

Verslag: Case 1

Team: Hyperion

Glenn Sommerfeld
Jeroen Vandebroek
Ilias viaene
Christophe Vandenhoeck

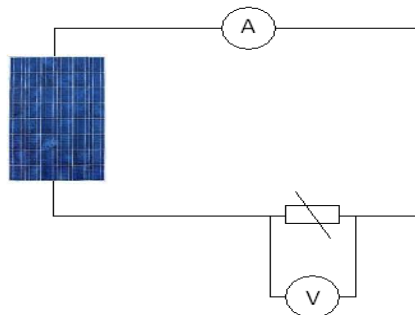
Jelle Smets
Tom Wellens
Jan Willems
Gaetan Rans

1. Zonnepaneel

1.1 Meetwaarden

Om de eigenschappen van het zonnepaneel te weten te komen, werd de karakteristiek via een proef opgemeten in het labo.

Het zonnepaneel wordt aangesloten, zoals weergegeven in de figuur hieronder, op een regelbare weerstand die de last simuleert. Er wordt een lichtbron van 300 w/m^2 om het paneel te voeden gebruikt. We schakelden een voltmeter over de regelbare weerstand om de geleverde spanning te meten. Om de geleverde stroom te meten plaatsten we een ampèremeter in serie met het zonnepaneel en de weerstand.



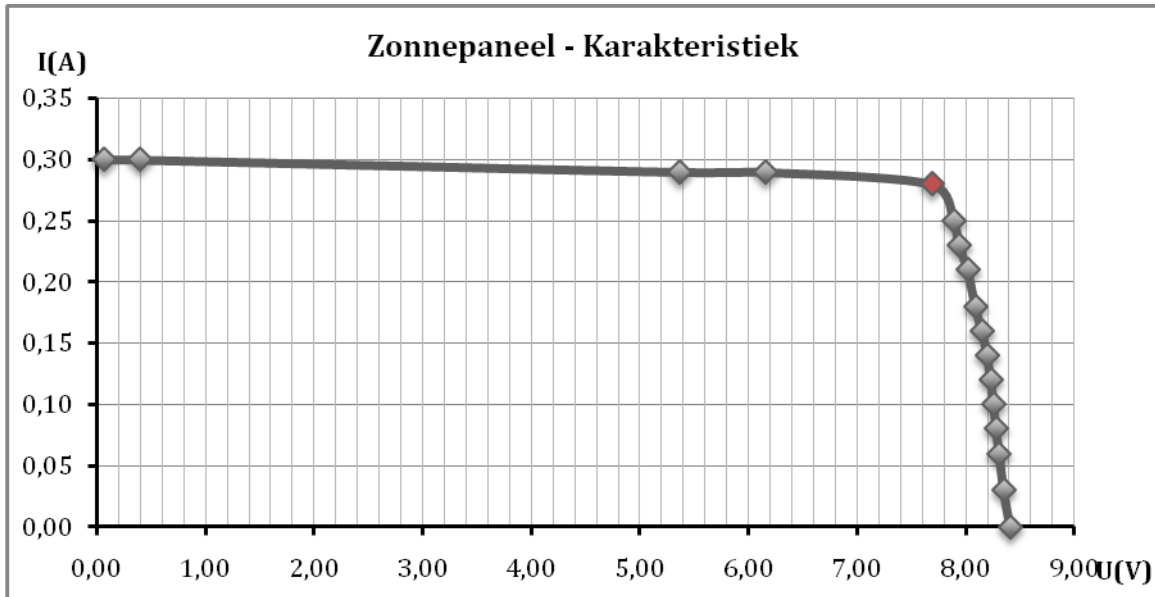
Figuur 1: Meetopstelling

Dit resulteert in de volgende metingen. Uit de gemeten spanning en stroom kunnen we het geleverde vermogen berekenen:

I(A)	U(V)	P(W)
0,30	0,07	0,02
0,30	0,40	0,12
0,29	5,37	1,56
0,29	6,16	1,79
0,28	7,69	2,15
0,25	7,89	1,97
0,23	7,94	1,83
0,21	8,02	1,68
0,18	8,09	1,46
0,16	8,15	1,30
0,14	8,20	1,15
0,12	8,23	0,99
0,10	8,26	0,83
0,08	8,28	0,66
0,06	8,31	0,50
0,03	8,35	0,25
0,00	8,41	0,00

