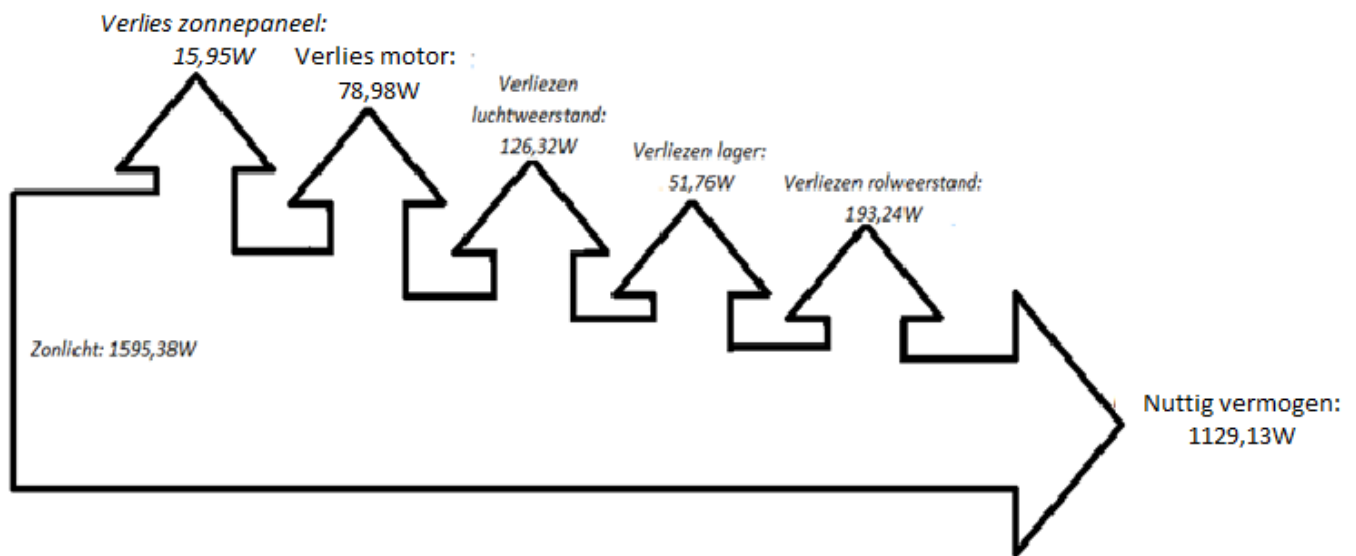
$$P_{\text{lager}} = 51,76 \text{ W}$$

$$P_{\text{roll}} = 193,24 \text{ W}$$

$$P_{\text{lucht}} = 126,32 \text{ W}$$

	$P_{\text{lager}}$ (W)	$P_{\text{roll}}$ (W)	$P_{\text{lucht}}$ (W)
Halve maximale snelheid	51,76	193,24	126,32

Tabel 3



Figuur 3: Sankey Umicar op halve topsnelheid.





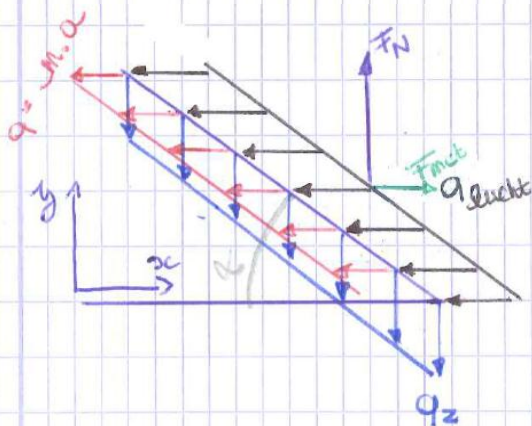
## Bijlage B: Krachtenberekeningen

### Krachten op het zonnepaneel

De hoek van het zonnepaneel, waarunder de zonnecellen het meeste krachten ondervinden, wordt berekend via de maximale kracht verticaal op het zonnepaneel.

Het wagentje bevindt zich op het vlakke deel van het parcours omdat hier de zwaartekracht volledig moet worden opgevangen door het wagentje.

Op dit punt:  $a = 2 \text{ m/s}^2$        $v = 4 \text{ m/s}$        $t = 2 \text{ s}$   
 $m = 0,350 \text{ kg}$



$$\begin{aligned} F &= m \cdot a \\ &= 0,350 \text{ kg} \cdot 2 \text{ m/s}^2 \\ &= 0,700 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_z &= m \cdot g = 0,350 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \\ &= 3,43 \text{ N} \end{aligned}$$

De zwaartekracht wordt voorgesteld door een verdeelde belasting, omdat het zonnepaneel door een balk over de gehele lengte wordt ondersteund.