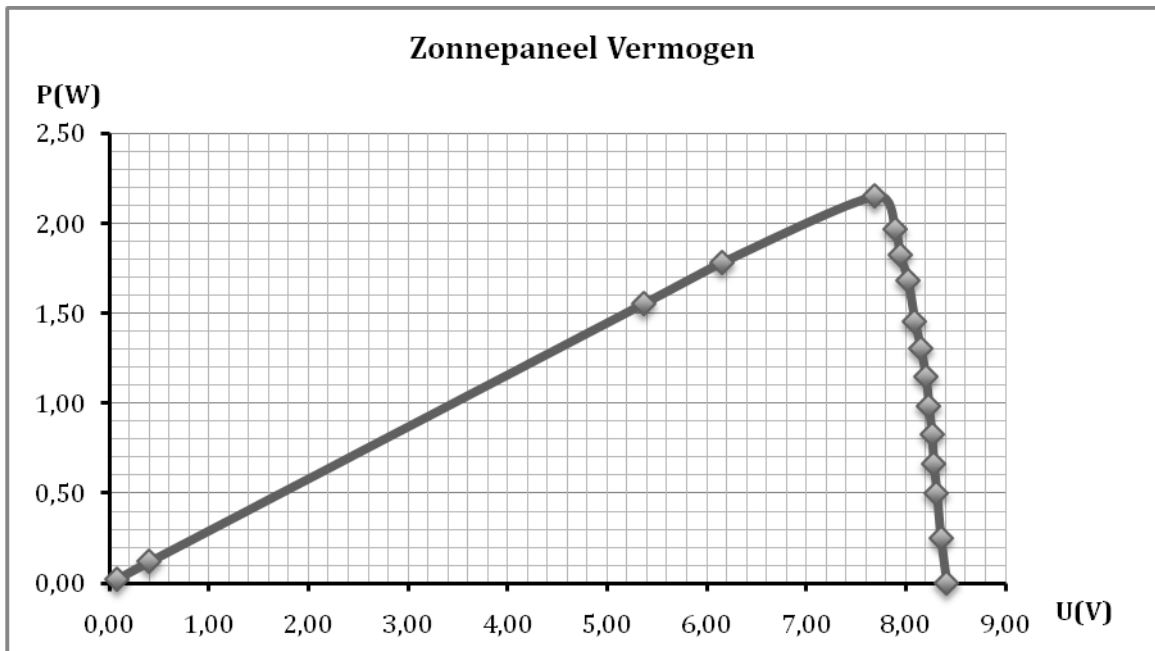
Tabel 1: Meetwaarden karakteristiek

Deze meetwaarden leveren de volgende karakteristiek en vermogensgrafiek op:



grafiek 1: Karakteristiek opstelling

Het maximaal haalbaar vermogen wordt geleverd bij een spanning van 7,69V.



grafiek 2: Vermogenkarakteristiek opstelling

1.2. Berekeningen

Diodefactor

$$I = I_{sc} - I_s \left(e^{\frac{m \cdot N \cdot U}{U_r}} - 1 \right)$$

m : Diodefactor (te bepalen)

N : Aantal zonnecellen (15)

I_{sc} : de kortsluitstroom, bedraagt 0,8A. (veronderstelling bij zonlicht)

I_s : de saturatiestroom van 1 cel ($10^{-8} \text{A/m}^2 * 0,00252 \text{m}^2$)

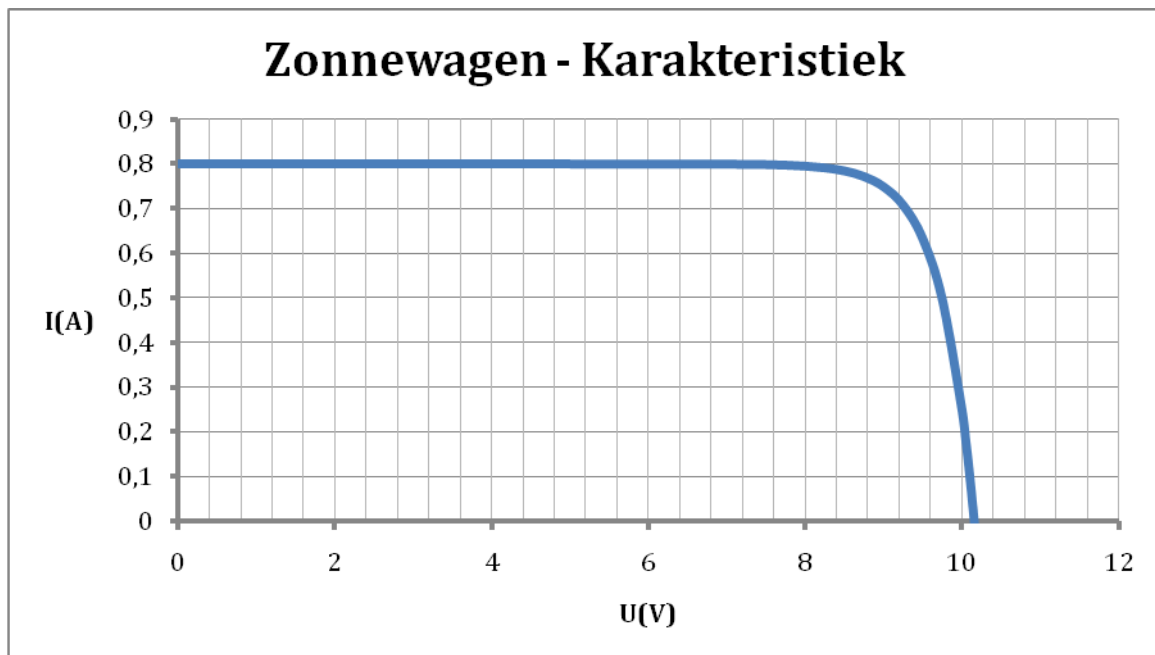
U_r : de thermische spanning (0,0257V bij 25°C)

Om de diodefactor te kunnen berekenen, vullen we voor I en U de waarden bij maximaal vermogen in.

Dit levert de volgende diodefactor op: $m = 1,09$.

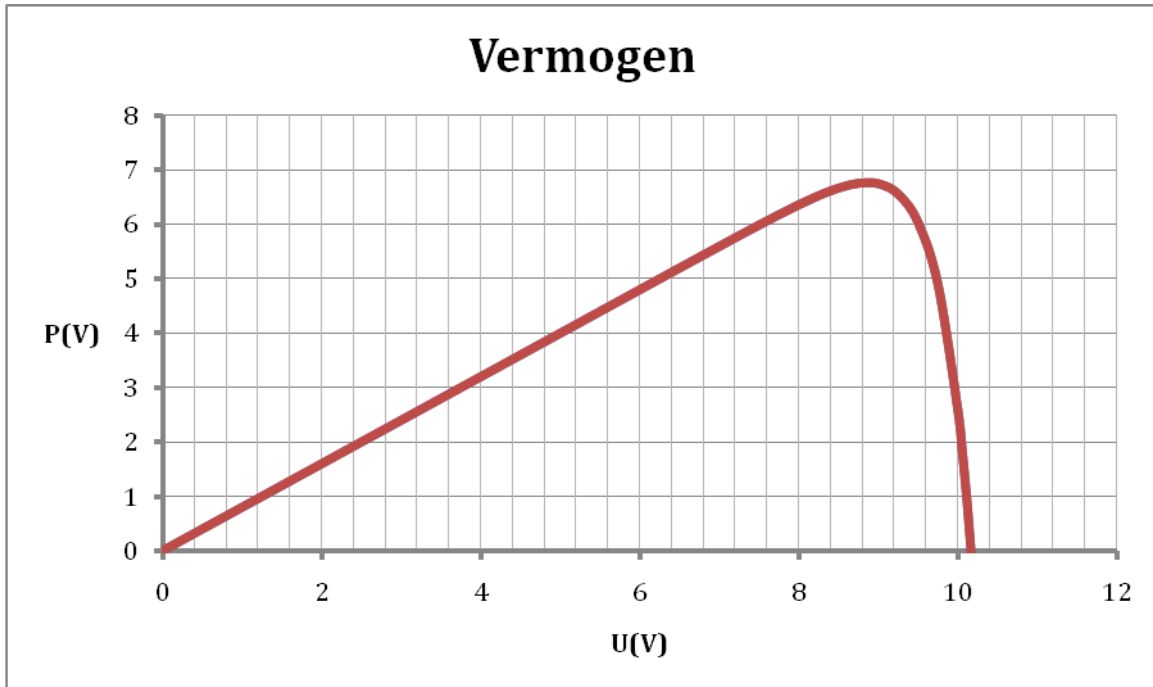
Theoretische karakteristiek.