$$\begin{aligned} F_{\text{lucht}} &= \frac{1}{2} c_w \cdot v^2 \cdot \rho \cdot A = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot (4 \text{ m/s})^2 \cdot 1,293 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,22 \text{ m} \\ &\quad \cdot 0,28 \text{ m} \cdot \sin \kappa \\ &= 0,219 \cdot \sin \kappa \text{ N} \end{aligned}$$

$$F_{\text{max}} = F \cdot \sin \kappa + F_{\text{lucht}} \sin \kappa + F_z \cdot \cos \kappa$$

$$\frac{dF_{\max}}{dk} = F \cos k \cdot i + F_{\text{lucht}} \cos k \cdot i - F_2 \sin k \cdot i = 0$$

$$\Rightarrow \frac{F_2}{F + F_{\text{lucht}}} = \frac{\cos k}{\sin k}$$

$$\Rightarrow \frac{3,43 \text{ N}}{0,700 \text{ N} + 0,219 \text{ N} \cdot \sin k} = \frac{\cos k}{\sin k}$$

$$\Rightarrow 3,43 = 0,7 \frac{\cos k}{\sin k} + 0,219 \cos k$$

$$k = 13^\circ$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_N = F_2 = 3,43 \text{ N}$$

$$F_{\text{lucht}} = 0,219 \cdot \sin 13^\circ$$

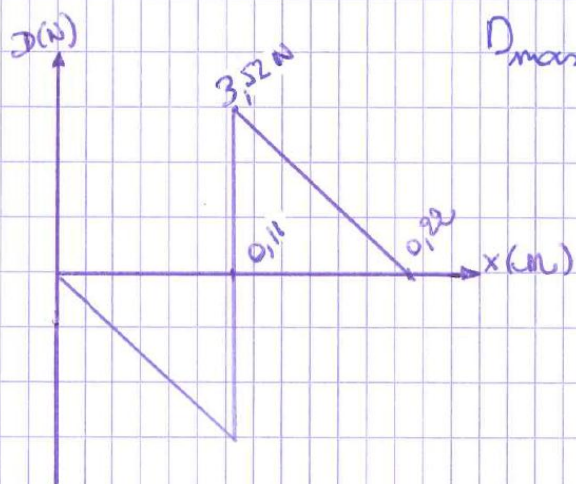
$$= 0,092 \text{ N}$$

$$\Sigma F_x = -M \cdot a$$

$$F_H = F_{\text{lucht}} + F$$

$$= 0,219 \cdot \sin 13^\circ + 0,700$$

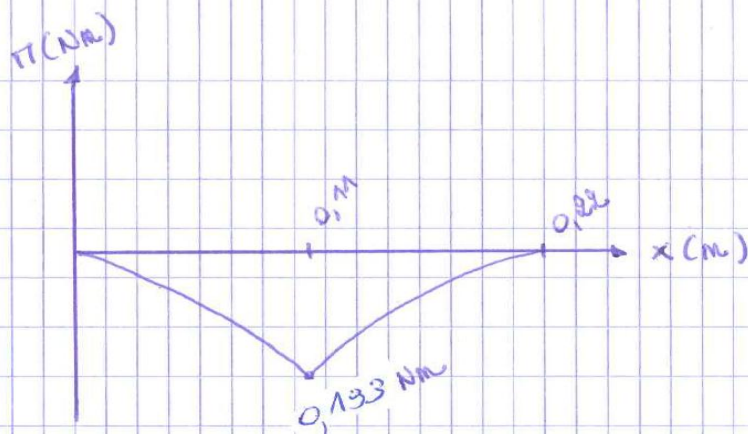
$$= 0,492 \text{ N}$$



$$D_{\max} = \frac{F_N \cdot \cos 13^\circ + F_H \cdot \sin 13^\circ}{2} = 3,52$$

In de breedte zal de dwarskracht het grootst zijn want hier heeft het paneel maar 1 steunpunt.





$$I = \frac{0,22 \cdot (0,0022)^3}{12} = 6,59 \cdot 10^{-10} m^4$$

$$D_{max} = 352 N$$

$$\pi_{max} = 0,193 Nm$$

$$h = 0,0022 m$$

$$b = 0,22 m$$

$$l = 0,22 m$$

$$\sigma_{max} = \frac{D_{max} \cdot S_y}{I \cdot b} = \frac{352 \cdot 0,22 \cdot 0,0165 \cdot 0,00225}{6,59 \cdot 10^{-10} \cdot 0,22}$$

$$\sigma_{max} = 727 \text{ kPa}$$

$$\tau_{max} = \frac{\pi_{max} \cdot y}{I} = \frac{0,193 \cdot 0,0165}{6,59 \cdot 10^{-10}}$$

$$\tau_{max} = 4832 \text{ kPa}$$

$$\nu = E \cdot \epsilon \Rightarrow \epsilon_{max} = \frac{\tau_{max}}{E} = \frac{4,832 \cdot 10^6 \text{ Pa}}{69 \cdot 10^9 \text{ Pa}} = 7,003 \cdot 10^{-5} m$$