Nu we de diodefactor kennen, kunnen we een theoretisch model opstellen voor de zonnepaneel aan de hand van de eerder vermelde formule.



grafiek 3: Werkelijke karakteristiek

De berekende stroomwaarden worden vermenigvuldigd met hun overeenkomstige spanningswaarden om de vermogensgrafiek op te stellen:



grafiek 4: Werkelijk vermogen

Uit grafiek 3 en 4 kunnen we volgende gegevens aflezen:

- Maximum vermogen = 6,75 W
- Spanning bij dit maximaal vermogen = 8,75 V
- Stroom bij dit maximaal vermogen = 0,77 A
- Kortsluitstroom = 0,8 A

2. Berekening overbrengingsverhouding (zie bijlage A)

We stellen de energiebalans van onze zonnewagen op om hieruit onze k-waarde te berekenen.

$$E_{input} = \int F dx = E_{kin} + E_{grav} + \dots$$

De k-waarde stelt een verhouding voor tussen de overbrengingsverhouding en de straal van het wiel.

$$k = \frac{l}{R}$$

De inputenergie

De energie die geleverd wordt door de motor bereken we met de volgende formule:

$$E_{input} = k * T * x * \eta$$

Met

- k = de k-waarde
- T = K(koppelconstante)*I = $8,55 * 10^{-3} * 0,6 = 5,13 * 10^{-3}$ [Nm]
- x = De afgelegde weg [m]
- η = efficiëntie van de motor

$$E_{input} = k * 5,13 * 10^{-3} * 14 * 0,7$$

$$E_{input} = k * 0,05027 \text{ [J]}$$

De potentiële energie

$$E_{pot} = m * g * h = 1 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 8 \text{ m} * \sin(3^\circ) = 4,11 \text{ J}$$

Met

- m = Massa [kg]
- g = Aardversnelling [m/s^2]
- h = Eindhoogte [m]

De kinetische energie

$$E_{kin} = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad v = \frac{\omega}{k} \quad \omega = \frac{P}{T} = \frac{5 \text{ W}}{5,13 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}} = 975 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$E_{kin} = \frac{m \cdot \omega^2}{2 \cdot k^2} = \frac{975^2}{2 \cdot k^2} = \frac{475312,5}{k^2} \text{ J}$$

Met

- v = Snelheid ssv [m/s]
- ω = Hoekfrequentie motor [rad/s]
- P = Vermogen motor [W]

Luchtweerstand

$$F_{wa} = \frac{c_w \cdot A \cdot \rho_{lucht} \cdot v^2}{2} = \frac{1 \cdot 0,03 \cdot 1,2 \cdot \omega^2}{2 \cdot k^2} = \frac{17111,25}{k^2}$$

Met

- c_w = Weerstandcoëfficiënt
- A = Frontaal oppervlak [m²]
- ρ_{lucht} = Dichtheid lucht [kg/m³]

Rolweerstand

$$F_{wr} = F_n \cdot f_{wr} = (9,81 \cdot 0,013) + (9,81 \cdot \cos(3^\circ) \cdot 0,013) = 0,255 \text{ N}$$

Met

- F_{wr} = Wrijvingskracht [N]
- F_n = Normaalkracht [N]
- f_{wr} = Dynamische wrijvingscoëfficiënt

Berekening van k

Als we nu de energiebalans invullen met vooraf bepaalde waardes dan kunnen we de k-waarde bepalen.

$$E_{input} = E_{kin} + E_{pot} + (F_{wr} + F_{wa}) \cdot \text{afgelegde weg}$$

Vullen we nu deze vergelijking in dan bekomen we een derdegraadsvergelijking met als onbekende k . Door deze op te lossen bekomen we een k -waarde van 258,6.

Kiezen we nu een wiel met als straal 0,0325 meter dan bekomen we een overbrengingsverhouding van $i \approx 7$. Deze overbrengingsverhouding gaat natuurlijk niet de ideale zijn. Maar deze waarde geeft wel al een goede schatting van de meest ideale overbrengingsverhouding.

Na het optimaliseren van de overbrengingsverhouding bekomen we een $i \approx 11$.

2. Optimaliseren overbrengingsverhouding (zie bijlage B)

Berekenen overbrenging voor $I = 7$

Kiezen we nu het punt A waar de SSV zijn maximale snelheid behaalt net voor de helling, dan geldt dat voor het vlak stuk de maximale snelheid berekend kan worden met de volgende formule:

$$V_A = \frac{U * I * \eta}{F_{wiel}} = 4,83 \frac{m}{s}$$

Met:

U = Geleverde Spanning [V]

I = Geleverde Stroomsterkte [A]

η = Rendement van de motor en overbrenging

F_{wiel} = Kracht uitgeoefend door het wiel op de grond [N]

De SSV heeft net voor de helling dus een snelheid van 4,83 m/s.

De tijd die de SSV nodig heeft om het punt A te bereiken volgt uit volgende formule:

$$t_{vlak} = \frac{m * V_a}{F_{wiel} - F_{rol}} = 5,75 s$$

Met:

m = Massa ssv die we 1 kg schatten

F_{rol} = Rolweerstand van de wielen [N]

Het duurt dus 5,75 seconden voor de SSV het punt A bereikt.

Vervolgens bepalen we de maximale snelheid die de SSV kan hebben op de helling. Deze snelheid zal bereikt worden wanneer de kracht geleverd door het wiel gelijk is aan de kracht F_r die inwerkt op de SSV.

De kracht F_r is een gevolg van de rolweerstand en de zwaartekracht die inwerkt op de SSV.

$$F_r = F_{roll} + m * g * \sin 3^\circ = 0,64 N$$

Het koppel dat de SSV levert is dan gelijk aan:

$$T_{wiel} = F_{wiel} * R_{wiel} = 0,0208 Nm$$

Met:

R = Straal van het wiel [m]

We kennen de overbrengingsverhouding en het koppel dat het wiel moet leveren dus kunnen we uit volgende formule de stroom bepalen die de motor zal trekken.

$$i = \frac{0,0208}{8,55 * 10^{-3} * 0,7 * 7} = 0,5 A$$

Uit de karakteristiek van het zonnepaneel kunnen we dan aflezen welke spanning over de motor staat. Hieruit

Da maximale snelheid op de helling V_{bc} kan gehaald worden door volgende formule:

$$V_{bc} = \frac{9,75 * 0,5 * 0,7}{0,64} = 5,33 \frac{m}{s}$$

De SSV doet er dan 1,5 seconden over om de helling van 8 meter af te leggen.

De totale tijd over het traject is dan de tijd die hij erover doet om het vlak stuk plus de tijd dat hij nodig heeft om de helling te beklimmen. In totaal doet de SSV er 7,25 s over om het traject af te leggen.

Bepalen ideale overbrenging

De vorige berekeningen kunnen we uitvoeren voor alle overbrengingsverhoudingen tussen 7 en 13. Uit onderstaande tabellen kunnen we dan de ideale overbrengingsverhouding aflezen.

Vlak stuk											
l	Rwiel [m]	i [A]	u [v]	Frol [N]	Twiel [Nm]	Fwiel [N]	VA [m/s]	a [m/s ²]	ta [s]	Sa [m]	tvlak [s]
7	0,033	0,750	8,900	0,128	0,031	0,967	4,833	0,839	5,758	6,000	5,758
7,5	0,033	0,750	8,900	0,128	0,034	1,036	4,511	0,908	4,966	6,000	4,966
8	0,033	0,750	8,900	0,128	0,036	1,105	4,229	0,977	4,327	6,000	4,327
8,5	0,033	0,750	8,900	0,128	0,038	1,174	3,980	1,046	3,803	6,000	3,803
9	0,033	0,750	8,900	0,128	0,040	1,243	3,759	1,116	3,370	6,000	3,370
9,5	0,033	0,750	8,900	0,128	0,043	1,312	3,561	1,185	3,006	5,353	3,188
10	0,033	0,750	8,900	0,128	0,045	1,381	3,383	1,254	2,699	4,565	3,123
10,5	0,033	0,750	8,900	0,128	0,047	1,450	3,222	1,323	2,436	3,924	3,080
11	0,033	0,750	8,900	0,128	0,049	1,519	3,075	1,392	2,210	3,398	3,056
11,5	0,033	0,750	8,900	0,128	0,052	1,588	2,942	1,461	2,014	2,962	3,046
12	0,033	0,750	8,900	0,128	0,054	1,657	2,819	1,530	1,843	2,598	3,050
12,5	0,033	0,750	8,900	0,128	0,056	1,726	2,706	1,599	1,693	2,291	3,063
13	0,033	0,750	8,900	0,128	0,058	1,796	2,602	1,668	1,560	2,030	3,086

Tabel 2: Berekeningen vlak stuk

Uit tabel 2 kunnen we de tijd die de ssv over het 6 meter lange recht stuk aflezen. De ssv bereikt het punt B het snelste voor een overbrengingsverhouding van $i = 11,5$.

Helling							
l	Rwiel [m]	Fwiel [N]	Twiel [Nm]	i [A]	U [V]	Vb/c [m/s]	thell [s]
7	0,033	0,64	0,0208	0,496479	9,75	5,294486	1,511006
7,5	0,033	0,64	0,0208	0,463381	9,79	4,961793	1,61232
8	0,033	0,64	0,0208	0,434419	9,83	4,670687	1,71281
8,5	0,033	0,64	0,0208	0,408865	8,87	3,966632	2,016824
9	0,033	0,64	0,0208	0,386151	9,88	4,17284	1,91716
9,5	0,033	0,64	0,0208	0,365827	9,89	3,957218	2,021622
10	0,033	0,64	0,0208	0,347536	9,9	3,763158	2,125874
10,5	0,033	0,64	0,0208	0,330986	9,93	3,59482	2,225424
11	0,033	0,64	0,0208	0,315941	9,95	3,438331	2,32671
11,5	0,033	0,64	0,0208	0,302205	9,96	3,292143	2,430028
12	0,033	0,64	0,0208	0,289613	9,97	3,158138	2,533138
12,5	0,033	0,64	0,0208	0,278028	9,98	3,034854	2,636041
13	0,033	0,64	0,0208	0,267335	9,99	2,921053	2,738739

Tabel 3: Berekeningen helling

Tabel 3 stelt het gedrag van de SSV voor in functie van de verschillende overbrengingsverhoudingen tijdens dat de ssv de helling aan het beklimmen is. De snelste tijd wordt hier neergezet voor de kleinste overbrengingsverhouding.

Tabel () geeft de totale tijd van het traject weer voor de verschillende overbrengingsverhoudingen. Hieruit kunnen we dan makkelijk de ideale overbrengingsverhouding bepalen. De ideale overbrengingsverhouding bedraagt dus $i = 9,5$.

totale tijd	
i	ttot [s]
7	7,269
7,5	6,578
8	6,039
8,5	5,820
9	5,287
9,5	5,210
10	5,249
10,5	5,306
11	5,383
11,5	5,477
12	5,583
12,5	5,699
13	5,824

Tabel 4: totale tijd

4. Sankey SSV

Vermogen geleverd door de zon

De gemiddelde vermogen dat de zon kan leveren aan het paneel is 1000 W/m^2 .

De oppervlakte van het zonnepaneel van de SSV is $0,036 \text{ m}^2$.

Men kan het vermogen dat de zon aan het wagentje levert dus berekenen door de waarde van de standaard zonnewarmte te vermenigvuldigen met de oppervlakte van het zonnepaneel.

Dit vermogen is dan $1000 \text{ W/m}^2 \cdot 0,036 \text{ m}^2 = 36 \text{ W}$.

Rendement zonnepaneel

We hebben experimenteel aangetoond dat het zonnepaneel van de SSV een vermogen kan leveren van $2,15 \text{ W}$. De lamp die bij dit experiment gebruikt is, heeft een vermogen van 300 W/m^2 . De lamp levert dan een vermogen van $300 \text{ W/m}^2 \cdot 0,036 \text{ m}^2 = 10,8 \text{ W}$

Het rendement van het zonnepaneel is te berekenen door het geleverde vermogen van het zonnepaneel te delen door het vermogen dat de lamp levert te vermenigvuldigen met 100.

Deze waarde bedraagt $\frac{2,15 \text{ W}}{10,8 \text{ W}} \cdot 100 = 19,91\%$.

In het zonlicht zal het vermogen dat het zonnepaneel levert $36 \text{ W} \cdot 19,91\% = 7,17 \text{ W}$ bedragen.

Verlies motor

De motor die gebruikt wordt heeft een maximale efficiëntie van 83% (gemiddeld 70%), wanneer deze waarde vermenigvuldigd wordt met het vermogen geleverd door het zonnepaneel kan men zien hoeveel er nog van het oorspronkelijk vermogen overblijft. Dit is dan $7,17 \text{ W} \cdot 83\% = 5,95 \text{ W}$.

Verlies overbrenging

De overbrenging in het wagentje zal gebeuren door middel van drie tandwielen. Het rendement van de overbrenging tussen twee tandwielen wordt geschat op 95%.

Het resterend vermogen bedraagt nu nog maar $5,95 \text{ W} \cdot (95\%)^2 = 5,37 \text{ W}$

Verlies rolweerstand

De kracht die de rolweerstand levert wordt berekend volgens de volgende formule:

$$F_r = \mu \cdot m \cdot g$$

Met

- m = Massa van de SSV (deze wordt geschat op 1kg)
- μ = Rolweerstandscoefficient wielen (deze wordt geschat op 0,0025)
- g = Graviteitsversnelling = 9,81 m/s²

Het rendement wordt bepaalt door deze volgende formule:

$$P = F_r \cdot v$$

Met

v = de gemiddelde snelheid van het SSV (we schatten deze op 4,6 m/s)

Ingevuld en uitgerekend wordt dit:

$$P = \mu \cdot m \cdot g \cdot v = 0,0025 \cdot 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 4,6 \text{ m/s} = 0,113 \text{ W}$$

Verlies luchtweerstand

De kracht die de luchtweerstand levert wordt berekent volgens de volgende formule:

$$F_l = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_w$$

Met

- ρ = luchtweerstand (deze bedraagt 1293 kg/m³)
- V = de gemiddelde snelheid van het SSV (we schatten deze op 4,6 m/s)
- A = oppervlakte van het voorste vlak (deze is 0,0602 m² . sin35° = 0,035 m²)
- C_w = luchtweerstandscoefficient (deze wordt geschat op 0,75)

Het rendement wordt bepaalt door deze volgende formule:

$$P = F_l \cdot v$$

Ingevuld en uitgerekend wordt dit:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A \cdot C_w = 0,5 \cdot 1,293 \text{ kg/m}^2 \cdot (4,6 \text{ m/s})^3 \cdot 0,035 \text{ m}^2 \cdot 0,75 = 1,65 \text{ W}$$

Verlies helling

Op de helling zelf zal er ook nog een verlies optreden door middel van de zwaartekracht. Deze wordt gegeven door de volgende formule:

$$F_G = m \cdot g \cdot \sin\theta$$

Met

m = massa van de SSV (deze wordt geschat op 1kg)

g = graviteitsversnelling = 9,81 m/s²

θ = hellingshoek (deze bedraagt 3°)

Het rendement wordt bepaald door deze volgende formule:

$$P = F_G \cdot v$$

Met

v = de gemiddelde snelheid van het SSV (we schatten deze op 4,6 m/s)

Ingevuld en uitgerekend wordt dit:

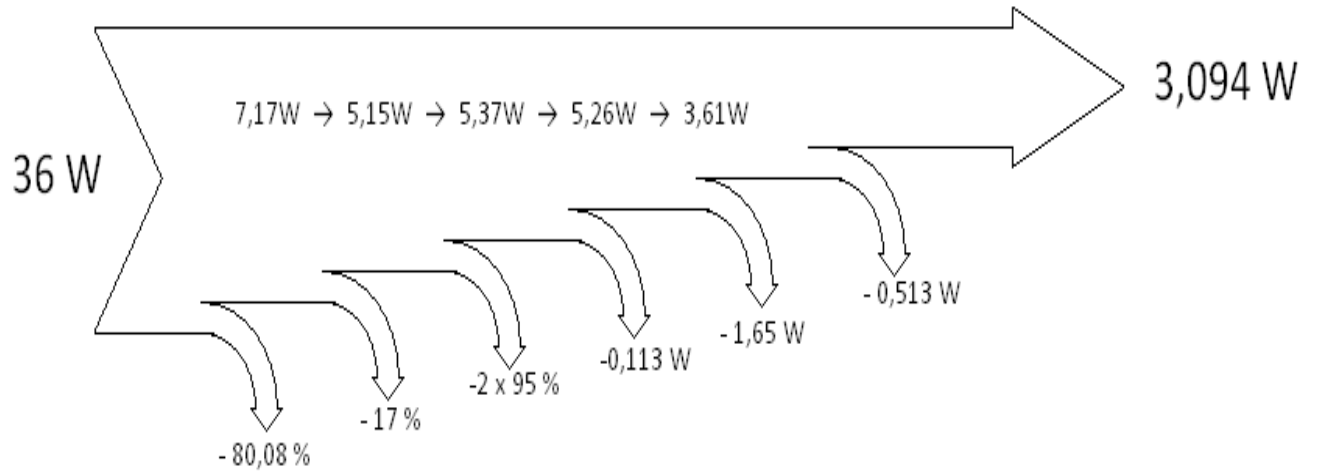
$$P = m \cdot g \cdot \sin\theta \cdot v = 1\text{kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \sin 3^\circ = 0,513 \text{ W}$$

Totaal vermogen

Om het resterende vermogen van het SSV te berekenen moeten de verliezen van de rolweerstand, de luchtweerstand en de helling van de waarde die bekend is bij het verlies op de overbrenging aftrekken.

Dit geeft dan een waarde van: 5,37 W – 0,113 W – 1,65 W – 0,513 W = 3,094 W

Sankey Diagram



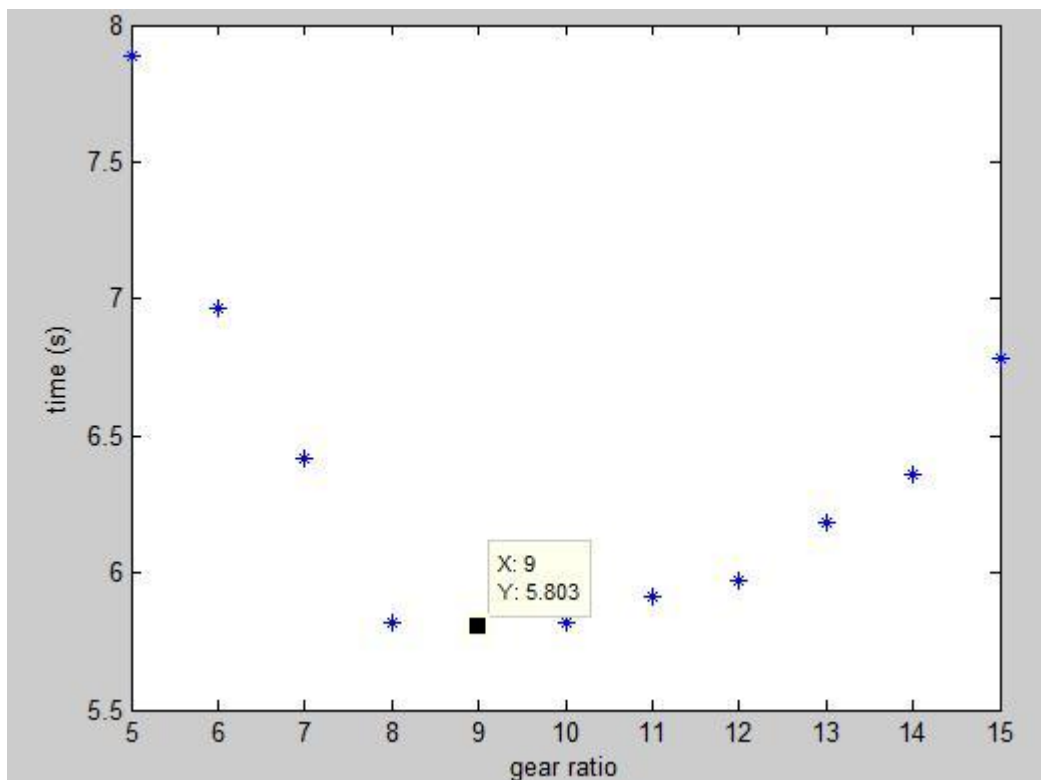
5. Simulink

De overbrengingsverhouding hebben we ook bepaald met behulp van het programma 'Simulink'. Hiervoor hebben een zonnepaneel gesimuleerd, bestaande uit vijftien zonnecellen in serie verbonden, waar een fysische parameter de irradiatie aanduidt. Hierbij hebben we de geleverde stroom en spanning, die door deze gesimuleerde zonnecel geproduceerd, met een sensor bepaald en het vermogen berekend dat door de SSV gedurende de race gehaald zou worden (zie bijlage 3, linksboven in de figuur).

Deze energie wordt door de DCmotor omgezet in mechanische energie en stuurt het koppel aan en deze zorgt voor de overbrenging van de kracht op de as van de wielen. Het rendement van het koppel wordt geschat op een gemiddelde van 70 %: dit wordt gehaald door de gainfunctie die zorgt voor een negatieve factor van 0,3. De rolweerstand en de luchtweerstand, die evenredig is met de snelheid in het kwadraat, worden gegeven rechts op de figuur en samen opgeteld door de 'netsum'. Het subsysteem, dat nog bij de verliezen opgeteld wordt, bestaand uit een schakelaar die na het vlakke stuk, met de daarbij horende verliezen overgeschakeld op het hellende vlak.

Uit de hoeksnelheid van de as wordt de snelheid berekend van onze zonnewagen met behulp van het lineair systeem, waarna deze geïntegreerd wordt om tot de afgelegde weg te komen.

Hierna gaan we in Matlab in een m-bestand onze parameters ingeven, bepaald door de metingen van ons zonnepaneel. Dan gaan we de overbrengingsverhouding laten variëren van 1 tot 20 en deze in functie van de tijd, nodig voor de veertien meter af te leggen, grafisch weer te geven. Met behulp van simulink komen we een overbrengingsverhouding van 9 uit, die overeenkomt met de uitgevoerde berekeningen.



Ook voor het bollen van een helling van 3° hebben we een simulatie gemaakt in simulink. Hier hebben we een onderscheid gemaakt tussen de krachten op de helling en deze die werken op het vlakke stuk. Met behulp van een schakelaar hebben we hier een onderscheid tussen gemaakt. Op de helling zorgt een component van de valversnelling voor het starten en bewegen van onze SSV. Na het afleggen van één meter, komt de SSV op het vlakke stuk waar de valversnelling niet meer meespeelt, maar enkel de rolweerstand, interne wrijving en de wrijving met het rijoppervlak de snelheid verkleinen tot een uiteindelijke stilstand. De uitbolafstand is 2.86 m ,die redelijk goed overeenkomt met onze berekeningen.

